**ВОРОНЕЖСКИЙ ИНСТИТУТ МВД РОССИИ**

Кафедра физики и радиоэлектроники

Анисимов С.Л.

# ЭЛЕКТРОНИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И СХЕМОТЕХНИКА

Методические рекомендации по выполнению контрольных работ
для слушателей факультета заочного обучения, обучающихся
по направлению подготовки 09.03.01 Информатика
и вычислительная техника

Воронеж 2022

Рассмотрены и одобрены на заседании кафедры физики и радиоэлектроники, протокол № 9 от 11 мая 2022 г.

Рассмотрены и одобрены на заседании методического совета института, протокол № 10 от 16 мая 2022 г.

Рассмотрены и рекомендованы к изданию на заседании редакционно-издательского совета института, протокол № 5 от 24 мая 2022 г.

**Анисимов С.Л.** Электроника, электротехника и схемотехника. Методические рекомендации по выполнению контрольных работ для слушателей факультета заочного обучения. – Воронеж: Воронежский институт МВД России, 2022. – 50 с.

Методические рекомендации по дисциплине «Электроника, электротехника и схемотехника» подготовлены в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 09.03.01 Информатика и вычислительная техника на основе имеющихся учебно-методических материалов кафедры физики и радиоэлектроники и предназначены для слушателей, обучающихся на факультете заочного обучения. Издание содержит методические указания по выполнению контрольной работы, темы с перечнем основных вопросов, варианты контрольных заданий, примеры решения задач, приложения и литературу.

© Воронежский институт МВД России, 2022

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение……..... 4

1. Методические указания по выполнению контрольной работы ….…… 5

2. Образец титульного листа……..……. 6

3. Темы с перечнем основных вопросов, подлежащих изучению ……. 7

4. Варианты контрольных заданий…… 13

5. Примеры решения задач ……..... 28

6. Вопросы к экзамену…… 43

7. Порядок защиты контрольной работы……. 48

Приложение 1. Множители и приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц, их наименования и обозначения …….. 49

Приложение 2. Греческий алфавит ……...…... 49

Литература ……..……. 50

# ВВЕДЕНИЕ

Методические рекомендации предназначены для слушателей факультета заочного обучения обучающихся по направлению подготовки 09.03.01 Информатика и вычислительная техника и рекомендуются в качестве основного методического материала при выполнении контрольной работы по дисциплине «Электроника, электротехника и схемотехника». Методические рекомендации предусматривают использование дополнительной технической литературы и справочников.

Цель изучения дисциплины: усвоение слушателями основных понятий и законов теории радиотехнических цепей, обучение методам теоретического анализа и экспериментального исследования электрических цепей при различных видах воздействий, а также принципов построения и функционирования радиотехнических цепей с заданными параметрами.

В пособии даны основные формулы, примеры решения задач и задачи для самостоятельного решения – контрольные задания. Кроме того, в пособии даны общие методические указания, сведения о приближенных вычислениях и некоторые справочные таблицы.

Приобрести навыки решения, можно лишь, решив большое количество задач. Мы пытались изложить методику, показать подход, которым надо пользоваться при решении задач.

Решить задачу по дисциплине «Электроника, электротехника и схемотехника» можно лишь тогда, когда прочно усвоены основные законы, отработана методика решения задач и техника физических расчетов.

# 1. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ.

1. Титульный лист контрольной работы набирается на компьютере или пишется от руки в соответствии с приведенным образцом.

2. Номера задач, которые слушатель должен включить в свою контрольную работу, определяются по таблицам вариантов.

3. Условия задач в контрольной работе надо переписать полностью без сокращений. Для замечаний преподавателя на страницах тетради оставить поля.

4. Решение каждой следующей задачи в контрольной работе должно начинаться с новой страницы.

5. Решения задач следует сопровождать краткими, но исчерпывающими пояснениями; в тех случаях, когда это, возможно, дать чертеж, выполненный с помощью чертежных принадлежностей.

6. Решать задачу надо в общем, виде, то есть выразить искомую величину в буквенных обозначениях величин, заданных в условии задачи. При таком способе решения не производятся вычисления промежуточных величин.

7. После получения расчетной формулы для проверки ее правильности следует подставить в правую часть формулы вместо символов величин размерности этих величин, произвести с ними необходимые действия и убедиться в том, что полученная при этом единица измерения соответствует искомой величине. Если такого соответствия нет, то это означает, что задача решена неверно.

8. Числовые значения величин при подстановке их в расчетную формулу следует выражать только в единицах СИ. В виде исключения допускается выражать в любых, но одинаковых единицах числовые значения однородных величин, стоящих в числителе и знаменателе дроби и имеющих одинаковые степени.

9. При подстановке в расчетную формулу, а также при записи ответа числовые значения величин следует записывать как произведение десятичной дроби с одной значащей цифрой перед запятой на соответствующую степень десяти. Например, вместо 3520 надо записать $3{,}52 \cdot 10^{3}$, вместо 0,00129 записать $1{,}29 \cdot 10^{-3}$ и т.п.

10. Если контрольная работа при рецензировании не зачтена, слушатель обязан представить ее на повторную рецензию, включив в нее те задачи, решения которых оказались неверными. Повторную работу необходимо представить вместе с не зачтенной.

11. Зачтенная контрольная работа предъявляется экзаменатору. Слушатель должен быть готов во время экзамена дать пояснения по существу решения задач, входящих в контрольные работы.

## 2. ОФОРМЛЕНИЕ ТИТУЛЬНОГО ЛИСТА (образец)

Воронежский институт МВД России

**Кафедра физики и радиоэлектроники**

**КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА**

по дисциплине «Электроника, электротехника и схемотехника»
по направлению подготовки 09.03.01 Информатика
и вычислительная техника

Выполнил: слушатель___учебной группы
радиотехнического факультета
заочного обучения
Иванов И.И. _____

Проверил: _____
«____» _____ 20__ г.

Воронеж 20__

## 3. ТЕМЫ С ПЕРЕЧНЕМ ОСНОВНЫХ ВОПРОСОВ, ПОДЛЕЖАЩИХ ИЗУЧЕНИЮ

### Тема 1. Основные законы теории электрических и магнитных цепей

Предмет курса, цель, задачи и структура учебной дисциплины. Элементы электрических цепей. Законы Ома и Кирхгофа. Электрические цепи постоянного тока. Разновидности магнитных цепей. Схемы замещения магнитных цепей. Законы Ома и Кирхгофа для магнитных цепей. Магнитное сопротивление.

### Тема 2. Линейные цепи при гармоническом воздействии

Понятия о периодических процессах. Последовательные и параллельные цепи R, L, C при гармоническом воздействии. Метод комплексных амплитуд. Частотные характеристики тока. Комплексное сопротивление и комплексная проводимость. Законы Ома и Кирхгофа в комплексной форме. Комплексная мощность и баланс мощностей в цепях синусоидального тока.

### Тема 3. Методы расчета сложных линейных цепей

Преобразование схем цепей. Методы расчета и анализа цепей постоянного тока. Метод уравнений Кирхгофа. Метод контурных токов. Метод узловых напряжений. Теорема компенсации, теорема взаимности, теоремы об эквивалентных генераторах. Принцип наложения. Эквивалентные преобразования пассивных двухполюсников и трехполюсников. Потенциальная диаграмма и баланс мощностей.

### Тема 4. Основы теории четырехполюсников

Системы первичных параметров четырехполюсников. Матрицы симметричных четырехполюсников. Эквивалентные схемы и параметры холостого хода и короткого замыкания. Свойства нагруженных четырехполюсников. Активные четырехполюсники. Составные четырехполюсники и их матрицы. Характеристические (вторичные) параметры четырехполюсников.

### Тема 5. Частотные характеристики линейных цепей

Понятие о комплексных частотных характеристиках. Комплексные частотные характеристики двухполюсных идеализированных пассивных элементов. Комплексные частотные характеристики RC, RL-двухполюсников. Классификация и основные характеристики фильтров. RC, RL-фильтры. Реактивные фильтры.

## Тема 6. Резонансные электрические цепи

Частотные характеристики электрических цепей. Анализ в частотной области. Последовательный колебательный контур. Расчет параметров последовательного колебательного контура. Параллельный колебательный контур. Расчет параметров и характеристик параллельного колебательного контура. Связанные колебательные контуры. Частотные характеристики связанных колебательных контуров. Расчет параметров связанных колебательных контуров. Исследование резонансных явлений в электрических цепях.

## Тема 7. Переходные процессы в линейных цепях

Возникновение переходных процессов. Правила коммутации. Установившийся и свободный режимы. Переходные процессы в RL- цепи. Переходные процессы в RC- цепи. Переходные процессы в RLC-контуре. Переходная и импульсная характеристики цепей. Применение принципа наложения для анализа переходных процессов. Операторный метод анализа переходных процессов. Законы Ома и Кирхгофа в операторной форме. Операторные схемы замещения идеализированных двухполюсных элементов. Операторные характеристики линейных цепей. Использование преобразования Лапласа для анализа электрических цепей. Анализ электрических цепей операторным методом.

## Тема 8. Модулированные радиосигналы

Виды модуляции радиотехнических сигналов. Сигналы с амплитудной модуляцией и их свойства. Спектральные характеристики АМ-сигналов. Сигналы с балансной и однополюсной модуляцией. Сигналы с угловой модуляцией. Фазовая модуляция (ФМ) и частотная модуляция (ЧМ). Девиация частоты и индекс угловой модуляции. Спектр однотонального ЧМ-сигнала при больших и малых индексах угловой модуляции. Практическая ширина спектра.

## Тема 9. Основы теории случайных процессов

Принцип математического описания случайных сигналов. Статистические характеристики случайных величин. Плотность вероятности и функция распределения. Моменты гауссовской случайной величины. Основные понятия теории случайных процессов. Ансамбль реализаций. Классификация случайных процессов. Моменты функции. Функция корреляции и ее физический смысл.

## Тема 10. Приборы вакуумной электроники

Приборы вакуумной электроники – электронные лампы, электронно-лучевые трубки. Принцип работы, режимы работы, функциональные

свойства, основные типы, основные параметры, основные характеристики и область применения электронных ламп, используемых в радиоэлектронной аппаратуре. Модели электронных ламп и способы их количественного описания. Схемы включения и способы задания статического режима работы электронных ламп. Газоразрядные приборы. Расчет и анализ электронных схем на электронных лампах. Методы оценки характеристик и параметров радиокомпонентов и их применение. Экспериментальное определение и оценка основных характеристик и параметров электронных ламп и радиотехнических цепей на их основе.

### Тема 11. Полупроводниковые диоды

Материалы электронной техники и их электрофизические свойства. Разновидности электрических переходов и методы их создания. Основные электрофизические характеристики p-n перехода в равновесии. Электронно-дырочный переход в неравновесном состоянии. Емкость перехода. Эквивалентная схема. Вольт-амперная характеристика и частотные свойства p-n перехода. Разновидности полупроводниковых диодов. Характеристики, параметры, модели. Маркировка диодов.

### Тема 12. Специализированные полупроводниковые приборы

Тиристоры. Классификация, устройство, принцип действия и основные параметры. Однопереходные транзисторы, принцип действия и основные параметры.

### Тема 13. Биполярные транзисторы

Принцип работы, режимы работы, функциональные свойства, основные типы, основные параметры, основные характеристики и область применения биполярных транзисторов, используемых в радиоэлектронной аппаратуре. Модели биполярных транзисторов и способы их количественного описания. Схемы включения и способы задания статического режима работы биполярных транзисторов. Расчет и анализ электронных схем на биполярных транзисторах. Методы оценки характеристик и параметров радиокомпонентов и их применение. Экспериментальное определение и оценка основных характеристик и параметров биполярных транзисторов и радиотехнических цепей на их основе.

### Тема 14. Полевые транзисторы

Принцип работы, режимы работы, функциональные свойства, основные типы, основные параметры, основные характеристики и область применения полевых транзисторов, используемых в радиоэлектронной аппаратуре. Модели полевых транзисторов и способы их количественного

описания. Схемы включения и способы задания статического режима работы полевых транзисторов. Расчет и анализ электронных схем на полевых транзисторах. Методы оценки характеристик и параметров радиокомпонентов и их применение. Экспериментальное определение и оценка основных характеристик и параметров полевых транзисторов и радиотехнических цепей на их основе.

### Тема 15. Элементы интегральных схем

Микроэлектроника и решаемые ею задачи. Классификация и маркировка интегральных микросхем (ИМС). Элементы и компоненты пленочных, гибридных и полупроводниковых ИМС.

### Тема 16. Базовые ячейки микросхем

Классификация базовых логических элементов. Основные логические элементы на биполярных транзисторах, их основные характеристики и параметры. Основные логические элементы на полевых транзисторах, разновидности ключевых схем, их характеристики и параметры. Запоминающие логические элементы.

### Тема 17. Основы функциональной электроники

Понятие о функциональной электронике. Приборы с зарядовой связью и инжекционным питанием. Пьезоэлектрические фильтры, приборы на поверхностных акустических волнах. Перспективы развития микроэлектроники и элементной базы РЭС.

### Тема 18. Параметры и характеристики аналоговых электронных устройств

Виды аналоговых устройств и область их применения. Параметры и характеристики, определяющие усиление, преобразование и искажение аналоговых сигналов. Входные и выходные параметры АЭУ.

### Тема 19. Принципы построения и функционирования усилительных устройств

Понятие усилительного каскада. Структурная схема многокаскадного усилителя. Обратные связи и их виды. Виды обратной связи. Влияние обратной связи на основные параметры и характеристики усилителя. Схемы резисторных усилительных каскадов на биполярных и полевых транзисторах. Понятие рабочей точки и рабочего режима транзистора. Способы задания и стабилизации рабочей точки транзистора в усилительном каскаде. Основные параметры и особенности работы резисторных каскадов на транзисторах, включенных с общим эмиттером и

общим истоком, общим коллектором и общим стоком, общей базой и общим затвором для области средних частот рабочего диапазона.

## Тема 20. Базовые схемные конфигурации аналоговых интегральных схем

Непосредственная связь каскадов в интегральных усилителях постоянного тока. Дифференциальный каскад (ДК), основные параметры и особенности работы при симметричном и несимметричном включении. Преимущества дифференциального усилителя. Составные транзисторы в усилительных схемах. Каскодная схема. Генераторы стабильного тока и их назначение. Двухтактные оконечные каскады ОУ. Требования, предъявляемые к оконечным каскадам.

## Тема 21. Операционные усилители

Назначение ОУ, основные параметры и характеристики. Структура и каскады ОУ. Компенсация сдвига нуля ОУ. Основные схемы включения ОУ: инвертирующая, неинвертирующая, дифференциальная. Параметры усилительных каскадов на ОУ при различных схемах включения. Согласование ОУ с нагрузкой по току и напряжению. Использование усилителей в автоматизированных системах специального назначения.

## Тема 22. Устройства линейного и нелинейного функционального преобразования сигналов на основе усилителей

Схемы суммирования и вычитания аналоговых сигналов. Устройства интегрирования аналоговых сигналов с использованием ОУ. Погрешности реального интегратора и пути их уменьшения. Дифференциатор сигналов на основе ОУ и его АЧХ. Ограничения, связанные с высокочастотным спадом АЧХ ОУ и неустойчивостью усилителя. Схемотехннка ОУ с логарифмической и показательной передаточными функциями. Параметры, характеризующие точность логарифмического и показательного преобразования аналоговых сигналов. Устройства умножения и деления аналоговых сигналов. Активные выпрямители. Схемы одно- и двухполупериодного выпрямления. Частотные активные RC-фильтры на основе ОУ. Звенья первого и второго порядка фильтров нижних и верхних частот. Каскадная реализация фильтров на базе звеньев первого и второго порядков. Аппроксимация АЧХ фильтров. Компараторы напряжений. Схемы компараторов на операционных усилителях. Пути повышения быстродействия. Компараторы с положительной обратной связью. Специализированные микросхемы компараторов, их схемотехнические особенности и использование в схемах формирования и преобразования аналоговых сигналов. Устройства функционального преобразование сигналов в системах специального назначения.

## Тема 23. Методы анализа и синтеза цифровых устройств

Проблематика проектирования цифровых устройств комбинационного типа. Проблематика и методика проектирования автоматов с памятью. Цифровые устройства автоматизированных систем специального назначения.

## Тема 24. Триггеры, шифраторы и дешифраторы, преобразователи кодов, регистры, счетчики, сумматоры. Генераторы импульсов

Асинхронные элементы памяти и триггеры типов D, R-S. Синхронные триггеры типов D, T, R-S, J-K. Назначение и область применения шифраторов и дешифраторов. Полные и неполные дешифраторы, понятие логической функции. Построение логических схем шифраторов и дешифраторов на ИМС. Назначение и классификация регистров. Параллельные, сдвигающиеся, простые сдвигающиеся регистры. Универсальные сдвигающие регистры с двунаправленной передачей данных. Назначение и классификация счетчиков. Принцип работы счетчика на триггерах. Деление частоты, коэффициент деления. Двоичные и двоично-десятичные счетчики. Назначение сумматоров, полусумматоры и полные сумматоры.

## Тема 25. Схемотехника запоминающих устройств. Программируемые логические матрицы. Аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи

Постоянное запоминающее устройство (ПЗУ), классификация ПЗУ. Оперативные запоминающие устройства (ОЗУ) с произвольной выборкой. Каскадированные ОЗУ; динамические ОЗУ. Структурные и принципиальные схемы, параметры и характеристики. Программируемые логические матрицы (ПЛМ) и схемы логики. Схемы сборок на базе ПЛМ. Автоматные схемы на базе ПЛМ. Диаграмма переходов. Принципы аналого-цифрового преобразования (АЦИП) и цифро-аналогового преобразования (ЦАП). Использование матрицы R-2R. Классификация АЦП параллельного типа.

## Тема 26. Микропроцессоры, особенности микропроцессорной обработки сигналов

Однокристальные микропроцессоры (ОМ), структурная схема ОМ. Основные узлы микропроцессора, их назначение и характеристики. Разрядно-модульные микропроцессоры. Микропроцессоры с наращиваемой разрядностью шины данных. Организации микропроцессорной обработки сигналов в автоматизированных системах специального назначения.

# 4. ВАРИАНТЫ КОНТРОЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ

## *Вариант №1*

1.1. Используя приведенную на рис. 1.1 вольт-амперную характеристику диода, определите величину прямого, обратного сопротивления, крутизну.

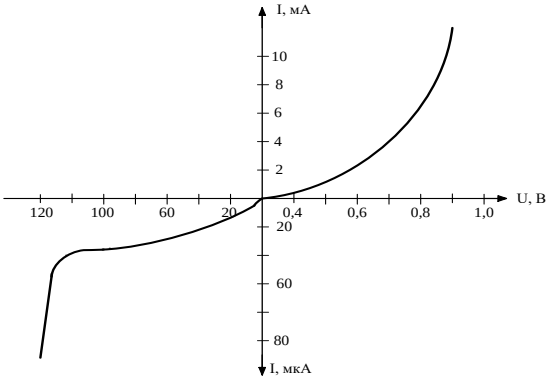



Рис. 1.1

1.2. Сопоставьте между собой величины прямых напряжений на переходах полупроводниковых диодов при температуре $T = 300$ *К*, если через диод протекает ток величиной 50 *мА*, при этом в германиевом *p-n* переходе величина обратного тока насыщения $I_0 = 5$ *мкА*, а в кремневом $I_0 = 10^{-9}$ *А*.

1.3. Определить емкость полупроводникового диода типа варикапа при обратном напряжении $U_2 = 10$ *В*. Емкость варикапа при температуре $t = 20^0 C$ и обратном напряжении $U_1 = 5$ *В* равна $C_1 = 25$ *нФ*. Концентрация носителей зарядов составляет: $n_i = 1{,}5 \cdot 10^{16}$ *м*$^{-3}$, $N_a = 10^{20}$ *м*$^{-3}$, $N_д = 2 \cdot 10^{20}$ *м*$^{-3}$ собственной, акцепторной и донорной примеси, соответственно.

1.4. Определить активное сопротивление *R* и индуктивность *L* катушки соединенных последовательно в цепи переменного тока с частотой $f = 50$ *Гц* и напряжением $U = 65$ *В*. Ток в цепи $I = 5$ *А*, а мощность $P = 125$ *Вт*.

1.5. Определить токи в ветвях электрической цепи, схема которой представлена на рис. 1.2 методом токов ветвей и проверить баланс мощностей, если $E_1 = 10$ *В*, $E_2 = 15$ *В*, $R_1 = 12$ *Ом*, $R_2 = 3$ *Ом*, $R_3 = 15$ *Ом*, $R_4 = 10$ *Ом*, $R_5 = 20$ *Ом*.

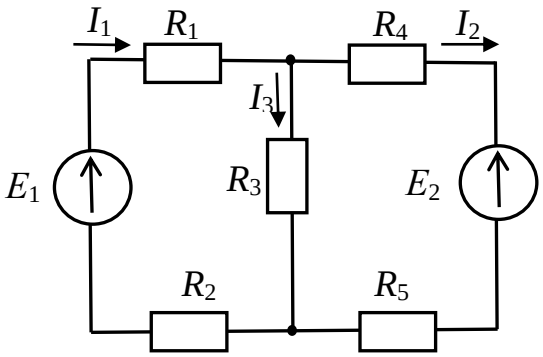



Рис. 1.2

1.6. Определить токи в ветвях электрической цепи, схема которой представлена на рис. 1.2 методом контурных токов. Параметры элементов цепи по условию задачи 1.5.

1.7. Определить токи в ветвях электрической цепи, схема которой представлена на рис. 1.2 методом узловых потенциалов. Параметры элементов цепи по условию задачи 1.5.

1.8. Цепь, показанная на рис. 1.3, представляет собой эквивалентную схему резистивного усилителя на высоких частотах. Определить аналитическое выражение АЧХ коэффициента передачи по напряжению и верхнюю граничную частоту полосы пропускания усилителя.

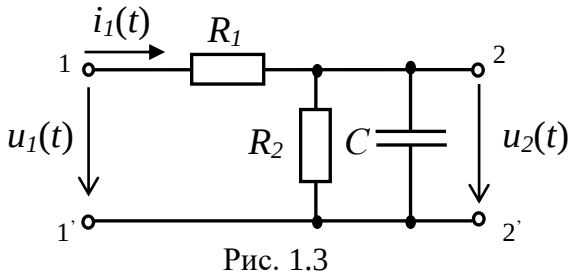



Рис. 1.3

1.9. Рассчитать коэффициент усиления по мощности усилителя, если коэффициент усиления по напряжению $K$ = 10, входное сопротивление усилителя $R_{вх}$ = 10 *кОм*, сопротивление нагрузки $R_н$ = 40 *Ом*.

1.10. Найти амплитуду напряжения на выходе усилителя, если на входном сопротивлении $R_{вх}$ = 1 *кОм* действует мощность 0,2 *мкВт*, коэффициент усиления по напряжению $K$ = 50.

### *Вариант №2*

2.1. Определить дифференциальное сопротивление полупроводникового диода, если температура $t = 30^0C$, а величина тока через диод составляет $I$ = 0,1 *мА*.

2.2. Используя вольт-амперные характеристики биполярного транзистора КТ803А включенного по схеме с общим эмиттером (рис. 2.1) найдите дифференциальные *h*-параметры, если известны значения в рабочей точке: ток базы $I_Б = 0{,}2$ *А* и напряжение на коллекторе $U_{КЭ} = 10$ *В*.

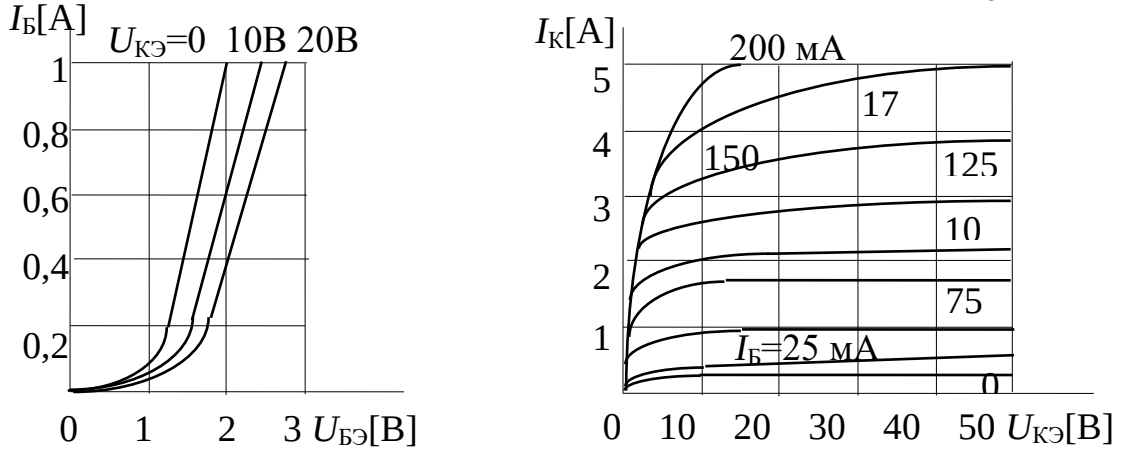



Рис. 2.1

2.3. Задана схема включения биполярного транзистора с общим эмиттером. Напряжение источника питания $E_{пит}$= 20 *В*, ток базы $I_Б$ = 50 *мА*, сопротивление нагрузки $R_Н$ = 10 *Ом*. Определите величину тока коллектора, напряжение между коллектором и эмиттером биполярного транзистора и мощность, рассеиваемая на коллекторе транзистора. Вольт-амперные характеристики транзистора приведены на (рис. 2.1).

2.4. К последовательно соединенным реостату с сопротивлением $R$ = 120 *Ом* и конденсатору емкостью $C$ = 30 *мкФ* подведено напряжение $u(t) = 311\sin(314t)$ *В* (рис. 2.2). Вычислить полное сопротивление цепи, действующее значение напряжения и тока, мощность, расходуемую в цепи, реактивную мощность и разность фаз напряжения и тока. Построить векторную диаграмму напряжений и тока.

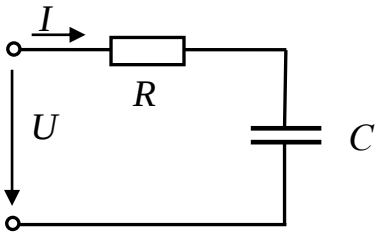



Рис. 2.2

2.5. Определить токи во всех ветвях цепи, схема которой приведена на рис. 2.3 методом токов ветвей, если $E_1$ = 100 *В*, $E_2$ = 50 *В*, $E_3$ = 10 *В*, $R_1$ = 5 *Ом*, $R_2$ = 10 *Ом*, $R_3$ = 20 *Ом*, $R_4$ = 40 *Ом*, $R_5$ = 15 *Ом*, $R_6$ = 10 *Ом*.

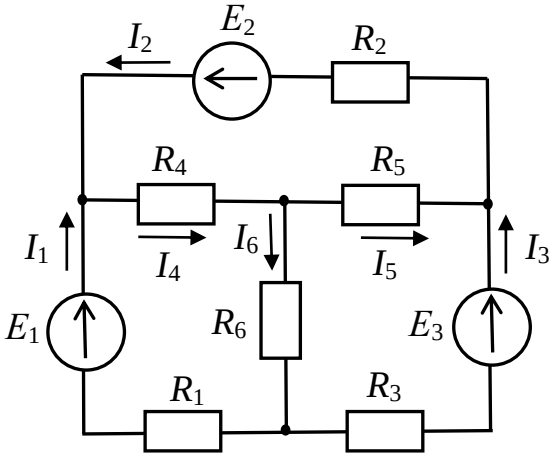



Рис. 2.3

2.6. Определить токи в ветвях электрической цепи, схема которой представлена на рис. 2.3 методом контурных токов. Параметры элементов цепи по условию задачи 2.5.

2.7. Определить токи в ветвях электрической цепи, схема которой представлена на рис. 2.3 методом узловых потенциалов. Параметры элементов цепи по условию задачи 2.5.

2.8. Для фильтра рис. 2.4, определить частоту среза, характеристическое сопротивление на рабочей частоте $10^5$ *рад/с*, а также коэффициенты затухания и фазы, если $L$ = 20 *мГн*, 0,5$C$ = 1 *мкФ*.

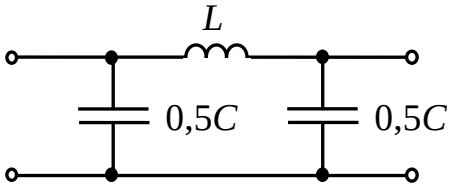



Рис. 2.4

2.9. Определить сквозной коэффициент усиления по напряжению $K^*$, если выходное напряжение усилителя $U_{вых}$ = 10 *В*, входное напряжение $U_{вх}$ = 80 *мВ*, коэффициент передачи входной цепи усилителя по напряжению $\alpha$ = 0,6.

2.10. Чему равен коэффициент усиления по напряжению усилителя с входным сопротивлением $R_{вх}$ = 1 *кОм*, если источник сигнала имеет внутреннее сопротивление $R_{ист}$ = 1 *кОм*, $E_{ист}$ = 2 *мВ*, а выходное напряжение усилителя $U_{вых}$ = 1 *В*.

## *Вариант №3*

3.1. Определите параметры транзистора в рабочей точке, если ток базы $I_Б$ и напряжение на коллекторе $U_K$ при токе коллектора $I_K = 2\ A$, а мощность, рассеиваемая на коллекторе $P_K = 72\ Вт$. Использовать характеристики, указанные на рис. 2.1.

3.2. Биполярный транзистор включен по схеме с общей базой, при этом число дырок покинувших эмиттер и достигнувших коллектор составляет 100 и 95 соответственно. Определите величину тока коллектора, если ток эмиттера равен 50 *мА*, а величина обратного тока коллекторного перехода составляет 0,01% от тока эмиттера.

3.3. Охарактеризовать тип логического элемента (рис. 3.1). Определить состояние (режим) транзисторов VT1, VT2, если к входам приложены напряжения уровня логического нуля. Записать аналитическое выражение для величины напряжения на выходе логического элемента, полагая: напряжение уровня логического нуля равно 0,1 *В*, напряжение уровня логической единицы 2,4 *В*, падение напряжения на открытом p-n переходе равным 0,7 *В*, напряжение $E_п$ = 5 *В*.

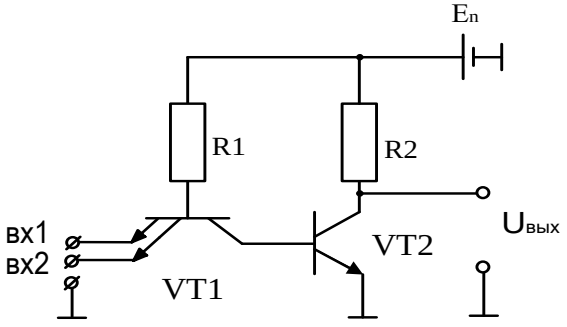



Рис. 3.1

3.4. К цепи, состоящей из последовательно соединенных активного сопротивления $R$ = 3 *Ом*, индуктивности $L$ = 8 *мГн* и емкости $C$ = 15 *мкФ*, подключено напряжение $U$ = 20 *В* с частотой $f$ = 500 *Гц*. Найти ток, напряжение на каждом элементе цепи и мощность, расходуемую в ней.

3.5. В схеме цепи (рис. 3.2) рассчитать все токи методом токов ветвей, если $E_1$ = 100 *В*, $E_2$ = 60 *В*, $E_3$ = 30 *В*, $J$ = 5 *А*, $R_1$ = 10 *Ом*, $R_2$= 10 *Ом*, $R_3$ = 20 *Ом*, $R_4$ = 40 *Ом*, $R_5$ = 20 *Ом*, $R_6$ = $R_7$ = 15 *Ом*.

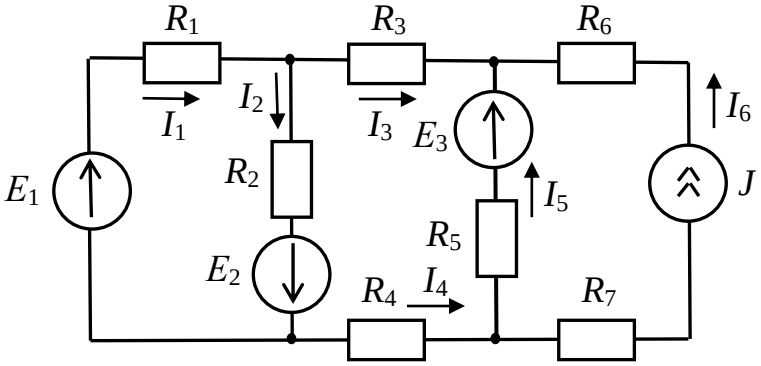



Рис. 3.2

3.6. Определить токи в ветвях электрической цепи, схема которой представлена на рис. 3.2 методом контурных токов. Параметры элементов цепи по условию задачи 3.5.

3.7. Определить токи в ветвях электрической цепи, схема которой представлена на рис. 3.2 методом узловых потенциалов. Параметры элементов цепи по условию задачи 3.5.

3.8. Определить и построить графики АЧХ и ФЧХ цепи, изображенной на рис. 3.3.

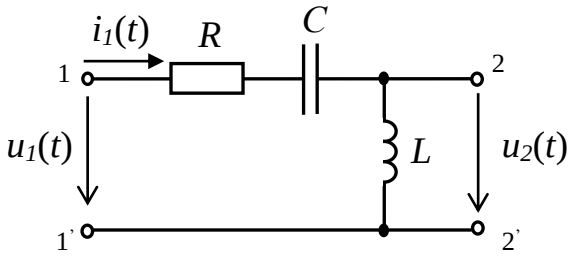



Рис. 3.3

3.9. Определить КПД усилителя $\eta$, если мощность, отдаваемая в нагрузку $P_н$ = 10 *Вт*, КПД оконечного каскада $\eta_{ок}$ = 0,5, а мощность, потребляемая всеми другими каскадами $P_п$ = 5 *Вт*.

3.10. Найти коэффициент частотных искажений (в децибелах) на нижней частоте $f_н$, если коэффициент усиления на этой частоте $K(f_н)$ = 40, а коэффициент усиления на средних частотах $K_0$ = 45.

### *Вариант №4*

4.1. Задан транзистор ГТ108Б. Изобразить условное обозначение, привести его расшифровку. К электродам транзистора подведены напряжения: коллектор 8 *В*, эмиттер 6 *В*, база 4 *В*. Определить режим работы.

4.2. Вычислите значения параметров транзистора: крутизну, внутренне сопротивление и коэффициент усиления по напряжению в рабочей точке. Характеристика рабочей точки: напряжение затвор-исток и сток-исток: $U_{ЗИ} = -4\ В$, $U_{СИ} = 10\ В$. Использовать характеристики, указанные на рис. 2.1.

4.3. Задана схема с общим истоком для полевого транзистора. Нагрузка активная. Напряжение источника питания $E_{пит}$ = 15 *В*, а напряжение, подводимое к электродам затвор-исток составляет величину равную $U_{ЗИ}$ = – 1 *В* и величина сопротивления нагрузки составляет $R_Н$ = 300 *Ом*. Используя ВАХ (рис. 2.1) найдите значение тока стока и напряжение сток-исток.

4.4. Конденсатор емкостью *C* = 10 *мкФ* приключен к источнику с напряжением *u*(*t*) = 150sin(500*t*) *В*. Написать выражение тока в цепи конденсатора и определить его действующее значение. Определить полную и активную мощности, потребляемые конденсатором.

4.5. Для схемы (рис. 4.1) методом токов ветвей, определить все токи в цепи, если $E_1$ = 15 *В*, $E_2$ = 70 *В*, $E_3$ = 5 *В*, $R_{вн1} = R_{вн2}$ = 1 *Ом*, $R_{вн3}$ = 2 *Ом*, $R_1$ = 5 *Ом*, $R_2$ = 4 *Ом*, $R_3$ = 8 *Ом*, $R_4$ = 2,5 *Ом*, $R_5$ = 15 *Ом*.

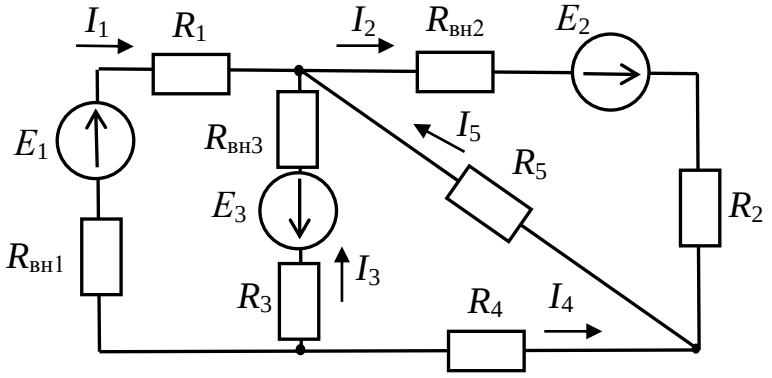



Рис. 4.1

4.6. Определить токи в ветвях электрической цепи, схема которой представлена на рис. 4.1 методом контурных токов. Параметры элементов цепи по условию задачи 4.5.

4.7. Определить токи в ветвях электрической цепи, схема которой представлена на рис. 4.1 методом узловых потенциалов. Параметры элементов цепи по условию задачи 4.5.

4.8. Определить и построить графики АЧХ и ФЧХ цепи, изображенной на рис. 4.2.

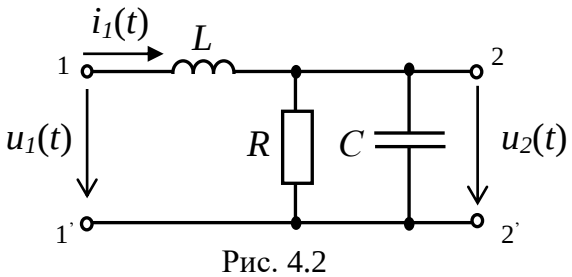



Рис. 4.2

4.9. Определить диапазон рабочих частот усилителя, АЧХ которого показана на рис. 4.3, если коэффициенты частотных искажений на нижней и верхней граничных частотах $M_н = M_в \leq 1{,}2$ *дБ*.

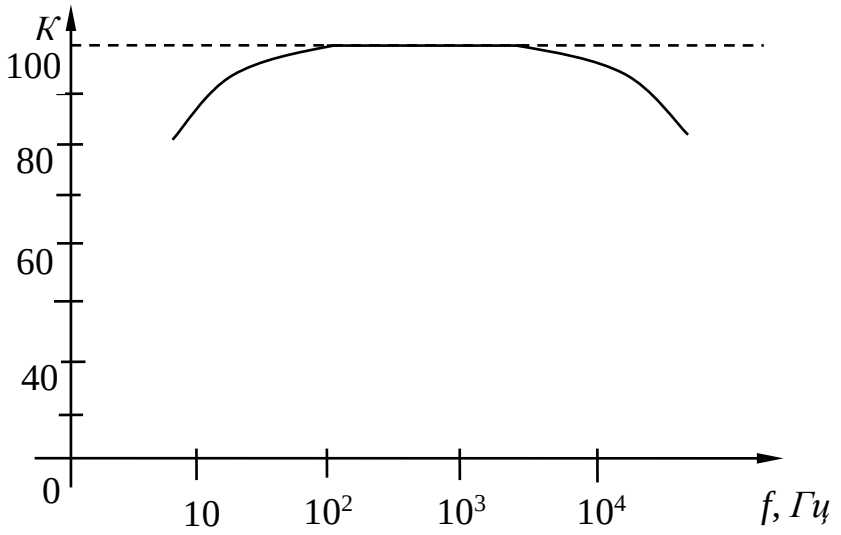



Рис. 4.3

4.10. Найти коэффициент гармоник в процентах, если на выходе усилителя амплитуды напряжений первой гармоники $U_{1m}$ = 12 *В*, высших гармоник: $U_{2m}$ = 1 *В*, $U_{3m}$ = 0,4 *В*, $U_{4m}$ = 0,2 *В*.

## *Вариант №5*

5.1. Полевой транзистор включен по схеме с общим истоком. Найдите систему *Y*-параметров, если значения напряжения, подводимые к электродам затвор-исток и сток-исток в рабочей точке равны величинам: $U_{ЗИ} = -4\,В$, $U_{СИ} = 10$ *В*. В задаче использовать характеристики, указанные на рис. 2.1.

5.2. Требуется определить для полевого транзистора с управляющим *p-n* переходом значение крутизны, если величина тока стока равна $I_{с\ max}$ = 1 *мА*, напряжение отсечки составляет $U_{отс}$ = 12 *В*, а величина напряжения, подводимого к электродам затвор-исток принимает значение равным $U_{зи}$ = 4 *В*.

5.3. Требуется пояснить каким образом ведет величина обратного тока с ростом температуры *p-n* перехода.

5.4. Приемник, состоящий из последовательно соединенных конденсатора и активного сопротивления, приключен к генератору с напряжением $U$ = 125 *В* и частотой $f$ = 1500 *Гц*. Определить емкость конденсатора, если ток в приемнике $I$ = 1 *мА*, а мощность, потребляемая приемником $P$ = 75 *мВт*.

5.5. Определить токи во всех ветвях цепи, схема которой приведена на рис. 5.1 методом токов ветвей, если $E_1$ = 100 *В*, $E_2$ = 50 *В*, $R_1$ = 5 *Ом*, $R_2$ = 10 *Ом*, $R_3$ = 20 *Ом*, $R_4$ = 40 *Ом*, $R_5$ = 15 *Ом*.

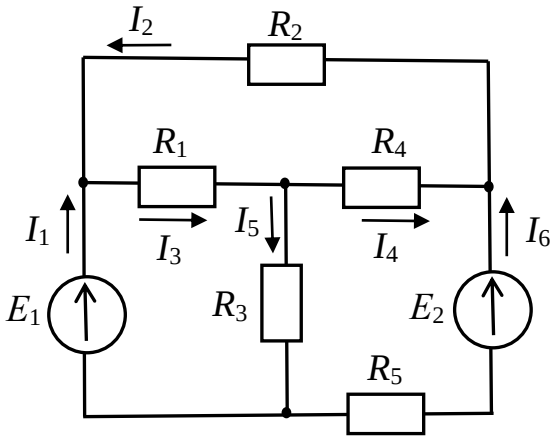



Рис. 5.1

5.6. Определить токи в ветвях электрической цепи, схема которой представлена на рис. 5.1 методом контурных токов. Параметры элементов цепи по условию задачи 5.5.

5.7. Определить токи в ветвях электрической цепи, схема которой представлена на рис. 5.1 методом узловых потенциалов. Параметры элементов цепи по условию задачи 5.5.

5.8. Определить и построить графики АЧХ и ФЧХ цепи, изображенной на рис. 5.2.

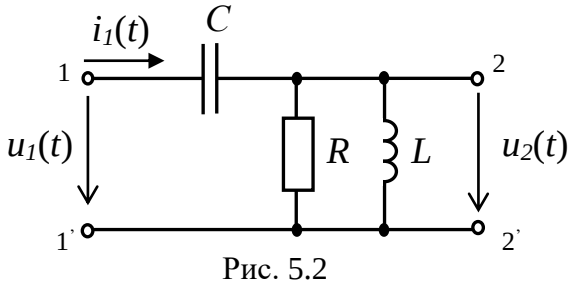



Рис. 5.2

5.9. Найти суммарное напряжение шумов на выходе усилителя, имеющего входное сопротивление $R_{вх}$ = 10 *кОм* и коэффициент усиления по напряжению $K = 10^4$, если сопротивление источника сигнала $R_{ист}$ = 2 *кОм*, температура $T$ = 292 *К*, шумовая полоса усилителя $П_ш$ = 100 *кГц*, коэффициент шума *Ш* = 5.

5.10. Оценить время нарастания фронта и неравномерность вершины импульса длительностью 15 *мкс* по переходной характеристике усилителя на рис. 5.3.

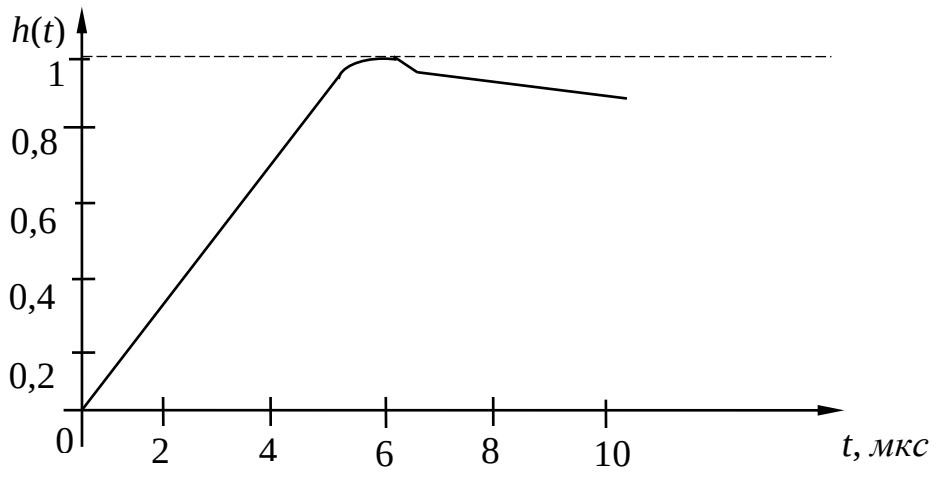



Рис. 5.3

***Вариант №6***

6.1. Используя приведенную на рис. 1.1 вольт-амперную характеристику диода, определите величину прямого, обратного сопротивления, крутизну.

6.2. Сопоставьте между собой величины прямых напряжений на переходах полупроводниковых диодов при температуре $T = 300\ K$, если через диод протекает ток величиной 100 *мА*, при этом в германиевом *p-n* переходе величина обратного тока насыщения $I_0 = 1$ *мкА*, а в кремневом $I_0 = 10^{-8}\ A$.

6.3. Определить емкость полупроводникового диода типа варикапа при обратном напряжении $U_2 = 10\ B$. Емкость варикапа при температуре $t = 20^0 C$ и обратном напряжении $U_1 = 2\ B$ равна $C_1 = 20$ *нФ*. Концентрация носителей зарядов составляет: $n_i = 1{,}5 \cdot 10^{16}\ м^{-3}$, $N_a = 10^{20}\ м^{-3}$, $N_д = 2 \cdot 10^{20}\ м^{-3}$ собственной, акцепторной и донорной примеси, соответственно.

6.4. К реальному источнику напряжения $e(t) = 50\cos(10^6 t)\ B$, $R_e = 425$ *Ом*, подключено последовательное соединение из элементов $L = 1$ *мГн* и $R = 575$ *Ом*. Определить ток $i(t)$ и напряжение $u(t)$.

6.5. В схеме цепи (рис. 6.1) рассчитать токи методом токов ветвей, если $E_1 = 10\ B$, $E_2 = 40\ B$, $E_3 = 20\ B$, $R_1 = R_2 = 10$ *Ом*, $R_3 = 25$ *Ом*, $R_4 = 40$ *Ом*, $R_5 = 20$ *Ом*, $R_6 = 15$ *Ом*.

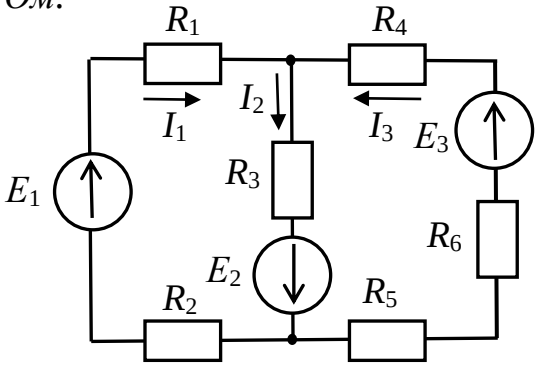



Рис. 6.1

6.6. Определить токи в ветвях электрической цепи, схема которой представлена на рис. 6.1 методом контурных токов. Параметры элементов цепи по условию задачи 6.5.

6.7. Определить токи в ветвях электрической цепи, схема которой представлена на рис. 6.1 методом узловых потенциалов. Параметры элементов цепи по условию задачи 6.5.

6.8. Определить и построить графики АЧХ и ФЧХ цепи, изображенной на рис. 6.2.

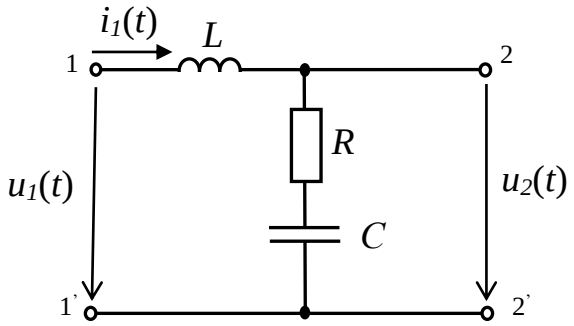



Рис. 6.2

6.9. Рассчитать коэффициент усиления по мощности усилителя, если коэффициент усиления по напряжению $K$ = 10, входное сопротивление усилителя $R_{вх}$ = 20 *кОм*, сопротивление нагрузки $R_н$ = 80 *Ом*.

6.10. Найти амплитуду напряжения на выходе усилителя, если на входном сопротивлении $R_{вх}$ = 2 *кОм* действует мощность 0,4 *мкВт*, коэффициент усиления по напряжению $K$ = 100.

## *Вариант №7*

7.1. Определить дифференциальное сопротивление полупроводникового диода, если температура $t = 65^0 C$, а величина тока через диод составляет $I$ = 0,4 *мА*.

7.2. Используя вольт-амперные характеристики биполярного транзистора КТ803А включенного по схеме с общим эмиттером (рис. 2.1) найдите дифференциальные *h*-параметры, если известны значения в рабочей точке: ток базы $I_Б = 0{,}15\ A$ и напряжение на коллекторе $U_{КЭ} = 20\ B$.

7.3. Задана схема включения биполярного транзистора с общим эмиттером. Напряжение источника питания $E_{пит}$= 40 *В*, ток базы $I_Б$ = 0,1 *А*, сопротивление нагрузки $R_Н$ = 10 *Ом*. Определите величину тока коллектора, напряжение между коллектором и эмиттером биполярного транзистора и мощность, рассеиваемая на коллекторе транзистора. Вольт-амперные характеристики транзистора приведены на (рис. 2.1).

7.4. Комплекс напряжения сети $\dot{U} = (60 + j80)\ B$, а комплекс тока цепи, вызванный этим напряжением $\dot{I} = (4 - j3)\ A$. Определить сопротивление и угол сдвига фаз цепи.

7.5. В схеме цепи (рис. 7.2) рассчитать токи методом токов ветвей, если дано: $E_1 = 10$ *В*, $E_2 = 20$ *В*, $R_1 = 10$ *Ом*, $R_2 = 6$ *Ом*, $R_3 = 4$ *Ом*, $R_4 = 20$ *Ом*, $R_5 = 5$ *Ом*.

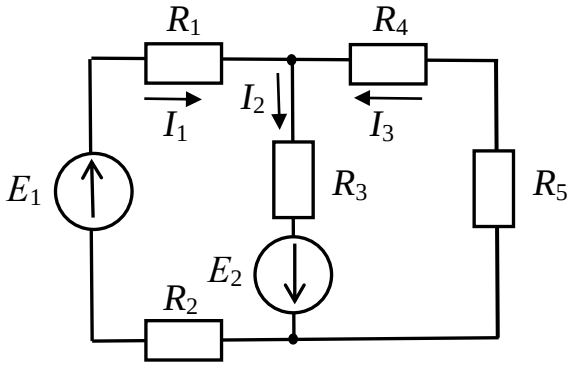



Рис. 7.2

7.6. Определить токи в ветвях электрической цепи, схема которой представлена на рис. 7.2 методом контурных токов. Параметры элементов цепи по условию задачи 7.5.

7.7. Определить токи в ветвях электрической цепи, схема которой представлена на рис. 7.2 методом узловых потенциалов. Параметры элементов цепи по условию задачи 7.5.

7.8. Определить и построить графики АЧХ и ФЧХ цепи, изображенной на рис. 7.3.

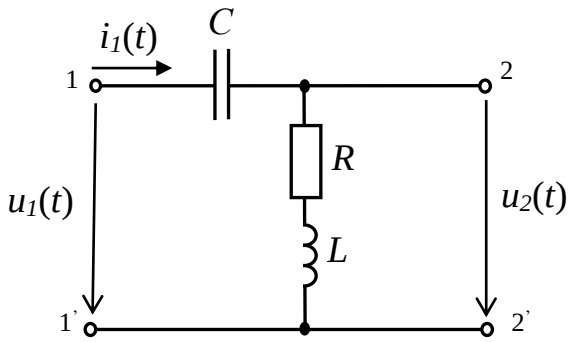



Рис. 7.3

7.9. Определить сквозной коэффициент усиления по напряжению $K^*$, если выходное напряжение усилителя $U_{вых} = 5$ *В*, входное напряжение $U_{вх} = 40$ *мВ*, коэффициент передачи входной цепи усилителя по напряжению $\alpha = 0{,}5$.

7.10. Чему равен коэффициент усиления по напряжению усилителя с входным сопротивлением $R_{вх} = 2$ *кОм*, если источник сигнала имеет внутреннее сопротивление $R_{ист} = 2$ *кОм*, $E_{ист} = 4$ *мВ*, а выходное напряжение усилителя $U_{вых} = 2$ *В*.

## *Вариант №8*

8.1. Определите параметры транзистора в рабочей точке: ток базы $I_Б$ и напряжение на коллекторе $U_K$ при токе коллектора $I_K = 1\,A$, а мощность, рассеиваемая на коллекторе $P_K = 20\,Вт$. Использовать характеристики, указанные на рис. 2.1.

8.2. Биполярный транзистор включен по схеме с общей базой, при этом число дырок покинувших эмиттер и достигнувших коллектор составляет 100 и 97 соответственно. Определите величину тока коллектора, если ток эмиттера равен 50 *мА*, а величина обратного тока коллекторного перехода составляет 0,01% от тока эмиттера.

8.3. Охарактеризовать тип логического элемента (рис. 3.1). Определить состояние (режим) транзисторов VT1, VT2, если к входу 1 приложено напряжение уровня логической единицы, а к входу 2 – напряжение уровня логического нуля. Записать аналитическое выражение для величины напряжения на выходе логического элемента, полагая: напряжение уровня логического нуля равно 0,1 *В*, напряжение уровня логической единицы 2,4 *В*, падение напряжения на открытом p-n переходе равным 0,7 *В*, напряжение $E_п = 5$ *В*.

8.4. К катушке с сопротивлением $\underline{Z}_к = (1 + j3)\,Ом$ приложено напряжение $\dot{U} = (80 + j100)\,В$. Определить ток и мощность в этой цепи.

8.5. Для схемы (рис. 8.1) методом токов ветвей, определить все токи в цепи, если $E_1 = 10$ *В*, $E_2 = 5$ *В*, $R_1 = 1$ *Ом*, $R_2 = 2$ *Ом*, $R_3 = 5$ *Ом*, $R_4 = 4$ *Ом*, $R_5 = 8$ *Ом*, $R_6 = 6$ *Ом*.

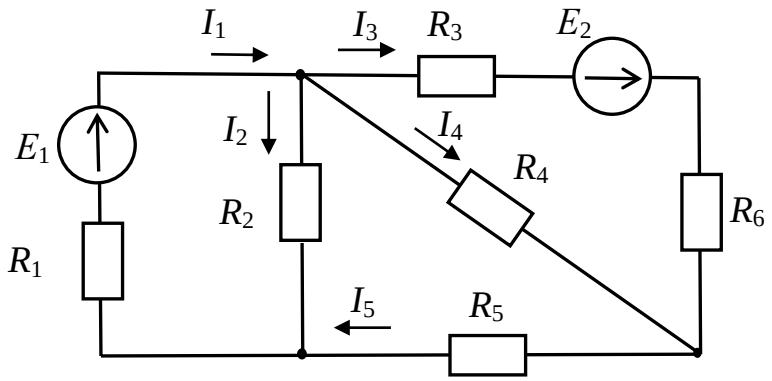



Рис. 8.1

8.6. Определить токи в ветвях электрической цепи, схема которой представлена на рис. 8.1 методом контурных токов. Параметры элементов цепи по условию задачи 8.5.

8.7. Определить токи в ветвях электрической цепи, схема которой представлена на рис. 8.1 методом узловых потенциалов. Параметры элементов цепи по условию задачи 8.5.

8.8. Рассчитать комплексную передаточную функцию по напряжению $H_{21}(j\omega)$ и построить АЧХ для цепи, схема которой приведена на рис. 8.2.

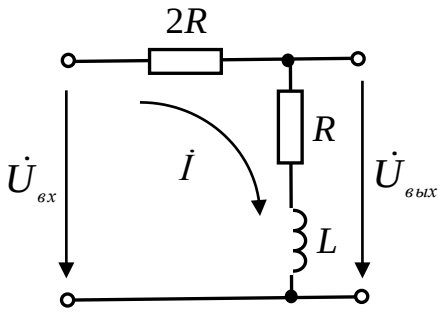



Рис. 8.2

8.9. Определить КПД усилителя $\eta$, если мощность, отдаваемая в нагрузку $P_н$ = 20 *Вт*, КПД оконечного каскада $\eta_{ок}$ = 0,6, а мощность, потребляемая всеми другими каскадами $P_п$ = 10 *Вт*.

8.10. Найти коэффициент частотных искажений (в децибелах) на нижней частоте $f_н$, если коэффициент усиления на этой частоте $K(f_н)$ = 20, а коэффициент усиления на средних частотах $K_0$ = 25.

### *Вариант №9*

9.1. Задан транзистор ГТ108Б. Изобразить условное обозначение, привести его расшифровку. К электродам транзистора подведены напряжения: коллектор 15 *В*, эмиттер 8 *В*, база 3 *В*. Определить режим работы.

9.2. Вычислите значения параметров транзистора: крутизну, внутренне сопротивление и коэффициент усиления по напряжению в рабочей точке. Характеристика рабочей точки: напряжение затвор-исток и сток-исток: $U_{ЗИ} = 0\,В$, $U_{СИ} = 10\,В$. Использовать характеристики, указанные на рис. 2.1.

9.3. Задана схема с общим истоком для полевого транзистора. Нагрузка активная. Напряжение источника питания $E_{пит}$ = 5 *В*, а напряжение, подводимое к электродам затвор-исток составляет величину равную $U_{ЗИ}$ = – 1 *В* и величина сопротивления нагрузки составляет $R_Н$ = 200 *Ом*. Используя ВАХ (рис. 2.1) найдите значение тока стока и напряжение сток-исток.

9.4. В неразветвленной цепи, активное сопротивление которой $R$ = 5 *Ом* и емкостное $X_L$ = 12 *Ом*, напряжение на емкости $\dot{U}_C = (120 + j60)\,В$. Определить ток цепи и напряжение, приложенное к цепи. Построить треугольник напряжений в комплексной системе координат.

9.5. Определить токи в ветвях электрической цепи, схема которой представлена на рис. 9.1 методом токов ветвей и проверить баланс

мощностей, если: $E_1$ = 4 *В*, $E_2$ = 8 *В*, $R_1$ = 10 *Ом*, $R_2$ = 4 *Ом*, $R_3$ = 12 *Ом*, $R_4$ = 14 *Ом*, $R_5$ = 6 *Ом*.

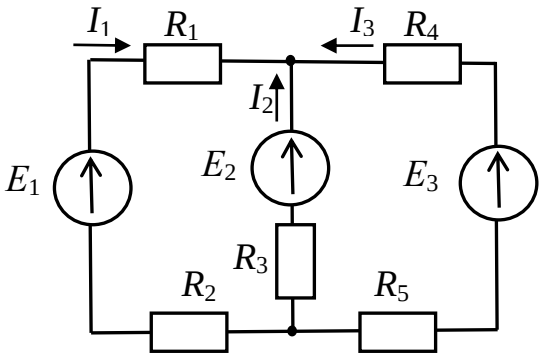



Рис. 9.1

9.6. Определить токи в ветвях электрической цепи, схема которой представлена на рис. 9.1 методом контурных токов. Параметры элементов цепи по условию задачи 9.5.

9.7. Определить токи в ветвях электрической цепи, схема которой представлена на рис. 9.1 методом узловых потенциалов. Параметры элементов цепи по условию задачи 9.5.

9.8. Определить аналитические выражения и изобразить АЧХ и ФЧХ коэффициента передачи по напряжению цепи, изображенной на рис. 9.2.

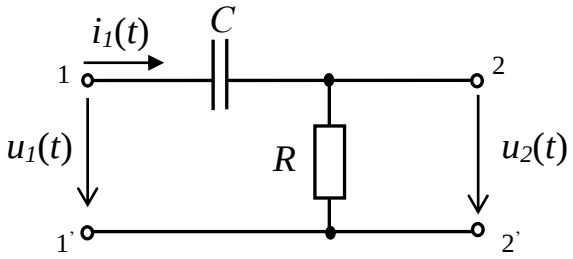



Рис. 9.2

9.9. Определить диапазон рабочих частот усилителя, АЧХ которого показана на рис. 4.3, если коэффициенты частотных искажений на нижней и верхней граничных частотах $M_н = M_в \le 1{,}4$ *дБ*.

9.10. Найти коэффициент гармоник в процентах, если на выходе усилителя амплитуды напряжений первой гармоники $U_{1m}$ = 10 *В*, высших гармоник: $U_{2m}$ = 1 *В*, $U_{3m}$ = 0,6 *В*, $U_{4m}$ = 0,2 *В*.

## *Вариант №10*

10.1. Полевой транзистор включен по схеме с общим истоком. Найдите систему *Y*-параметров, если значения напряжения, подводимые к электродам затвор-исток и сток-исток в рабочей точке равны величинам: $U_{ЗИ} = 0$ *В*, $U_{СИ} = 5$ *В*. В задаче использовать характеристики, указанные на рис. 2.1.

10.2. Требуется определить для полевого транзистора с управляющим *p-n* переходом значение крутизны, если величина тока стока равна $I_{с\ max}$ = 1 *мА*, напряжение отсечки составляет $U_{отс}$ = 15 *В*, а величина

напряжения, подводимого к электродам затвор-исток принимает значение равным $U_{зи} = 4$ *В*.

10.3. Требуется пояснить каким образом ведет величина контактной разности потенциалов с ростом концентрации акцепторной примеси в *p*-области *p-n* перехода.

10.4. Комплексы сопротивлений параллельных ветвей $\underline{Z}_1 = (3 + j5)$ *Ом* и $\underline{Z}_2 = (4{,}6 + j3{,}8)$ *Ом.* Какое сопротивление больше?

10.5. Для схемы (рис. 10.1) методом токов ветвей, определить все токи в цепи, если $E_1 = 8$ *В*, $E_2 = 4$ *В*, $R_1 = 2$ *Ом*, $R_2 = 4$ *Ом*, $R_3 = 5$ *Ом*, $R_4 = 6$ *Ом*, $R_5 = 3$ *Ом*, $R_6 = 7$ *Ом*.

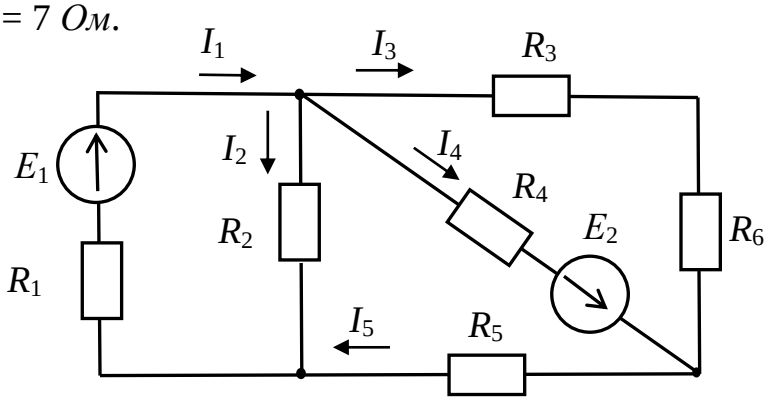



Рис. 10.1

10.6. Определить токи в ветвях электрической цепи, схема которой представлена на рис. 10.1 методом контурных токов. Параметры элементов цепи по условию задачи 10.5.

10.7. Определить токи в ветвях электрической цепи, схема которой представлена на рис. 10.1 методом узловых потенциалов. Параметры элементов цепи по условию задачи 10.5.

10.8. Определить аналитические выражения и изобразить АЧХ и ФЧХ коэффициента передачи по напряжению цепи, изображенной на рис. 10.2.

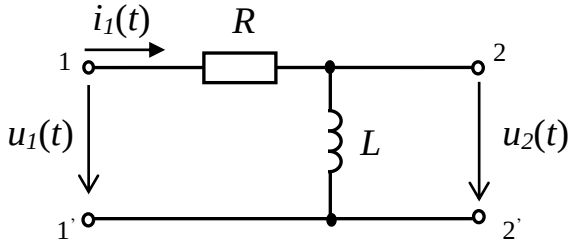



Рис. 10.2

10.9. Найти суммарное напряжение шумов на выходе усилителя, имеющего входное сопротивление $R_{вх} = 5$ *кОм* и коэффициент усиления по напряжению $K = 10^2$, если сопротивление источника сигнала $R_{ист} = 1$ *кОм*, температура $T = 292$ *К*, шумовая полоса усилителя $П_ш = 50$ *кГц*, коэффициент шума *Ш* = 2,5.

10.10. Оценить время нарастания фронта и неравномерность вершины импульса длительностью 10 *мкс* по переходной характеристике усилителя на рис. 5.3.

## 5. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

1. Определите ток, протекающий через диод при величине прямого напряжения равным $U_2 = 0{,}2$ *В*. Известно, что при температуре $t = 20^0$ *С* и величине прямого напряжения равным $U_1 = 0{,}1$ *В*. Величина тока, протекающего через полупроводниковый диод равна $I_1 = 1$ *мА*.

*Решение:*

Полупроводниковым диодом называется радиокомпонент аппаратуры, включающий в себя один *p-n* переход, помещенный в корпус и снабжённый двумя выводами. Структура и условное графическое обозначение полупроводникового диода приведена на рис. 1.

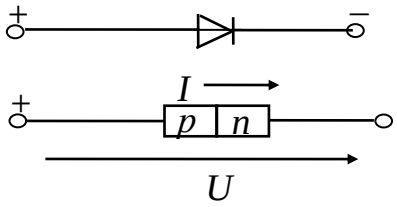



Рис. 1.1

Принцип действия полупроводникового диода основан на односторонней проводимости электронно-дырочного перехода. При прямом смещении величина тока, протекающего через полупроводниковый диод, обусловлена основными носителями зарядов и имеет большое значение. При обратном смещении величина тока, протекающего через полупроводниковый диод, обусловлена неосновными носителями зарядов и имеет малое значение.

Поведение протекающего тока через полупроводниковый диод представляется вольт-амперной характеристикой, которая в аналитическом виде может описана как:

$$I = I_0\left[\exp\left(U / \varphi_{\text{T}}\right) - 1\right],$$

где $I$ – ток, протекающий через полупроводниковый диод, $I_0$ – величина обратного тока и $U$ – величина напряжения, приложенная к полупроводниковому диоду.

Величина теплового потенциала определяется из выражения $\varphi_{\text{T}} = k\text{T}/e$, в котором значение $k = 1{,}38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К – постоянная Больцмана, $e = 1{,}610^{-19}$ *Кл* – значение элементарного электрического заряда, $\text{T} = t + 273$, $t$ – величина абсолютной температуры. В этом случае значения токов $I_1$ и $I_2$ протекающих через полупроводниковый диод при напряжениях, приложенных к нему равными значениям $U_1$ и $U_2$ можно представить как:

$$I_1 = I_0\left[\exp\left(U_1 / \varphi_{\text{T}}\right) - 1\right],$$

$$I_2 = I_0\left[\exp\left(U_2 / \varphi_{\text{T}}\right) - 1\right].$$

Полученные уравнения соотнесём между собой и получим выражение:

$$I_2 / I_1 = \left[\exp\left(U_2 / \varphi_{\text{T}}\right) - 1\right] / \left[\exp\left(U_1 / \varphi_{\text{T}}\right) - 1\right],$$

после чего легко найти требуемую величину тока из уравнения:

$$I_2 = I_1\left[\exp\left(eU_2 / \left(kT\right)\right) - 1\right] / \left[\exp\left(eU_1 / \left(kT\right)\right) - 1\right].$$

В полученное уравнение подставляем значения величин из условий задачи:

$$I_2 = 10^{-3}\left[\exp\left(\frac{1{,}6\cdot 10^{-19}\cdot 0{,}2}{1{,}38\cdot 10^{-23}\left(20+273{,}15\right)}\right) - 1\right] \Big/$$

$$\left[\exp\left(\frac{1{,}6\cdot 10^{-19}\cdot 0{,}2}{1{,}38\cdot 10^{-23}\left(20+273{,}15\right)}\right) - 1\right] = 0{,}0532.$$

Производим в уравнении проверку размерности:

$$I_2 = \text{А}\cdot\frac{\left[\exp\left(\dfrac{\text{Кл}\cdot\text{В}}{\left(\text{Дж}/\text{град}\right)\cdot\text{град}}\right) - 1\right]}{\left[\exp\left(\dfrac{\text{Кл}\cdot\text{В}}{\left(\text{Дж}/\text{град}\right)\cdot\text{град}}\right) - 1\right]}.$$

Принимая во внимание, что *Кл = А ·сек*, *Дж = В ·А ·сек*, приходим к тому факту что показатель экспоненты имеет безмерную величину. Следовательно $\left[I_2\right] = A$, получаем

$$I_2 = I_1\frac{\left[\exp\left(\dfrac{tU_2}{kT}\right) - 1\right]}{\left[\exp\left(\dfrac{tU_1}{kT}\right) - 1\right]} = 53{,}2 \text{ мА}.$$

2. Сопоставьте между собой величины прямых напряжений на переходах полупроводниковых диодов кремневого и германиваемого типа для следующих исходных данных. Дано: $T = 300$ К, $I_{0\ гер} = 5\cdot 10^{-6}$ А, $I_{0\ кр} = 1\cdot 10^{-9}$ А, $I\ = 50\cdot 10^{-3}$ А, определить: $U_{прям\,гер} - ?; U_{прям\,кр} - ?$

*Решение:*

Зависимость тока от напряжения на диоде:

$$I = I_0\cdot\left(\exp\left(\frac{U}{\varphi_T}\right) - 1\right),$$

здесь $I_0$ – обратный ток через диод $U \to \infty$; $U$ – напряжение на диоде; $\varphi_T = kT/e$ – тепловой потенциал; $к$=1,38·10$^{-23}$ Дж/К – постоянная Больцмана; Т– абсолютная температура *p-n* перехода диода; е =1,6·10$^{-19}$ Кл – элементарный заряд.

Выразим напряжение: $U = \varphi_T \cdot \ln\left(\left(\frac{I}{I_0}\right)+1\right)$.

Оценим значение напряжения для кремниевого и германиевого диодов:

$$U_{прям\,гер} = \varphi_T \cdot \ln\left(\left(\frac{I}{I_{0гер}}\right)+1\right);\ U_{прям\,кр} = \varphi_T \cdot \ln\left(\left(\frac{I}{I_{0кр}}\right)+1\right).$$

Теперь подставим численные значения:

$$U_{прям\ гер} = \frac{1{,}38\cdot 10^{-23}\cdot 300}{1{,}6\cdot 10^{-19}} \cdot \ln\left(\left(\frac{0{,}005}{5\cdot 10^{-6}}\right)+1\right) = 0{,}298\,\text{В};$$

$$U_{прям\ кр} = \frac{1{,}38\cdot 10^{-23}\cdot 300}{1{,}6\cdot 10^{-19}} \cdot \ln\left(\left(\frac{0{,}005}{1\cdot 10^{-9}}\right)+1\right) = 0{,}417\,\text{В}.$$

Вывод: $U_{прям\,гер} < U_{прям\,кр}$.

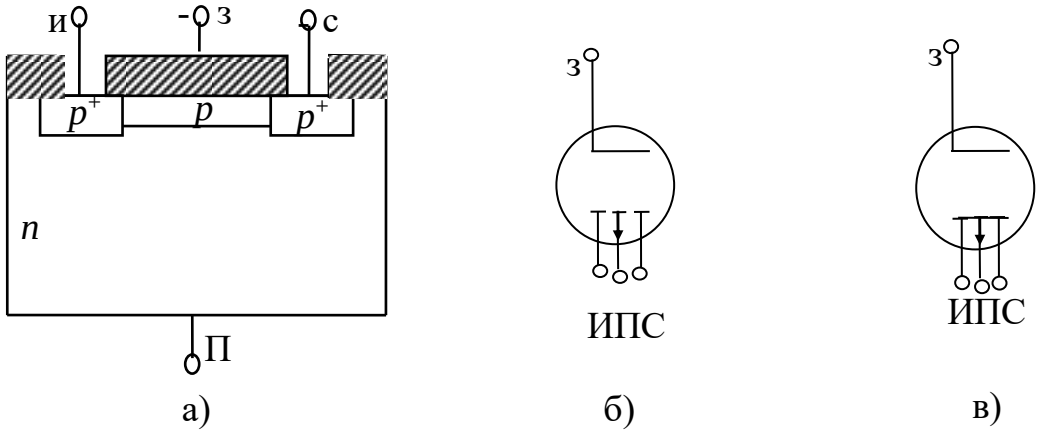
3. Требуется пояснить каким образом ведет величина сопротивление канала в полевом транзисторе структуры МДП со встроенным каналом *p*-типа с ростом напряжения затвор-исток.

*Решение:*

Структура и условное графическое обозначение полевого транзистора структуры МДП со встроенным каналом *p*-типа приведены на рис. 3.1.

Принцип действия полевого транзистора структуры МДП основан на том, что при подаче напряжения, подводимого к затвору можно управлять величиной тока, протекающего через канал.

У МДП транзистора с встроенным каналом *p*-типа эта область канала технологически имеется в транзисторе.




а) б) в)

Рис. 3.1 Устройство (а) и обозначения МДП транзистора с индуцированным (б) и встроенным (в) каналом р-типа

С ростом напряжения, подводимого к электродам затвор-исток изменяется концентрация носителей заряда в канале. Это обусловлено тем, что затвор создает меньшую силу электрического притяжения для основных носителей заряда. Поэтому с ростом напряжения, подводимого к электродам затвор-исток снижается концентрация основных носителей заряда (дырок) в канале, что приводит к росту его сопротивления.

Вывод: При росте напряжения, подводимого к электродам затвор-исток, уменьшается концентрация основных носителей заряда в канале. Проводимость канала уменьшается, что приводит к росту его сопротивления.

4. Реостат, имеющий сопротивление $R$ = 100 *Ом*, и конденсатор емкостью $C$ = 2 *мкФ* соединены последовательно (рис. 4.1). Напряжение на зажимах конденсатора $u_C(t)$ = 10sin(5000$t$) *В*. Чему равны мгновенные значения тока, напряжения резистора и напряжения на зажимах цепи?

*Решение:*

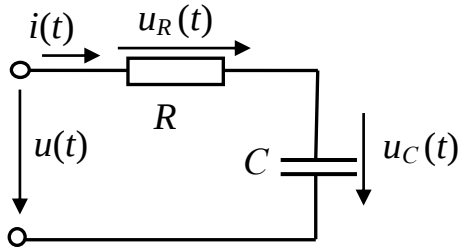



Рис. 4.1

Амплитудное значение тока определим по закону Ома

$$I_m = \frac{U_{Cm}}{1/(\omega C)} = U_{Cm}\omega C = 10 \cdot 5000 \cdot 2 \cdot 10^{-6} = 0{,}1\ A.$$

Известно, что ток конденсатора опережает напряжение на угол 90°. С учетом этого мгновенное значение тока запишем:

$$i(t) = I_m \sin(\omega t + \psi_i) = 0{,}1\sin(5000t + 90°)\ A.$$

Напряжение реостата связано с током линейной зависимостью

$u_R(t) = R \cdot i(t) = 100 \cdot 0{,}1\sin(5000t + 90°) = 10\sin(5000t + 90°) = 10\cos(5000t)\ B.$

Напряжение на зажимах цепи можно определить, как сумму напряжений на всех элементах

$u(t) = u_R(t) + u_C(t) = 10\cos(5000t) + 10\sin(5000t) = 14{,}1\sin(5000t + 45°)\ B.$

Напряжение на зажимах цепи также можно записать, определив его амплитуду и начальную фазу.

Амплитудное значение напряжения определим по закону Ома

$$U_m = Z \cdot I = \sqrt{R^2 + (1/\omega C)^2} \cdot I_m = \sqrt{100^2 + (10^6/5000 \cdot 2)^2} \cdot 0{,}1 = 14{,}1\ B.$$

Начальная фаза напряжения:

$$\psi_u = \psi_i + \varphi = 90^\circ + (-45^\circ) = 45^\circ,$$

где угол сдвига фаз между напряжением на зажимах цепи и током

определяется соотношением реактивного и активного сопротивлений этого участка

$$\varphi = arctg\frac{-1/(\omega C)}{R} = arctg\frac{-100}{100} = -45^{\circ}.$$

Мгновенное значение напряжения

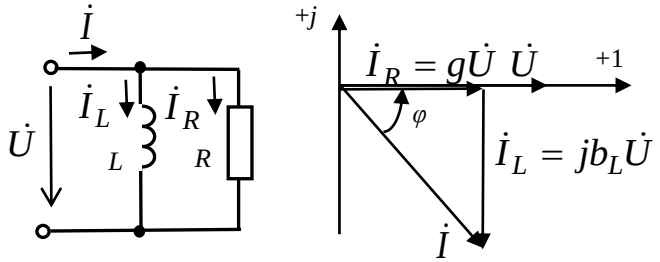
$$u(t) = U_m \sin(5000t + \psi_u) = 14{,}1 \sin(5000t + 45°)\ B.$$

5. Определить угол сдвига фаз между входным напряжением и током и построить векторную диаграмму токов и напряжений для цепи, состоящей из параллельно соединенных резистора с сопротивлением $R$ = 100 *Ом* и идеальной катушки с индуктивностью $L$ = 0,5 *Гн* (рис. 5.1, а). Частота питающего напряжения $f$ = 50 *Гц*.

*Решение:*

При параллельном соединении напряжение ветвей одинаково, поэтому при построении векторной диаграммы удобно принять за ноль начальную фазу напряжения на зажимах цепи, а векторы токов строить относительно этого напряжения.

Ток активного элемента $\dot{I}_R = \frac{\dot{U}}{R} = g\dot{U}$ совпадает с напряжением по фазе и на векторной диаграмме располагается параллельно вектору напряжения.




а) б)

Рис. 5.1

Ток реактивного индуктивного элемента $\dot{I}_L = \frac{\dot{U}}{j\omega L} = -jb_L\dot{U}$ отстает от напряжения по фазе на угол 90º. На векторной диаграмме вектор этого тока повернут относительно вектора напряжения по часовой стрелке на 90º. Угол сдвига фаз между напряжением и током этого участка, как видно из построенной векторной диаграммы (рис. 5.1, б), можно определить из отношения токов и он зависит от соотношения активной и реактивной проводимостей:

$$\varphi = arctg\frac{b_L}{g} = arctg\frac{1/\omega L}{1/R} = arctg\frac{1/(314\cdot 0{,}5)}{1/100} = 32{,}5^{\circ}.$$

6. Определить токи в ветвях электрической цепи, схема которой представлена на рис. 6.1 методом токов ветвей. Параметры элементов цепи: $E_1$ = 100 *В*, $E_2$ = 180 *В*, $E_3$ = 90 *В*, $R_1$ = 75 *Ом*, $R_2$ = 60 *Ом*, $R_3$ = 40 *Ом*, $R_4$ = 90 *Ом*, $R_5$ = 50 *Ом*.

*Решение:*

Прежде чем составлять систему уравнений методом токов ветвей, при котором в качестве переменных являются токи в ветвях, произвольно покажем условно положительные направления токов в ветвях и проведем топологический анализ цепи.

Рассматриваемая цепь имеет пять ветвей с неизвестными токами ($I_1 \div I_5$), три узла (узлы 3-3' можно объединить в один, так как они соединены проводником с сопротивлением, равным нулю), три линейно независимых контура (I, II, III).

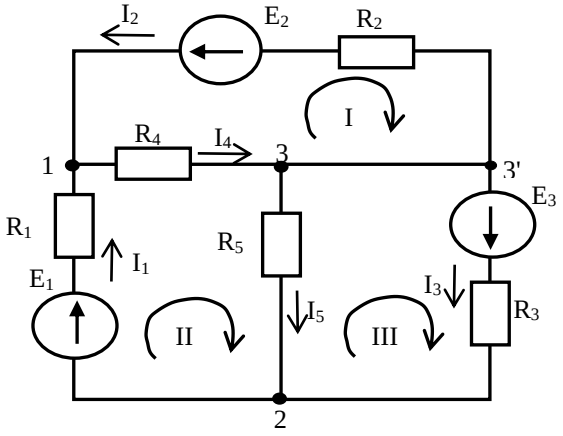



Рис. 6.1

Так как в цепи имеется пять неизвестных токов, то необходимо составить систему из пяти уравнений по законам Кирхгофа для определения этих токов.

Количество уравнений, составленных по первому закону Кирхгофа на одно меньше, чем количество узлов в цепи. Для рассматриваемой цепи, имеющей три узла, составляем два уравнения по первому закону Кирхгофа:

узел 1: $I_1 + I_2 - I_4 = 0,$

узел 2: $-I_1 + I_5 + I_3 = 0.$

Остальные три необходимые уравнения составляем по второму закону Кирхгофа для трех линейно независимых контуров. Перед составлением уравнений по второму закону Кирхгофа выберем произвольно направления обхода каждого из контуров, и покажем эти направления на схеме:

контур I (1-3-1): $-R_2 I_2 - R_4 I_4 = -E_2,$

контур II (1-3-2-1): $R_1 I_1 + R_4 I_4 + R_5 I_5 = E_1,$

контур III (2-3-2): $-R_5 I_5 + R_3 I_3 = E_3.$

Запишем эти уравнения в виде системы алгебраических уравнений:

$$\begin{cases} I_1 + I_2 - I_4 = 0 \\ -I_1 + I_3 + I_5 = 0 \\ -R_2 I_2 - R_4 I_4 = -E_2 \\ R_1 I_1 + R_4 I_4 + R_5 I_5 = E_1 \\ R_3 I_3 - R_5 I_5 = E_3. \end{cases}$$

Полученную систему уравнений можно записать в матричной форме:

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & -1 & 0 \\ -1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & -R_2 & 0 & -R_4 & 0 \\ R_1 & 0 & 0 & R_4 & R_5 \\ 0 & 0 & R_3 & 0 & -R_5 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -E_2 \\ E_1 \\ E_3 \end{bmatrix}.$$

Элементами матрицы [$R$] являются коэффициенты при неизвестных токах в алгебраической системе уравнений.

Подставив числовые значения, рассчитаем ток в каждой из ветвей цепи по формуле: $I_i = \frac{\Delta_i}{\Delta}$, где $\Delta$ – главный определитель системы

$$\Delta = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & -1 & 0 \\ -1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & -R_2 & 0 & -R_4 & 0 \\ R_1 & 0 & 0 & R_4 & R_5 \\ 0 & 0 & R_3 & 0 & -R_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & -1 & 0 \\ -1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & -60 & 0 & -90 & 0 \\ 75 & 0 & 0 & 90 & 50 \\ 0 & 0 & 40 & 0 & -50 \end{bmatrix}$$

$\Delta_i$ – дополнительные определители, которые получают путем замены $i$-того столбца главного определителя на столбец свободных членов.

В настоящее время существует ряд программных систем (MATLAB, MathCAD), которыми можно воспользоваться для решения данной системы уравнений.

Решив эту систему, получим значения токов в ветвях цепи:

$$I_1 = 0{,}315\ A, \quad I_2 = 1{,}011\ A, \quad I_3 = 1{,}175\ A,$$
$$I_4 = 1{,}326\ A, \quad I_5 = -0{,}859\ A.$$

Ток пятой ветви в результате расчета получился со знаком «минус», это означает, что в рассматриваемой цепи нами было неверно выбрано его положительное направление. На самом деле ток $I_5$ направлен в противоположную сторону.

7. Рассчитать токи в ветвях электрической цепи, схема которой приведена на рис. 6.1 методом контурных токов. Исходные данные для расчета такие же, как в задаче 6.1.

*Решение:*

Пусть по ветвям каждого из независимых контуров протекает свой контурный ток. Направления контурных токов выберем по направлению движения часовой стрелки.

Система уравнений для определения контурных токов в общем виде записывается:

$$\begin{cases} R_{11}I_{11} + R_{12}I_{22} + R_{13}I_{33} = E_{11} \\ R_{21}I_{11} + R_{22}I_{22} + R_{23}I_{33} = E_{22} \\ R_{31}I_{11} + R_{32}I_{22} + R_{33}I_{33} = E_{33}, \end{cases}$$

где $R_{11}$, $R_{22}$, $R_{33}$ – собственные сопротивления контуров, которые определяются как сумма сопротивлений, входящих в соответствующий контур:

$R_{11} = R_2 + R_4 = 60 + 90 = 150\ Ом$,

$R_{22} = R_1 + R_4 + R_5 = 75 + 90 + 50 = 215\ Ом$,

$R_{33} = R_5 + R_3 = 50 + 40 = 90\ Ом$;

$R_{12} = R_{21}$, $R_{32} = R_{23}$, $R_{13} = R_{31}$ – взаимные сопротивления контуров, которые определяются как сумма сопротивлений одновременно принадлежащих двум смежным контурам, причем эти сопротивления имеют знак «–», если направления контурных токов в общей ветви не совпадают, и знак «+» если совпадают:

$R_{12} = R_{21} = -R_4 = -90\ Ом$ – взаимное сопротивление первого и второго контуров, знак «минус» обусловлен противоположным направлением контурных токов в сопротивлении $R_4$;

$R_{32} = R_{23} = -R_5 = -50\ Ом$ – взаимное сопротивление второго и третьего контуров, знак «минус» обусловлен противоположным направлением контурных токов в сопротивлении $R_5$;

$R_{13} = R_{31} = 0$ – взаимное сопротивление первого и третьего контуров, равно нулю, так как эти контуры не имеют ни одного общего сопротивления;

$E_{11}, E_{22}, E_{33}$ – алгебраическая сумма ЭДС в соответствующем контуре:

$E_{11} = -E_2 = -180\ В$ – алгебраическая сумма ЭДС в первом контуре, знак минус обусловлен несовпадением направления контурного тока и направления ЭДС $E_2$;

$E_{22} = E_1 = 100\ В$ – алгебраическая сумма ЭДС во втором контуре, в этом контуре направление контурного тока и ЭДС совпадают;

$E_{33} = E_3 = 90\ В$ – алгебраическая сумма ЭДС третьего контура.

Система уравнений для определения контурных токов в матричной форме записи имеет вид:

$$\begin{bmatrix} 150 & -90 & 0 \\ -90 & 215 & -50 \\ 0 & -50 & 90 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_{11} \\ I_{22} \\ I_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -180 \\ 100 \\ 90 \end{bmatrix}$$

Контурные токи определяются по формуле: $I_{kk} = \frac{\Delta_k}{\Delta}$.

Главный определитель системы:

$$\Delta = \begin{bmatrix} 150 & -90 & 0 \\ -90 & 215 & -50 \\ 0 & -50 & 90 \end{bmatrix} = 1{,}798 \cdot 10^6$$

Дополнительные определители получаем путем замены k-го столбца главного определителя на столбец свободных членов:

$$\Delta_1 = \begin{bmatrix} -180 & -90 & 0 \\ 100 & 215 & -50 \\ 90 & -50 & 90 \end{bmatrix} = -1{,}818 \cdot 10^6$$

$$\Delta_2 = \begin{bmatrix} 150 & -180 & 0 \\ -90 & 100 & -50 \\ 0 & 90 & 90 \end{bmatrix} = 5{,}67 \cdot 10^6$$

$$\Delta_3 = \begin{bmatrix} 150 & -90 & -180 \\ -90 & 215 & 100 \\ 0 & -50 & 90 \end{bmatrix} = 2{,}114 \cdot 10^6$$

Рассчитаем контурные токи:

$$I_{11} = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{-1{,}818 \cdot 10^6}{1{,}798 \cdot 10^6} = -1{,}011\ A,$$

$$I_{22} = \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{5{,}67 \cdot 10^6}{1{,}798 \cdot 10^6} = 0{,}315\ A,$$

$$I_{33} = \frac{\Delta_3}{\Delta} = \frac{2{,}114 \cdot 10^6}{1{,}798 \cdot 10^6} = 1{,}175\ A.$$

Токи в ветвях цепи будут определяться наложением контурных токов. Причем контурные токи, направления которых совпадает с выбранным ранее положительным направлением тока ветви, берутся со знаком «плюс», а те, которые не совпадают, со знаком «минус»:

$I_1 = I_{22} = 0{,}315\ A,\ I_2 = -I_{11} = -1{,}011\ A,\ I_3 = I_{33} = 1{,}175\ A,$

$I_4 = I_{22} - I_{11} = 0{,}315 + 1{,}011 = 1{,}326\ A,$

$I_5 = I_{22} - I_{33} = 0{,}315 - 1{,}175 = -0{,}86\ A.$

8. Рассчитать токи в ветвях электрической цепи, схема которой представлена на рис. 6.1 методом узловых потенциалов, используя данные задачи 6.1.

*Решение:*

При расчете электрических цепей методом узловых потенциалов, неизвестной величиной являются потенциалы узлов рассматриваемой цепи, при условии, что потенциал одного из узлов цепи принимают равным нулю.

Рассматриваемая цепь имеет три узла, примем равным нулю потенциал третьего узла $\varphi_3 = 0$, тогда необходимо будет составить систему из двух уравнений для определения потенциалов остальных узлов. В общем виде эта система имеет вид:

$$\begin{cases} G_{11}\varphi_1 + G_{12}\varphi_2 = J_{11} \\ G_{21}\varphi_1 + G_{22}\varphi_2 = J_{22} \end{cases}$$

где $G_{kk}$ – узловая проводимость k-того узла, которая определяется как сумма проводимостей ветвей, подходящих к соответствующему узлу;

$$G_{11} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_4} = \frac{1}{75} + \frac{1}{60} + \frac{1}{90} = 0{,}041\,См,$$

$$G_{22} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_5} = \frac{1}{75} + \frac{1}{40} + \frac{1}{50} = 0{,}058\,См,$$

$G_{12} = G_{21} = -\frac{1}{R_1} = -\frac{1}{75} = -0{,}013\,См$ – междуузловая проводимость, определяемая как сумма проводимостей ветвей включенных непосредственно между первым и вторым узлами, которая в методе узловых потенциалов всегда берется со знаком «минус»;

$J_{kk} = \sum g_k E_k$ – алгебраическая сумма условных узловых токов, создаваемых ЭДС ветвей, подходящих к k-тому узлу, в том случае если ЭДС направлена к узлу, то создаваемый ею узловой ток входит в сумму с положительным знаком, если же от узла, то с отрицательным:

$$J_{11} = \frac{E_1}{R_1} + \frac{E_2}{R_2} = \frac{100}{75} + \frac{180}{60} = 4{,}333\,A,$$

$$J_{22} = -\frac{E_1}{R_1} + \frac{E_3}{R_3} = -\frac{100}{75} + \frac{90}{40} = 0{,}917\,A.$$

Запишем полученную систему уравнений для определения потенциалов узлов в матричной форме:

$$\begin{bmatrix} 0{,}041 & -0{,}013 \\ -0{,}013 & 0{,}058 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4{,}333 \\ 0{,}917 \end{bmatrix}$$

Определим главной и дополнительные определители этой системы уравнений:

$$\Delta = \begin{bmatrix} 0{,}041 & -0{,}013 \\ -0{,}013 & 0{,}058 \end{bmatrix} = 2{,}209 \cdot 10^{-3},$$

$$\Delta_1 = \begin{bmatrix} 4{,}333 & -0{,}013 \\ 0{,}917 & 0{,}058 \end{bmatrix} = 0{,}263,$$

$$\Delta_2 = \begin{bmatrix} 0{,}041 & 4{,}333 \\ -0{,}013 & 0{,}917 \end{bmatrix} = 0{,}094.$$

Определим неизвестные потенциалы узлов:

$$\varphi_1 = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{0{,}263}{2{,}209 \cdot 10^{-3}} = 119{,}058\ B,$$

$$\varphi_2 = \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{0{,}094}{2{,}209 \cdot 10^{-3}} = 42{,}533\ B.$$

Токи в ветвях схемы найдем по закону Ома для участка цепи с ЭДС:

$$I = \frac{U_{ab} \pm E}{\sum R} = \frac{(\varphi_a - \varphi_b) \pm E}{\sum R},$$

где $U_{ab} = (\varphi_a - \varphi_b)$ – напряжение на зажимах всего участка цепи, и направление этого напряжения должно совпадать с направлением искомого тока; $E$ – ЭДС участка цепи, которая берется со знаком «+», если её направление совпадает с направлением искомого тока или со знаком «–», если не совпадает; $\sum \mathrm{R}$ – сумма сопротивлений данного участка цепи.

$$I_1 = \frac{(\varphi_2 - \varphi_1) + E_1}{R_1} = \frac{(42{,}533 - 119{,}058) + 100}{75} = 0{,}315\ A,$$

$$I_2 = \frac{(\varphi_3 - \varphi_1) + E_2}{R_2} = \frac{(0 - 119{,}058) + 180}{60} = 1{,}016\ A,$$

$$I_3 = \frac{(\varphi_3 - \varphi_2) + E_3}{R_3} = \frac{(0 - 42{,}533) + 90}{40} = 1{,}187\ A,$$

$$I_4 = \frac{(\varphi_1 - \varphi_3)}{R_4} = \frac{119{,}058}{90} = 1{,}323\ A,$$

$$I_5 = \frac{(\varphi_3 - \varphi_2)}{R_5} = \frac{(0 - 42{,}533)}{50} = -0{,}851\ A.$$

Если сравнить между собой методы определения токов в рассматриваемой цепи (рис. 6.1), то наиболее целесообразным окажется метод узловых потенциалов, так как для расчета токов этим методом необходимо решить систему уравнений всего лишь второго порядка. Расхождения в результатах расчета токов в одной схеме различными методами объясняется погрешностями, возникающими в результате округлений.

9. Определить аналитические выражения АЧХ и ФЧХ коэффициента передачи по напряжению $H_{21}(j\omega)=\dfrac{\dot{U}_{m2}}{\dot{U}_{m1}}$ (рис. 9.1). Изобразить их графики.

*Решение:*

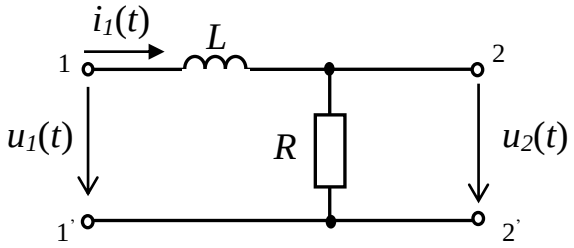



Рис. 9.1

Для нахождения комплексного коэффициента передачи по напряжению цепи (рис. 9.1), составляем ее комплексную схему замещения (рис. 9.2). Она представляет собой схему простейшего делителя напряжения.

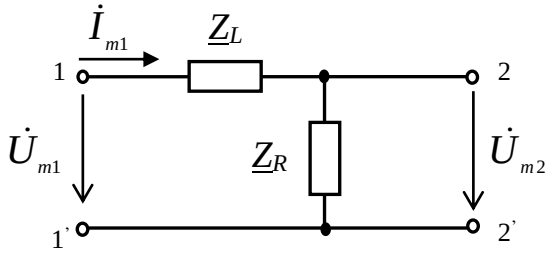



Рис. 9.2

Определяем комплексный коэффициент передачи по напряжению $H_{21}(j\omega)$. В режиме холостого хода на клеммах 2-2' через сопротивления $\underline{Z}_L$ и $\underline{Z}_R$ протекает один и тот же ток $\dot{I}_{m1}$. Тогда $\dot{U}_{m2}=\dot{I}_{m1}\cdot\underline{Z}_R$, $\dot{U}_{m1}=\dot{I}_{m1}(\underline{Z}_L+\underline{Z}_R)$.

Следовательно

$$H_{21}(j\omega)=\frac{\dot{U}_{m2}}{\dot{U}_{m1}}=\frac{\underline{Z}_R}{\underline{Z}_L+\underline{Z}_R}=\frac{R}{R+j\omega L}=\frac{R}{\sqrt{R^2+(\omega L)^2}}e^{-jarctg\frac{\omega L}{R}}.$$

Отсюда

$$H_{21}(\omega)=\frac{R}{\sqrt{R^2+(\omega L)^2}}=\frac{1}{\sqrt{1+\left(\dfrac{\omega L}{R}\right)^2}}.$$

$$\varphi_{21}(\omega)=-arctg\left(\frac{\omega L}{R}\right).$$

Получаем графики АЧХ (рис. 9.3, а) и ФЧХ (рис. 9.3, б) цепи.

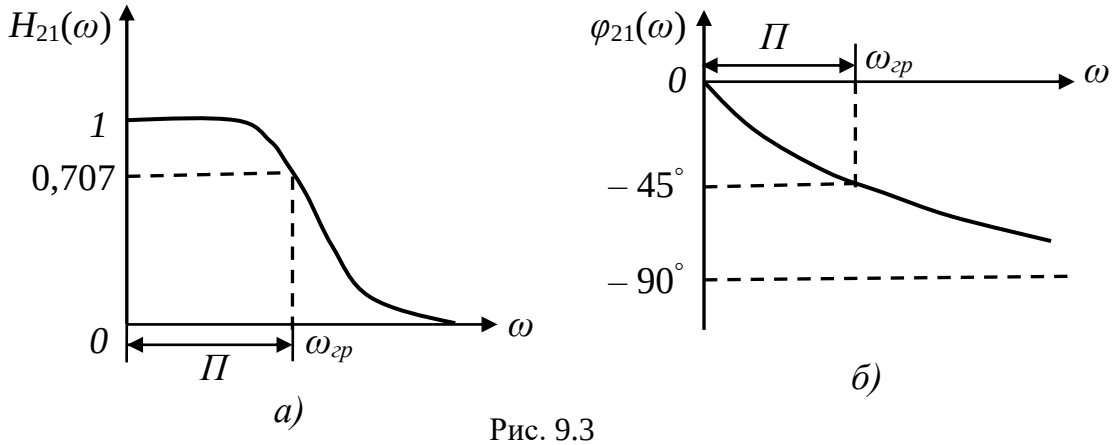



Рис. 9.3

Функция $\varphi_{21}(\omega)$ представляет собой элементарную функцию вида $y = -arctgx$, при $0 \le x \le \infty$. График функции $\varphi_{21}(\omega)$ показан на рис. 6.3, б.

График же функции $H_{21}(\omega)$ строим по алгоритму исследования функций, известному из курса математики.

Из аналитического выражения $H_{21}(\omega) = \dfrac{1}{\sqrt{1+\left(\dfrac{\omega L}{R}\right)^2}}$ видим, что функция $H_{21}(\omega)$ не имеет особых точек и определена в области [0,∞].

На граничных частотах значения функции равны

$$H_{21}(0) = \lim_{\omega \to 0} H_{21}(\omega) = 1,$$

$$H_{21}(\infty) = \lim_{\omega \to \infty} H_{21}(\omega) = 0.$$

Из графика получаем, что рабочим диапазоном частот для данного четырехполюсника является диапазон от $\omega = 0$ до $\omega_{гр}$, а сдвиг фаз между напряжением и на входе и выходе равен нулю. Из этого следует, что сигнал, поданный на вход четырехполюсника, проходит через него без искажений.

10. Номинальное сопротивление ФНЧ при $\omega = 0$, $R_0 = 600\,Ом$, частота среза $f_c = 5\,МГц$. Построить $T$ и $П$-образные схемы ФНЧ, удовлетворяющим этим условиям.

*Решение:*

Применяя формулы расчета частоты среза $\omega_c$ и номинального сопротивления $R_0$ ФНЧ, находим параметры ФНЧ

$$L = 2\frac{R_0}{\omega_c} = 2\frac{R_0}{2\pi f_c} = 2\frac{600}{6{,}28 \cdot 5 \cdot 10^6} = 38{,}2\ мкГн,$$

$$C = \frac{2}{\omega_c \cdot R_0} = \frac{2}{2\pi f_c \cdot R_0} = \frac{2}{6{,}28 \cdot 5 \cdot 10^6 \cdot 600} = 106\ пФ.$$

Строим *Т*-образную схему замещения ФНЧ (рис. 10.1). Индуктивности в продольном звене фильтра равны $\frac{L}{2} = \frac{38{,}2}{2} = 19{,}1\ мкГн$ каждая.

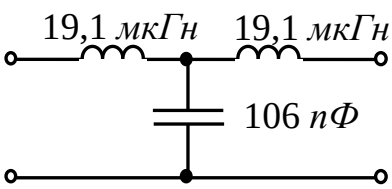



Рис. 10.1

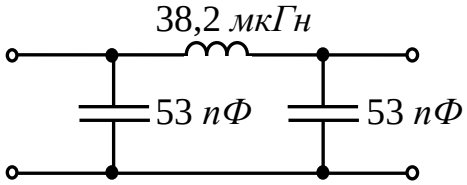



Рис. 10.2

Строим *П*-образную схему замещения ФНЧ (рис. 10.2). Емкости в поперечных звеньях фильтра равны $\frac{C}{2} = \frac{106}{2} = 53\ пФ$ каждая.

11. Определить сквозной коэффициент усиления по напряжению $К^*$ усилителя, если выходное напряжение $U_{вых}$ = 10 *В*, входное $U_{вх}$ = 80 *мВ*, коэффициент передачи входной цепи усилителя по напряжению $\alpha$ = 0,5.

*Решение:*

Сквозной коэффициент усиления по напряжению усилителя, определяется по формуле

$$K^* = \frac{U_{вых}}{E_c},$$

где $E_c$ – ЭДС источника сигнала.

Напряжение на входе усилителя $U_{вх}$ связано с $E_c$: $U_{вх} = \alpha E_c$, откуда

$$E_c = \frac{U_{вх}}{\alpha}.$$

Тогда получаем

$$K^* = \frac{U_{вых} \cdot \alpha}{U_{вх}} = \frac{10 \cdot 0{,}5}{80 \cdot 10^{-3}} = 62{,}5.$$

12. Рассчитать коэффициент шума усилителя, согласованного на входе, если температура *Т* = 292 *К*, шумовая полоса $П_ш$ = 10 *кГц*, коэффициент усиления по мощности усилителя $К_р = 10^7$ и суммарная мощность собственных шумов на выходе усилителя $P_{\sum ш.вых} = 4 \cdot 10^{-10}$ Вт.

*Решение:*

Коэффициент шума $К_ш$:

$$К_ш = \frac{P_{\sum ш.вых}}{P_{с.ш.вых}} \ ,$$

где $P_{с.ш.вых}$ – мощность шумов, создаваемая на выходе усилителя источником сигнала.

При согласовании на выходе, когда внутреннее сопротивление источника сигнала равно внутреннему сопротивлению усилителя, мощность шумов, создаваемая внутренним сопротивлением источника сигнала на выходе, получаем

$$P_{с.ш.вых} = kTП_ш К_р,$$

где $k$ = 1,38·10$^{-23}$ *Дж/К* – постоянная Больцмана, $T$ – абсолютная температура, $П_ш$ – шумовая полоса.

Тогда

$$К_ш = \frac{P_{\sum ш.вых}}{kTП_ш K_р} = \frac{4 \cdot 10^{-10}}{1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot 292 \cdot 10^4 \cdot 10^7} = 0{,}99.$$

## 6. ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ

1. Идеализированные пассивные элементы.
2. Идеализированные активные элементы.
3. Топология цепей. Законы Ома и Кирхгофа.
4. Понятие о периодических процессах.
5. Последовательная RLC-цепь при гармоническом воздействии.
6. Параллельная RLC-цепь при гармоническом воздействии.
7. Законы Ома и Кирхгофа в комплексной форме.
9. Индуктивно-связанные цепи при гармоническом воздействии.
10. Энергетические соотношения в простейших цепях при гармоническом воздействии.
11. Метод токов ветвей.
12. Метол контурных токов.
13. Метод узловых напряжений.
14. Принцип наложения.
15. Теорема об эквивалентном генераторе напряжения (теорема Тевенина).
16. Теорема об эквивалентном генераторе тока (теорема Нортона).
17. Потенциальная диаграмма для цепей постоянного тока.
18. Потенциальная диаграмма для цепей переменного тока.
19. Баланс мощностей.
20. Эквивалентные преобразования последовательных и параллельных цепей.
21. Описание топологии цепей с использованием направленных графов.
22. Матрица инциденций.
23. Матричная формулировка законов Кирхгофа.
24. Компонентные уравнения в матричной форме.
25. Матричная форма системы уравнений электрического равновесия, составленная по методу узловых потенциалов.
26. Основные определения и классификация четырехполюсников.
27. Z-параметры четырехполюсника.
28. Y-параметры четырехполюсника.
29. A-параметры четырехполюсника.
30. Связь между матрицами четырехполюсника.
31. Параметры холостого хода и короткого замыкания четырехполюсника.
32. Составные четырехполюсники и их матрицы.
33. Вторичные параметры четырехполюсника.
34. Понятие о комплексных частотных характеристиках.
35. Комплексные частотные характеристики R,L, и C.
36. Классификация фильтров.

37. RC- и RL- фильтры.

38. Реактивные фильтры.

39. Последовательный колебательный контур.

40. Параллельный колебательный контур.

41. Связанные колебательные контуры.

42. Возникновение переходных процессов. Правило коммутации.

43. Установившиеся и свободные режимы.

44. Анализ переходного процесса в RL- цепи.

45. Анализ переходного процесса в RC- цепи.

46. Единичная ступенчатая функция и единичный импульс.

47. Переходная и импульсная характеристики цепи.

48. Определение реакции цепи метолом наложения.

49. Прямое и обратное преобразование Лапласа. Основные свойства преобразования.

50. Законы Ома и Кирхгофа в операторной форме.

51. Операторные схемы замещения идеализированных двухполюсников.

52. Операторные характеристики цепей.

53. Сигналы с амплитудной модуляцией.

54. Балансная амплитудная модуляция.

55. Однополосная амплитудная модуляция.

56. Сигналы с фазовой модуляцией.

57. Сигналы с частотной модуляцией.

58. Однотональные сигналы с угловой модуляцией. Спектральное представление.

59. Сигналы с внутриимпульсной частотной модуляцией. База сигнала.

60. Теорема Котельникова.

61. Узкополосный сигнал.

62. Преобразование Гильберта. Аналитический сигнал.

63. Амплитуда, фаза и частота сигнала.

64. Способы полного описания случайных величин.

65. Способы приближённого описания случайных величин. Моменты случайных величин.

66. Вакуумный диод. Назначение катода. Назначение анода. Основные параметры (крутизна, дифференциальное сопротивление, сопротивление постоянному току, межэлектродные емкости). Эквивалентная схема.

67. Триоды, устройство, назначение сетки. Параметры, характеристики, эквивалентная схема.

68. Тетроды, устройство, назначение экранной сетки, параметры, характеристики. Динатронный эффект.

69. Пентоды, устройство, назначение защитной сетки, параметры, характеристики.

70. Эквивалентная схема и частотные свойства p-n – перехода.

71. Вольт-амперная характеристика электронно-дырочного перехода.

72. Разновидности полупроводниковых диодов (выпрямительные, стабилитроны, варикапы), их назначение, основные параметры.

73. Устройство и принцип работы биполярного транзистора. Основные соотношения между токами.

74. Физические параметры биполярного транзистора.

75. Схемы включения биполярных транзисторов (ОЭ, ОБ). Основные характеристики (KI, KV).

76. Режимы работы биполярных транзисторов. Основные характеристики.

77. Статические характеристики биполярных транзисторов (для схемы включения с ОЭ).

78. Статические характеристики биполярных транзисторов (для схемы включения с ОБ).

79. Модель Эберса-Молла. Т – образная эквивалентная схема.

80. Представление биполярного транзистора в виде линейного четырехполюсника. Система h- параметров.

81. Эквивалентные схемы транзисторов на базе h, z и y- параметров.

82. Определение дифференциальных параметров по статическим характеристикам.

83. Тиристоры. ВАХ и основные параметры.

84. Принципы маркировки ЭВП и полупроводниковых приборов и их схемотехническое изображение.

85. Типы полевых транзисторов.

86. Сопротивление канала транзистора с p - n затвором.

87. Физические параметры полевого транзистора p - n затвором.

88. Схемы включения полевого транзистора p - n затвором.

89. Вольт-амперные характеристики транзистора p - n затвором.

90. Полевые транзисторы с переходом металл-полупроводник.

91. Физические параметры МДП транзистора.

92. Схемы включения МДП транзистора (ОЗ, ОС, ОИ).

93. Вольт-амперные характеристики МДП транзистора (входные, выходные).

94. Эквивалентные схемы МДП транзисторов (со встроенным каналом p, n- типа).

95. Классификация интегральных микросхем.

96. Простейшие элементы интегральных микросхем.

97. Базовые ячейки микросхем. Элементы ТТЛ.

98. Базовые ячейки микросхем. Элементы ЭСЛ.

99. Функциональная электроника и перспективы развития элементной базы радиоэлектронной аппаратуры.

100. Светодиоды и их основные характеристики.

101. Фотодиоды и их основные характеристики.

102. Фототранзисторы и их основные характеристики.

103. Фоторезисторы и их основные характеристики.

104. Элементы памяти статического и динамического типа и их основные характеристики.

105. Оптоэлектронные пары.

106. Элементы памяти статического и динамического типа и их основные характеристики.

107. Элементы функциональной электроники.

108. Назначение аналоговых электронных устройств, их виды Характеристики и параметры аналоговых электронных устройств.

109. Линейные искажения сигналов в АЭУ и их виды.

110. Нелинейные свойства активных элементов АЭУ. Нелинейные искажения сигнала в АЭУ, коэффициент гармоник.

111. Виды обратных связей в АЭУ. Петля обратной связи и ее параметры.

112. Влияние обратной связи на коэффициент усиления усилителя.

113. Влияние ООС на входное и выходное сопротивления усилителя.

114. Влияние ООС на нелинейные искажения сигналов.

115. Влияние ООС на АЧХ и ФЧХ усилителя.

116. Проблема устойчивости усилителей, охваченных ООС. Графические критерии устойчивости.

117. Собственные помехи АЭУ. Шумовые свойства АЭУ, параметры, характеризующие шумовые свойства.

118. Схемы подачи смещения во входные цепи транзисторов в усилительных каскадах: фиксированным током базы, фиксированным напряжением база-эмиттер. Цепи смещения с температурной компенсацией.

119. Схемы стабилизации рабочей точки транзисторов в усилительных каскадах (коллекторная стабилизация, эмиттерная, термокомпенсационная).

120. Резисторный усилительный каскад по схеме с общим эмиттером. Эквивалентная схема и основные параметры каскада для области средних частот рабочего диапазона.

121. Резисторные каскады на полевых транзисторах по схеме с общим истоком.

122. Резисторные каскады на полевых транзисторах по схеме с общим стоком.

123. Резисторный усилитель по схеме с общим коллектором (эмиттерный повторитель). Резисторный усилитель по схеме с общей базой (повторитель тока).

124. Частотные характеристики резисторного усилителя в области нижних частот.

125. Частотные характеристики резисторного усилителя в области верхних частот.

126. Генераторы стабильного тока и их использование в интегральных усилителях.

127. Операционные усилители. Требования к усилителям, структура и каскады усилителя.

128. Основные параметры и характеристики операционного усилителя.

129. Сдвиг нуля ОУ, его причины. Схемы компенсации сдвига нуля ОУ.

130. Инвертирующий усилитель. Коэффициент усиления инвертирующего усилителя.

131. Неинвертирующий усилитель. Коэффициент усиления неинвертирующего усилителя.

132. Дифференциатор на ОУ. Повышение устойчивости устройства.

133. Устройство логарифмирования на операционном усилителе.

134. Устройство антилогарифмирования на операционном усилителе.

135. Активные ФНЧ первого и второго порядка.

136. Активные ФВЧ первого и второго порядка.

137. Компараторы напряжений. Компаратор положительных напряжений.

138. Компараторы с положительной обратной связью. Триггер Шмитта.

139. Современные интегральные компараторы, их назначение и технические показатели. Пути повышения быстродействия.

140. Устройства функционального преобразования аналоговых сигналов в автоматизированных системах специального назначения.

141. Цифровые устройства комбинационного типа и проблематика проектирования.

142. Асинхронные элементы памяти и триггеры типов D, R-S.

143. Синхронные триггеры типов D, T, R-S, J-K. Функции возбуждения и синтез синхронные триггеров, получение одних типов триггеров их других.

144. Назначение и область применения шифраторов и дешифраторов. Полные и неполные дешифраторы, понятие логической функции.

# 7. ПОРЯДОК ЗАЩИТЫ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

К защите допускаются только контрольные работы, оформленные в строгом соответствии с изложенными выше требованиями. За содержание и оформление контрольной работы, принятые в ней решения, правильность всех данных и сделанные выводы отвечает слушатель – автор контрольной работы.

Контрольная работа представляется и защищается в сроки, предусмотренные учебным графиком выполнения контрольных работ по дисциплине. Положительно оцененная преподавателем контрольная работа подлежит защите.

Подведение итогов подготовки контрольной работы включает следующие этапы:

– сдачу контрольной работы на проверку преподавателю;

– доработку контрольной работы с учетом замечаний преподавателя;

– сдачу готовой контрольной работы на защиту;

– защиту контрольной работы.

Срок доработки контрольной работы устанавливается преподавателем с учетом сущности замечаний и объема необходимой доработки.

Выполненная контрольная работа подписывается слушателем и представляется на защиту.

При выставлении итоговой оценки преподаватель учитывает не только содержание контрольной работы, но и степень самостоятельности работы слушателя.

Приложение 1. Множители и приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц, их наименования и обозначения

| Множитель | Приставка | Обозначение приставки | | Множитель | Приставка | Обозначение приставки | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | русское | международное | | | русское | международное |
| $10^{-18}$ | атто | а | a | $10^{1}$ | дека | да | da |
| $10^{-15}$ | фемто | ф | f | $10^{2}$ | гекто | г | h |
| $10^{-12}$ | пико | п | p | $10^{3}$ | кило | к | k |
| $10^{-9}$ | нано | н | n | $10^{6}$ | мега | М | M |
| $10^{-6}$ | микро | мк | μ | $10^{9}$ | гига | Г | G |
| $10^{-3}$ | милли | м | m | $10^{12}$ | тера | Т | T |
| $10^{-2}$ | санти | с | c | $10^{15}$ | пета | П | P |
| $10^{-1}$ | деци | д | d | $10^{18}$ | экса | Э | E |

Приложение 2. Греческий алфавит

| Прописные | Строчные | Название | Прописные | Строчные | Название |
|---|---|---|---|---|---|
| A | α | альфа | N | ν | ни (ню) |
| B | β | бета | Ξ | ξ | кси |
| Γ | γ | гамма | O | ο | о микрон |
| Δ | δ | дельта | Π | π | пи |
| E | ε | э псилон | P | ρ | ро |
| Z | ζ | дзета | Σ | σ | сигма |
| H | η | эта | T | τ | тау |
| Θ | θ | тета (тэта) | Y | υ | и псилон |
| I | ι | иота (йота) | Φ | φ | фи |
| K | κ | каппа | X | χ | хи |
| Λ | λ | ламбда | Ψ | ψ | пси |
| M | μ | ми (мю) | Ω | ω | о мега |

## Литература


1. Арсеньев Г. Н. Основы теории цепей : учебное пособие : рек.гос. образ. учрежд. / Г. Н. Арсеньев, В. Н. Бондаренко, И. А. Чепурнов; под ред. Г. Н. Арсеньева. – Москва : ИД "ФОРУМ" – ИНФРА-М, 2011. – 448 с.

2. Астайкин А.И. Основы теории цепей : учебное пособие для студентов высших учебных заведений /А.И Астайкин. – Москва : Академия, 2009. − 304 с.

3. Бакалов В.П. Основы теории цепей : учебник для вузов / В.П. Бакалов, В.Ф. Дмитриев, Б.Е. Крук ; под ред. В.П. Бакалова. – Москва : Радио и связь, 2000. – 592 с.

4. Белецкий А.Ф. Теория линейных электрических цепей / А.Ф. Белецкий. – Москва : Радио и связь, 1986. – 544 с.

5. Бирюков В.Н. Сборник задач по теории цепей / В.Н. Бирюков, В.П. Попов, В.И. Семенцов. – Москва : Высшая школа, 1998.

6. Васильев Д.В. Радиотехнические цепи и сигналы : учеб. пособие для вузов / Д.В. Васильев, М.Р. Витоль, Ю.Н. Горшенков, К.А. Самойло, Т.С. Федосова, Э.М. Черниговская. – Москва : Радио и связь, 1982. – 528 с.

7. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы / И.С. Гоноровский, М.П. Демян. – Москва : Радио и связь, 1994.

8. Демирчян К. С. Теоретические основы электротехники : учебник для вузов : доп. М-вом образования РФ. Т.1 / К. С. Демирчян, Л. Р. Нейман, Н. В. Коровин. – 5-е изд. – Санкт-Петербург : Питер, 2009. – 512 с.

9. Добротворский И. Н. Лабораторный практикум по основам теории цепей / И.Н. Добротворский. – Москва : Высшая школа, 1986.

10. Кучумов А. И. Электроника и схемотехника : учеб. пособие : доп. УМО по информац. безопасности / А. И. Кучумов. Москва : Гелиос АРВ, 2002. 302 с.

11. Лосев А.К. Теория линейных электрических цепей / А.К. Лосев. – Москва : Высшая школа, 1987. – 512 с.

12. Никулин В. И. Теория электрических цепей : учебное пособие : рек. УМО по образ. / В. И. Никулин. – Москва : РИОР : ИНФРА-М, 2013. – 240 с.

13. Павлов В. Н. Схемотехника аналоговых электронных устройств : учебник : рек. М-вом общ. и проф. образования РФ / В. Н. Павлов, В. Н. Ногин. Москва : Горячая линия-Телеком, 2003.319 с.

14. Попов П.А. Основы теории цепей. Часть 2 : учебное пособие / П. А. Попов, И.В. Лазарев, С.С. Никулин, С.Л. Анисимов. – Воронеж : Воронежский институт МВД России, 2009. – 124 с.

15. Шебес М.Р. Задачник по теории линейных электрических цепей / М.Р. Шебес, М.В. Каблукова. – Москва : Высшая школа, 1990. – 544 с.