

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ № 1

В контрольную работу №1 входят 5 тем. На темы 1.2, 1.4 и 1.5. предусмотрены четыре задачи.

Методические указания к решению задач 1

Решение задачи требует знаний закона Ома для всей цепи и ее участков, законов Кирхгофа, методики определения эквивалентного сопротивления цепи при смешанном соединении резисторов, а также умения вычислять мощность и работу электрического тока. Содержания задач и схемы цепей приведены в условии, а данные к ним — в таблице 3. Перед решением задачи рассмотрите типовой пример 1.

Пример 1. Для схемы, приведенной на рис. 1, определить эквивалентное сопротивление цепи R_{AB} , токи в каждом резисторе и напряжение U_{AB} , приложенное к цепи. Заданы сопротивления резисторов и ток I_4 в резисторе R_4 . Как изменятся токи в резисторах при: а) замыкании рубильника $P1$, б) расплавлении вставки предохранителя $Пр4$? В обоих случаях напряжение остается неизменным.

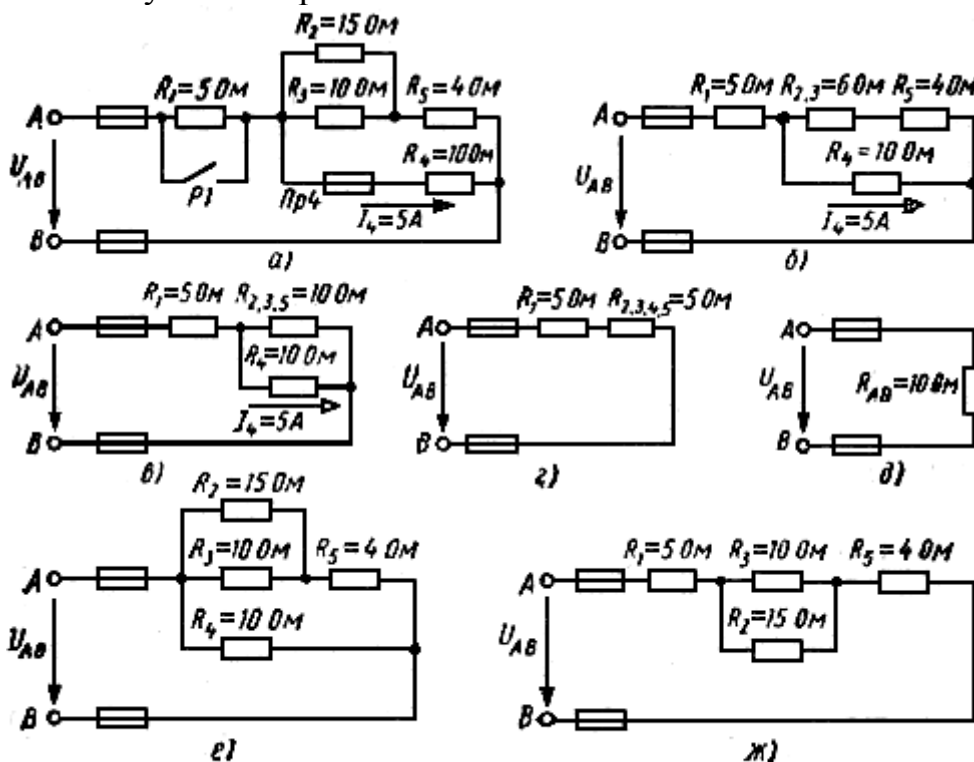


Рис. 1

Решение: Задача относится к теме «Электрические цепи постоянного тока». Проводим поэтапное решение, предварительно обозначив стрелкой ток в каждом резисторе; индекс тока должен соответствовать номеру резистора, по которому он проходит.

1. Определяем общее сопротивление разветвления R_2, R_3 . Резисторы соединены параллельно (рис. 1,а), поэтому:

$$R_{2,3} = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} = \frac{15 \cdot 10}{15 + 10} = 6 \text{ Ом.}$$

Теперь схема примет вид, показанный на рис. 1,б

2. Резисторы $R_{2,3}$ и R_5 включены последовательно, поэтому

$$R_{2,3,5} = R_{2,3} + R_5 = 6 + 4 = 10 \text{ Ом (рис. 1, в).}$$

3. Резисторы $R_{2,3,5}$ и R_4 включены параллельно, их общее сопротивление:

$$R_{2,3,4,5} = (10 \cdot 10) / (10 + 10) = 5 \text{ Ом (рис. 1, г).}$$

4. Находим эквивалентное сопротивление всей цепи:

$$R_{AB} = R_1 + R_{2,3,4,5} = 5 + 5 = 10 \text{ Ом (рис. 1, д).}$$

5. Зная силу тока I_4 , находим напряжение на резисторе R_4 :

$$U_4 = I_4 R_4 = 5 \cdot 10 = 50 \text{ В.}$$

Это же напряжение приложено к резисторам $R_{2,3} + R_5$ (рис. 1, б). Поэтому ток в резисторе R_5 :

$$I_5 = U_4 / (R_{2,3} + R_5) = 50 / (6 + 4) = 5 \text{ А.}$$

6. Находим падение напряжения на резисторе R_5 :

$$U_5 = I_5 R_5 = 5 \cdot 4 = 20 \text{ В.}$$

Поэтому падение напряжения на резисторах $R_{2,3}$:

$$U_{2,3} = U_4 - U_5 = 50 - 20 = 30 \text{ В.}$$

7. Определяем токи в резисторах R_2 и R_3 :

$$I_2 = U_{2,3} / R_2 = 30 / 15 = 2 \text{ А; } I_3 = U_{2,3} / R_3 = 30 / 10 = 3 \text{ А;}$$

Применяя первый закон Кирхгофа, находим ток в резисторе R_1 :

$$I_1 = I_2 + I_3 + I_4 = 2 + 3 + 5 = 10 \text{ А.}$$

8. Вычисляем падение напряжения на резисторе R_1 :

$$U_1 = I_1 R_1 = 10 \cdot 5 = 50 \text{ В.}$$

9. Находим напряжение U_{AB} , приложенное ко всей цепи:

$$U_{AB} = I_1 R_{AB} = 10 \cdot 10 = 100 \text{ В или } U_{AB} = U_1 + U_4 = 50 + 50 = 100 \text{ В.}$$

10. При включении рубильника $P1$ сопротивление R_1 замыкается накоротко и схема цепи имеет вид, показанный на рис. 1, е. Эквивалентное сопротивление цепи в этом случае:

$$R'_{AB} = R_{2,3,4,5} = 5 \text{ Ом.}$$

Поскольку напряжение U_{AB} остается равным 100 В, можно найти токи в резисторах R_4 и R_5 :

$$I_4 = U_{AB} / R_4 = 100 / 10 = 10 \text{ А; } I_5 = U_{AB} / (R_{2,3} + R_5) = 100 / (6 + 4) = 10 \text{ А.}$$

Определим падение напряжения на резисторе R_5 :

$$U_5 = I_5 R_5 = 10 \cdot 4 = 40 \text{ В.}$$

Поэтому напряжение на резисторах R_2, R_3 :

$$U_{2,3} = U_{AB} - U_5 = 100 - 40 = 60 \text{ В.}$$

Теперь можно найти токи в резисторах R_2 и R_3 :

$$I_2 = U_{2,3} / R_2 = 60 / 15 = 4 \text{ А; } I_3 = U_{2,3} / R_3 = 60 / 10 = 6 \text{ А.}$$

Проверим правильность вычисления токов, используя первый закон Кирхгофа:

$$I_1 = I_2 + I_3 + I_4 = 4 + 6 + 10 = 20 \text{ А.}$$

Однако

$$I = U_{AB} / R_{2,3,4,5} = 100 / 5 = 20 \text{ А.}$$

Таким образом, задача решена верно.

11. При расплавлении предохранителя $Pr4$ резистор R_4 выключается и схема принимает вид, показанный на рис. 1, ж. Вычисляем эквивалентное сопротивление схемы:

$$R''_{AB} = R_1 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} + R_5 = 5 + \frac{15 \cdot 10}{15 + 10} + 4 = 15 \text{ Ом.}$$

Поскольку напряжение U_{AB} остаётся неизменным, находим токи I_4 и I_5 :

$$I_1 = I_5 = U_{AB} / R_{AB} = 100 / 15 = 6,67 \text{ А.}$$

Напряжение на резисторах R_1 и R_2

$$U_{2,3} = I_1 R_{2,3} = 6,67 \cdot 6 = 40 \text{ В.}$$

Находим токи I_2, I_3

$$I_2 = U_{2,3} / R_2 = 40 / 15 = 2,67 \text{ А; } I_3 = U_{2,3} / R_3 = 40 / 10 = 4 \text{ А.}$$

Сумма этих токов равна току I_1 :

$$I_1 = I_2 + I_3 = 2,67 + 4 = 6,67 \text{ А.}$$

Методические указания к решению задач 2, 3, 4

Эти задачи относятся к неразветвленным и разветвленным цепям переменного тока. Перед их решением изучите материал тем 1.4, 1.5, ознакомьтесь с методикой построения векторных диаграмм и рассмотрите типовые примеры 2, 3, 4.

Пример 2. Активное сопротивление катушки $R_K = 6$ Ом, индуктивное $X_L = 10$ Ом. Последовательно с катушкой включено активное и сопротивление $R = 2$ Ом и конденсатор сопротивлением $X_C = 4$ Ом (рис. 2, а). К цепи приложено напряжение $U = 50$ В (действующее значение). Определить: 1) полное сопротивление цепи; 2) ток; 3) коэффициент мощности; 4) активную, реактивную и полную мощности; 5) напряжения на каждом сопротивлении. Начертите в масштабе векторную диаграмму цепи.

Решение: 1. Определяем полное сопротивление цепи:

$$Z = \sqrt{(R_K + R)^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{(6 + 2)^2 + (10 - 4)^2} = 10 \text{ Ом.}$$

2. Определяем ток:

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{50}{10} = 5 \text{ А.}$$

3. Определяем коэффициент мощности цепи:

$$\sin \varphi = \frac{X_L - X_C}{Z} = \frac{10 - 4}{10} = 0,6$$

По таблицам Брадиса находим $\varphi = 36^\circ 50'$. Угол сдвига фаз φ находим по синусу во избежание потери знака угла (косинус является чётной функцией).

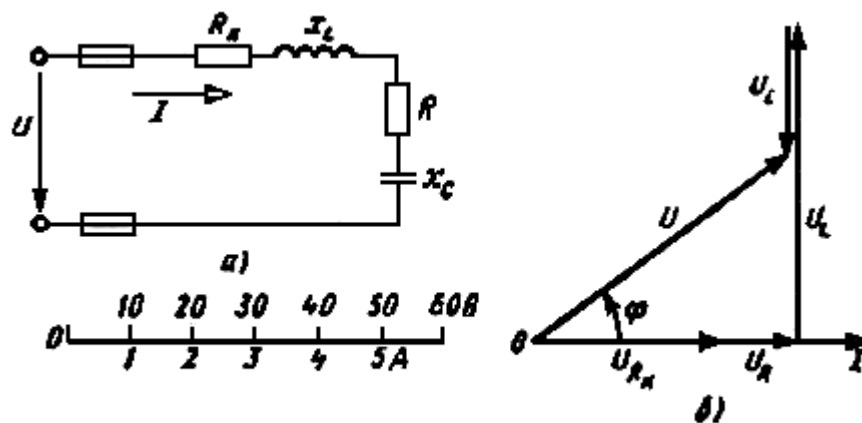


Рис. 2

4. Определяем активную мощность цепи:

$$P = I^2 (R_K + R) = 5^2 (6 + 2) = 200 \text{ Вт}$$

или

$$P = UI \cos \varphi = 50 \cdot 5 \cdot 0,8 = 200 \text{ Вт.}$$

Здесь

$$\cos \varphi = \frac{\dots}{\dots} = \frac{\dots}{\dots} = 0,8.$$

5. Определяем реактивную мощность цепи:

$$Q = I^2 (X_L - X_C) = 5^2 (10 - 4) = 150 \text{ вар}$$

или

$$Q = UI \sin \varphi = 50 \cdot 5 \cdot 0,6 = 150 \text{ вар.}$$

6. Определяем полную мощность цепи:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = Z = \sqrt{200^2 + 150^2} = 250 \text{ В} \cdot \text{А}$$

или

$$S = UI = 50 \cdot 5 = 250 \text{ В} \cdot \text{А.}$$

7. Определяем падения напряжения на сопротивлениях цепи:

$$U_{R_K} = IR_K = 5 \cdot 6 = 30 \text{ В}; \quad U_L = IX_L = 5 \cdot 10 = 50 \text{ В};$$

$$U_C = IX_C = 5 \cdot 4 = 20 \text{ В}; \quad U_R = IR = 5 \cdot 2 = 10 \text{ В.}$$

Построение векторной диаграммы начинаем с выбора масштаба для тока и напряжения. Задаемся масштабом по току: в 1 см — 1,0 А и масштабом по напряжению: в 1 см — 10 В. Построение векторной диаграммы (рис. 2, б) начинаем с вектора тока, который откладываем по горизонтали в масштабе:

$$\overline{\dots} = 5 \text{ см.}$$

Вдоль вектора тока откладываем векторы падений напряжения на активных сопротивлениях U_{R_K} и U_R :

$$\frac{30 \text{ В}}{10 \text{ В/см}} = 3 \text{ см}; \quad \frac{10 \text{ В}}{10 \text{ В/см}} = 1 \text{ см.}$$

Из конца вектора U_R откладываем в сторону опережения вектора тока на 90° вектор падения напряжения U_L на индуктивном сопротивлении длиной $\frac{50 \text{ В}}{10 \text{ В/см}} = 5 \text{ см.}$

Из конца вектора U_L откладываем в сторону отставания от вектора тока на 90° вектор падения напряжения U_C на конденсаторе U_C длиной

$$\frac{20 \text{ В}}{10 \text{ В/см}} = 2 \text{ см.}$$

Геометрическая сумма векторов U_{R_K}, U_R, U_L и U_C равна полному напряжению U , приложенному к цепи.

Пример 3. На рис.3, а задана векторная диаграмма для неразветвлённой цепи, ток I и падения напряжений на каждом сопротивлении (U_1, U_2 и т.д.). Определить характер и величину каждого сопротивления, начертить эквивалентную схему цепи, вычислить приложенное напряжение и угол сдвига фаз φ .

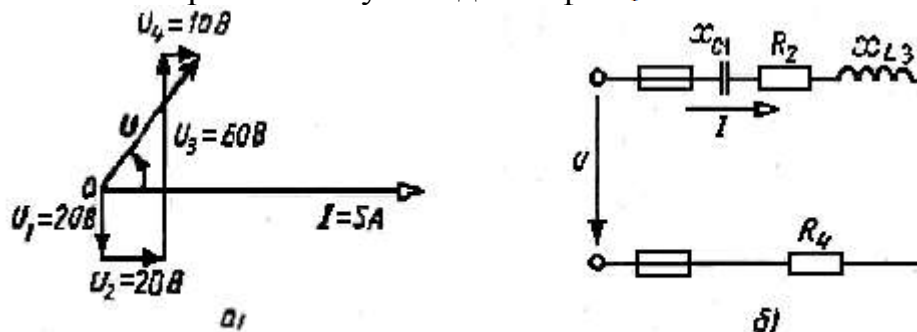


Рис. 3

Решение: 1. Из векторной диаграммы следует, что напряжение U_1 отстаёт от тока на угол 90° . Следовательно, на первом участке включён конденсатор, сопротивление которого

$$X_{C1} = \frac{U_1}{I} = \frac{20}{5} = 4 \text{ Ом.}$$

Вектор напряжения на втором участке U_2 направлен параллельно вектору тока, т. е. совпадает с ним по фазе. Значит, на втором участке включено активное сопротивление

$$R_2 = \frac{U_2}{I} = \frac{U}{I} = 4 \text{ Ом.}$$

Вектор напряжения на третьем участке U_3 опережает вектор тока на угол 90° , что характерно для индуктивности, сопротивление которой

$$X_{L_3} = \frac{U_3}{I} = \frac{U}{I} = 12 \text{ Ом.}$$

На четвертом участке включено активное сопротивление

$$R_4 = \frac{U_4}{I} = \frac{U}{I} = 2 \text{ Ом}$$

Эквивалентная схема цепи приведена на рис. 3, б.

2. Из векторной диаграммы определяем значение приложенного напряжения и угол сдвига фаз:

$$U = \sqrt{(U_2 + U_4)^2 + (U_3 - U_1)^2} = \sqrt{(20 + 10)^2 + (60 - 20)^2} = 50 \text{ В.}$$

$$\sin \varphi = \frac{U_3 - U_1}{U} = \frac{40}{50} = 0,8; \quad \varphi = 53^\circ 10'.$$

Пример 4. Катушка с активным сопротивлением $R_1 = 6 \text{ Ом}$ и индуктивным $X_{L_1} = 8 \text{ Ом}$ соединена параллельно с конденсатором, емкостное сопротивление которого $X_{C_1} = 10 \text{ Ом}$ (рис. 4, а). Определить: 1) токи в ветвях и в неразветвленной части цепи; 2) активные и реактивные мощности ветвей и всей цепи; 3) полную мощность цепи; 4) углы сдвига фаз между током и напряжением в каждой ветви и во всей цепи. Начертить в масштабе векторную диаграмму цепи. К цепи приложено напряжение $U = 100 \text{ В}$.

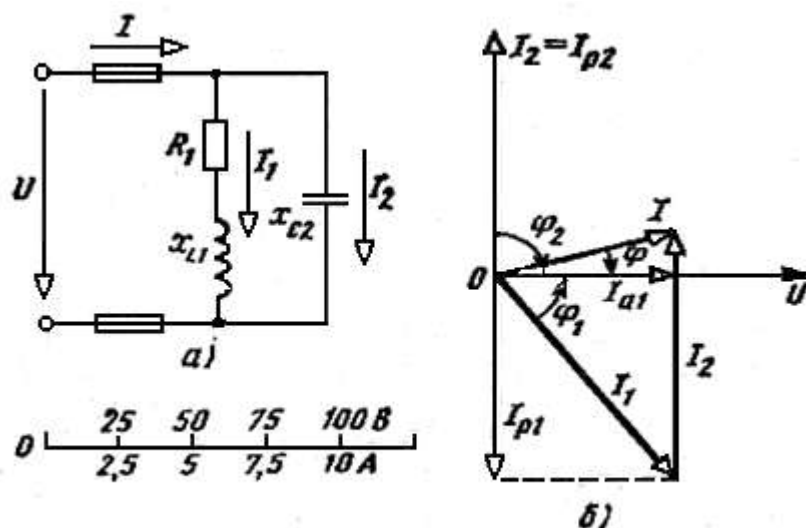


Рис. 4

Решение: 1 Определяем токи в ветвях:

$$I_1 = \frac{U}{\sqrt{R_1^2 + X_{L_1}^2}} = \frac{100}{\sqrt{6^2 + 8^2}} = 10 \text{ А;}$$

$$I_2 = \frac{U}{X_{C_2}} = \frac{100}{10} = 10 \text{ А.}$$

2. Углы сдвига фаз в ветвях находим по синусам углов во избежание потери знака угла:

$$\sin \varphi_1 = \frac{X_{L1}}{Z_1} = \frac{8}{\sqrt{6^2 + 8^2}} = 0,8; \quad \varphi = 53^\circ 10'.$$

Так как $\varphi_1 > 0$, то напряжение опережает ток,

$$\sin \varphi_2 = -\frac{X_{C2}}{Z_2} = -\frac{10}{10} = -1,0; \quad \varphi_2 = -90^\circ,$$

т. е. напряжение отстает от тока, так как $\varphi_2 < 0$. По таблицам Брадиса находим $\cos \varphi_1 = \cos 53^\circ 10' = 0,6$; $\cos \varphi_2 = 0$.

3. Определяем активные и реактивные составляющие токов в ветвях:

$$\begin{aligned} I_{a1} &= I_1 \cos \varphi_1 = 10 \cdot 0,6 = 6 \text{ А}; \\ I_{p1} &= I_1 \sin \varphi_1 = 10 \cdot 0,8 = 8 \text{ А}; \\ I_{a1} &= 0; \quad I_{p2} = 10(-1,0) = -10 \text{ А}. \end{aligned}$$

4. Определяем ток в неразветвленной части цепи:

$$I = \sqrt{(I_{a1} + I_{a2})^2 + (I_{p1} + I_{p2})^2} = \sqrt{(6 + 0)^2 + (8 - 10)^2} = 6,33 \text{ А}.$$

5. Определяем коэффициент мощности всей цепи:

$$\cos \varphi = \frac{I_{a1} + I_{a2}}{I} = \frac{6 + 0}{6,33} = 0,95;$$

6. Определяем активные и реактивные мощности ветвей и всей цепи:

$$\begin{aligned} P_1 &= UI_1 \cos \varphi_1 = 100 \cdot 10 \cdot 0,6 = 600 \text{ Вт}; \\ P_2 &= 0; \quad P = P_1 + P_2 = 600 \text{ Вт}; \\ Q_{p1} &= UI_1 \sin \varphi_1 = 100 \cdot 10 \cdot 0,8 = 800 \text{ вар}; \\ Q_{p2} &= UI_2 \sin \varphi_2 = 100 \cdot 10 \cdot (-1,0) = -1000 \text{ вар}; \\ Q &= Q_1 + Q_2 = 800 - 1000 = -200 \text{ вар}. \end{aligned}$$

Внимание! Реактивная мощность ветви с емкостью отрицательная, так как $\varphi_2 < 0$.

7. Определяем полную мощность цепи:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{600^2 + 200^2} = 633 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

Ток в неразветвленной части цепи можно определить значительно проще, без разложения токов на составляющие, зная полную мощность цепи и напряжение:

$$I = \frac{S}{U} = \frac{633}{100} = 6,33 \text{ А}.$$

8. Для построения векторной диаграммы задаёмся масштабом по току: в 1 см — 2,5 А и масштабом по напряжению: в 1 см — 25 В. Построение начинаем с вектора напряжения U (рис. 4, б). Под углом φ_1 к нему (в сторону отставания) откладываем в масштабе вектор тока I_1 , под углом φ_2 (в сторону опережения) — вектор тока I_2 . Геометрическая сумма этих токов равна току в неразветвленной части цепи. На диаграмме показаны также проекции векторов токов на вектор напряжения (активная составляющая I_{a1}) и вектор, перпендикулярный ему (реактивные составляющие I_{p1} и I_{p2}). При отсутствии конденсатора реактивная мощность первой ветви не компенсировалась бы и ток в цепи увеличился бы до $I = I_1 = 10 \text{ А}$.

Методические указания к решению задач 5 – 14

Решение задач этой группы требует знания учебного материала темы 1.6, отчетливого представления об особенностях соединения источников и потребителей в звезду и треугольник, соотношениях между линейными и фазными величинами при таких соединениях, а также умения строить векторные диаграммы при симметричной и несимметричной нагрузках. Содержание задач и схемы цепей приведены в условиях задач, а данные к ним — в соответствующих таблицах. Для пояснения общей методики решения задач на трехфазные цепи, включая построение векторных диаграмм, рассмотрены типовые примеры 5— 10.

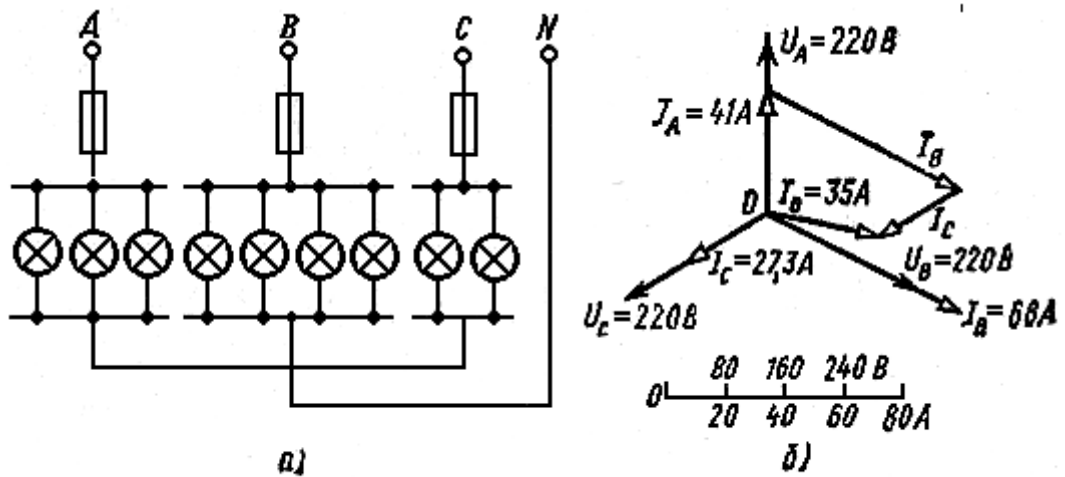


Рис. 5

Пример 5. В трехфазную четырехпроводную сеть включены звездой лампы накаливания мощностью $P=300$ Вт каждая. В фазу А включили 30 ламп, в фазу В — 50 ламп и в фазу С — 20 ламп. Линейное напряжение сети $U_{\text{ном}}=380$ В (рис. 5, а). Определить токи в фазах и начертить векторную диаграмму цепи, из которой найти числовое значение тока в нулевом проводе.

Решение: 1. Определяем фазные напряжения установки:

$$U_A = U_B = U_C = \frac{U_{\text{ном}}}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ В.}$$

2. Находим фазные токи:

$$I_A = \frac{P}{U_A} = \frac{9000}{220} = 41 \text{ А}; \quad I_B = \frac{P}{U_B} = \frac{17000}{220} = 68 \text{ А}; \\ I_C = \frac{P}{U_C} = \frac{4000}{220} = 27,3 \text{ А.}$$

3. Для построения векторной диаграммы выбираем масштабы по току: 1 см — 20 А и по напряжению: 1 см — 80 В. Построение диаграммы начинаем с векторов фазных напряжений U_A, U_B, U_C (рис. 5, б), располагая их под углом 120° друг относительно друга. Чередование фаз обычное: за фазой А — фаза В, за фазой В — фаза С. Лампы накаливания являются активной нагрузкой, поэтому ток в каждой фазе совпадает с соответствующим фазным напряжением. В фазе А ток $I_A = 41$ А, поэтому на диаграмме он выразится вектором, длина которого равна $41/20=2,05$ см. Длина вектора фазного напряжения U_A составит $220/80=2,75$ см. Аналогично строим векторы токов и напряжений в остальных фазах. Ток I_n в нулевом проводе является геометрической суммой всех фазных токов. Измеряя длину вектора тока I_n в нулевом проводе, получаем 1,75 см, поэтому $I_n = 1,75 \cdot 20 = 35$ А. Векторы линейных напряжений на диаграмме не показаны, чтобы не усложнять чертеж.

Пример 6. В трехфазную четырехпроводную сеть включили звездой несимметричную нагрузку: в фазу А — конденсатор с емкостным сопротивлением $X_A = 10 \text{ Ом}$; в фазу В — активное сопротивление $R_B = 8 \text{ Ом}$ и индуктивное $X_B = 6 \text{ Ом}$, в фазу С — активное сопротивление $R_C = 5 \text{ Ом}$. Линейное напряжение сети $U_{\text{ном}}=380$ В. Определить фазные токи, начертить в масштабе векторную диаграмму цепи и найти графически ток в нулевом проводе. Схема цепи дана на рис. 6, а.

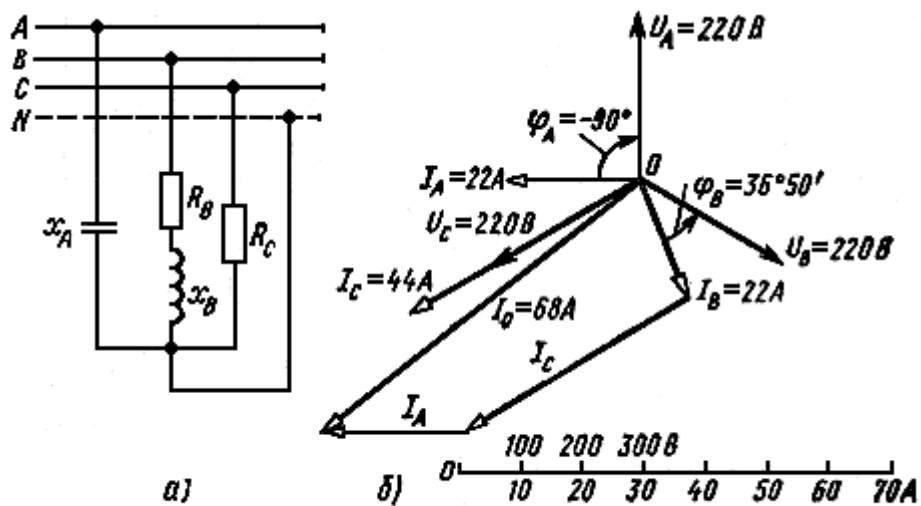


Рис. 6

Решение: 1 Определяем фазные напряжения установки:

$$U_A = U_R = U_C = \frac{U_{\text{линейн}}}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ В.}$$

2. Находим фазные токи:

$$I_A = \frac{U_A}{Z_A} = \frac{220}{10} = 22 \text{ А; } I_R = \frac{U_R}{Z_R} = \frac{220}{10} = 22 \text{ А;}$$

Здесь

$$Z_R = \sqrt{R_R^2 + X_R^2} = \sqrt{8^2 + 6^2} = 10 \text{ Ом;}$$

$$I_C = \frac{U_C}{X_C} = \frac{220}{5} = 44 \text{ А.}$$

Для построения векторной диаграммы выбираем масштабы по току: 1 см — 10 А и по напряжению: 1 см — 100 В. Построение диаграммы начинаем с векторов фазных напряжений U_A, U_R, U_C , располагая их под углом 120° друг относительно друга (рис. 6, б). Ток I_A опережает напряжение U_A на угол 90° ; ток I_R отстает от напряжения U_R на угол 90° ; который определяется из выражения:

$$\cos \varphi_R = \frac{R_R}{Z_R} = \frac{8}{10} = 0,8; \quad \varphi_R = 53^\circ 10'.$$

Ток I_C совпадает с напряжением U_C . Ток в нулевом проводе равен геометрической сумме трех фазных токов. Измеряя длину вектора тока I_0 которая оказалась равной 6,8 см, находим ток $I_0 = 68 \text{ А}$.

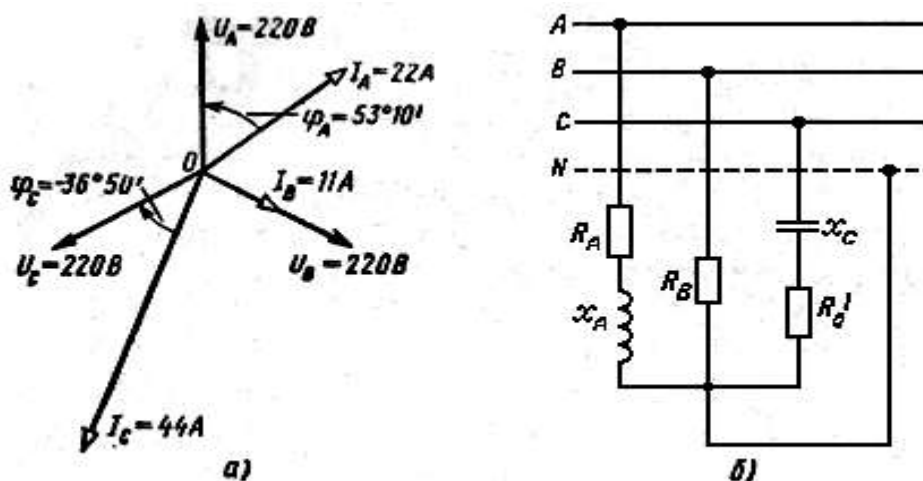


Рис. 7

Пример 7. По заданной векторной диаграмме для трехфазной цепи (рис. 7, а) определить характер нагрузки каждой фазы и вычислить её сопротивление. Начертить соответствующую схему цепи. Нагрузка включена в звезду. Определить активную и реактивную мощности, потребляемые цепью. Значения напряжений, токов и фазных углов приведены на диаграмме. Векторы линейных напряжений не показаны.

Решение: 1. Рассматривая векторную диаграмму, можно заметить, что ток в фазе А отстает от фазного напряжения U_A на угол $\varphi_A = 53^\circ 10'$, значит в фазу А включена катушка с полным сопротивлением

$$Z_A = \frac{U_A}{I_A} = \frac{220}{22} = 10 \text{ Ом.}$$

Ее активное и индуктивное сопротивления вычисляем по формулам:

$$R_A = Z_A \cos \varphi_A = 10 \cos 53^\circ 10' = 10 \cdot 0,6 = 6 \text{ Ом;}$$

$$X_A = Z_A \sin \varphi_A = 10 \sin 53^\circ 10' = 10 \cdot 0,8 = 8 \text{ Ом;}$$

В фазе В ток I_B совпадает с напряжением U_B , значит в фазу В включено активное сопротивление

$$R_B = \frac{U_B}{I_B} = \frac{220}{11} = 20 \text{ Ом.}$$

В фазе С ток I_C опережает напряжение U_C на угол $\varphi_C = -36^\circ 50'$, значит в фазу С включены конденсатор и активное сопротивление. Полное сопротивление фазы

$$Z_C = \frac{U_C}{I_C} = \frac{220}{44} = 5 \text{ Ом}$$

Определим активное и емкостное сопротивления:

$$R_C = Z_C \cos \varphi_C = 5 \cos(-36^\circ 50') = 5 \cdot 0,8 = 4 \text{ Ом;}$$

$$X_C = Z_C \sin \varphi_C = 5 \sin(-36^\circ 50') = -5 \cdot 0,6 = -3 \text{ Ом;}$$

Схема цепи приведена на рис. 7, б.

2. Определяем мощности, потребляемые цепью.

Активная мощность

$$P = P_A + P_B + P_C = I_A^2 R_A + I_B^2 R_B + I_C^2 R_C = \\ = 22^2 \cdot 6 + 11^2 \cdot 20 + 44^2 \cdot 4 = 13068 \text{ Вт} = 13,068 \text{ кВт;}$$

Реактивная мощность

$$Q = Q_A - Q_C = I_A^2 X_A - I_C^2 X_C = \\ = 22^2 \cdot 8 - 44^2 \cdot 3 = -9680 \text{ вар} = -9,680 \text{ квар.}$$

Знак минус показывает, что в цепи преобладает емкость.

Пример 8. В трехфазную сеть включили треугольником несимметричную нагрузку (рис. 8, а): в фазу АВ — конденсатор с емкостным сопротивлением $X_{AB} = 10 \text{ Ом}$; в фазу ВС — катушку с активным сопротивлением $R_{BC} = 4 \text{ Ом}$ и индуктивным $X_{BC} = 3 \text{ Ом}$; в фазу СА — активное сопротивление $R_{CA} = 10 \text{ Ом}$. Линейное напряжение сети $U_{НОМ} = 220 \text{ В}$. Определить фазные токи, углы сдвига фаз и начертить в масштабе векторную диаграмму цепи. По векторной диаграмме определить числовые значения линейных токов.

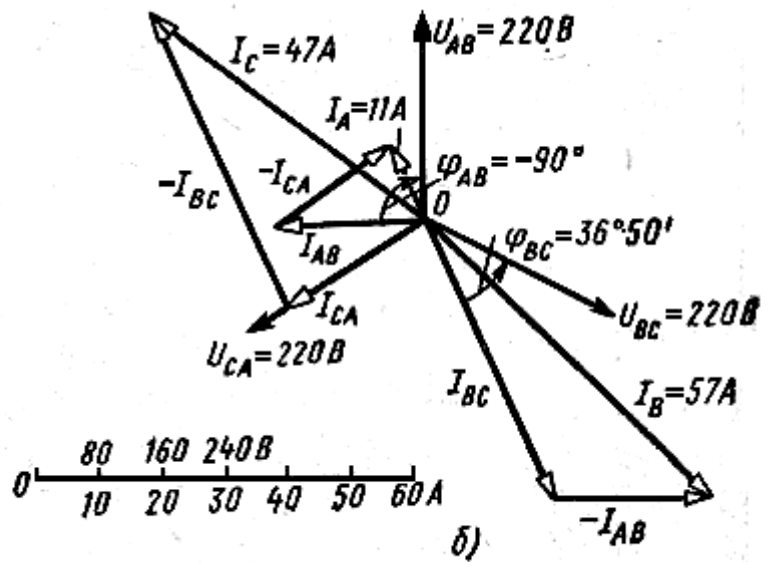
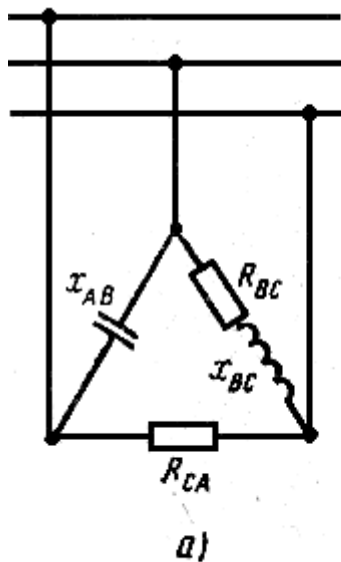


Рис. 8

Решение: 1. Определяем фазные токи и углы сдвига фаз:

$$I_{AR} = \frac{U_{AB}}{Z_{AR}} = \frac{220}{10} = 22 \text{ A}; \quad \varphi_{AR} = -90^\circ;$$

$$I_{BR} = \frac{U_{BC}}{Z_{BR}} = \frac{220}{5} = 44 \text{ A};$$

$$\cos \varphi_{BR} = \frac{R_{BR}}{Z_{BR}} = \frac{4}{5} = 0,8; \quad \text{где } Z_{BR} = \sqrt{R_{BR}^2 + X_{BR}^2} = \sqrt{4^2 + 3^2} = 5 \text{ Ом.}$$

Отсюда угол $\varphi_{BR} = 36^\circ 50'$,

$$I_{CR} = \frac{U_{CA}}{Z_{CR}} = \frac{220}{10} = 22 \text{ A}; \quad \varphi_{CR} = 0;$$

Для построения векторной диаграммы выбираем масштаб по току: 1 см – 10 А, по напряжению: 1 см — 80 В. Затем в принятом масштабе откладываем векторы фазных (они же линейные) напряжений U_{AR} , U_{BR} , U_{CR} под углом 120° друг относительно друга (рис. 8, б). Под углом $\varphi_{AR} = -90^\circ$ к вектору напряжения U_{AR} откладываем вектор тока I_{AR} ; фазе ВС вектор тока I_{BR} должен отставать от вектора напряжения U_{BR} на угол $\varphi_{BR} = 36^\circ 50'$, а в фазе СА вектор тока I_{CR} совпадает с вектором напряжения U_{CR} . Затем строим векторы линейных токов на основании известных уравнений:

$$I_A = I_{AR} - I_{CR} = I_{AR} + (-I_{CR}); \quad I_B = I_{BR} + (-I_{AR}); \quad I_C = I_{CR} + (-I_{BR});$$

Измеряя длины векторов линейных токов и пользуясь принятым масштабом, находим значения линейных токов:

$$I_A = 11 \text{ A}; \quad I_B = 57 \text{ A}; \quad I_C = 47 \text{ A}.$$

Пример 9. По векторной диаграмме для трехфазной цепи (рис. 9, а) определить характер нагрузки в каждой фазе, вычислить ее сопротивление и начертить схему включения. Нагрузка несимметричная, соединена в треугольник. Значения напряжений, фазных токов и углов сдвига фаз указаны на диаграмме.

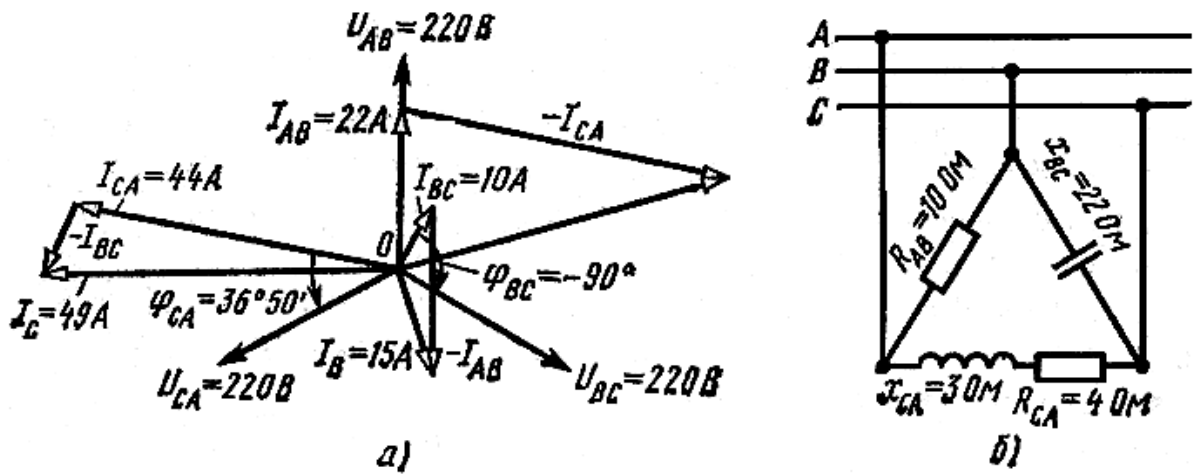


Рис. 9

Решение: 1. Рассматривая векторную диаграмму, можно заключить, что ток I_{AB} в фазе АВ совпадает с напряжением U_{AB} , значит в фазу АВ включено активное сопротивление

$$R_{AB} = \frac{U_{AB}}{I_{AB}} = \frac{220}{22} = 10 \text{ Ом.}$$

В фазе ВС ток I_{BC} опережает напряжение на угол $\varphi_{BC} = -90^\circ$, значит в фазу ВС включено емкостное сопротивление

$$X_{BC} = \frac{U_{BC}}{I_{BC}} = \frac{220}{10} = 22 \text{ Ом.}$$

В фазе СА ток I_{CA} отстает от напряжения U_{CA} на угол $\varphi_{CA} = 36^\circ 50'$, значит в фазу СА включено активно-индуктивное сопротивление

$$Z_{CA} = \frac{U_{CA}}{I_{CA}} = \frac{220}{44} = 5 \text{ Ом.}$$

Очевидно,

$$R_{CA} = Z_{CA} \cos \varphi_{CA} = 5 \cos 36^\circ 50' = 5 \cdot 0,8 = 4 \text{ Ом};$$

$$X_{CA} = Z_{CA} \sin \varphi_{CA} = 5 \sin 36^\circ 50' = 5 \cdot 0,6 = 3 \text{ Ом.}$$

2. На основании вычислений чертим схему цепи (рис. 9, б).

Пример 10. В трехфазную четырехпроводную сеть включены печь сопротивления, представляющая собой симметричную нагрузку, соединенную треугольником, и несимметричная осветительная нагрузка в виде ламп накаливания, соединенных звездой (рис. 10, а). Мощность каждой фазы печи $P_{п} = 10 \text{ кВт}$. Мощность каждой лампы $P_{л} = 200 \text{ Вт}$; число ламп в фазах $n_A = 50$; $n_B = 40$; $n_C = 30$. Номинальное напряжение сети $U_{ном} = 380 \text{ В}$. Определить показания всех приборов, включенных в схему.

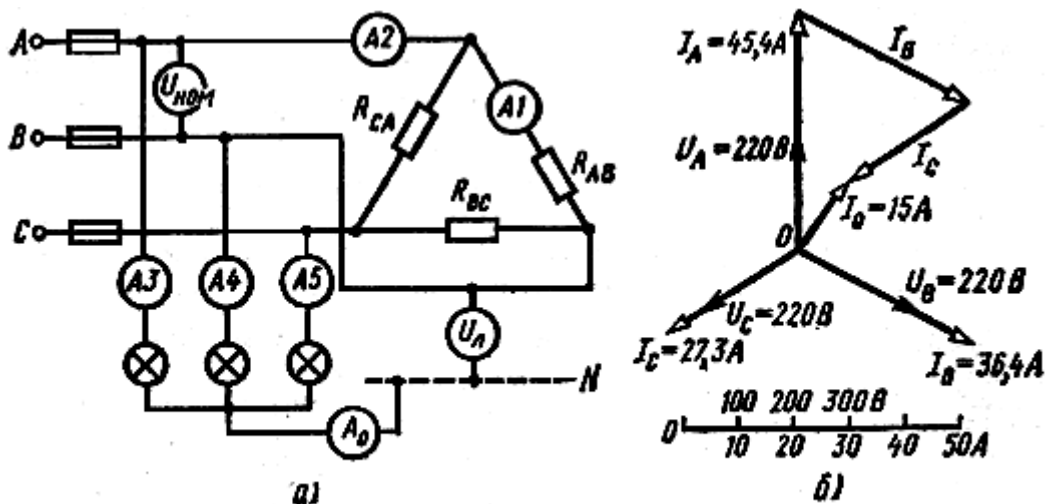


Рис. 10

Решение: 1. Находим фазные токи, потребляемые печью:

$$I_{AR} = I_{RC} = I_{CA} = \frac{U_{НОМ1}}{\sqrt{3} R} = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 100} = 26,3 \text{ А.}$$

Таким образом, амперметр А1 покажет силу тока 26,3 А.

2. Линейные токи, потребляемые симметричной нагрузкой, превышают фазные в $\sqrt{3}$ раза, т. е. $I_A = I_B = I_C = \sqrt{3} \cdot 26,3 = 45,5 \text{ А}$. Это значение покажет амперметр А2.

3. Определяем фазные токи, потребляемые лампами. Лампы соединены звездой и включены на фазные напряжения

$$U_A = U_B = U_C = \frac{U_{НОМ2}}{\sqrt{3}} = \frac{400}{\sqrt{3}} = 220 \text{ В.}$$

Это напряжение покажет вольтметр V_л. Поэтому фазные токи

$$I_A = \frac{U_A}{R} = \frac{220}{5} = 44 \text{ А; } I_B = \frac{U_B}{R} = \frac{220}{6} = 36,4 \text{ А;}$$

$$I_C = \frac{U_C}{R} = \frac{220}{8} = 27,3 \text{ А.}$$

Амперметры А3, А4, А5, включенные в линейные провода, соответственно покажут эти токи.

4. Для определения тока в нулевом проводе I_0 начертим в масштабе векторную диаграмму цепи, где включены лампы. Выбираем масштаб для напряжений и токов: 1 см — 100 В; 1 см — 10 А. Затем в принятом масштабе откладываем векторы фазных напряжений U_A , U_B и U_C располагая их под углом 120° друг относительно друга (рис. 10, б). Чередование фаз обычное: за фазой А — фаза В, за фазой В — фаза С. Лампы накаливания являются активной нагрузкой, поэтому ток в каждой фазе совпадает с соответствующим фазным напряжением. В фазе А ток $I_A = 45,4 \text{ А}$, поэтому на диаграмме он выразится вектором, длина которого равна $45,4 : 10 = 4,54 \text{ см}$; длина вектора фазного напряжения U_A составит: $220 : 100 = 2,2 \text{ см}$. Аналогично строим векторы токов и напряжений в остальных фазах. Ток I_0 в нулевом проводе определяется геометрической суммой всех трёх фазных токов. Измеряя длину вектора тока I_0 , которая оказалась равной 1,5 см, получим значение тока в нулевом проводе $I_0 = 15 \text{ А}$. Векторы линейных напряжений на диаграмме не показаны, чтобы не усложнять чертеж.

Методические указания к решению задач 1 – 7 К.Р.№2

Пример 11. Трехфазный трансформатор имеет следующие номинальные характеристики: $S_{НОМ} = 1000 \text{ кВ} \cdot \text{А}$, $U_{НОМ1} = 10 \text{ кВ}$, $U_{НОМ2} = 400 \text{ В}$. Потери в стали

$P_{CT} = 2,45 \text{ кВт}$, потери в обмотках $P_{0.НОМ} = 12,2 \text{ кВт}$. Первичные обмотки соединены в треугольник, вторичные — в звезду. Сечение магнитопровода $Q = 450 \text{ см}^2$, амплитуда магнитной индукции в нем $B_m = 1,5 \text{ Тл}$. Частота тока в сети $f = 50 \text{ Гц}$. От трансформатора потребляется активная мощность $P_2 = 810 \text{ кВт}$ при коэффициенте мощности $\cos \varphi_2 = 0,9$. Определить: 1) номинальные токи в обмотках и токи при фактической нагрузке; 2) числа витков обмоток; 3) к. п. д. трансформатора при номинальной и фактической нагрузках.

Решение: 1. Номинальные токи в обмотках:

$$I_{НОМ1} = \frac{S_{НОМ}}{\sqrt{3} U_{НОМ1}} = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 10000} = 58 \text{ А};$$

$$I_{НОМ2} = \frac{S_{НОМ}}{\sqrt{3} U_{НОМ2}} = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 400} = 1445 \text{ А}.$$

2. Коэффициент нагрузки трансформатора

$$k_H = \frac{P_2}{S_{НОМ}} = \frac{810}{10000} = 0,9.$$

3. Токи в обмотках при фактической нагрузке

$$I_1 = k_H I_{НОМ1} = 0,9 \cdot 58 = 52 \text{ А}; I_2 = k_H I_{НОМ2} = 0,9 \cdot 1445 = 1300 \text{ А}.$$

4. Фазные э. д. с, наводимые в обмотках. Первичные обмотки соединены в треугольник, а вторичные – в звезду, поэтому, пренебрегая падением напряжения в первичной обмотке, считаем

$$E_{1\Phi} \approx U_{НОМ1} = 10000 \text{ В}; E_{2\Phi} \approx \frac{U_{НОМ2}}{\sqrt{3}} = \frac{400}{\sqrt{3}} = 230 \text{ В}.$$

5. Числа витков обеих обмоток находим из формулы

$$E_{1\Phi} = 4,44 f \omega_1 \Phi_m = 4,44 f \omega_1 B_m Q,$$

откуда

$$\omega_1 = \frac{E_{1\Phi}}{4,44 f \omega_1 B_m Q} = \frac{10000}{4,44 \cdot 50 \cdot 1,5 \cdot 0,045} = 667.$$

Здесь $Q = 450 \text{ см}^2 = 0,045 \text{ м}^2$

$$\omega_2 = \frac{\omega_1 E_{2\Phi}}{E_{1\Phi}} = \frac{667 \cdot 230}{10000} = 15,3.$$

6. К. п. д. трансформатора при номинальной нагрузке

$$\eta_{НОМ} = \frac{S_{НОМ} \cos \varphi_2 \cdot 100}{S_{НОМ} \cos \varphi_2 + P_{CT} + P_{0.НОМ}} = \frac{10000 \cdot 0,9 \cdot 100}{10000 \cdot 0,9 + 2,45 + 12,2} = 98,4\%.$$

7. К. п. д. трансформатора при фактической нагрузке

$$\eta = \frac{k_H S_{НОМ} \cos \varphi_2 \cdot 100}{k_H S_{НОМ} \cos \varphi_2 + P_{CT} + k_H^2 P_{0.НОМ}}$$

$$= \frac{0,9 \cdot 10000 \cdot 0,9 \cdot 100}{0,9 \cdot 10000 \cdot 0,9 + 2,45 + 0,9^2 \cdot 12,2} = 98,5\%.$$

Пример 12. Однофазный понижающий трансформатор номинальной мощностью $S_{НОМ} = 500 \text{ В} \cdot \text{А}$ служит для питания ламп местного освещения металлорежущих станков. Номинальные напряжения обмоток $U_{НОМ1} = 380 \text{ В}$; $U_{НОМ2} = 24 \text{ В}$. К трансформатору присоединены десять ламп накаливания мощностью 40 Вт каждая, их коэффициент мощности $\cos \varphi_2 = 1,0$. Магнитный поток в магнитопроводе $\Phi_m = 0,005 \text{ Вб}$. Частота тока в сети $f = 50 \text{ Гц}$. Потерями в трансформаторе пренебречь. Определить: 1) номинальные токи в обмотках; 2) коэффициент нагрузки трансформатора; 3) токи в обмотках при действительной нагрузке; 4) числа витков обмоток; 5) коэффициент трансформации.

Решение: 1. Номинальные токи в обмотках:

$$I_{НОМ1} = \frac{S_{НОМ}}{U_{НОМ1}} = \frac{500}{380} = 1,32 \text{ А};$$

$$I_{\text{НОМ}2} = \frac{P_2}{U_2} = \frac{10 \cdot 40}{200} = 20,8 \text{ А.}$$

2. Коэффициент нагрузки трансформатора:

$$k_H = \frac{P_2}{S_{\text{НОМ}} \cos \varphi_2} = \frac{10 \cdot 40}{500 \cdot 1,0} = 0,8.$$

3. Токи в обмотках при действительной нагрузке:

$$I_1 = k_H I_{\text{НОМ}1} = 0,8 \cdot 1,32 = 1,06 \text{ А}; \quad I_2 = k_H I_{\text{НОМ}2} = 0,8 \cdot 20,8 = 16,6 \text{ А}$$

4. При холостом ходе $E_1 \approx U_{\text{НОМ}1}$; $E_2 = U_{\text{НОМ}2}$. Число витков обмоток находим из формулы

$$E = 4,44 f \omega \Phi_m$$

Тогда

$$\omega_1 = \frac{E_1}{4,44 f \Phi_m} = \frac{380}{4,44 \cdot 50 \cdot 0,005} = 340 \text{ витков.}$$

$$\omega_2 = \frac{E_2}{4,44 f \Phi_m} = \frac{24}{4,44 \cdot 50 \cdot 0,005} = 22 \text{ витка.}$$

5. Коэффициент трансформации

$$K = \frac{E_1}{E_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{340}{22} = 15,5.$$

Пример 13. Предприятие потребляет активную мощность $P_2 = 1550$ кВт при коэффициенте мощности $\cos \varphi_2 = 0,72$. Энергосистема предписала уменьшить потребляемую реактивную мощность до 450 квар. Определить: 1) необходимую мощность конденсаторной батареи и выбрать ее тип; 2) необходимую трансформаторную мощность и коэффициент нагрузки в двух случаях: а) до установки батареи; б) после установки батареи. Выбрать тип трансформатора. Номинальное напряжение сети 10 кВ.

Решение: 1. Необходимая трансформаторная мощность до установки конденсаторов

$$S_{\text{ТР}} = \frac{P_2}{\cos \varphi_2} = \frac{1550}{0,72} = 2153 \text{ кВ} \cdot \text{А.}$$

По табл. 18 выбираем трансформатор типа ТМ-2500/10 с номинальной мощностью 2500 кВ · А. Коэффициент нагрузки

$$k_H = \frac{2153}{2500} = 0,86.$$

2. Необходимая предприятию реактивная мощность

$$Q = S_{\text{ТР}} \sin \varphi_2 = 2153 \cdot 0,693 = 1492 \text{ квар.}$$

Здесь $\sin \varphi_2 = 0,693$ находим по таблицам Брадиса, зная $\cos \varphi_2$.

3. Необходимая мощность конденсаторной батареи

$$Q_B = Q - Q_3 = 1492 - 450 = 1042 \text{ квар.}$$

По табл. 19 выбираем комплектные конденсаторные установки типа УК-0,38 — 540Н мощностью 540 квар в количестве 2 шт. Общая реактивная мощность составит $Q'_B = 2 \cdot 540 = 1080$ квар, что близко к необходимой мощности 1042 квар.

4. Некомпенсированная реактивная мощность

$$Q_{\text{НСК}} = Q - Q'_B = 1492 - 1080 = 412 \text{ квар}$$

5. Необходимая трансформаторная мощность

$$S'_{\text{ТР}} = \sqrt{P_2^2 + Q_{\text{НСК}}^2} = \sqrt{1550^2 + 412^2} = 1604 \text{ кВ} \cdot \text{А.}$$

Принимаем к установке один трансформатор ТМ-1600/10 мощностью 1600 кВ · А. Его коэффициент нагрузки составит:

$$k_H = \frac{1604}{1600} \approx 1,0.$$

Таким образом, компенсация реактивной мощности позволила значительно уменьшить установленную трансформаторную мощность.

Методические указания к решению задач 8 – 17

Задачи данной группы относятся к теме «Электрические машины переменного тока». Для их решения необходимо знать устройство и принцип действия асинхронного двигателя и зависимости между электрическими величинами, характеризующими его работу.

Ряд возможных синхронных частот вращения магнитного поля статора при частоте 50 Гц: 3000, 1500, 1000, 750, 600 об/мин и т. д. При частоте вращения ротора, например, 950 об/мин из этого ряда выбираем ближайшую к ней частоту вращения поля $n_1 = 1000$ об/мин. Тогда можно определить скольжение ротора, даже не зная числа пар полюсов двигателя:

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} = \frac{1000 - 950}{1000} = 0,05.$$

Из формулы для скольжения можно определить частоту вращения ротора $n_2 = n_1(1 - s)$

В настоящее время промышленность выпускает асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором серии 4 А мощностью от 0,06 до 400 кВт (табл. 20). Обозначение типа электродвигателя расшифровывается так: 4 – порядковый номер серии; X – алюминиевая оболочка и чугунные щиты (отсутствие буквы X означает, что корпус полностью выполнен из чугуна); В – двигатель встроен в оборудование; Н – исполнение защищённое 1Р23, для закрытых двигателей исполнения 1Р44 обозначение защиты не приводится; Р – двигатель с повышенным пусковым моментом; С – сельскохозяйственного назначения; цифра после буквенного обозначения показывает высоту оси вращения в мм (100, 112 и т.д.); буквы S, M, L – после цифр - установочные размеры по длине корпуса (S – станина самая короткая; M – промежуточная; L – самая длинная); цифра после установочного размера – число полюсов; буква У – климатическое исполнение (для умеренного климата); последняя цифра – категория размещения: 1 – работы на открытом воздухе, 3 – для закрытых неотопливаемых помещений.

В обозначениях типов двухскоростных двигателей после установочного размера указывают через дробь оба числа полюсов, например 4А160S4/2У3. Здесь цифры 4 и 2 означают, что в двигателе образуются 4 или 2 полюса.

Пример 14. Расшифровать условное обозначение двигателя **4А250S4У3**.

Решение: Это двигатель четвертой серии, асинхронный, корпус полностью чугунный (нет буквы X), высота оси вращения 250 мм, размеры корпуса по длине S (самый короткий), четырехполюсный, для умеренного климата, третья категория размещения.

Пример 15. Трёхфазный асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором типа 4АР160S6У3 имеет номинальные данные: мощность $P_{НОМ} = 11$ кВт; напряжение $U_{НОМ} = 380$ В; частота вращения ротора $n_2 = 975$ об/мин; к. п. д. $\eta_{НОМ} = 0,855$; коэффициент мощности $\cos \varphi_{НОМ} = 0,83$; кратность пускового тока $I_{П}/I_{НОМ} = 7$; кратность пускового момента $M_{П}/M_{НОМ} = 2,2$ способность к перегрузке $M_{max}/M_{НОМ} = 2,2$. Частота тока в сети $f_1 = 50$ Гц.

Определить: 1) потребляемую мощность; 2) номинальный, пусковой и максимальный моменты; 3) номинальный и пусковой токи; 4) номинальное скольжение;

5) частоту тока в роторе; 6) суммарные потери в двигателе. Расшифровать его условное обозначение.

Можно ли осуществить пуск двигателя при номинальной нагрузке, если напряжение в сети при пуске снизилось на 20%?

Решение: 1. Мощность, потребляемая из сети

$$P_1 = \frac{P_{\Pi}}{\eta_{\text{НОМ}}} = \frac{11}{0,855} = 12,86 \text{ кВт.}$$

2. Номинальный момент, развиваемый двигателем:

$$M = \frac{9,55 P_{\text{НОМ}}}{n_2} = \frac{9,55 \cdot 11 \cdot 1000}{975} = 107,7 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

3. Максимальный и пусковой моменты:

$$M_{\text{max}} = 2,2 M_{\text{НОМ}} = 2,2 \cdot 107,7 = 237 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{\Pi} = 2 M_{\text{НОМ}} = 2 \cdot 107,7 = 215,4 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

4. Номинальный и пусковой токи:

$$P_1 = \frac{P_{\text{НОМ}} \cdot 1000}{\sqrt{3} U_{\text{НОМ}} \eta_{\text{НОМ}} \cos \varphi_{\text{НОМ}}} = \frac{11 \cdot 1000}{1,73 \cdot 380 \cdot 0,855 \cdot 0,83} = 23,6 \text{ А};$$

$$I_{\Pi} = 7,0 I_{\text{НОМ}} = 7,0 \cdot$$

5. Номинальное скольжение:

$$S_{\text{НОМ}} = \frac{n_1 - n_2}{n_1} = \frac{1000 - 975}{1000} = 0,025 = 25\%.$$

6. Частота тока в роторе:

$$f_2 = f_1 S = 50 \cdot 0,025 = 1,25 \text{ Гц.}$$

7. Условное обозначение двигателя расшифровываем так: двигатель четвертой серии, асинхронный, с повышенным скольжением (буква Р), высота оси вращения 160 мм, размеры корпуса по длине S (самый короткий), шестиполюсный, для умеренного климата, третья категория размещения.

8. При снижении напряжения в сети на 20% на выводах двигателя остается напряжение $0,8 U_{\text{НОМ}}$. Так как момент двигателя пропорционален квадрату напряжения, то

$$\frac{M'_{\Pi}}{M_{\Pi}} = \frac{(0,8 U_{\text{НОМ}})^2}{U_{\text{НОМ}}^2} = 0,64.$$

Отсюда

$$M'_{\Pi} = 0,64 M_{\Pi} = 0,64 \cdot 215,4 = 138 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

что больше $M_{\text{НОМ}} = 107,7 \text{ Н} \cdot \text{м}$. Таким образом пуск двигателя возможен.

Пример 16. Каждая фаза обмотки статора трехфазного асинхронного двигателя с фазным ротором имеет число витков $\omega_1 = 150$ и обмоточный коэффициент $k_{\text{о1}} = 0,97$. Амплитуда вращающегося магнитного поля $\Phi_m = 0,006 \text{ Вб}$. Частота тока в сети $f_1 = 50 \text{ Гц}$. Активное сопротивление фазы ротора $R_2 = 0,4 \text{ Ом}$, индуктивное сопротивление фазы неподвижного ротора $x_2 = 4,2 \text{ Ом}$. При вращении ротора с частотой $n_2 = 980 \text{ об/мин}$ в фазе ротора наводится э. д. с. $E_{2\text{с}} = 10 \text{ В}$.

Определить: 1) э. д. с. E_1 в фазе обмотки статора; 2) э. д. с. E_2 в фазе неподвижного ротора; 3) ток в фазе ротора при нормальной работе I_2 и при пуске $I_{2\text{п}}$.

Решение: 1. Э. д. с. в фазе статора

$$E_1 = 4,44 k_{\text{о1}} \omega_1 f_1 \Phi_m = 4,44 \cdot 0,97 \cdot 150 \cdot 50 \cdot 0,006 = 194 \text{ В.}$$

2. При $n_2 = 980 \text{ об/мин}$ частота вращения поля n_1 может быть только 1000 об/мин и скольжение ротора

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} = \frac{1000 - 980}{1000} = 0,02.$$

3. Э. д. с. в фазе неподвижного ротора определяем из формулы $E_{2S} = sE_2$, откуда $E_2 = E_{2S}/s = 10/0,02 = 500$.

4. Ток в фазе ротора при пуске

$$I_{2П} = \frac{E_2}{\sqrt{R_2^2 + x_2^2}} = \frac{500}{\sqrt{0,4^2 + 4,2^2}} = 119 \text{ А.}$$

5. Индуктивное сопротивление фазы ротора при скольжении $s = 0,02$:

$$x_{2S} = x_2 s = 4,2 \cdot 0,02 = 0,084 \text{ Ом.}$$

6. Ток в фазе вращающегося ротора

$$I_2 = \frac{E_{2S}}{\sqrt{R_2^2 + x_{2S}^2}} = \frac{500}{\sqrt{0,4^2 + 0,084^2}} = 24,4 \text{ А.}$$

Методические указания к решению задач 18 – 27

Задачи этой группы относятся к теме «Электрические машины постоянного тока». Для их решения необходимо изучить материал, приведенный в указателе литературы к теме, решить рекомендуемые задачи и ознакомиться с типовыми примерами 17—21. Сведения о некоторых типах машин постоянного тока даны в табл. 22

Необходимо иметь представление о связи между напряжением на выводах U , э. д. с. E и падением напряжения $I_a R_a$ в обмотке якоря для генератора и двигателя: для генератора $E = U + I_a R_a$; для двигателя $U = E + I_a R_a$. Для определения электромагнитного или полного момента, развиваемого двигателем, можно пользоваться формулой, приведенной в учебнике:

$$M_{ЭМ} = \frac{p}{2\pi a} N \Phi I_a.$$

Здесь магнитный поток выражен в веберах (Вб), ток якоря в амперах (А), момент получаем в ньютон-метрах (Н·м). Если магнитный поток машины неизвестен, то электромагнитный момент можно найти, определив из формулы для противо-э. д. с. магнитный поток и подставив его в формулу для $M_{ЭМ}$:

$$E = \frac{pn}{60a} N \Phi, \text{ откуда } \Phi = \frac{60a}{pn} E.$$

$$\text{Тогда } M_{ЭМ} = \frac{60 E I_a}{2\pi n} = \frac{E I_a}{\pi n/30} = \frac{E I_a}{\omega} = \frac{P_{ЭМ}}{\omega}.$$

Здесь $P_{ЭМ} = E I_a$ – электромагнитная мощность, Вт;
 ω – угловая скорость вращения, рад/с.

Аналогично можно вывести формулу для определения полезного номинального момента (на валу):

$$M_{НОМ} = \frac{P_{НОМ}}{\omega_{НОМ}} = \frac{P_{НОМ}}{2\pi n_{НОМ}/60} = \frac{60 P_{НОМ}}{2\pi n_{НОМ}} = 9,55 \frac{P_{НОМ}}{n_{НОМ}}.$$

Здесь $P_{НОМ}$ выражаем в Вт; $M_{НОМ}$ получаем в Н·м.

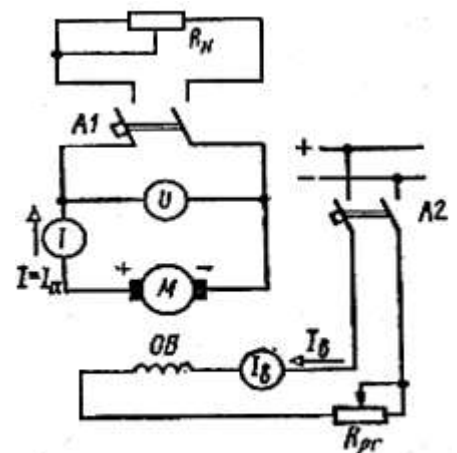


Рис. 88

Пример 17. Генератор с независимым возбуждением (рис. 88) работает в номинальном режиме при напряжении на выводах $U_{НОМ} = 220$ В. Сопротивление обмотки якоря $R_a = 0,2$ Ом; сопротивление нагрузки $R_H = 2,2$ Ом; сопротивление обмотки возбуждения $R_B = 55$ Ом. Напряжение для

питания обмотки возбуждения $U_R = 110 \text{ В}$. Номинальная частота вращения якоря $n_{\text{НОМ}} = 1200 \text{ об/мин}$. Определить: 1) э. д. с. генератора; 2) силу тока, отдаваемого потребителю; 3) силу тока в обмотке возбуждения; 4) полезную мощность, отдаваемую генератором; 5) электромагнитный тормозной момент, преодолеваемый приводным двигателем.

Решение: 1. Ток, отдаваемый в нагрузку:

$$I_H = \frac{U_{\text{НОМ}}}{R_H} = \frac{220}{2,2} = 100 \text{ А.}$$

2. Ток в обмотке возбуждения:

$$I_B = \frac{U_B}{R_B} = \frac{110}{55} = 2 \text{ А.}$$

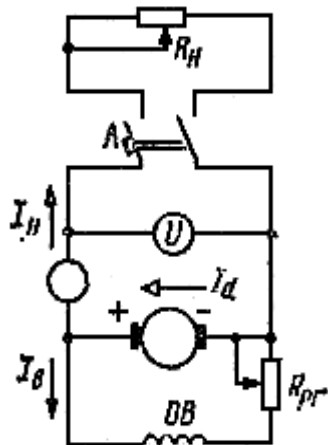


Рис. 89

3. Ток в обмотке якоря:

$$I_a = I_H + I_B = 100 + 2 = 102 \text{ А.}$$

4. Э. д. с. генератора:

$$E = U_{\text{НОМ}} + I_a R_a = 220 + 102 \cdot 0,2 = 240,4 \text{ В.}$$

5. Полезная мощность, отдаваемая генератором:

$$P_2 = U_{\text{НОМ}} I_H = 220 \cdot 100 = 22000 \text{ Вт} = 22 \text{ кВт.}$$

6. Электромагнитная мощность и электромагнитный тормозной момент:

$$P_{\text{ЭМ}} = E I_a = 240,4 \cdot 102 = 24600 \text{ Вт} = 24,6 \text{ кВт.}$$

$$M_{\text{ЭМ}} = \frac{P_{\text{ЭМ}}}{\omega_{\text{НОМ}}} = \frac{P_{\text{ЭМ}}}{2\pi n_{\text{НОМ}}/60} = \frac{24600}{3,14 \cdot 1200/60} = 392 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Пример 18. Генератор с параллельным возбуждением (рис. 89) рассчитан на напряжение $U_{\text{НОМ}} = 220 \text{ В}$ и имеет сопротивление обмотки якоря $R_a = 0,08 \text{ Ом}$, сопротивление обмотки возбуждения $R_B = 55 \text{ Ом}$. Генератор нагружен на сопротивление $R_H = 1,1 \text{ Ом}$. К. п. д. генератора $\eta_G = 0,85$. Определить: 1) токи в обмотке возбуждения I_B , в обмотке якоря I_a и в нагрузке I_H ; 2) э. д. с. генератора E ; 3) полезную мощность P_2 ; 4) мощность двигателя для вращения генератора P_1 ; 5) электрические потери в обмотках якоря P_a и возбуждения P_B ; 6) суммарные потери в генераторе; 7) электромагнитную мощность $P_{\text{ЭМ}}$.

Решение: 1. Токи в обмотке возбуждения, нагрузке и якоря:

$$I_B = \frac{U_{\text{НОМ}}}{R_B} = \frac{220}{55} = 4 \text{ А}; \quad I_H = \frac{U_{\text{НОМ}}}{R_H} = \frac{220}{1,1} = 200 \text{ А};$$

$$I_a = I_B + I_H = 4 + 200 = 204 \text{ А.}$$

2. Э. д. с. генератора

$$E = U_{\text{НОМ}} + I_a R_a = 220 + 204 \cdot 0,08 = 236,3 \text{ В.}$$

3. Полезная мощность

$$P_2 = U_{\text{НОМ}} I_H = 220 \cdot 200 = 44000 \text{ Вт} = 44 \text{ кВт.}$$

4. Мощность приводного двигателя для вращения генератора

$$P_1 = \frac{P_2}{\eta_G} = \frac{44}{0,85} = 52 \text{ кВт}$$

5. Электрические потери в обмотках якоря и возбуждения:

$$P_a = I_a^2 R_a = 204^2 \cdot 0,08 = 3320 \text{ Вт} = 3,32 \text{ кВт};$$

$$P_B = I_B^2 R_B = 4^2 \cdot 55 = 880 \text{ Вт} = 0,88 \text{ кВт}$$

6. Суммарные потери мощности в генераторе

$$\sum P = P_1 - P_2 = 52 - 44 = 8 \text{ кВт.}$$

7. Электромагнитная мощность, развиваемая генератором:

$$P_{ЭМ} = EI_a = 236,3 \cdot 204 = 48300 \text{ Вт} = 48,3 \text{ кВт.}$$

Пример 19. Электродвигатель постоянного тока с параллельным возбуждением (рис. 90) рассчитан на номинальную мощность $P_{НОМ} = 10 \text{ кВт}$ и номинальное напряжение $U_{НОМ} = 220 \text{ В}$. Частота вращения якоря $n = 3000 \text{ об/мин}$. Двигатель потребляет из сети ток $I = 63 \text{ А}$. Сопротивление обмотки возбуждения $R_B = 85 \text{ Ом}$, сопротивление обмотки якоря $R_a = 0,3 \text{ Ом}$. Определить: 1) потребляемую из сети мощность P_1 ; 2) к. п. д. двигателя $\eta_{дв}$; 3) полезный вращающий момент M ; 4) ток якоря I_a ; 5) противо-э. д. с. в обмотке якоря E ; 6) суммарные потери в двигателе $\sum P$; 7) потери в обмотках якоря P_a и возбуждения P_B .

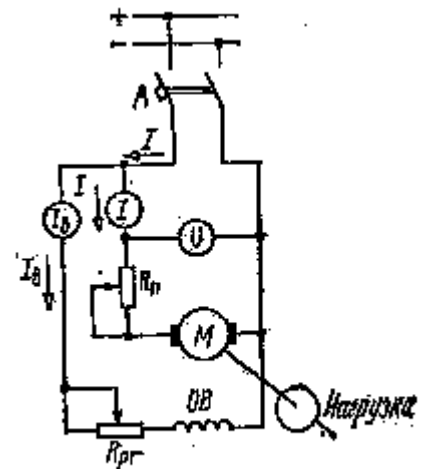


Рис. 90

Решение: 1. Мощность, потребляемая двигателем из сети:

$$P_1 = U_{НОМ}I = 220 \cdot 63 = 13900 \text{ Вт} = 13,9 \text{ кВт.}$$

2. К. п. д. двигателя:

$$\eta_{дв} = \frac{P_{НОМ}}{P_1} = \frac{10}{13,9} = 0,72.$$

3. Полезный вращающий момент (на валу):

$$M = 9,55 \frac{P_{НОМ}}{n} = \frac{9,55 \cdot 10 \cdot 1000}{3000} = 31,9 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

4. Для определения тока якоря предварительно находим ток возбуждения:

$$I_B = \frac{U_{НОМ}}{R_B} = \frac{220}{85} = 2,6 \text{ А}$$

Ток якоря $I_a = I - I_B = 63 - 2,6 = 60,4 \text{ А}$.

5. Противо-э. д. с. в обмотке якоря:

$$E = U_{НОМ} - I_a R_a = 220 - 60,4 \cdot 0,3 = 202 \text{ В.}$$

6. Суммарные потери в двигателе:

$$\sum P = P_1 - P_2 = 13,9 - 10 = 3,9 \text{ кВт.}$$

7. Потери в обмотках якоря и возбуждения:

$$P_a = I_a^2 R_a = 60,4^2 \cdot 0,3 = 1190 \text{ Вт;}$$

$$P_B = U_{НОМ}I_B = 220 \cdot 2,6 = 572 \text{ Вт.}$$

Пример 20. Четырехполюсный двигатель с параллельным возбуждением (рис. 90) присоединен к сети с $U_{НОМ} = 220 \text{ В}$ и потребляет ток $I = 157 \text{ А}$. На якоре находится обмотка с сопротивлением $R_a = 0,0427 \text{ Ом}$ и числом проводников $N = 360$, образующих четыре параллельных ветви ($a = 2$). Сопротивление обмотки возбуждения $R_B = 21,8 \text{ Ом}$. Магнитный поток полюса $\Phi = 0,008 \text{ Вб}$.

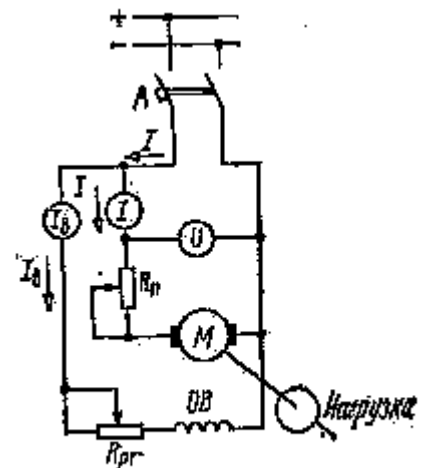


Рис. 90

Определить: 1) токи в обмотках возбуждения I_B и якоря I_a ; 2) противо-э. д. с. E ; 3) электромагнитный момент $M_{ЭМ}$; 4) электромагнитную мощность $P_{ЭМ}$; 5) частоту вращения якоря n ; б) потери в обмотках якоря P_a и возбуждения P_B .

Решение: 1. Токи в обмотках возбуждения и якоря

$$I_B = \frac{U_{НОМ}}{R_B} = \frac{110}{21,8} = 5,05 \text{ А}; \quad I_a = I - I_B = 157 - 5,05 = 151,92 \text{ А.}$$

2. Противо-э. д. с. в обмотке якоря

$$E = U_{НОМ} - I_a R_a = 110 - 151,92 \cdot 0,0427 = 103,5 \text{ В.}$$

3. Электромагнитный момент:

$$M_{ЭМ} = \frac{p}{2\pi a} \Phi N I_a = \frac{2}{2 \cdot 3,14 \cdot 2} 0,008 \cdot 360 \cdot 151,95 = 69,7 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

4. Электромагнитная мощность:

$$P_{ЭМ} = E I_a = 103,5 \cdot 151,95 = 15727 \text{ Вт} = 15,727 \text{ кВт}$$

Зная $P_{ЭМ}$, можно найти электромагнитный момент по формуле:

$$M_{ЭМ} = \frac{P_{ЭМ}}{\omega} = \frac{P_{ЭМ}}{2\pi n/60} = \frac{60 \cdot 15727}{2 \cdot 3,14 \cdot 2156} = 69,7 \text{ Н} \cdot \text{м,}$$

что и было получено выше.

Здесь частота вращения якоря

$$n = \frac{60 a E}{p N \Phi} = \frac{60 \cdot 2 \cdot 103,5}{2 \cdot 360 \cdot 0,008} = 2156$$

5. Потери мощности в обмотках якоря и возбуждения:

$$P_a = I_a^2 R_a = 151,95^2 \cdot 0,0427 = 986 \text{ Вт};$$

$$P_B = U_{НОМ} I_B = 110 \cdot 5,05 = 555,5 \text{ Вт.}$$

Пример 21. Электродвигатель постоянного тока с последовательным возбуждением (рис. 91) присоединен к сети с напряжением $U_{НОМ} = 110 \text{ В}$ и вращается с частотой $n = 1500 \text{ об/мин}$. Двигатель развивает полезный момент (на валу) $M = 120 \text{ Н} \cdot \text{м}$. К. п. д. двигателя $\eta_{дв} = 0,84$. Суммарное сопротивление обмоток якоря и возбуждения $R_a + R_{пс} = 0,02 \text{ Ом}$. Определить: 1) полезную мощность P_2 ; 2) потребляемую мощность P_1 ; 3) потребляемый из сети ток I ; 4) сопротивление пускового реостата, при котором пусковой ток ограничивается до $2,5 I$; 5) противо-э. д. с. в обмотке якоря.

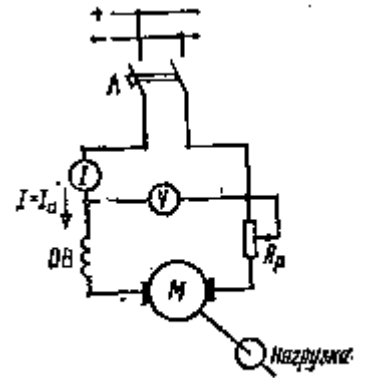


Рис. 91

Решение. 1. Полезную мощность двигателя определяем из формулы полезного момента:

$$P_2 = \frac{Mn}{9,55} = \frac{120 \cdot 1500}{9,55} = 18848 \text{ Вт} = 18,85 \text{ кВт.}$$

2. Мощность, потребляемая из сети:

$$P_1 = \frac{P_2}{\eta_{дв}} = \frac{18,85}{0,84} = 22,44 \text{ кВт.}$$

3. Ток, потребляемый из сети:

$$I = \frac{P_1}{U_{НОМ}} = \frac{22,44 \cdot 1000}{110} = 204 \text{ А.}$$

4. Необходимое сопротивление пускового реостата:

$$R_p = \frac{U_{НОМ}}{2,5 I} - (R_a + R_{пс}) = \frac{110}{2,5 \cdot 204} - 0,02 = 0,196 \text{ Ом.}$$

5. Противо-э. д. с. в обмотке якоря

$$E = U_{\text{НОМ}} - I(R_a + R_{\text{ПС}}) = 110 - 204 \cdot 0,02 = 105,9 \text{ В.}$$

Методические указания к выполнению задачи 28

Эта задача относится к теме «Электропривод и аппаратура управления». Предварительно следует ознакомиться с материалом, изложенным в учебнике на с. 284—286, 291—294, 295—300, а также с методическими указаниями, приведенными ниже. Составляемые схемы должны быть начерчены в новых обозначениях, указанных в приложении.

В схемах релейно-контакторного управления следует различать силовые цепи, питающие электродвигатели, и цепи управления, питающиеся либо непосредственно от сети, либо через понижающий трансформатор в целях безопасности.

Существуют два принципиально различных способа начертания схем автоматизированного электропривода — свернутые схемы и развернутые. В свернутых схемах все аппараты и узлы, входящие в схему, изображают так, как они фактически расположены относительно друг друга. На базе этих схем составляют монтажные схемы. В развернутых схемах элементы аппаратов и узлов расположены по принципу принадлежности их к тем или иным отдельным цепям. Соединения отдельных элементов выполняют так, чтобы была достигнута максимальная наглядность при чтении схем, а число пересечений было минимальным. В развернутых схемах отдельные элементы одного и того же аппарата могут входить в разные цепи схемы. Например, контакты тепловых реле входят в цепи управления, а нагревательные элементы — в силовые цепи.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ № 3

Указания к решению задачи 1

Данная задача относится к расчету выпрямителей переменного тока, собранных на полупроводниковых диодах. Подобные схемы находят широкое применение в различных электронных устройствах и приборах. При решении задачи следует помнить, что основными параметрами полупроводниковых диодов являются допустимый ток $I_{\text{доп}}$ на который рассчитан данный диод, и обратное напряжение $e_{\text{об}}$, которое выдерживает диод без пробоя в непроводящий период.

Обычно при составлении реальной схемы выпрямителя задаются значением мощности потребителя P_d (Вт), получающего питание от данного выпрямителя, и выпрямленным напряжением U_d (В), при котором работает потребитель постоянного тока. Отсюда нетрудно определить ток потребителя I'_d — P'_d — i'_b — b'_d . Сравнивая ток потребителя с допустимым током диода $I_{\text{доп}}$, выбирают диоды для схемы выпрямителя. Следует учесть, что для однополупериодного выпрямителя ток через диод равен току потребителя, т. е. надо соблюдать условие $I_{\text{доп}} \geq I'_d$ для двухполупериодной

и мостовой схем выпрямления ток через диод равен половине тока потребителя, т. е. следует соблюдать условие $I_{доп} > 0,5 I_d$. Для трехфазного выпрямителя ток через диод составляет треть

тока потребителя, следовательно, необходимо, чтобы $I_{доп} \geq I_d/3$.

Напряжение, действующее на диод в непроводящий период U_h , также зависит от той схемы выпрямления, которая применяется в конкретном случае. Так, для однополупериодного и двухполупериодного выпрямителей $U_h = n U_d$, для мостового выпрямителя $U_h = n U_d / 2 = 1,57 U_d$, а для трехфазного выпрямителя $U_h = 2,1 U_d$. При выборе диода, следовательно, должно соблюдаться условие $U_{обр} \geq U_h$.

Рассмотрим примеры на составление схем выпрямителей.

Пример 1. Составить схему мостового выпрямителя, используя один из четырех диодов: Д218, Д222, КД202Н, Д215Б. Мощность потребителя $P_d = 300$ Вт, напряжение потребителя $U_d = 200$ В.

Решение. 1. Выписываем из табл. 62 параметры указанных диодов:

Тип диода	$I_{доп}$, А	$U_{обр}$, В	Тип диода	$I_{доп}$, А	$U_{обр}$, В
Д218	0,1	1000	КД202Н	1	500
Д222	0,4	600	Д215Б	2	200

2. Определяем ток потребителя:

$$I_d = \frac{P_d}{U_d} = \frac{300}{200} = 1,5 \text{ А}$$

3. Определяем напряжение, действующее на диод в непроводящий период для мостовой схемы выпрямителя:

$$U_h = 1,57 U_d = 1,57 \cdot 200 = 314 \text{ В}$$

4. Выбираем диод из условий:

$$I_{доп} > 0,5 I_d > 0,5 \cdot 1,5 > 0,75 \text{ А}, \quad U_{обр} > U_h > 314 \text{ В}$$

Этим условиям удовлетворяет диод КД202Н:

$$I_{доп} = 1,0 > 0,75 \text{ А}; \quad U_{обр} = 500 > 314 \text{ В}$$

Диоды Д218 и Д222 удовлетворяют напряжению, так как 1000 и 600 больше 314 В, но не подходят по допустимому току, так как 0,1 и 0,4 меньше 0,75 А. Диод Д215Б, наоборот, подходит по допустимому току, так как $2 > 0,75 \text{ А}$, но не подходит по обратному напряжению, так как $200 < 314 \text{ В}$.

5. Составляем схему мостового выпрямителя (рис. 103). В этой схеме каждый из диодов имеет параметры диода КД202Н: $I_{доп} = 1 \text{ А}; U_{обр} = 500 \text{ В}$.

Пример 2. Для питания постоянным током потребителя мощностью $P_d = 250$ Вт при напряжении $U_d = 100$ В необходимо собрать схему двухполупериодного выпрямителя, используя стандартные диоды типа Д243Б.

Решение. 1. Выписываем из табл. 62 параметры диода: $I_{доп} = 2 \text{ А}; U_{обр} = 200 \text{ В}$.

2. Определяем ток потребителя:

$$I_d = \frac{P_d}{U_d} = \frac{250}{100} = 2,5 \text{ А}$$

3. Определяем напряжение, действующее на диод в непроводящий период:

$$U_h = 3,14 U_d = 3,14 \cdot 100 = 314 \text{ В}$$

4. Проверяем диод по параметрам $I_{доп}$ и $U_{обр}$. Для данной схемы диод должен удовлетворять условиям $U_{обр} > U_h$ и $I_{доп} > 0,5 I_d$. В данном случае первое условие не соблюдается, так как $200 < 314$, т. е.

$U_{\text{обр}} < U_h$. Второе условие выполняется, так как $0,5I_d = 0,5 \cdot 2,5 = 1,25 < 2 \text{ А}$.

6. Составляем схему выпрямителя. Чтобы выполнялось условие $U_{\text{обр}} > U_h$ необходимо два диода соединить последовательно, тогда $U_{\text{обр}} = 200 \cdot 2 = 400 > 314 \text{ В}$. Полная схема выпрямителя приведена на рис. 104.

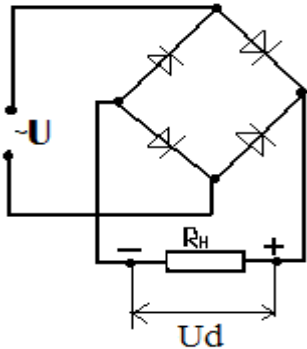


Рис. 103

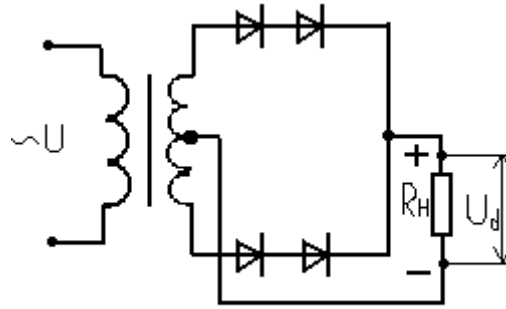


Рис. 104

Пример 3. Для питания постоянным током потребителя мощностью $P_d = 300 \text{ Вт}$ при напряжении $U_d = 20 \text{ В}$ необходимо собрать схему однополупериодного выпрямителя, используя имеющиеся стандартные диоды Д242А.

Решение 1. Выписываем из табл. 62 параметры диода: $I_{\text{доп}} = 10 \text{ А}$, $U_{\text{обр}} = 100 \text{ В}$.

2. Определяем ток потребителя:

$$I_d = \frac{P_d}{U_d} = \frac{300}{20} = 15 \text{ А}$$

3. Определяем напряжение, действующее на диод в непроводящий период:

$$U_h = 3,14U_d = 3,14 \cdot 20 = 63 \text{ В}$$

4. Проверяем диод по параметрам $I_{\text{доп}}$ и $U_{\text{обр}}$ для данной схемы диод должен удовлетворять условиям $U_{\text{обр}} > U_h$ и $I_{\text{доп}} > I_d$. В данном случае второе условие не соблюдается, так как $10 < 15 \text{ А}$, т. е. $I_{\text{доп}} < I_d$. Первое условие выполняется, так как $100 > 63 \text{ В}$.

5. Составляем схему выпрямителя. Чтобы выполнялось условие $I_{\text{доп}} > I_d$, надо два диода соединить параллельно, тогда $I_{\text{доп}} = 2 \cdot 10 = 20 \text{ А}$; $20 > 15 \text{ А}$. Полная схема выпрямителя приведена на рис. 105.

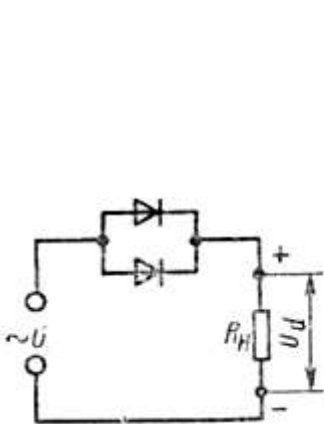


Рис. 105

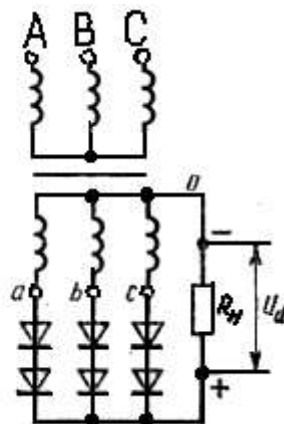


Рис. 106

Пример 4. Для составления схемы трехфазного выпрямителя на трех диодах заданы диоды Д243. Выпрямитель должен питать потребитель с $U_d = 150 \text{ В}$. Опре-

делить допустимую мощность потребителя и пояснить порядок составления схемы выпрямителя.

Решение 1. Выписываем из табл. 62 параметры диода:
 $I_{\text{доп}} = 5 \text{ А}; U_{\text{обр}} = 200 \text{ В}.$

2. Определяем допустимую мощность потребителя. Для трехфазного выпрямителя

$$I_{\text{доп}} > \frac{1}{\sqrt{3}} I_d, \text{ т.е. } P_d = 3U_d I_{\text{доп}} = 3 \cdot 150 \cdot 5 = 2250 \text{ Вт}.$$

Следовательно, для данного выпрямителя $P_n \geq 2250 \text{ Вт}.$

3. Определяем напряжение, действующее на диод в непереводящий период:

$$U_h = 2,1 U_d = 2,1 \cdot 150 = 315 \text{ В}.$$

4. Составляем схему выпрямителя. Проверяем диод по условию $U_{\text{обр}} > U_h.$ В данном случае это условие не выполняется, так как $200 < 315 \text{ В}.$ Чтобы условие выполнялось, необходимо в каждом плече два диода соединить последовательно, тогда $U_{\text{обр}} = 200 \cdot 2 = 400 \text{ В}; 400 > 315 \text{ В}.$ Полная схема выпрямителя приведена на рис. 106.

Указания к решению задачи 2

В этой задаче надо составить схему из элементов, указанных на рисунке. Для правильного составления схемы необходимо найти в рекомендованной литературе раздел, к которому схема относится, и изучить принцип работы данного устройства. Все схемы следует вычерчивать аккуратно, примерно на половине тетрадной страницы в соответствии с действующими ГОСТами на условные обозначения элементов электрических схем. После вычерчивания схемы надо объяснить назначение каждого элемента и ответить на вопрос своего варианта.

Рассмотрим пример на составление электронной схемы.

Пример. Составить схему двухкаскадного усилителя с резистивно-емкостной связью между каскадами на биполярных транзисторах из элементов, указанных на рис. 107.

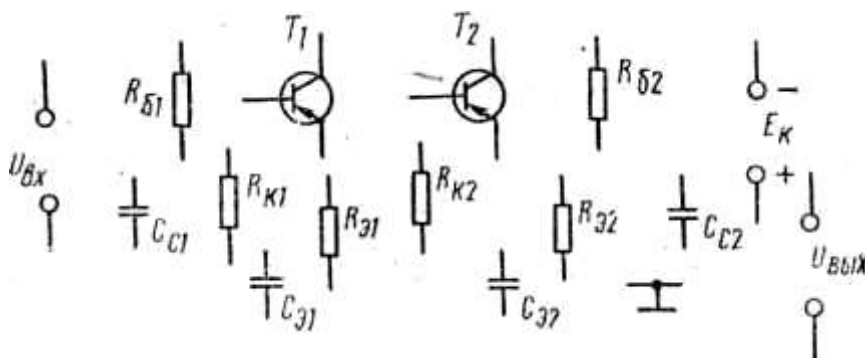


Рис. 107

Объяснить назначение элементов схемы. Дать определение коэффициента усиления по напряжению каждого каскада и общего коэффициента усиления схемы. Как изменится работа схемы, если произойдет обрыв резистора R_{B2} ?

Решение. Схема усилителя, представленная на рис. 108, двухкаскадная, т. е. входное напряжение усиливается два раза: сначала транзистором VT_1 , а затем транзистором VT_2 .

Оба транзистора включены по схеме с общим эмиттером. В каждом каскаде эмиттер является общим электродом для входной и выходной цепей, а резисторы $R_{к1}$ и $R_{к2}$, с помощью которых создается выходное

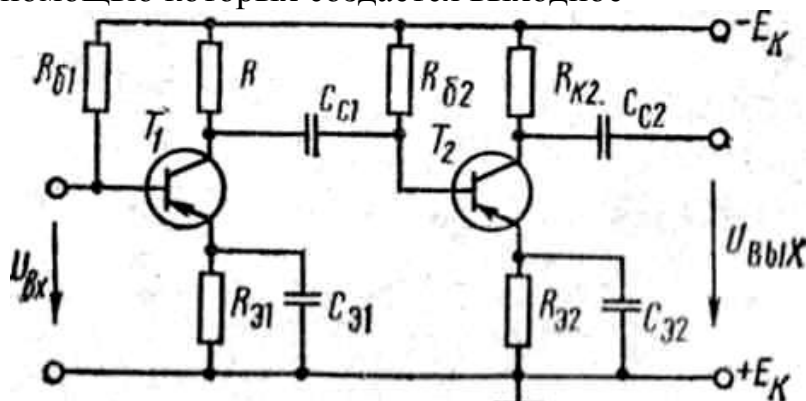


Рис. 108

напряжение, включаются в коллекторные цепи транзисторов. Полярность источника питания с э. д. с. E_k по отношению к коллекторной цепи зависит от типа транзистора. На рис. 108 полярность источника питания соответствует усилительным каскадам с транзисторами типа $p - n - p$. Резисторы $R_{б1}$ и $R_{б2}$, включенные в цепи базы транзисторов, обеспечивают их работу в режиме покоя, т. е. в отсутствие входного сигнала. Благодаря этим резисторам можно получить оптимальные значения тока базы $I_{б0}$ и напряжения между базой и эмиттером $U_{б0}$, соответствующие середине линейного участка нагрузочной характеристики. Конденсатор $C_{с1}$ не пропускает постоянную составляющую коллекторного напряжения транзистора VT_1 в базовую цепь транзистора VT_2 . Конденсатор связи $C_{с2}$ не пропускает постоянную составляющую коллекторного напряжения транзистора VT_2 в нагрузку на выходе второго каскада. В каждом усилительном каскаде применена эмиттерная температурная стабилизация, обеспечиваемая резисторами $R_{э1}$ и $R_{э2}$ и конденсаторами $C_{э1}$ и $C_{э2}$.

1. При обрыве резистора $R_{б2}$ в цепи базы транзистора VT_2 не будет обеспечено заданное напряжение смещения $U_{б0}$, рабочая точка на нагрузочной характеристике сместится и усилитель будет работать с искажениями.

2. Коэффициентом усиления одного каскада по напряжению называют отношение напряжения на выходе к напряжению на входе $K_V = U_{ВЫХ}/U_{ВХ}$. Коэффициент усиления многокаскадного усилителя равен произведению коэффициентов усиления отдельных усилительных каскадов $K = K_{V1}K_{V2}$.

Указания к решению задачи 3

Эта задача относится к расчету параметров и характеристик полупроводниковых триодов — транзисторов.

При включении транзистора с общим эмиттером управляющим является ток базы I_b , а при включении с общей базой — ток эмиттера $I_э$.

В схеме с общей базой связь между приращениями тока эмиттера $\Delta I_э$ и тока коллектора $\Delta I_к$ характеризуется коэффициентом передачи тока $h_{э1б}$:

$$h_{э1б} = \frac{\Delta I_к}{\Delta I_э} \quad \text{при } U_{кб} = \text{const},$$

где $U_{кб}$ — напряжение между коллектором и базой.

Коэффициент передачи всегда меньше единицы. Для современных биполярных транзисторов $h_{21б} = 0,9 \div 0,995$.

При включении с общей базой ток коллектора $I_K = h_{21б}/I_B$.

Коэффициент усиления по току $h_{21э}$ в схеме включения транзистора с общим эмиттером определяется как отношение приращения тока коллектора ΔI_K к приращению тока базы ΔI_B . Для современных транзисторов $h_{21э}$ имеет значение 20 – 200.

$$h_{21э} = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_B} \quad \text{при } U_{кэ} = \text{const},$$

где $U_{кэ}$ — напряжение между коллектором и эмиттером.

Ток коллектора при включении с общим эмиттером $I_K = h_{21э}/I_B$. Между коэффициентами $h_{21б}$ и $h_{21э}$ существует следующая связь:

$$h_{21б} = \frac{1}{h_{21э}} \quad \text{или} \quad h_{21э} = \frac{1}{h_{21б}}$$

Мощность, рассеиваемая на коллекторе транзистора, определяется по формуле

$$P_K = U_{кэ} I_K.$$

Рассмотрим примеры на расчет параметров транзисторов.

Пример 1. Для транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером, определить коэффициент усиления $h_{21э}$ по его входной характеристике (см. рис. 135) и выходным характеристикам (см. рис. 136), если $U_{бэ} = 0,4$ В; $U_{кэ} = 25$ В. Подсчитать также коэффициент передачи по току $h_{21б}$ и мощность P_K на коллекторе.

Решение. 1. По входной характеристике определяем при $U_{бэ} = 0,4$ В ток базы: $I_B = 500$ мкА.

2. По выходным характеристикам для $U_{кэ} = 25$ В и $I_B = 500$ мкА определяем ток коллектора: $I_K = 36$ мА.

3. На выходных характеристиках строим отрезок АВ, из которого находим:

$$\Delta I_K = AB = I_{K1} - I_{K2} = 36 - 28 = 8 \text{ мА};$$

$$\Delta I_B = AB = I_{B1} - I_{B2} = 500 - 400 = 100 \text{ мкА} = 0,1 \text{ мА}.$$

4. Определяем коэффициент усиления:

$$h_{21э} = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_B} = \frac{8}{0,1} = 80.$$

5. Определяем коэффициент передачи по току:

$$h_{21б} = \frac{1}{h_{21э}} = \frac{1}{80} = 0,0125.$$

6. Определяем мощность на коллекторе:

$$P_K = U_{кэ} I_K = 25 \cdot 36 = 900 \text{ мВт} = 0,9 \text{ Вт}.$$

Пример 2. Для транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером, найти ток базы I_B , ток коллектора I_K и напряжение на коллекторе $U_{кэ}$, если напряжение $U_{бэ} = 0,3$ В; напряжение питания $E_K = 20$ В; сопротивление нагрузки в цепи коллектора $R_K = 0,8$ кОм. Входная и выходные характеристики транзистора приведены на рис. 137 и 138.

Перед решением этого примера приведем некоторые пояснения. Для коллекторной цепи усилительного каскада в соответствии со вторым законом Кирхгофа можно написать уравнение

$$E_K = U_{кэ} + I_K R_K,$$

т. е. сумма напряжений на резисторе R_K и коллекторного напряжения $U_{кэ}$ всегда равна E_K — э. д. с. источника питания.

Расчет такой нелинейной цепи, т. е. определение I_K и $U_{кэ}$ для различных значений токов базы I_B и сопротивления резистора R_K можно произвести графически. Для этого на семействе выходных характеристик необходимо провести из точки E_K на оси абсцисс вольтамперную характеристику резистора R_K , удовлетворяющую уравнению

$$U_{кэ} = E_K - I_K R_K,$$

Эту характеристику удобно строить по двум точкам: $U_{кэ} = E_K$ при $I_K = 0$ на оси абсцисс и $I_K = E_K/R_K$ при $U_{кэ} = 0$ на оси ординат.

Построенную таким образом вольтамперную характеристику коллекторного резистора R_K называют линией нагрузки. Точки ее пересечения с коллекторными выходными характеристиками дают графическое решение уравнения для данного резистора R_K и различных значений тока базы I_B .

Решение. 1. Откладываем на оси абсцисс точку $U_{кэ} = E_K = 20$ В, а на оси ординат – точку, соответствующую $I_K = E_K/R_K = 20/800 = 0,025$ А = 25 мА. Здесь $R_K = 0,8$ кОм = 800 Ом.

2. Соединяем эти точки прямой и получаем линию нагрузки.

3. Находим на входной характеристике для $U_{бэ} = 0,3$ В ток базы $I_B = 250$ мкА.

4. Находим на выходных характеристиках точку А при пересечении линии нагрузки с характеристикой, соответствующей $I_B = 250$ мкА.

5. Определяем для точки А ток коллектора $I_K = 17$ мА и напряжение $U_{кэ} = 7$ В.

Пример 3. Мощность на коллекторе транзистора $P_K = 6$ Вт, напряжение на коллекторе $U_{кэ} = 30$ В, напряжение питания $E_K = 40$ В. Используя выходные характеристики рис. 120, определить ток базы I_B , ток коллектора I_K , коэффициент усиления $h_{21э}$ и сопротивление нагрузки R_K .

Решение. 1. Определяем ток коллектора

$$I_K = \frac{P_K}{U_{кэ}} = \frac{6}{30} = 0,2$$
 А.

2. Находим на выходных характеристиках точку А, соответствующую $I_K = 0,2$ А и $U_{кэ} = 30$ В. Из рисунка видно, что точка А лежит на характеристике для $I_B = 2$ мА.

3. Соединяем прямой точку А и точку на оси абсцисс, соответствующую $E_K = 40$ В. На пересечении прямой с осью ординат получим точку $I_{K1} = 0,8$ А.

4. Определяем R_K :

$$R_K = \frac{E_K - U_{кэ}}{I_{K1} - I_K} = \frac{40 - 30}{0,8 - 0,2} = 50$$
 Ом.

5. На выходных характеристиках строим отрезок АВ, из которого находим:

$$\Delta I_K = AB = 0,4 - 0,2 = 0,2$$
 А = 200 мА;

$$\Delta I_B = AB = 4 - 2 = 2$$
 мА.

6. Определяем коэффициент усиления транзистора:

$$h_{21э} = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_B} = \frac{200}{2} = 100.$$

Примечание: Обратите внимание, что в таблицах вариантов контрольной работы не указана размерность токов базы I_B и токов коллектора I_K , так как на рис. 119—138, где изображены входные и выходные характеристики транзисторов, эти токи имеют различную размерность: амперы — А, миллиамперы — мА и микроамперы — мкА.

