

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРОННЫХ СХЕМ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

к выполнению расчетно-графических заданий
по дисциплине «Основы электроники и электротехники»

для студентов специальности 7.080401
дневной формы обучения

Севастополь
2004

УДК 621.3.01

Расчет элементов электронных схем и электрических цепей.
Методические указания к выполнению расчетно-графических заданий
(РГЗ) по дисциплине «Основы электроники и электротехники»/ Сост.
Кудрявченко И.В. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2004. –22 с.

Целью методических указаний является обеспечение наглядного
изучения методов расчета простейших электронных схем и электриче-
ских цепей постоянного и переменного токов.

Методические указания предназначены для студентов специаль-
ности 7.080401 дневной формы обучения

Методические указания рассмотрены и утверждены на заседании
кафедры информационных систем
(протокол № 3 от 22 октября 2003 г.)

Допущено учебно-методическим центром СевНТУ в качестве ме-
тодических указаний

Рецензент: Чмут В.В., к.т.н., доцент кафедры технической кибер-
нетики

СОДЕРЖАНИЕ

1. Цель работы	3
2. Краткие теоретические сведения	3
3. РГЗ №1 «Расчет линейных электрических цепей постоянного тока»	14
4. РГЗ №2 «Расчет линейных электрических цепей переменного тока»	15
5. РГЗ №3 «Переходные процессы в линейных электрических цепях	16
6. РГЗ №4 «Расчет комплексного коэффициента передачи линейных четырехполюсников»	18
7. РГЗ №5 «Расчет электронных усилителей»	20
Библиографический список	21



1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Выполнение расчетно-графических задания имеет целью формирование навыков самостоятельных расчетов линейных электрических цепей постоянного и переменного токов, переходных процессов в электрических цепях первого и второго порядков, расчета электронных усилителей.

2. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

2.1. При выполнении РГЗ №1 требуется найти токи в ветвях схемы электрической цепи (ЭЦ), которая содержит В ветвей и Y узлов тремя различными методами: контурных токов (КТ), узловых потенциалов (УП) и наложения (МН).

Определения

1. Ветвь схемы – участок цепи, состоящий из последовательно соединенных элементов и ограниченный двумя узлами.
2. Узел – точка цепи, в которой сходится не менее трех ветвей.
3. Контур – любой замкнутый участок ЭЦ.

Метод контурных токов (КТ)

В качестве искоемых величин выбирают контурные токи. Число неизвестных в этом методе $n = B - (Y - 1)$.

Порядок решения:

1. выбирают положительные направления контурных токов в n независимых контурах (по часовой стрелке) и обозначают их на схеме;
2. составляют систему из n уравнений:

$$\left. \begin{aligned} I_{11}R_{11} - I_{22}R_{12} - \dots - I_{n1}R_{1n} &= E_{11}; \\ -I_{11}R_{21} + I_{22}R_{22} - \dots - I_{n2}R_{2n} &= E_{22} \\ &\vdots \\ -I_{11}R_{n1} - I_{22}R_{n2} - \dots + I_{nn}R_{nn} &= E_{nn} \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

где I_{jj} – контурный ток j-го контура;

R_{jj} – контурное сопротивление j-го контура, равное сумме сопротивлений j-го контура;

$R_{ln} = R_{nl}$ – общее сопротивление l-го и n-го контуров, равное сумме сопротивлений смежной ветви контуров l и n;

E_{jj} – контурная ЭДС j-го контура, равная алгебраической сумме ЭДС, входящих в состав j-го контура. Если направление действия ЭДС E_{ij} i-го источника, входящего в состав j-го контура, *совпадает* с на-

правлением контурного тока, то E_{ij} записывают со знаком «+», а если *не совпадает*, то со знаком «-»;

3. решают систему (1) и находят токи ветвей как алгебраическую сумму контурных токов, протекающих через данную ветвь.

Метод узловых потенциалов (УП)

Метод УП позволяет уменьшить число независимых уравнений до $n = Y - 1$.

Порядок решения:

1. выбирают *базисный* узел (его потенциал полагают равным нулю);
2. составляют систему из n уравнений:

$$\left. \begin{aligned} G_{11}\varphi_1 - G_{12}\varphi_2 - \dots - G_{1n}\varphi_n &= \sum_1 EG + \sum_1 J \\ -G_{21}\varphi_1 + G_{22}\varphi_2 - \dots - G_{2n}\varphi_n &= \sum_2 EG + \sum_2 J \\ &\vdots \\ -G_{n1}\varphi_1 - G_{n2}\varphi_2 - \dots + G_{nn}\varphi_n &= \sum_n EG + \sum_n J \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

где G_{jj} – суммарная проводимость ветвей, соединенных с j-м узлом;

$G_{nl} = G_{ln}$ – сумма проводимостей ветвей между l-м и n-м узлами;

$\sum_i EG$ и $\sum_i J$ алгебраическая сумма токов ветвей, содержащих

источники ЭДС и тока, соединенных с i-м узлом; знак «+» соответствует втекающим в i-й узел токам, знак «-» – вытекающим.

3. Решают систему (2) и, используя закона Ома для участка цепи содержащего ЭДС, находят токи ветвей.

Метод наложения (МН)

Для определения тока в k-й ветви сложной схемы, можно воспользоваться принципом *наложения*: ток в k-й ветви равен алгебраической сумме токов, вызываемых каждым из источников в отдельности.

Порядок решения:

1. поочередно рассчитывают частичные токи в k-й ветви, возникающие от действия каждого из источников, мысленно удаляя остальные из схемы, но оставляя при этом в схеме внутренние сопротивления источников.
2. находят ток в k-й ветви путем алгебраического сложения частичных токов.



2.2. При выполнении РГЗ №2 требуется найти комплексные действующие значения токов ветвей в разветвленной ЭЦ с источниками синусоидальных ЭДС.

Определения

1. Источники синусоидальной (гармонической) ЭДС или тока обеспечивают в ЭЦ установившийся процесс, в котором токи ветвей и напряжения ЭЦ являются синусоидальными функциями времени с частотой источника ЭДС (тока).

$$e = E_m \sin(\omega t + \psi_e); \quad u = U_m \sin(\omega t + \psi_u); \quad i = I_m \sin(\omega t + \psi_i) \quad (1)$$

где e, u, i – мгновенные значения ЭДС, напряжения и тока;

E_m, U_m, I_m – наибольшие значения функций (1), называемые *амплитудами*;

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f \text{ - угловая частота};$$

$$f = \frac{1}{T} \text{ - частота ЭДС напряжения или тока};$$

T – период колебаний;

ψ_e, ψ_u, ψ_i – начальная фаза ЭДС, напряжения и тока.

2. Временные диаграммы применяют для графического представления сигналов и процессов в ЭЦ. На рисунке 1 приведены временные диаграммы синусоидальных тока и напряжения.

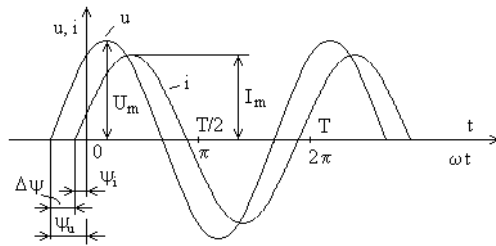


Рисунок 1 – Временные диаграммы тока и напряжения ЭЦ

Из рисунка 1 Видно, что $\Delta\psi = \psi_u - \psi_i$ - разность фаз между напряжением и током, причем положительные значения фазы $\psi_u > 0$ и $\psi_i > 0$ откладывают от начала координат влево, а отрицательные - вправо. По оси абсцисс откладывают время t или ωt .

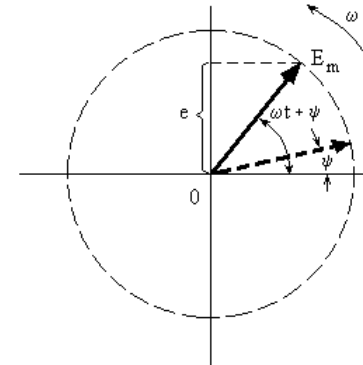
3. Действующие значения периодических ЭДС, напряжений и токов определяют по формулам (2):

$$E = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T e^2 dt}; \quad U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2 dt}; \quad I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt} \quad (2)$$

Для синусоидальных функций

$$E = \frac{E_m}{\sqrt{2}}, \quad U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}; \quad I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \quad (3)$$

4. Совокупность векторов, характеризующих процессы, происходящие в той или иной цепи переменного тока, и построенных с соблюдением правильной ориентации их друг относительно друга, называют *векторной диаграммой*. Обычно на векторной диаграмме длину векторов выбирают равной (в выбранном масштабе) действующим значениям ЭДС, токов и напряжений.



На рисунке 2 приведена векторная диаграмма синусоидальной ЭДС. Если угол $(\omega t + \psi)$ отсчитывается от горизонтальной оси, то проекция вращающегося вектора на вертикальную ось равна мгновенному значению ЭДС:

$$e = E_m \sin(\omega t + \psi).$$

Рисунок 2 – Векторная диаграмма

5. Метод *комплексных амплитуд* применяется при расчете ЭЦ с источниками гармонических сигналов.

Из векторных диаграмм следует, что между мгновенным значением ЭДС, напряжения или тока и изображающим вектором можно установить взаимно однозначное соответствие. Если считать, что ось абсцисс является осью действительных величин на комплексной плоскости, а ось ординат – мнимых, то каждый из векторов соответствует определенному комплексному числу. Модуль комплексного числа равен действующему значению (амплитуде), а аргумент – фазе ЭДС, напряжения или тока. Действительную синусоидальную функцию называют *оригиналом*, а комплексное число – *изображением*.

Например, для синусоидального тока можно записать



$$i = I_m \sin(\omega t + \psi_i) \quad \hat{=} \quad I_m e^{j(\omega t + \psi_i)} = \dot{I}_m e^{j\omega t}, \quad (4)$$

где $\dot{I}_m = I_m e^{j\psi_i}$ - комплексная амплитуда тока;

$\hat{=}$ - знак соответствия.

Основа для применения метода комплексных амплитуд к расчету линейных ЭЦ является принцип суперпозиции. Отклик цепи на «экспоненциальное» периодическое воздействие, стоящее в правой части (4) равен сумме откликов на суммарное воздействие

$$I_m \cos(\omega t + \psi_i) + j I_m \sin(\omega t + \psi_i).$$

Мнимая единица j позволяет разделить отклики линейной ЭЦ на синусоидальное и косинусоидальное периодические воздействия.

Законы Кирхгофа (ЗК) и Ома в комплексной форме

Первый ЗК – сумма комплексных действующих значений токов в узле равна нулю:

$$\sum_{k=1}^n \dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dots + \dot{I}_n = \sum_{k=1}^n \dot{I}_k = 0; \quad (5)$$

второй ЗК – сумма комплексных действующих значений напряжений на пассивных элементах контура равна сумме комплексных ЭДС источников, входящих в контур:

$$\sum_{k=1}^n Z_k \dot{I}_k = \sum_{k=1}^n \dot{E}_k; \quad (6)$$

закон Ома для участка цепи с ЭДС

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}_{ab} + \dot{E}}{Z}; \quad (7)$$

закон Ома для участка цепи без ЭДС

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}_{ab}}{Z}, \quad (7a)$$

где $\dot{I}_k$, $\dot{U}_{ab}$, $\dot{E}_k$ - комплексные действующие значения токов, напряжений и ЭДС;

Z , Z_k - комплексные сопротивления ветвей ЭЦ.

2.3. При выполнении РГЗ №3 требуется рассчитать токи в ветвях ЭЦ после коммутации.

Определения

1. *Коммутации* – «мгновенные» включения (отключения) ветвей, внезапные изменения параметров или короткие замыкания отдельных участков ЭЦ.
2. *Переходные процессы* возникают в ЭЦ в результате коммутаций и продолжаются определенное время. Переходный процесс возникает в ЭЦ при переходе от одного установившегося или принужденного режима к другому.
3. *Принужденный режим* устанавливается в ЭЦ после того, как в ней произошла коммутация и переходным процессом можно пренебречь.
4. *Установившийся режим* – это принужденный режим, создаваемый источником периодически изменяющейся ЭДС (или тока).

Для отыскания токов и напряжений в переходном процессе необходимо составить дифференциальные уравнения ЭЦ и найти их *полные решения*. Если в дифференциальном уравнении ЭЦ операторы дифференцирования заменить символом «р», переменную – единицей, а правую часть приравнять нулю, то получают *характеристическое уравнение* ЭЦ.

Решение линейных дифференциальных уравнений ЭЦ

Полное решение линейного уравнения образуется как сумма *частного* решения *неоднородного* уравнения, содержащего заданные ЭДС или напряжения и решения *однородного* уравнения. Однородное уравнение получают из исходного уравнения ЭЦ, принимая в нем заданные ЭДС или напряжения равными нулю. Например, полное решение для тока в переходном процессе равно:

$$i(t) = i_{пр}(t) + i_{св}(t), \quad (8)$$

где $i_{пр}(t)$ – частное решение неоднородного, а $i_{св}(t)$ – решение однородного уравнений. При $t \rightarrow \infty$ ток $i_{св}(t)$ стремится к нулю и ток $i(t)$ стремится к $i_{пр}(t)$. Частное решение $i_{пр}(t)$ является током принужденного режима.

Законы коммутации

Пусть время начала коммутации $t = 0$. Момент времени непосредственно предшествующий коммутации будем обозначать $t=0_-$, а наступающий сразу после коммутации $t = 0_+$.

1. Ток через индуктивность непосредственно до коммутации равен току через ту же индуктивность сразу после коммутации:

$$i_L(0_-) = i_L(0_+) \quad (9)$$



2. Напряжение $u_C(0_-)$ на емкости непосредственно до коммутации равно напряжению $u_C(0_+)$ на этой же емкости сразу после коммутации:

$$u_C(0_-) = u_C(0_+) \quad (10)$$

Начальные условия

1. *Независимые начальные условия* - значения переходных токов в индуктивностях и напряжений на емкостях при $t = 0$.
2. *Зависимые начальные условия* - все остальные токи и напряжения ЭЦ (при $t = 0$). Их определяют с учетом независимых условий с помощью уравнений, составленных по законам Кирхгофа.
3. *Нулевые начальные условия* - токи и напряжения на пассивных элементах ЭЦ, которые равны нулю при $t=0_-$.
4. *Ненулевые начальные условия* - токи и напряжения на пассивных элементах ЭЦ, которые не равны нулю при $t=0_-$.

Классический метод расчета переходных процессов

- ✓ решение ДУ находят в виде суммы принужденного и свободного решений;
- ✓ постоянные интегрирования определяют по известным значениям корней характеристического уравнения и свободной составляющей тока (напряжения) и ее производных, взятых при $t(0_+)$, решая систему линейных алгебраических уравнений.

Основная трудность метода состоит в определении зависимых начальных условий.

Постоянная времени цепи

Решение однородного дифференциального уравнения записывают в виде показательных функций вида Ae^{pt} . Например, для свободного тока ЭЦ

$$i_{св} = Ae^{pt}, \quad (11)$$

где A – постоянная интегрирования;

p – показатель затухания, причем p - отрицательное число.

Величина

$$\tau = \frac{1}{|p|} \quad (12)$$

- постоянная времени цепи, которая измеряется в секундах и зависит от схемы ЭЦ.

Из (11) и (12) следует, что постоянная времени численно равна промежутку времени, в течение которого функция изменяет свое значение в e раз ($e = 2,71828\dots$ – основание натуральных логарифмов).

Обычно считают что переходный процесс продолжается 3τ .

Свойства корней характеристического уравнения (х.у.)

1. х.у. первой степени имеет один отрицательный действительный корень.
2. х.у. второй степени может иметь:
 - два действительных неравных отрицательных корня;
 - два действительных равных отрицательных корня;
 - два комплексно сопряженных корня с отрицательной действительной частью.

Особенности свободного процесса в ЭЦ второго порядка

- ✓ *апериодический процесс* (х.у. имеет два действительных неравных корня)

Пусть $p_1 = -a$ и $p_2 = -b$, причем $b > a$. Тогда

$$i_{св} = A_1 e^{-at} + A_2 e^{-bt}. \quad (13)$$

- ✓ *критический процесс* (х.у. имеет два равных корня)

Пусть $p_1 = p_2 = -a$. Тогда

$$i_{св} = A_1 e^{pt} + A_2 t e^{pt} = (A_1 + A_2 t) e^{-at}. \quad (14)$$

- ✓ *колебательный процесс* (х.у. имеет два комплексно сопряженных корня)

Пусть $p_1 = -\delta + j\omega_0$ и $p_2 = -\delta - j\omega_0$. Тогда

$$i_{св} = Ae^{-\delta t} \sin(\omega_0 t + \psi_0). \quad (15)$$

Уравнение (15) описывает затухающее синусоидальное колебание с угловой частотой свободных колебаний ω_0 и начальной фазой ψ_0 . Множитель $Ae^{-\delta t}$ задает огибающую колебания. Чем больше коэффициент затухания δ , тем быстрее затухает колебательный процесс. A и ψ_0 определяются значениями параметров схемы, начальными условиями и ЭДС источника; ω_0 и δ зависят только от параметров цепи после коммутации.

2.4. При выполнении РГЗ №4 требуется рассчитать и построить АЧХ и ФЧХ четырехполюсника (ЧП).



Передаточная функция

Одной из основных характеристик ЭЦ является ее передаточная комплексная функция (или комплексный коэффициент передачи). Передаточная комплексная функция цепи характеризует реакцию цепи на внешнее воздействие и равна отношению выходной величины к входной величине, выраженных в комплексной форме. Обычно применяют передаточную функцию по напряжению $\dot{K}_U(j\omega)$ и току $\dot{K}_I(j\omega)$:

$$\dot{K}_U(j\omega) = \frac{\dot{U}_2(j\omega)}{\dot{U}_1(j\omega)}; \quad \dot{K}_I(j\omega) = \frac{\dot{I}_2(j\omega)}{\dot{I}_1(j\omega)}. \quad (16)$$

Передационную функцию цепи также можно представить в показательной форме:

$$\dot{K}(j\omega) = K(\omega) e^{j\varphi(\omega)}, \quad (17)$$

где $K(\omega)$ - модуль передаточной функции;

$\varphi(\omega)$ - аргумент (фаза) передаточной функции.

Определения

1. *Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ)* - зависимость модуля передаточной функции ЧП от частоты.
2. *Фазо-частотная характеристика (ФЧХ)* - зависимость аргумента передаточной функции от частоты.

АЧХ идеальных фильтров

Частотные электрические *фильтры* – ЧП, имеющие резко выраженную избирательность для отдельных частот или полос частот. Различают фильтры нижних частот (ФНЧ), фильтры верхних частот (ФВЧ), полосовые (ПФ) и режекторные фильтры (РФ). Их полосы пропускания находятся в следующих пределах (Рисунок 3)

ФНЧ: от $\omega = 0$ до $\omega = \omega_c$;	где ω_c - частота среза или граничная частота фильтра;
ФВЧ: от $\omega = \omega_c$ до $\omega = \infty$;	
ПФ: от $\omega = \omega_1$ до $\omega = \omega_2$;	ω_1 – нижняя граничная частота;
РФ: от 0 до $\omega = \omega_1$ и	ω_2 – верхняя граничная частота.
от $\omega = \omega_2$ до $\omega = \infty$	

Для *реальных* фильтров частоты среза определяют по уровню половинной мощности (уровень 0,707 от максимального значения АЧХ).

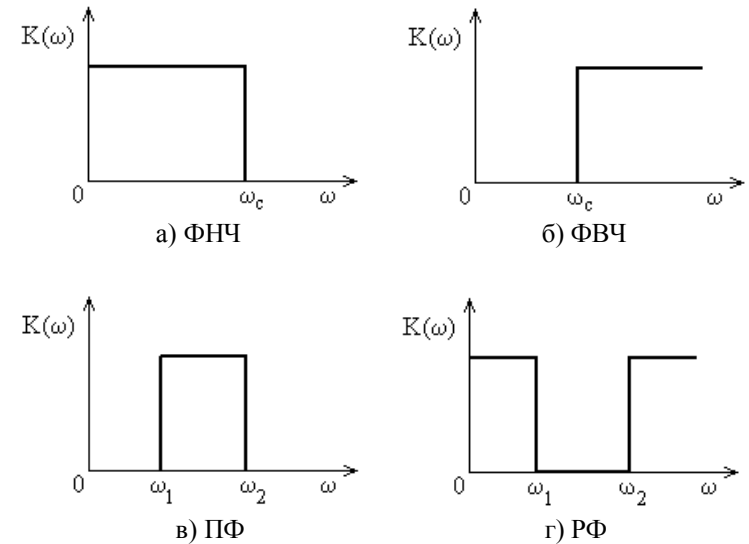


Рисунок 3 – АЧХ идеальных фильтров

2.5. При выполнении РГЗ №5 требуется рассчитать значения сопротивлений и емкостей однокаскадного транзисторного усилителя.

Схема однокаскадного транзисторного усилителя ОЭ

На рисунке 4 приведена простая схема усилителя, включенного по схеме с общим эмиттером (ОЭ). Семейство выходных статических характеристик транзистора VT1 приведено на рисунке 5.

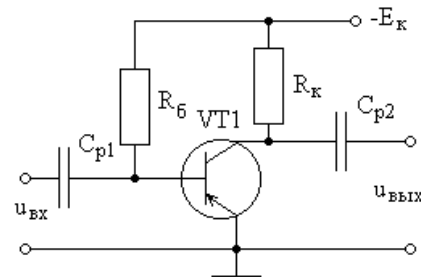


Рисунок 4 – Схема усилителя ОЭ

Порядок расчета усилителя

1. Определяем $U_{кэ0}$ (постоянное напряжение между выводами коллектора и эмиттера при переменном токе базы равно нулю). Выбираем напряжение источника питания E_k из стандартного ряда значений при обязательном выполнении условия $E_k < U_{кэ доп}$, (18)

где $U_{кэ доп}$ максимально допустимое напряжение между коллектором и эмиттером VT1.

2. Определяем максимальный ток коллектора $I_{к макс}$ из условия

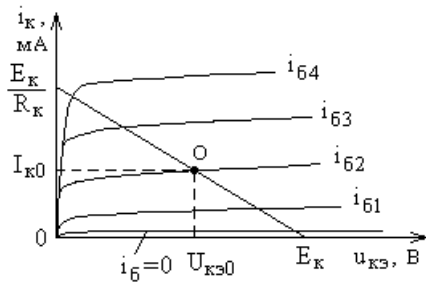


$$I_{к макс} = \frac{E_k}{R_k} < I_{к макс} , \quad (19)$$

где $I_{к макс}$ – максимально допустимый постоянный ток коллектора.

3. Из условия (19) выбираем сопротивление в цепи коллектора R_k , используя стандартный ряд значений.

4. По точкам с координатами $(E_k; 0)$ и $(0; E_k/R_k)$ на семействе выходных характеристика транзистора VT1 строим нагрузочную прямую постоянного тока (рисунок 5).



На нагрузочной прямой, в середине рабочей области, выбираем точку покоя O (в этом состоянии транзистор находится при отсутствии входного сигнала). Определяем значение коллекторного тока $I_{к0}$, коллекторного напряжения $U_{кз0}$ и тока базы $i_{б0} = i_{б2}$.

Рисунок 5 – К построению нагрузочной прямой

Примечание. – Если точка O лежит между характеристиками $i_{б2}$ и $i_{б3}$, то значение $i_{б0}$ определяют приблизительно, достраивая соответствующую характеристику методом линейной интерполяции.

5. Находим значение сопротивления в цепи базы $R_б$:

$$R_б = \frac{E_k - u_{бэ}}{i_{б0}} , \quad (20)$$

где падение напряжения $u_{бэ} \approx 0,7$ В для кремниевых транзисторов или $u_{бэ} \approx 0,1$ В для германиевых транзисторов. Так как обычно выполняется условие $E_k \gg u_{бэ}$, то при расчете $R_б$ можно воспользоваться приближенной формулой

$$R_б \approx \frac{E_k}{i_{б0}} .$$

6. Выбираем значения разделительных конденсаторов C_{p1} и C_{p2} из условия

$$\frac{1}{\omega_n C_{p1(2)}} \ll R_{вх1(2)} , \quad (21)$$

где ω_n – нижняя граничная частота (угловая);

$R_{вх1}$ – входное сопротивление каскада.

При расчете C_{p2} в качестве $R_{вх2}$ берем входное сопротивление следующего каскада или нагрузки.

Обычно в качестве разделительных конденсаторов используют электролитические конденсаторы большой емкости (единицы – десятки микрофард).

3. РГЗ №1 «Расчет линейных электрических цепей постоянного тока»

Используя методы контурных токов (КТ), узловых потенциалов (УП) и наложения (МН), рассчитать значения токов, протекающих в ветвях электрической цепи, представленной на рисунке 6. Проверить полученные результаты, используя законы Кирхгофа и условие баланса мощностей. Значения сопротивлений R_1 , R_2 , ЭДС источника E , тока источника J даны в таблице 1.

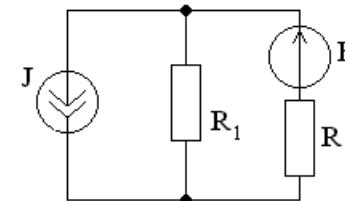


Рисунок 6 – Схема цепи к РГЗ №1

Таблица 1 – Варианты заданий

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
E, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
J, А	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5
R ₁ , Ом	10	10	9	9	8	8	7	7	6	6
R ₂ , Ом	5	3	5	1	1	9	9	2	2	3
Метод	КТ	УП	МН	КТ	УП	МН	КТ	УП	МН	КТ
Вариант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
E, В	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
J, А	6	6	7	7	8	8	9	9	10	10
R ₁ , Ом	5	5	4	4	3	3	2	2	1	1
R ₂ , Ом	10	8	3	7	2	1	8	5	6	2
Метод	КТ	УП	МН	КТ	УП	МН	КТ	УП	МН	КТ



Продолжение таблицы 1

Вариант	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
E, В	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
J, А	11	11	12	12	13	13	14	14	15	15
R ₁ , Ом	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R ₂ , Ом	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Метод	КТ	УП	МН	КТ	УП	МН	КТ	УП	МН	КТ

Примечания:

1. Вариант задания согласовать с преподавателем.
2. Расчеты проводить с пятью знаками после запятой.

4. РГЗ №2 «Расчет линейных электрических цепей переменного тока»

Рассчитать комплексные действующие значения токов ветвей в цепи, представленной на рисунке 7. Проверить выполнение второго закона Кирхгофа и условия баланса мощностей. Значения сопротивлений x_L , x_C , R_1 , R_2 и R_3 , комплексных действующих значений ЭДС $\dot{E}_1$ и $\dot{E}_2$ даны в таблице 2.

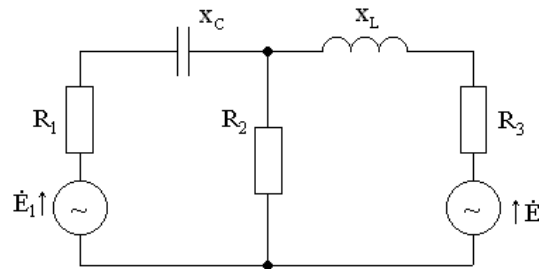


Рисунок 7 – Схема цепи к РГЗ №3

Таблица 2 – Варианты заданий

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\dot{E}_1$, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\dot{E}_2$, В	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
x_L , Ом	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5

Продолжение таблицы 2

x_C , Ом	6	6	7	7	8	8	9	9	10	10
R_1 , Ом	1	1	3	3	5	5	7	7	9	9
R_2 , Ом	2	2	4	4	6	6	8	8	10	10
R_3 , Ом	3	3	2	2	4	4	1	1	5	5
Вариант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$\dot{E}_1$, В	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$\dot{E}_2$, В	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11
x_L , Ом	6	6	7	7	8	8	9	9	10	10
x_C , Ом	11	11	12	12	13	13	14	14	15	15
R_1 , Ом	2	2	4	4	6	6	8	8	10	10
R_2 , Ом	1	1	3	3	5	5	7	7	9	9
R_3 , Ом	8	8	7	7	9	9	6	6	10	10
Вариант	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
$\dot{E}_1$, В	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
$\dot{E}_2$, В	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21
x_L , Ом	11	11	12	12	13	13	14	14	15	15
x_C , Ом	16	16	17	17	18	18	19	19	20	20
R_1 , Ом	8	8	7	7	9	9	6	6	10	10
R_2 , Ом	2	2	4	4	6	6	8	8	10	10
R_3 , Ом	1	1	3	3	5	5	7	7	9	9

Примечания:

1. Вариант задания согласовать с преподавателем.
2. Расчеты проводить с пятью знаками после запятой.

5. РГЗ №3 «Переходные процессы в линейных электрических цепях»

Для электрических цепей, представленных на рисунках 8-10, рассчитать токи ветвей после коммутации. Построить временные диаграммы переходного процесса. Значения ЭДС источника E, тока источника J, сопротивлений R_1 , R_2 , индуктивности L, емкости C, даны в таблице 3.



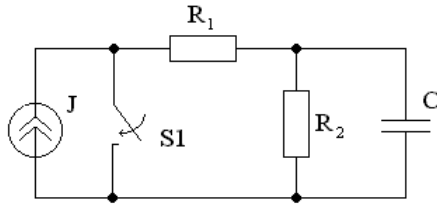


Рисунок 8- Схема цепи к РГЗ №3 (варианты 1-10)

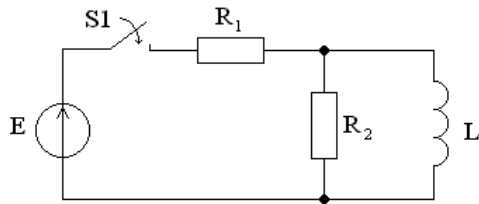


Рисунок 9 – Схема цепи к РГЗ № 3 (варианты 11-20)

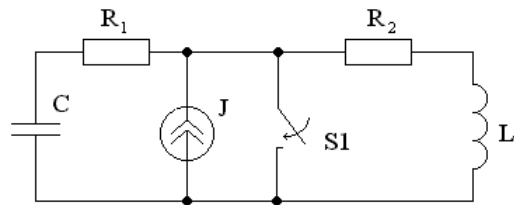


Рисунок 10 – Схема цепи к РГЗ №5 (варианты 21-30)

Таблица 3 – Варианты заданий

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Рисунок 8										
J, A	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R ₁ , Ом	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R ₂ , Ом	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5
C, мкФ	6	6	7	7	8	8	9	9	10	10
Вариант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Рисунок 9										
E, В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R ₁ , Ом	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5

Продолжение таблицы 3

R ₂ , Ом	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
L, мГн	6	6	7	7	8	8	9	9	10	10
Вариант	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Рисунок 10										
J, A	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
R ₁ , Ом	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R ₂ , Ом	10	10	9	9	8	8	7	7	6	6
C, мкФ	5	5	4	4	3	3	2	2	1	1
L, мГн	1	10	2	9	3	8	4	7	5	6

Примечания:

1. Вариант задания согласовать с преподавателем.
2. Расчеты проводить с пятью знаками после запятой.

6. РГЗ №4 «Расчет комплексного коэффициента передачи линейных четырехполюсников»

Для четырехполюсников, представленных на рисунках 11-13, записать в общем виде выражения для определения комплексного коэффициента передачи по напряжению $K(j\omega)$. Построить АЧХ и ФЧХ четырехполюсника. Значения сопротивлений R_1 , R_2 , индуктивности L , емкости C , даны в таблице 4.

Таблица 4 – Варианты заданий

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R ₁ , Ом	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R ₂ , Ом	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
C, мкФ	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5
L, мГн	6	6	7	7	8	8	9	9	10	10
Вариант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
R ₁ , Ом	10	10	9	9	8	8	7	7	6	6
R ₂ , Ом	5	5	4	4	3	3	2	2	1	1
C, мкФ	5	5	1	1	4	4	2	2	3	3
L, мГн	10	6	9	7	8	10	6	9	7	8
Вариант	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
R ₁ , Ом	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
C, мкФ	10	1	9	2	8	3	7	4	6	5
L, мГн	1	10	2	9	3	8	4	7	5	6



Примечания:

1. Вариант задания согласовать с преподавателем.
2. Расчеты проводить с пятью знаками после запятой.

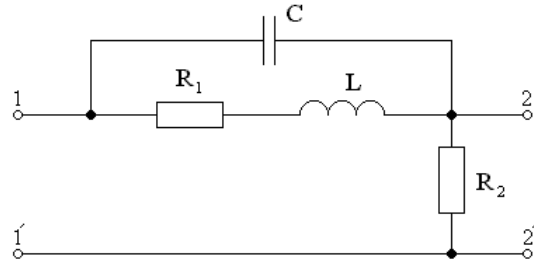


Рисунок 11- Схема цепи к РГЗ №4 (варианты 1-10)

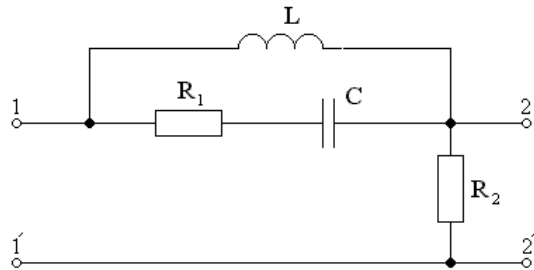


Рисунок 12 – Схема цепи к РГЗ №4 (варианты 11-20)

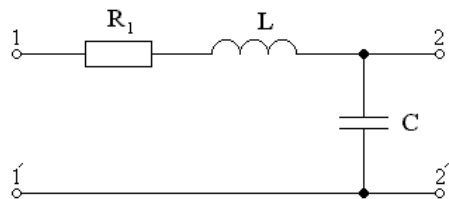
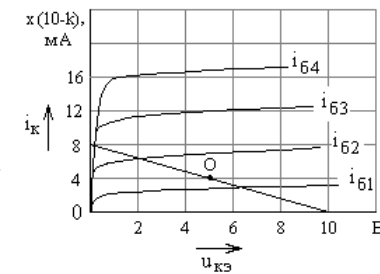


Рисунок 13- Схема цепи к РГЗ №4 (варианты 21-30)

7. РГЗ №5 «Расчет электронных усилителей»

Используя семейство выходных характеристик транзистора VT1 с заданной нагрузочной прямой (рисунки 14, 15), рассчитать сопротивления R_k , R_6 , R_3 , R_n , R_1 , R_2 и обосновать выбор емкостей C_{p1} , C_{p2} , C_3 усилителей, изображенных на рисунках 16, 17. Варианты заданий даны в таблице 5.

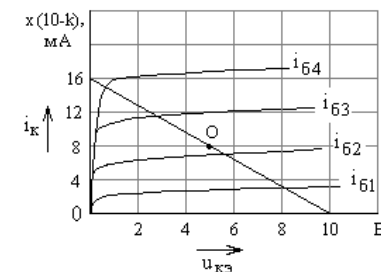


$$i_{61} = 50 \cdot (15 - k) \text{ мкА}; i_{62} = 100 \cdot (15 - k) \text{ мкА};$$

$$i_{63} = 150 \cdot (15 - k) \text{ мкА}; i_{64} = 200 \cdot (15 - k) \text{ мкА};$$

$$Q(5; 4 \cdot (10 - k)) - \text{точка покоя}$$

Рисунок 14 – Семейство выходных характеристик транзистора (варианты 1-15)



$$i_{61} = 50 \cdot (15 - k) \text{ мкА}; i_{62} = 100 \cdot (15 - k) \text{ мкА};$$

$$i_{63} = 150 \cdot (15 - k) \text{ мкА}; i_{64} = 200 \cdot (15 - k) \text{ мкА};$$

$$Q(5; 8 \cdot (10 - k)) - \text{точка покоя}$$

Рисунок 15 – Семейство выходных характеристик транзистора (варианты 16-30)

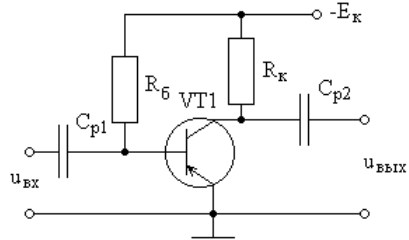


Рисунок 16 – Схема усилителя к РГЗ №5 (варианты 1-15)

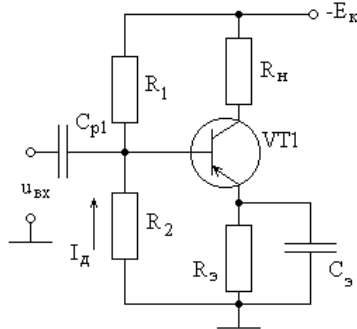


Рисунок 17 – Схема усилителя к РГЗ №5 (варианты 16-30)

Таблица 5 – Варианты заданий

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Рисунок	14									
k	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Вариант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Рисунок	14					15				
k	10	11	12	13	14	0	1	2	3	4
Вариант	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Рисунок	15									
k	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники / Л.А. Бессонов, Т.1-М.: Высш. шк., 1984.-840с.
2. Касаткин А.С. Электротехника / А.С. Касаткин, М.В. Немцов. – М.: Высш. шк., 2000. – 542с.

3. Кучумов А.И. Электроника и схемотехника /А.И. Кучумов. – М.: Гелиос АРВ, 2002. – 304 с.
4. Усатенко С.Т. Выполнение электрических схем по ЕСКД: Справочник / С.Т. Усатенко, Т.К. Каченюк, М.В. Терехова. – М.: Издательство стандартов, 1989. – 325 с.
5. ДСТУ 3008 – 95. Государственный стандарт Украины «Документация. Отчеты в сфере науки и техники. Структура и правила оформления».
6. Шебес М.Р. Задачник по теории линейных электрических цепей /М.Р. Шебес, М.В. Каблукова. – М.: Высш.шк., 1990. – 544 с.
7. Малахов В.П. Схемотехника аналоговых устройств/В.П. Малахов. – Одесса: Астропринт, 2000. – 212 с.
8. Лавриненко В.Ю. Справочник по полупроводниковым приборам /В.Ю. Лавриненко - К.: Техника, 1984. - 424 с.

