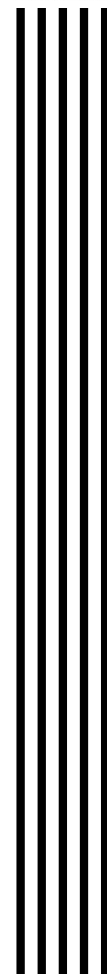




Министерство образования и науки Украины
Севастопольский национальный технический университет



МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению расчетно-графических заданий по дисциплине
«Основы электротехники и радиоэлектроники»
для студентов специальности 7.070101 «Физика»
дневной формы обучения



Севастополь
2005

УДК 621.3

Методические указания к выполнению расчетно-графических заданий по дисциплине «Основы электротехники и радиоэлектроники» / В.В. Костюков. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2005. – 30 с.

Целью методических указаний является привитие навыков самостоятельной работы студентам над материалами дисциплины «Основы электротехники и радиоэлектроники» при выполнении расчетно-графических заданий.

Методические указания предназначены для студентов четвертого курса дневной формы обучения специальности 7.7010101 «Физика».

Методические указания рассмотрены и утверждены на заседании кафедры Судовых и промышленных электромеханических систем (протокол № 6 от 19.01.2005 г.).

Допущено учебно-методическим центром СевНТУ в качестве методических указаний.

Рецензент: Маригодов В.К., доктор техн. наук, профессор.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1. Требования к выполнению расчетно-графических заданий.....	5
2. Требования к оформлению расчетно-графических заданий.....	5
3. Расчетно-графическое задание № 1. Анализ линейных электрических цепей гармонического тока.....	6
3.1. Выбор исходных данных.....	6
3.2. Содержание задания.....	6
4. Пример выполнения расчетно-графического задания № 1.....	10
4.1. Выбор исходных данных.....	10
4.2. Содержание расчетов.....	10
5. Расчетно-графическое задание № 2. Расчет электронных схем.....	21
5.1. Выбор исходных данных.....	21
5.2. Содержание задания.....	21
6. Пример выполнения расчетно-графического задания № 2.....	23
6.1. Выбор исходных данных.....	23
6.2. Содержание расчетов.....	24
Библиографический список.....	30



ВВЕДЕНИЕ

Целью данных методических указаний является приобретение студентами умений и навыков самостоятельного анализа линейных электрических цепей гармонического тока и электронных схем.

Студент должен понимать физический смысл таких электротехнических величин, как ток, напряжение, сопротивление, мощность.

Студент должен знать условные графические обозначения электротехнических и радиоэлектронных цепей.

Для успешного выполнения РГЗ № 1 необходимо знание законов Кирхгофа, а также методов анализа линейных электрических цепей гармонического тока.

Для успешного выполнения РГЗ № 2 необходимо знание графического и аналитического методов анализа усилительного каскада на транзисторе.

В расчетно-графических заданиях должны использоваться общепринятые условные обозначения электротехнических величин.

1. ТРЕБОВАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКИХ ЗАДАНИЙ

1.1. Расчет каждой искомой величины выполняется сначала в аналитическом виде, а затем в полученную формулу подставляются числовые значения и в конце приводится окончательный результат с указанием единиц измерения.

1.2. Все параметры, относящиеся к одной ветви (сопротивление, ток и т.д.), должны иметь одинаковый номер (индекс) который остается неизменным на протяжении выполнения всего расчетно-графического задания.

1.3. Основные положения решения должны быть пояснены.

1.4. Вычисления должны быть выполнены с точностью до трех значащих цифр.

1.5. В ходе выполнения расчетно-графического задания не следует изменять уже выбранные направления токов, наименование величин, нумерацию узлов и условные обозначения.

2. ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКИХ ЗАДАНИЙ

2.1. Расчетно-графическое задание оформляется на формате А4 с одной стороны листа разборчивым аккуратным почерком.

2.2. Каждый этап решения расчетно-графического задания озаглавляется.

2.3. Форма записи расчетов следующая: вначале формула в общем виде, затем в той же последовательности подставленные числовые данные и только после этого численный ответ.

2.4. Электрические схемы должны быть вычерчены под линейку с соблюдением условных графических обозначений элементов.



3. РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ № 1. АНАЛИЗ ЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ГАРМОНИЧЕСКОГО ТОКА

3.1. Выбор исходных данных.

3.1.1. На схеме (рисунок 3.1), номер которой соответствует номеру фамилии студента в журнале преподавателя, обозначить и пронумеровать все элементы.

3.1.2. Принять следующие параметры элементов: $e(t)=100\sin(\omega t)$; $j(t)=1\sin(\omega t+90^\circ)$; $r=10$ Ом; $L=31,85$ мГн; $C=637$ мкФ. Частоты источников энергии одинаковы и равны 50 Гц.

3.2. Содержание задания.

3.2.1. Определить комплексные сопротивления отдельных элементов и комплексные действующие значения источников энергии.

3.2.2. Рассчитать комплексные сопротивления относительно зажимов источников.

3.2.3. Найти комплексные действующие значения напряжений и токов, созданных каждым источником в отдельности.

3.2.4. Построить векторные диаграммы токов и напряжений для каждого источника в отдельности.

3.2.5. Используя результаты пункта 3.2.3, найти результирующие комплексные действующие значения токов в ветвях (метод наложения).

3.2.6. Рассчитать токи и напряжения методом контурных токов.

3.2.7. Проверить метод контурных токов по второму закону Кирхгофа для одного из контуров, не проходящих через источник тока, по возможности содержащего более двух элементов.

3.2.8. Определить токи и напряжения в цепи методом узловых потенциалов.

3.2.9. Проверить метод узловых потенциалов по первому закону Кирхгофа для одного из узлов схемы.

3.2.10. Рассчитать ток в сопротивлении методом эквивалентного генератора.

3.2.11. Определить комплексные мощности всех элементов и проверить баланс мощности.

3.2.12. От найденных комплексных действующих значений токов и напряжений перейти к их мгновенным значениям.

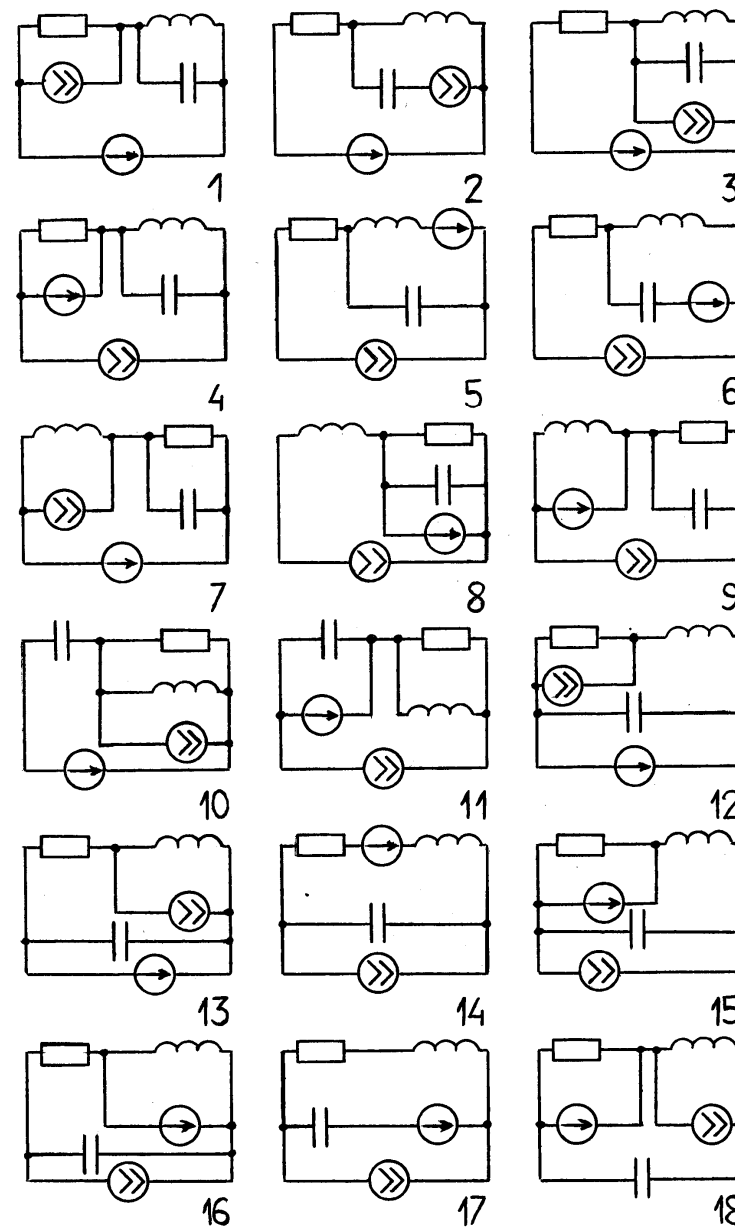
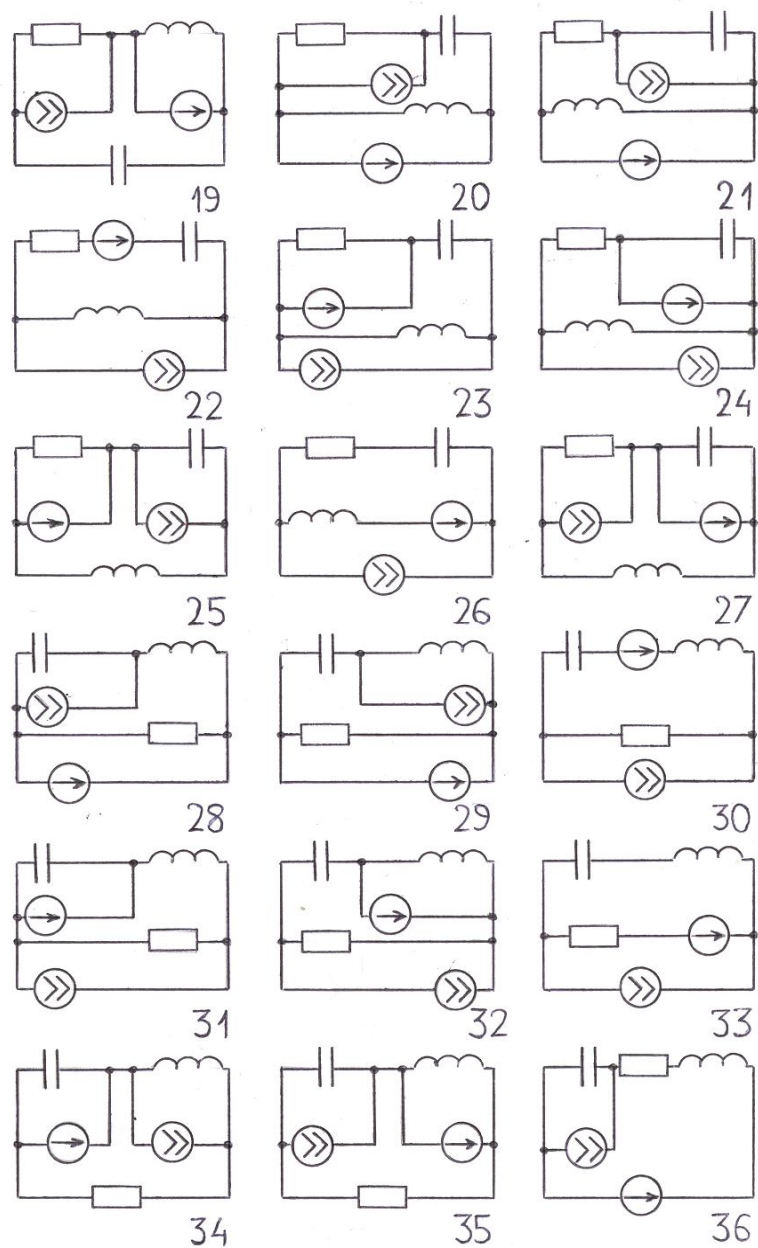
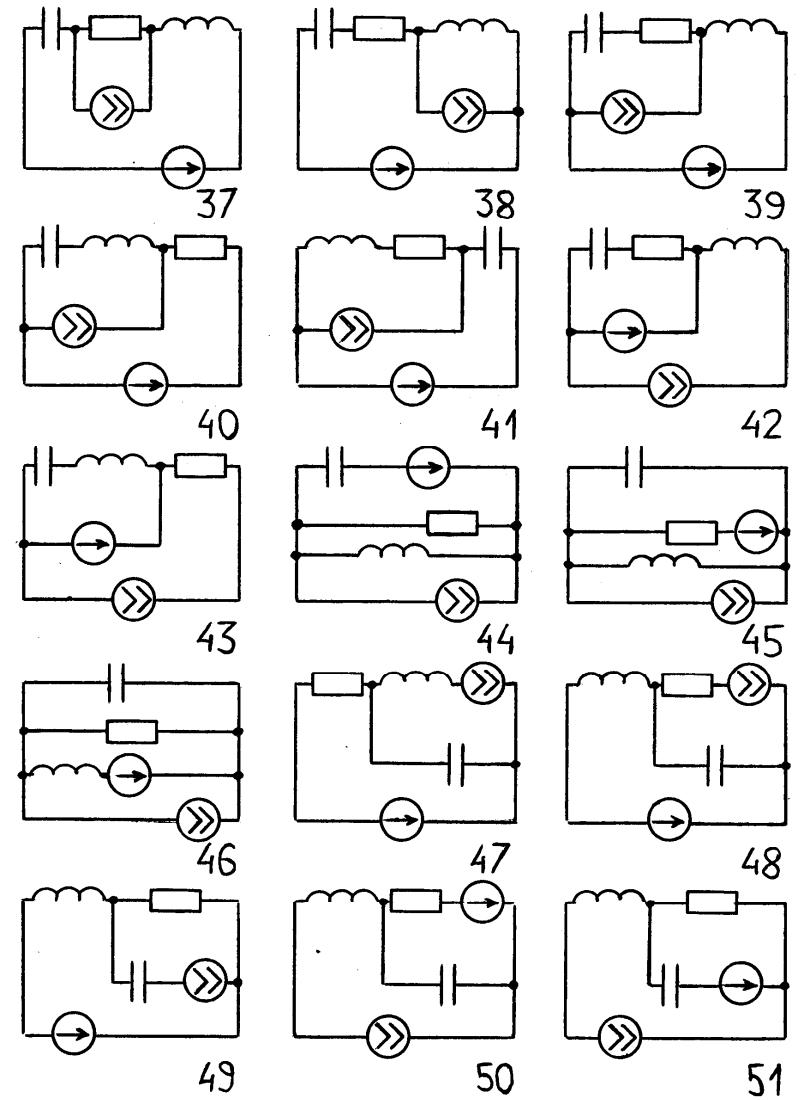


Рисунок 3.1 – Варианты заданий





Продолжение рисунка 3.1



Продолжение рисунка .3.1



4. ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ № 1

Схема варианта задания представлена на рисунке 4.1.

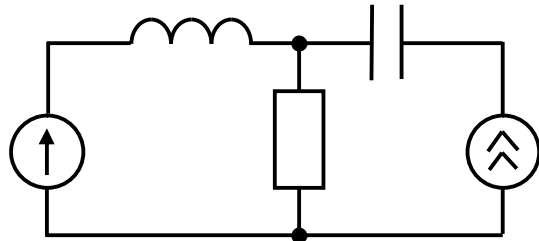


Рисунок 4.1 – Схема варианта задания

4.1. Выбор исходных данных

4.1.1. В соответствии с пунктом 3.1.1, и с учетом пункта 1.2, обозначим и пронумеруем все элементы – рисунок 4.2.

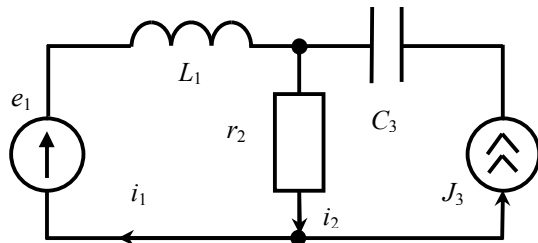


Рисунок 4.2 – Схема варианта задания с обозначением элементов

4.1.2. В соответствии с пунктом 3.1.2, принимаем параметры элементов: $e_1(t)=50\sin(\omega t)$; $j_3(t)=1,5\sin(\omega t+90^\circ)$; $r=10$ Ом; $L_1=15,92$ мГн; $C_3=318,5$ мкФ. Частоты источников энергии одинаковы и равны 50 Гц, т.е. $f=50$ Гц.

4.2. Содержание расчетов.

4.2.1. В соответствии с пунктом 3.2.1, определяем комплексные сопротивления Z отдельных элементов и комплексные действующие значения источников энергии:

$$Z_r = r = 10 \text{ Ом}; Z_L = j\omega L_1 = j \cdot 2\pi f L_1 = j \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 15,92 \cdot 10^{-3} = j5 \text{ Ом};$$

$$Z_C = -\frac{j}{\omega C} = -\frac{j}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 318,5 \cdot 10^{-6}} = -j10 \text{ Ом};$$



$$\dot{E}_1 = \frac{E_m}{\sqrt{2}} e^{j\phi_E} = \frac{50}{1,415} e^{j0} = 35,3 \text{ В};$$

$$J_3 = \frac{J_m}{\sqrt{2}} e^{j\phi_J} = \frac{1,5}{1,415} e^{-j90^\circ} = 1,06 e^{-j90^\circ} = -j1,06 \text{ А};$$

4.2.2. Согласно пункту 3.2.2, рассчитаем комплексные сопротивления относительно зажимов источников энергии.

Рассчитаем вначале комплексное сопротивление относительно зажимов источника ЭДС, разорвав при этом источник тока (рисунок 4.3).

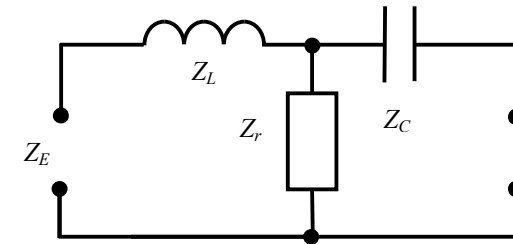


Рисунок 4.3 – Схема для определения Z_E – комплексного сопротивления относительно зажимов источника ЭДС

$$Z_E = Z_r + Z_L = 10 + j5 \text{ Ом}; \quad (4.1)$$

Далее рассчитаем комплексное сопротивление относительно зажимов источника тока, закоротив при этом источник ЭДС (рисунок 4.4).

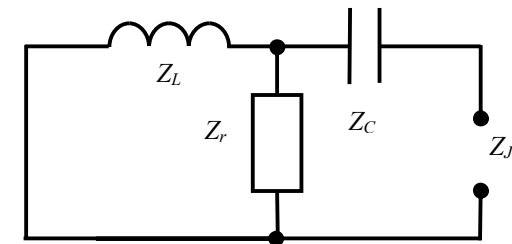


Рисунок 4.4 – Схема для определения Z_J – комплексного сопротивления относительно зажимов источника тока

$$Z_{rL} = \frac{Z_r Z_L}{Z_r + Z_L} = \frac{10 \cdot (j5)}{10 + j5} \cdot \frac{10 - j5}{10 - j5} = \frac{250 + j500}{100 + 25} = 2 + j4 \text{ Ом}; \quad (4.2)$$

$$Z_J = Z_{rL} + Z_C = 2 + j4 - j10 = 2 - j6 \text{ Ом} \quad (4.3);$$



4.2.3. Согласно пункту 3.2.3, найдем комплексные действующие значения напряжений и токов, создаваемых каждым источником в отдельности.

Вначале найдем ток и напряжения, созданные только источником ЭДС (рисунок 4.5).

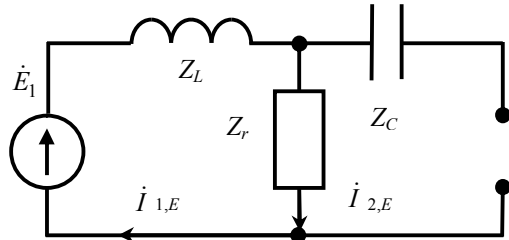


Рисунок 4.5 – Схема для определения тока и напряжений, созданных только источником ЭДС

$$\dot{I}_{1,E} = \dot{I}_{2,E} = \frac{\dot{E}_1}{Z_E} = \frac{35,3}{10 + j5} \cdot \frac{10 - j5}{10 - j5} = \frac{353 - j176,5}{100 + 25} =$$

$$= 2,824 - j1,412 \text{ A};$$

$$U_{L,E} = \dot{I}_{1,E} Z_L = (2,824 - j1,412) \cdot j5 = 7,06 + j14,12 \text{ В} \quad (4.5)$$

$$U_{r,E} = \dot{I}_{2,E} Z_r = (2,824 - j1,412) \cdot 10 = 28,24 + j14,12 \quad (4.6)$$

Теперь найдем токи и напряжения, созданные только источником тока (рисунок 4.6).

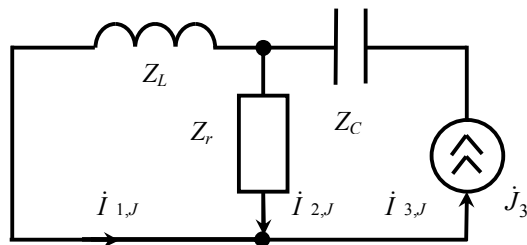


Рисунок 4.6 – Схема для определения токов и напряжений, созданных только источником тока

Ток в емкости равен току источника тока.

$$U_{rL,J} = Z_{rL} \dot{J}_3 = (2 + j4) \cdot (-j1,06) = 4,24 - j2,12 \text{ Ом}; \quad (4.7)$$



$$\dot{I}_{1,J} = \frac{\dot{U}_{rL,J}}{Z_L} = \frac{4,24 - j2,12}{j5} \cdot \frac{-j}{-j} = \frac{-2,12 - j4,24}{5} =$$

$$= -0,424 - j0,848 \text{ A}; \quad (4.8)$$

$$\dot{I}_{2,J} = \frac{\dot{U}_{rL,J}}{Z_r} = \frac{4,24 - j2,12}{10} = 0,424 - j0,212 \text{ A}; \quad (4.9)$$

$$\dot{U}_{C,J} = Z_C \dot{J}_3 = (-j10) \cdot (-j1,06) = -10,6 \text{ В}; \quad (4.10)$$

$$\dot{U}_{J,J} = Z_J \dot{J}_3 = (2 - j6) \cdot (-j1,06) = -6,36 - j2,12 \text{ В}; \quad (4.11)$$

4.2.4. Согласно пункту 3.2.4, построим векторные диаграммы токов и напряжений для каждого источника в отдельности.

Вначале, в соответствии с формулами (4.4) – (4.6), построим векторы токов и напряжений для источника ЭДС (рисунок 4.7). Масштаб: 1 см: 5 В; 1 см: 1 А.

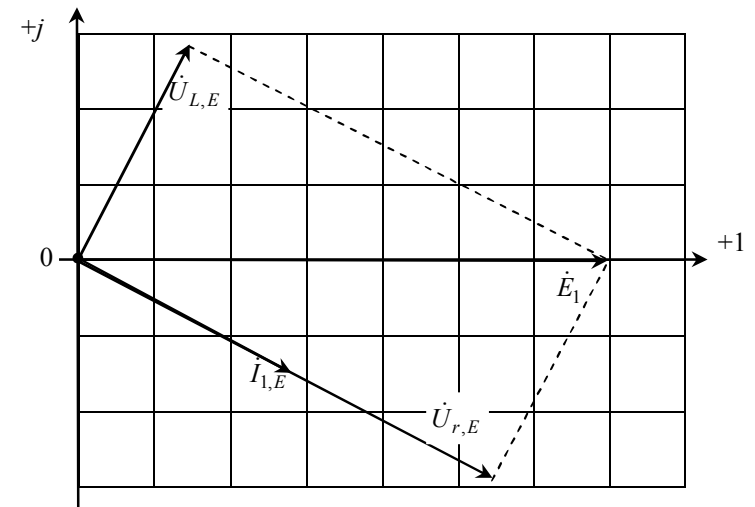


Рисунок 4.7 – Векторная диаграмма тока и напряжений, создаваемых только источником ЭДС

Теперь, в соответствии с формулами (4.7) – (4.11), построим векторные диаграммы токов и напряжений для источника тока (рисунок 4.8).



$$n = m - T = 2 - 1 = 1 \quad (4.16)$$

В соответствии с рисунком 4.9, выбираем контуры ($m=2$) и направления в этих контурах контурных токов. Контурный ток в контуре с источником тока совпадает по направлению с направлением тока источника тока. Данный контурный ток считается известным и равным току источника тока.

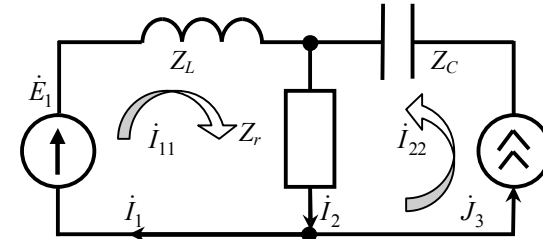


Рисунок 4.9 – Схема для определения тока в ветвях методом контурных токов

Обозначаем выбранные контурные токи $\dot{I}_{11}$ и $\dot{I}_{22}$. Известный контурный ток удобно нумеровать в последнюю очередь:

$$\dot{I}_{22} = \dot{J}_3 = -j1,06 \text{ A} \quad (4.18)$$

Для контура с неизвестным контурным током составляем уравнение

$$Z_{11}\dot{I}_{11} + Z_{12}\dot{I}_{22} = \dot{E}_{11}, \quad (4.19)$$

где

$$Z_{11} = Z_L + Z_r = 10 + j5 \text{ Ом}; \quad (4.20)$$

$$Z_{12} = Z_r = 10 \text{ Ом}; \quad (4.21)$$

$$\dot{E}_{11} = \dot{E}_1 = 35,3 \text{ В}. \quad (4.22)$$

Решая (4.19), находим неизвестный контурный ток:

$$\begin{aligned} \dot{I}_{11} &= \frac{\dot{E}_{11} - Z_{12}\dot{I}_{22}}{Z_{11}} = \frac{\dot{E}_1 - Z_r\dot{I}_3}{Z_L + Z_r} = \frac{35,3 - 10 \cdot (-j1,06)}{10 + j5} = \frac{35,3 + j10,6}{10 + j5} \\ &= \frac{10 - j5}{10 - j5} = \frac{406 - j70,6}{125} = 3,248 - j0,564 \text{ A}. \end{aligned} \quad (4.23)$$

Приняв направления токов в ветвях согласно рисунку 4.2, найдем токи как алгебраическую сумму контурных токов в этих ветвях:

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_{11} = 3,248 - j0,564 \text{ A}; \quad (4.24)$$

$$\dot{I}_2 = \dot{I}_{11} + \dot{I}_{22} = (3,248 - j0,564) + (j1,06) = 3,248 - j1,624 \text{ A}; \quad (4.25)$$



$$\dot{I}_3 = \dot{I}_{22} = \dot{J}_3 = -j1,06 \text{ A}; \quad (4.26)$$

4.2.7. В соответствии с пунктом 3.2.7, проверим метод контурных токов по второму закону Кирхгофа, записав его для левого контура (рисунок 4.9):

$$\begin{aligned} Z_L \dot{I}_1 + Z_r \dot{I}_2 &= \dot{E}_1; \\ j5 \cdot (3,248 - j0,564) + 10 \cdot (3,248 - j1,624) &= 35,3; \\ 2,84 + j16,24 + 32,48 - j16,24 &= 35,32. \end{aligned} \quad (4.27)$$

Второй закон Кирхгофа для данного контура справедлив.

4.2.8. Согласно пункту 3.2.8, определим токи и напряжения методом узловых потенциалов.

Так как в схеме нет ветвей, содержащих только источник ЭДС, перенос источников ЭДС не осуществляем. Один из узлов схемы (нижний) заземляем, т.е. считаем его потенциал известным и равным нулю. Считаем, что в незаземленном узле (верхнем) существует неизменный узловой потенциал $\dot{\phi}_1$ (рисунок 4.10). Для незаземленного узла составляем уравнение

$$Y_{11} \dot{\phi}_1 = \sum Y \dot{E} + \sum \dot{J}, \quad (4.28)$$

где

$$Y_{11} = \frac{1}{Z_L} + \frac{1}{Z_r} + \frac{1}{Z_C + Z_j} = \frac{1}{j5} + \frac{1}{10} + \frac{1}{-j10 + \infty} = 0,1 - j0,2 \text{ См}, \quad (4.29)$$

$$\sum Y \dot{E} = \frac{\dot{E}_1}{Z_L} = \frac{35,3}{j5} = -j7,06 \text{ A}, \quad (4.30)$$

$$\sum \dot{J} = \dot{J}_3 = -j1,06 \text{ A}. \quad (4.31)$$

Отсюда находим $\dot{\phi}_1$:

$$\dot{\phi}_1 = \frac{\sum Y \dot{E} + \sum \dot{J}}{Y_{11}} = \frac{-j7,06 - j1,06}{0,1 - j0,2} \cdot \frac{0,1 + j0,2}{0,1 - j0,2} = 32,8 - j16,24 \text{ В}. \quad (4.32)$$

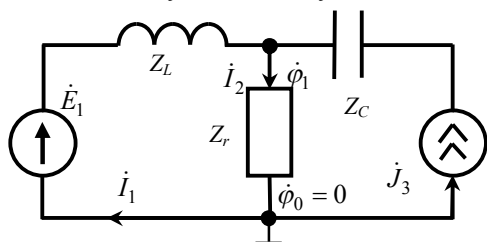


Рисунок 4.10 – Схема для определения токов в ветвях методом узловых потенциалов

По узловым потенциалам определяем токи в ветвях:

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{\phi}_0 - \dot{\phi}_1 + \dot{E}_1}{Z_L} = \frac{0 - (32,48 - j16,24) + 35,3}{j5} = 3,248 - j0,564 \text{ А}; \quad (4.33)$$

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{\phi}_1 - \dot{\phi}_0}{Z_r} = \frac{32,48 - j16,24 - 0}{10} = 3,248 - j1,624 \text{ А}. \quad (4.34)$$

4.2.9. В соответствии с пунктом 3.2.9, проверим метод узловых потенциалов по первому закону Кирхгофа, например, для верхнего узла (рисунок 4.10):

$$\begin{aligned} -\dot{I}_1 + \dot{I}_2 - \dot{I}_3 &= 0, \\ -(3,248 - j0,564) + (3,248 - j1,6) - (-1,06) &= j0,024 \end{aligned} \quad (4.35)$$

Первый закон Кирхгофа для верхнего узла выполняется.

4.2.10. Согласно пункту 3.2.10, рассчитаем ток в сопротивлении методом эквивалентного генератора.

Для этого на первом этапе удалим ветвь, в которой требуется найти ток (рисунок 4.11) и вычислим напряжение $\dot{U}_{ab}$ между точками подключения удаленной ветви.

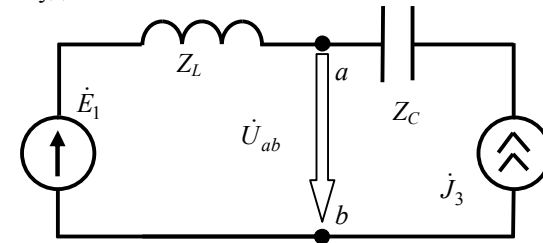


Рисунок 4.11 – Схема для определения напряжения между точками подключения удаленной ветви (a, b)

Во вновь образовавшемся контуре ток известен и равен току источника тока. Для контура, в состав которого входит напряжение $\dot{U}_{ab}$, запишем второй закон Кирхгофа:

$$\begin{aligned} \dot{U}_{ab} - Z_L \dot{J}_3 &= \dot{E}_1 \\ \dot{U}_{ab} = \dot{E}_1 + Z_L \dot{J}_3 &= 35,3 + j5 \cdot (-j1,06) = 35,3 + 5,3 = 40,6 \text{ В}; \end{aligned} \quad (4.36)$$

На втором этапе из схемы на рисунке 4.11 удалим все источники энергии (рисунок 4.12) и найдем комплексное сопротивление относительно точек a и b .



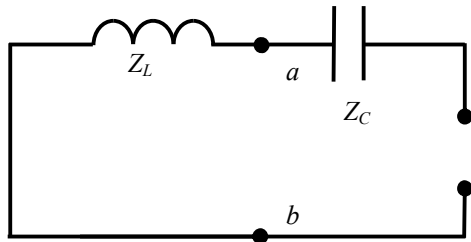


Рисунок 4.12 – Схема для определения сопротивления относительно точек подключения удаленной ветви (a, b)

$$Z_{ab} = Z_L = j5 \text{ Ом} \quad (4.37)$$

Далее создаем эквивалентный генератор, параметры которого известны:

$$\begin{aligned} \dot{E}_3 = \dot{U}_{ab} &= 40,6 \text{ В;} \\ Z_B = Z_{ab} &= j5 \text{ Ом.} \end{aligned} \quad (4.38)$$

К эквивалентному генератору присоединяем ранее удаленную ветвь (рисунок 4.13).

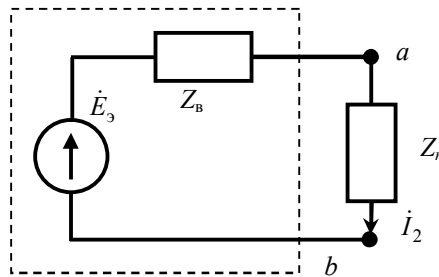


Рисунок 4.13 – Схема эквивалентного генератора с подключенной к нему ветвью с искомым током

Для полученного контура получим второй закон Кирхгофа, из которого найдем ток, являющийся искомым током в сопротивлении:

$$\begin{aligned} Z_r \dot{I}_2 + Z_B \dot{I}_2 &= \dot{E}_3; \\ \dot{I}_2 &= \frac{\dot{E}_3}{Z_r + Z_B} = \frac{40,6}{10 + j5} \cdot \frac{10 - j5}{10 - j5} = \frac{406 - j203}{125} = 3,248 - j1,624 \text{ А.} \end{aligned} \quad (4.39)$$

4.2.11. Согласно пункту 3.2.11, определим комплексные мощности всех элементов и проверим баланс мощности.

Для определения комплексной мощности всех элементов найдем вначале комплексные действующие значения напряжений на этих элементах:

$$\dot{U}_L = Z_L I_1 = j5 \cdot (3,248 - j0,564) = 2,82 + j16,24 \text{ В}; \quad (4.50)$$

$$\dot{U}_r = Z_r I_2 = 10 \cdot (3,248 - j1,624) = 32,48 - j16,24 \text{ В}; \quad (4.51)$$

$$\dot{U}_C = Z_C I_3 = -j10 \cdot (-j1,06) = -10,6 \text{ В}. \quad (4.52)$$

Для определения напряжения на источнике тока запишем второй закон Кирхгофа для правого контура, обойдя контур по часовой стрелке:

$$\begin{aligned} \dot{U}_J - \dot{U}_r - \dot{U}_C &= 0; \\ \dot{U}_J &= \dot{U}_r + \dot{U}_C = 32,48 - j16,24 - 10,6 = 21,88 - j16,24 \text{ В}. \end{aligned} \quad (4.53)$$

Вычислим комплексные мощности пассивных элементов:

$$\underline{S}_L = \dot{U}_L I_1^* = (2,82 + j16,24) \cdot (3,248 + j0,564) = j54,337 \text{ ВАр}; \quad (4.54)$$

$$\underline{S}_r = \dot{U}_r I_2^* = (32,48 - j16,24) \cdot (32,48 + j16,24) = 131,869 \text{ Вт}; \quad (4.55)$$

$$\underline{S}_C = \dot{U}_C I_3^* = -10,6 \cdot j1,06 = -j11,236 \text{ ВАр}. \quad (4.56)$$

Вычислим комплексные мощности источников энергии:

$$\underline{S}_E = \dot{E}_1 I_1^* = 35,3 \cdot (3,248 + j0,564) = 114,654 + j19,91 \text{ ВА}; \quad (4.57)$$

$$\underline{S}_J = \dot{U}_J I_3^* = (21,88 - j16,24) \cdot (j1,06) = 17,223 + j23,193 \text{ ВА}. \quad (4.58)$$

Для проверки выполнения баланса мощности вначале определим комплексную мощность всех пассивных элементов (потребителей энергии):

$$\begin{aligned} \underline{S}_{\text{потр}} &= \underline{S}_L + \underline{S}_r + \underline{S}_C = j54,337 + 131,869 - j11,236 = \\ &= 131,869 + j43,101 \text{ ВА}. \end{aligned} \quad (4.59)$$

Затем найдем комплексную мощность всех источников энергии:

$$\begin{aligned} \underline{S}_{\text{ист}} &= \underline{S}_E + \underline{S}_J = 114,654 + j19,91 + 17,223 + j23,193 = \\ &= 131,877 + j43,103 \text{ ВА}. \end{aligned} \quad (4.60)$$

Сравнивая комплексные мощности потребителей и источников, убеждаемся в выполнении баланса мощности:

$$\underline{S}_{\text{ист}} = \underline{S}_{\text{потр}}. \quad (4.61)$$

4.2.12. Согласно пункту 3.2.12, от комплексных действующих значений токов перейдем к их мгновенным значениям.

Для этого представим комплексные действующие значения, например, токов в ветвях, в показательной форме записи комплексных чисел:



$$\dot{I}_1 = 3,248 - j0,564 = \sqrt{3,248^2 + 0,564^2} \cdot e^{j \cdot \arctg(\frac{-0,564}{3,248})} = 3,296 \cdot e^{-j9,581^\circ} \text{ A};$$

$$\dot{I}_2 = 3,248 - j1,624 = \sqrt{3,248^2 + 1,624^2} \cdot e^{j \cdot \arctg(\frac{-1,624}{3,248})} = 3,631 \cdot e^{-j26,56^\circ} \text{ A};$$

$$\dot{I}_3 = -j1,06 = 1,06 \cdot e^{-j90^\circ} \text{ A}.$$

Перейдем от комплексных действующих значений токов к их комплексным амплитудам:

$$\dot{I}_{m1} = \sqrt{2} \dot{I}_1 = 1,414 \cdot 3,296 \cdot e^{-j9,851^\circ} = 4,661 \cdot e^{-j9,851^\circ} \text{ A}; \quad (4.62)$$

$$\dot{I}_{m2} = \sqrt{2} \dot{I}_2 = 1,414 \cdot 3,631 \cdot e^{-j26,56^\circ} = 5,135 \cdot e^{-j26,56^\circ} \text{ A}. \quad (4.63)$$

$$\dot{I}_{m3} = \sqrt{2} \dot{I}_3 = 1,414 \cdot 1,06 \cdot e^{-j90^\circ} = 1,5 \cdot e^{-j90^\circ} \text{ A} \quad (4.64)$$

Умножив комплексные амплитуды токов на поворотный множитель $e^{j\omega t}$, получим комплексные вращающиеся векторы, мнимые части которых и являются мгновенными значениями:

$$i_1 = 4,661 \sin(\omega t - 9,581^\circ) \text{ A};$$

$$i_2 = 5,135 \sin(\omega t - 26,56^\circ) \text{ A};$$

$$i_3 = 1,5 \sin(\omega t - 90^\circ) \text{ A}.$$

5. РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ № 2

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОННЫХ СХЕМ

5.1. Выбор исходных данных.

В соответствии с номером своего варианта (таблица 5.1), перерисовать из справочника входные и выходные характеристики транзистора по схеме с общим эмиттером и переписать его предельно допустимые параметры.

Таблица 5.1 – Варианты заданий

№ вар.	Тип транзистора	№ вар.	Тип транзистора	№ вар.	Тип транзистора	№ вар.	Тип транзистора
1	КТ104А	11	КТ351А	21	КТ399А	31	КТ608А
2	КТ104Б	12	КТ352Б	22	КТ3102А	32	КТ610А
3	КТ301А	13	КТ354А	23	КТ3107А	33	КТ611А
4	КТ312А	14	КТ355А	24	ГТ403А	34	КТ701А
5	КТ316А	15	КТ363А	25	ГТ404А	35	КТ703А
6	КТ331А	16	КТ368А	26	ГТ405А	36	КТ704А
7	КТ339А	17	КТ369А	27	КТ501А	37	КТ802А
8	КТ343А	18	КТ371А	28	КТ604А	38	КТ803А
9	КТ347А	19	КТ379А	29	КТ605А	39	КТ805А
10	КТ349А	20	КТ380А	30	КТ606А	40	КТ807А

5.2. Содержание задания.

5.2.1. Расшифровать маркировку транзистора, соответствующего Вашему варианту, и указать чередование областей электропроводностей.

5.2.2. Для линейных участков входных и выходных характеристик определить h -параметры транзистора по схеме с общим эмиттером.

5.2.3. Привести схему замещения транзистора для системы h -параметров по схеме с общим эмиттером и рассчитать ее элементы.

5.2.4. Привести малосигнальную модель биполярного транзистора по схеме с общим эмиттером, выраженную через Т-образную схему замещения для низких частот входного сигнала.

5.2.5. Рассчитать физические параметры транзистора по схеме с общим эмиттером через h -параметры.

5.2.6. Провести графический расчет усилительного каскада с общим эмиттером (рисунок 5.1).



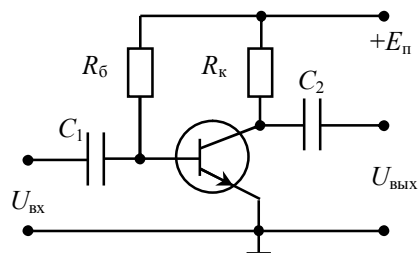


Рисунок 5.1 – Схема усилительного каскада на транзисторе типа *n-p-n*

В случае транзистора типа *p-n-p* следует изменить полярность источника питания E_{Π} .

Расчет усилительного каскада провести при следующих условиях:

а) Нагрузочную прямую провести по диагонали выходных характеристик, не проходящей через начало координат;

б) Выбрать на нагрузочной прямой точку покоя, соответствующую середине нагрузочной прямой для активного режима работы транзистора;

в) Для выбранной точки покоя проверить, не превышают ли токи, напряжения и мощности предельных параметров транзистора. Если есть превышение, нагрузочную прямую перенести параллельно самой себе ближе к началу координат. Повторить выбор точки покоя и проверку на предельные параметры.

г) Рассчитать E_{κ} , R_{κ} , $R_{\text{Б}}$, обеспечивающие выбранную точку покоя;

д) В режиме покоя определить и указать направления и величины всех токов и напряжений;

е) При условии неизменности активного режима работы транзистора подать на вход усилительного каскада синусоидальное напряжение и получить графическим построением форму выходного напряжения;

ж) Из графических построений определить коэффициент усиления каскада по напряжению.

5.2.7. Используя ранее найденные *h*-параметры, определить аналитически коэффициент усиления по напряжению, входное и выходное сопротивления усилительного каскада.

Предельно допустимые параметры транзистора:

Наибольшее напряжение эмиттер – коллектор $U_{кэ\max}=10\text{ В}$;

Наибольший ток коллектора $I_{к\max}=20\text{ мА}$;

Наибольшая рассеиваемая мощность $P_{\max}=50\text{ мВт}$.

6.2. Содержание расчетов.

6.2.1. Согласно пункту 5.2.1, расшифруем маркировку транзистора и укажем чередование областей электропроводности. Маркировка транзистора ГТ330Д означает:

первый элемент «Г» – германиевый;

второй элемент «Т» – транзистор;

третий элемент «330» – малой мощности высокочастотный;

четвертый элемент «Д» – разновидность типа в данной группе.

Чередование областей электропроводности: $n-p-n$.

6.2.2. В соответствии с пунктом 6.2.2 для линейных участков входных характеристик определим h -параметры транзистора (рисунок 6.3).

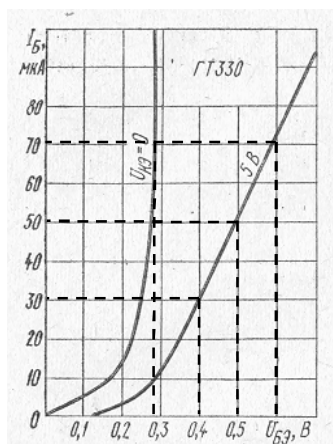


Рисунок 6.3 – Определение h -параметров по входным характеристикам транзистора

Система уравнений для транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером, в приращениях токов и напряжений и h -параметрах записывается в виде:

$$\begin{cases} \Delta U_{БЭ} = h_{11}\Delta I_Б + h_{12}\Delta U_{КЭ} \\ \Delta I_К = h_{21}\Delta I_Б + h_{22}\Delta U_{КЭ} \end{cases} \quad (6.1)$$

Пусть $U_{КЭ}=5\text{ В}$, т.е. $\Delta U_{КЭ}=0$:

$$h_{11} = \left. \frac{\Delta U_{\text{бэ}}}{\Delta I_6} \right|_{U_{\text{кз}}=5} = \frac{0,6 \text{ В} - 0,4 \text{ В}}{70 \text{ мкА} - 30 \text{ мкА}} = 5000 \text{ Ом.} \quad (6.2)$$

Пусть $I_6 = 50 \text{ мкА}$, т.е. $\Delta I_6 = 0$:

$$h_{12} = \left. \frac{\Delta U_{\text{бэ}}}{\Delta U_{\text{кз}}} \right|_{I_6=50} = \frac{0,5 \text{ В} - 0,27 \text{ В}}{5 \text{ В} - 0 \text{ В}} = \frac{0,23}{5} = 0,046 \quad (6.3)$$

Затем для линейных участков выходных характеристик определим h -параметры (рисунок 6.4).

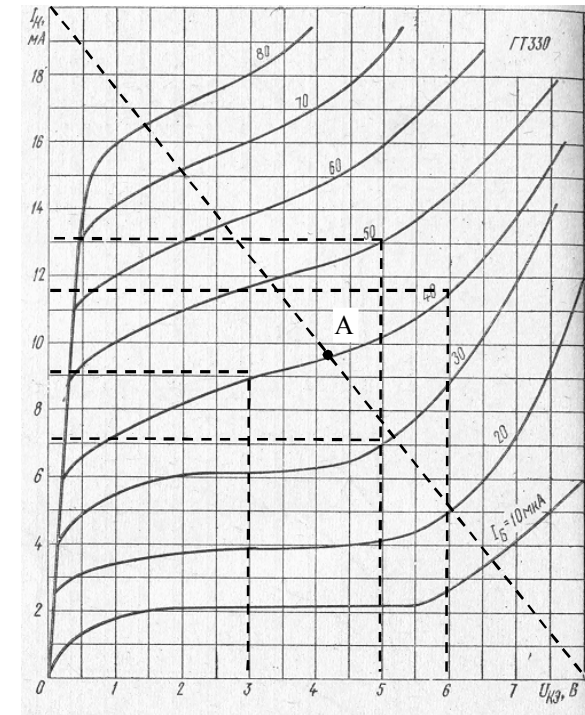


Рисунок 6.4 – Определение h – параметров по выходным характеристикам транзистора

Пусть $U_{\text{кз}} = 5 \text{ В}$, т.е. $\Delta U_{\text{кз}} = 0$:

$$h_{21} = \left. \frac{\Delta I_{\text{к}}}{\Delta I_6} \right|_{U_{\text{кз}}=5} = \frac{13 \text{ мА} - 7 \text{ мА}}{50 \text{ мкА} - 30 \text{ мкА}} = \frac{6 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 10^{-5}} = 300 \text{ Ом.} \quad (6.4)$$

Пусть $I_6 = 40 \text{ мкА}$, т.е. $\Delta I_6 = 0$:



$$h_{22} = \left. \frac{\Delta I_K}{\Delta U_{KЭ}} \right|_{I_6=40} = \frac{11,5 \text{ мА} - 9 \text{ мА}}{6 \text{ В} - 3 \text{ В}} = \frac{2,5 \cdot 10^{-3}}{3} = 0,833 \cdot 10^{-3} \text{ См} \quad (6.5)$$

6.2.3. Согласно пункту 5.2.3, приведем схему замещения транзистора для системы h -параметров и рассчитаем характеристики ее элементов.

Схема замещения транзистора для системы h -параметров представлена на рис. 6.5.

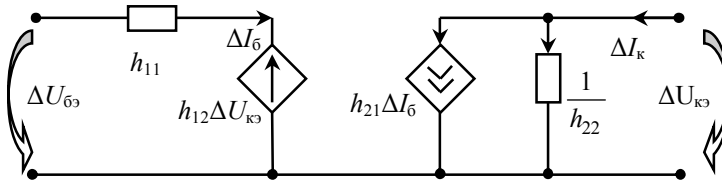


Рисунок 6.5 – Схема замещения транзистора для системы h -параметров

Определим величину сопротивления, включенного параллельно управляемому источнику тока:

$$\frac{1}{h_{22}} = \frac{1}{0,833 \cdot 10^{-3}} = 1200 \text{ Ом} \quad (6.6)$$

6.2.4. В соответствии с пунктом 5.2.4, приведем малосигнальную модель биполярного транзистора, выраженную через Т-образную схему замещения для низких частот входного сигнала (рисунок 6.6).

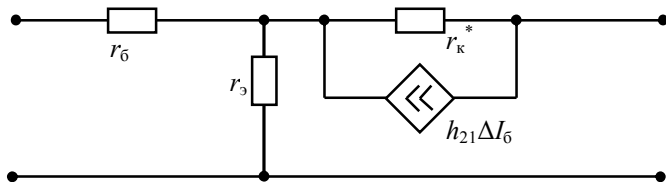


Рисунок 6.6 – Т-образная схема замещения транзистора для схемы с общим эмиттером в режиме малого сигнала

6.2.5. Согласно пункту 5.2.6, рассчитаем физические параметры транзисторов через h -параметры:

$$r_k^* = \frac{r_k}{1 + h_{21}} = \frac{1 + h_{21}}{h_{22}(1 + h_{21})} = \frac{1}{h_{22}} = \frac{1}{0,833 \cdot 10^{-3}} = 1200 \text{ Ом}; \quad (6.7)$$

$$r_3 = \frac{h_{12}}{h_{22}} = \frac{46 \cdot 10^{-3}}{0,833 \cdot 10^{-3}} = 52,2 \text{ Ом}; \quad (6.8)$$

$$r_6 = h_{11} - \frac{h_{12}(1 + h_{21})}{h_{22}} = 5000 - \frac{0,046 \cdot (300 + 1)}{0,833 \cdot 10^{-3}} = -11622 \text{ Ом}. \quad (6.9)$$

6.2.6. В соответствии с пунктом 5.2.6, проведем графический расчет усилительного каскада (рисунок 5.1).

Проведем нагрузочную прямую по диагонали выходных характеристик, не проходящей через начало координат (рисунок 6.4). На нагрузочной прямой выберем посередине точку покоя A , которой соответствуют следующие значения токов и напряжений:

$$I_{к0}=9,5 \text{ мА}, U_{кэ0}=4,4 \text{ В}, I_{б0}=40 \text{ мкА}.$$

Величины $I_{к0}$ и $U_{кэ0}$ не выходят за пределы максимально допустимых значений (см. пункт 6.1).

Вычислим рассеиваемую мощность транзистора в режиме покоя

$$P_0 = U_{кэ0} I_{к0} = 4,4 \cdot 9,5 \cdot 10^{-3} = 41,8 \text{ мВт} \quad (6.10)$$

Найденная рассеиваемая мощность не превышает предельно допустимого значения. Следовательно, изменять положение нагрузочной прямой не требуется.

Для обеспечения режима покоя найдем параметры элементов усилительного каскада.

Исходя из расположения нагрузочной прямой, величина напряжения источника питания E_p , равна максимальному значению напряжения $U_{кэ}$ для выходных характеристик транзистора, т.е. $E_p=8 \text{ В}$, а максимальное значение тока коллектора (когда $U_{кэ}=0$) равно $I_k^*=20 \text{ мА}$.

Затем найдем сопротивление резисторов R_k и R_6 :

$$R_k = \frac{E_p}{I_k^*} = \frac{8}{20 \cdot 10^{-3}} = 400 \text{ Ом}; \quad (6.11)$$

$$R_6 = \frac{E_p - U_{бэ0}}{I_{б0}} = \frac{8 - 0,45}{40 \cdot 10^{-6}} = 188750 \text{ Ом}. \quad (6.12)$$

Для режима покоя определим направления (первый индекс указывает электрод с более высоким потенциалом) и величины напряжений и токов:

$$U_{кэ0}=4,5 \text{ В}; U_{бэ0}=0,45 \text{ В}; I_{б0}=40 \text{ мкА}; I_{к0}=9,5 \text{ мА}.$$

Графически получим выходное напряжение (рисунок 6.7).



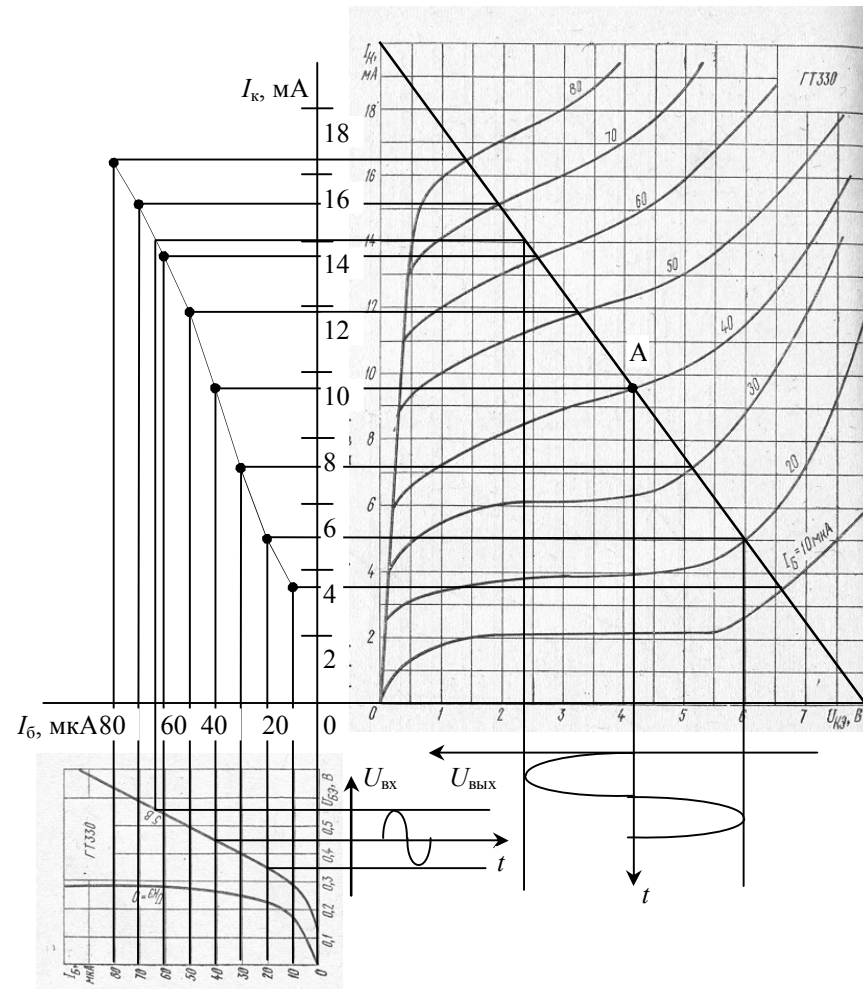


Рисунок 6.7 – Графический анализ работы усилительного каскада

Из графических построений получим коэффициент усиления по напряжению (рисунок 6.7).

Размах (удвоенная амплитуда) входного напряжения – это изменение напряжения база-эмиттер, а размах выходного напряжения – изменение напряжения коллектор-эмиттер:

$$K_U = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}} = \frac{\Delta U_{\text{КЭ}}}{\Delta U_{\text{БЭ}}} = \frac{5,9 - 2,3}{0,56 - 0,36} = \frac{3,6}{0,2} = 18 \quad (6.13)$$



6.2.7. Согласно пункту 5.2.7, используя h -параметры, аналитически определим коэффициент усиления, входное и выходное сопротивления:

$$K_U = -\frac{h_{21}R_K}{(h_{22}R_K + 1)h_{11}} = -\frac{300 \cdot 444,4}{(0,833 \cdot 10^{-3} \cdot 400 + 1) \cdot 5000} = -18; \quad (6.14)$$

$$R_{\text{вх}} = \frac{R_6 h_{11}}{R_6 + h_{11}} = \frac{188750 \cdot 5000}{188750 + 5000} = \frac{943750000}{193750} = 4871 \text{ Ом}; \quad (6.15)$$

$$R_{\text{вых}} = \frac{R_K}{R_K h_{22} + 1} = \frac{400}{400 \cdot 0,83 \cdot 10^{-3} + 1} = \frac{400}{1,333} = 300 \text{ Ом}. \quad (6.16)$$



БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Электротехника / Под ред. В.Г. Герасимова. – М.: Высш. шк., 1985. – 480 с.
2. Трегуб А.П. Электротехника / А.П.Трегуб. – К.: Вища шк., 1987. – 600 с.
3. Касаткин А.С. Электротехника / А.С. Касаткин, П.В. Немцов. – М.: Высш. шк., 2000. – 542 с.
4. Шебес М.Р. Сборник задач по теории линейных электрических цепей / М.Р. Шебес. – М.: Высш. шк., 1990. – 530 с.
5. Сборник задач по электротехнике и основам электроники / Под ред. В.Г. Герасимова. – М.: Высш. шк., 1987. – 288 с.
6. Минаев Е.И. Основы радиоэлектроники / Е.И. Минаев. – М.: Радио и связь, 1989. – 488 с.
7. Булычев А.Л. Электронные приборы / А.Л. Булычев, П.М. Лямин. – М.: Высш. шк., 2000. – 416 с.
8. Нефедов В.И. Основы радиоэлектроники и связи / В.И. Нефедов. – М.: Высш. шк., 2002. – 512 с.
9. Галкин В.И. Справочник. Полупроводниковые приборы / В.И. Галкин, А.Д. Булычев. – Минск: Беларусь, 1995. – 384 с.
10. Лавриненко В.Ю., Справочник по полупроводниковым приборам / В.Ю. Лавриненко. – К.: Вища шк., 1984. – 424 с.