

Федеральное агентство связи

**Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение
высшего профессионального образования**

**ПОВОЛЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ И ИНФОРМАТИКИ**

**ЭЛЕКТРОННАЯ
БИБЛИОТЕЧНАЯ СИСТЕМА**

Самара

Федеральное государственное образовательное бюджетное
учреждение высшего профессионального образования
Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики

Кафедра радиосвязи, радиовещания и телевидения

Методические указания,
задания на контрольную работу,
примеры решения задач, вопросы к экзамену
по дисциплине

Схемотехника телекоммуникационных устройств
для студентов заочного отделения направления
210700 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»
профилей подготовки «Многоканальные телекоммуникационные системы»,
«Сети связи и системы коммутации»

Составил:

к.т.н., доцент Рында А.И.

Под редакцией

д.т.н., профессора Тяжева А.И.

Самара, 2013г.

УДК 621.3.049.77.

Р 95

Схемотехника телекоммуникационных устройств: методические указания, задания на контрольную работу, примеры решения задач, вопросы к экзамену/Рында А.И.-Самара: ИУНЛ ПГУТИ.2012-29 с.

Методическая разработка предназначена для студентов заочного обучения направления 210700 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» профилей «Многоканальные телекоммуникационные системы» и «Сети связи и системы коммутации» по дисциплине «Схемотехника телекоммуникационных устройств».

В методической разработке размещены вопросы, касаемые объёма дисциплины «Схемотехника телекоммуникационных устройств», учебно-методического обеспечения дисциплины, контрольная работа, а также 18 вариантов задач и примеры решения задач из этого числа вариантов, которые студенты заочного отделения будут решать во время экзаменационной сессии 5-го семестра (для студентов нормативного срока обучения 3 года 6 месяцев) и 6-го семестра (для студентов нормативного срока обучения 4 года 6 месяцев) аудиторно.

© А.И. Рында 2013

© ФГБОУ ВПО ПГУТИ 2013

1. Цели и задачи дисциплины

Дисциплина «Схемотехника телекоммуникационных устройств» ставит своей основной целью ознакомить студентов с построением функциональных и принципиальных электрических схем основных аналоговых и цифровых электронных устройств, осуществляющих усиление, фильтрацию, генерацию и обработку электрических сигналов, в результате изучения которых у студентов должны сформироваться знания, навыки и умения, позволяющие понимать физические процессы, происходящие в аналоговых электронных устройствах, изучаемых в специальных дисциплинах многоканальных телекоммуникационных систем. Данная дисциплина является первой и находится на стыке дисциплин, обеспечивающих базовую и специальную подготовку студентов. Студенты изучают также методы анализа и синтеза наиболее важных аналоговых электронных устройств, в результате чего они получают навыки и знания, необходимые не только для грамотной технической эксплуатации телекоммуникационной аппаратуры, но и для разработки широкого класса устройств, связанных с усилением и обработкой аналоговых сигналов.

2. Требования к уровню освоения содержания дисциплины

Студенты должны:

- знать принципы работы аналоговых электронных устройств и понимать физические процессы, происходящие в них;
- знать и уметь применять на практике методы анализа линеаризованных аналоговых устройств, основанные на использовании эквивалентных схем, приобрести навыки в составлении последних на базе принципиальных электрических схем устройств;
- знать и уметь применять на практике методы исследования аналоговых электронных устройств, работающих в режиме большого сигнала, основанных на аналитических и графо-аналитических процедурах анализа;
- знать теорию обратной связи, ее разновидности, свойства и применение обратной связи в различных аналоговых электронных устройствах, уметь формировать цепи обратной связи (и производить их расчет) с целью придания аналоговым электронным устройствам желаемых свойств и характеристик;
- уметь выполнять расчеты, связанные с выбором определенных режимов работы активных элементов электронных устройств;
- уметь проводить компьютерное моделирование и проектирование аналоговых электронных устройств;

– получить навыки экспериментального исследования (на лабораторных занятиях) аналоговых электронных устройства и навыки пользования измерительной аппаратурой.

3. Объем дисциплины и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Семестр
Общая трудоемкость дисциплины	180	
Лекции	10	4,5,6 (для 4,5 г.) 3,4,5 (для 3,5 г.)
Лабораторные занятия	8(10)	5,6 (для 4,5 г.) 4,5 (для 3,5 г.)
Самостоятельная работа	160(158)	4-6 (для 4,5 г.) 3-5 (для 3,5 г.)
Вид контроля	а) Контрольная работа б) Зачет в) Экзамен	6 (для 4,5 г.) 5 (для 3,5 г.)

4. Содержание дисциплины

4.1 Разделы дисциплины

№ п/п	Раздел дисциплины
1	Введение
2	Важнейшие эксплуатационные параметры полупроводниковых диодов и транзисторов
3	Обеспечение и стабилизация режимов работы усилительных элементов по постоянному току
4	Обратная связь в аналоговых электронных устройствах
5	Функциональные устройства на операционных усилителях (ОУ) Аналоговые устройства на ОУ, осуществляющие математические операции над входными сигналами
6	Базовые функциональные элементы цифровых устройств и схемотехника цифровых устройств на их основе
7	Активные RC фильтры на ОУ. Гираторы на ОУ
8	RC – генераторы гармонических колебаний на ОУ
9	Компаратор напряжения на ОУ

4.2 Содержание разделов дисциплины

1. Введение.

Определение, классификация и области применения аналоговых электронных устройств. Аналоговые усилительные, фильтрующие и генераторные устройства, и их место в современной телекоммуникационной аппаратуре.

2. Эксплуатационные параметры полупроводниковых диодов. Вольт-амперные (ВАХ) характеристики идеализированных и реальных полупроводниковых приборов при прямом и обратном смещениях. Критерии вырождения экспоненциальной зависимости ВАХ. Эквивалентные схемы полупроводниковых диодов. Параметры диодов для постоянного и переменного тока. Схемы на полупроводниковых диодах.

Эксплуатационные параметры биполярных и униполярных транзисторов. Вольт-амперные характеристики. Эквивалентные схемы (гибридная, П-образная, эквивалентная схема Джаколетто).

Параметры: крутизна, частота единичного усиления, граничная частота по крутизне, мощности рассеивания и др.

Лекция, 2 часа

3. Обеспечение и стабилизация режимов работы усилительных элементов по постоянному току.

Установка рабочей точки: схемы подачи смещения на базу и затвор биполярного и униполярного транзисторов соответственно. Нестабильность рабочей точки. Причины неустойчивости. Схемы стабилизации рабочей точки, их анализ и основные расчетные соотношения.

Лекция, 2 часа

4. Обратная связь в аналоговых электронных устройствах

Основные понятия и определения. Виды обратных связей. Классификация по способу получения обратной связи и по способу введения ее на вход. Влияние обратной связи на показатели и характеристики усилителей аналоговых сигналов (коэффициенты усиления, неустойчивость коэффициента усиления, амплитудно-частотную и фазовую характеристики, входное и выходное сопротивление, линейные и нелинейные искажения). Устойчивость усилителей, охваченных отрицательной обратной связью. Критерии устойчивости. Запасы устойчивости. Применение отрицательной и положительной обратных связей.

Лекция, 2 часа

5. Операционный усилитель, определение, структура. Основные параметры ОУ. Коэффициент ослабления синфазного сигнала (КОСС). Аналоговые уст-

ройства на ОУ, осуществление математических операций над входными сигналами. Применение глубокой обратной отрицательной связи. Инвертирующие и не инвертирующие усилители, сумматоры, дифференциаторы и интеграторы, логарифматоры, перемножители и делители.

Лекция, 2 часа

6. Базовые функциональные элемент цифровых устройств и схемотехники цифровых устройств на их основе. Заключение: перспективы развития аналоговых электронных устройств и методов их анализа и проектирования.

5. Лабораторный практикум

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование лабораторных работ
1	3	Исследование схем смещения и стабилизация точки покоя
2	5	Исследование широкополосного и импульсного каскадов
3	4	Исследование отрицательных обратных связей в усилительных устройствах
4	6	Исследование базовых элементов цифровых устройств

6. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

6.1 Рекомендуемая литература

А) Основная:

1. В. Г. Волович. Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств. Издательский дом «Додека – XXI». М.: 2011, 33 п.л.
2. В.А. Галочкин. Методическая разработка к лабораторным работам по учебной дисциплине «Электроника и схемотехника», часть 1 Самара ПГУТИ 2009 г.
3. А.И. Рында. Методические указания, задания на контрольную работу по дисциплине «Основы схемотехники» для студентов заочного отделения специальностей 210404, 210406, ПГУТИ Самара 2010 г.
4. А.И. Рында. Конспект лекций по дисциплине «Основы схемотехники» для студентов специальностей 210404, 210406, <http://do.psuti.ru//>

Б) Дополнительная литература:

1. Павлов В.Н., Ногин В.Н. Схемотехника аналоговых электронных устройств. - М.: Радио и связь, 1997. - 320 с.; 2003 г. (учебник для вузов)
2. Ногин В.Н. Аналоговые электронные устройства. - М.: Радио и связь, 1992.

- 301с.

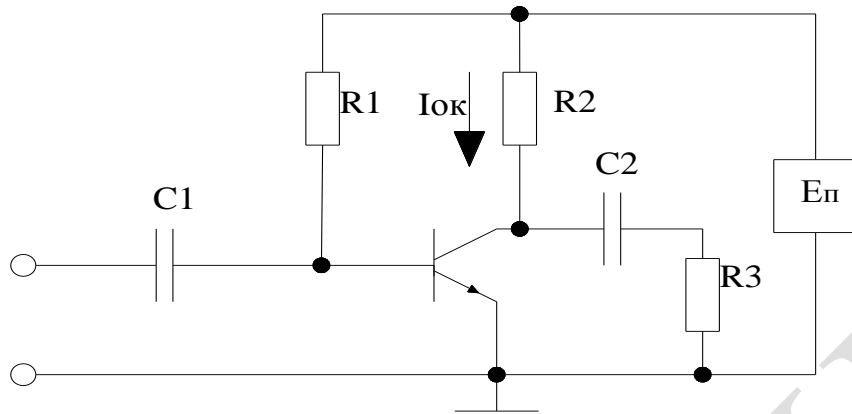
3. Остапенко И.П. Усилительные устройства. - М.: Радио и связь, 1989. - 400 с.
4. Соклоф С. Аналоговые интегральные схемы. Пер. с англ. - М.: МИР, 1989. - 583 с.
5. Радиоприемные устройства. Учебник для вузов/ Н.Н. Фомин, Н.Н. Буга, О.В. Головин и др.; Под ред. Н.Н.Фомина. - М.: Радио и связь, 1996. - 512 с.
6. Головин О.В., Кубицкий А.А. Электронные усилители. - М.: Радио и связь, 1983. - 320 с.
7. У. Титце, К. Шенк. Полупроводниковая схемотехника. 12 –издание, М.: МИР, 2008 г.
8. Л. Фолькенберри. Применение ОУ и линейных ИС. - М.: МИР, 1985 г.
9. П. Хоровиц, У. Хилл. Искусство схемотехники часть 1, 2. - М.: МИР, 1986 г.
10. Г.С. Цыкин. Усилительные устройства. СВЯЗЬ,; М, 1971.
11. В.Л. Шило. Линейные интегральные схемы в радиоэлектронной аппаратуре. - М.: Сов. радио, 1979 г.
12. А.И. Рында. Методическая разработка по дисциплине «Схемотехника телекоммуникационных устройств». Раздел: «Схемотехника основных логических элементов и узлов цифровых устройств на их основе» для студентов заочного обучения направления 210700 «инфокоммуникационные технологии и системы связи», профилей подготовки «Многоканальные телекоммуникационные системы», «Сети связи и системы коммутации». Самара, ПГУТИ 2013 г.

7. Контрольная работа. Варианты задач

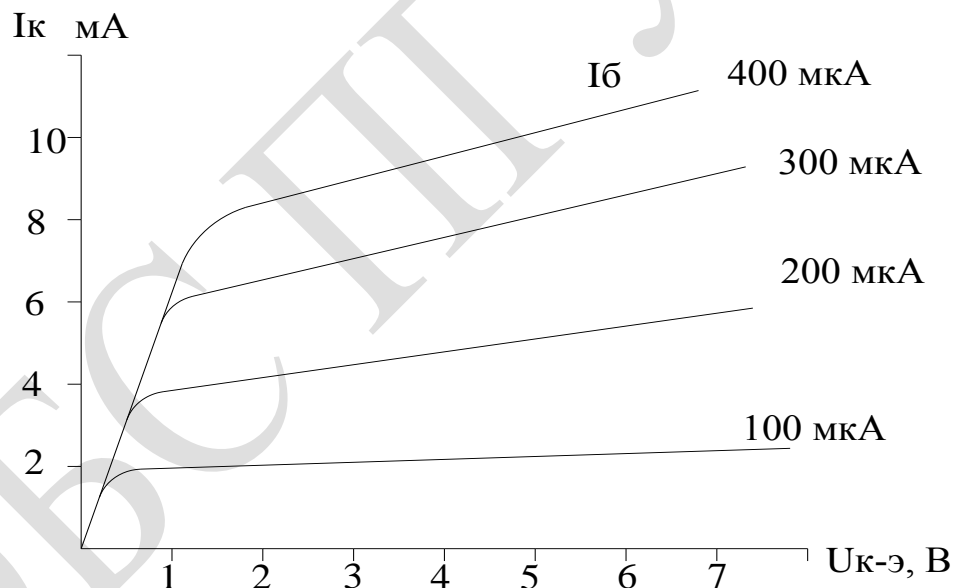
С целью наиболее полного и углубленного изучения материала дисциплины «Основы схемотехники» студентам необходимо выполнить письменно контрольную работу, варианты которой приведены ниже. Заметим, что один из этих вариантов студенту необходимо будет выполнить письменно по прибытию на зачетно-экзаменационную сессию аудиторно в течение двух академических часов.

ВАРИАНТ 1

1. Построить нагрузочные линии для постоянного и переменного токов для усилительного каскада вида:

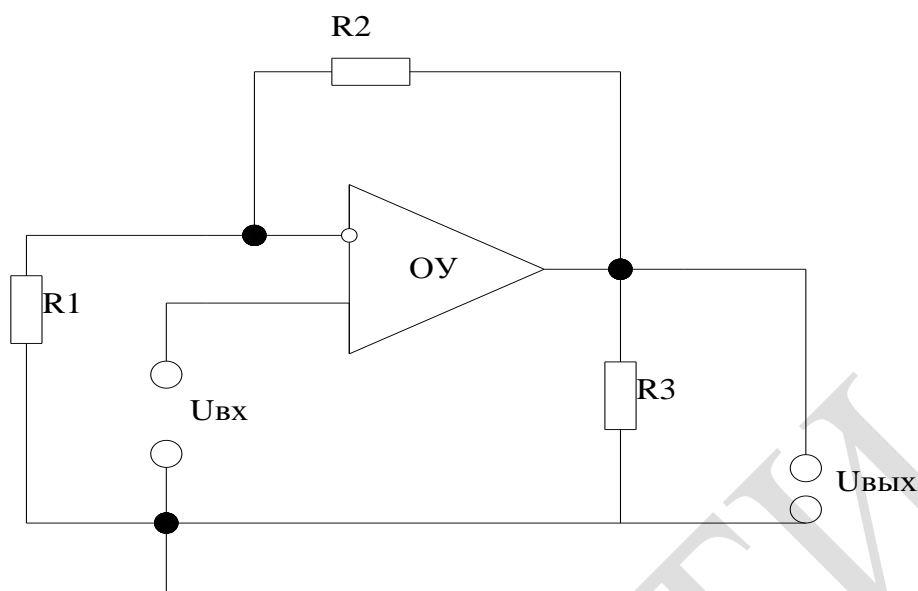


При следующих данных $E_{п} = 6 \text{ В}$, $R_1 = 1 \text{ кОм}$, $R_2 = 1 \text{ кОм}$, $R_3 = 1 \text{ кОм}$. Ток покоя коллектора (ток коллектора в рабочей точке) $I_{ок} = 4 \text{ мА}$; семейство выходных статистических характеристик транзистора:



- Нарисовать схему усилительного каскада на биполярном транзисторе со 100% последовательной отрицательной обратной связью по напряжению.
- Определить коэффициент усиления напряжения неинвертирующего усилителя, при

$$R_1 = 1 \text{ кОм}, R_2 = 10 \text{ кОм}, R_3 = 1 \text{ кОм}$$

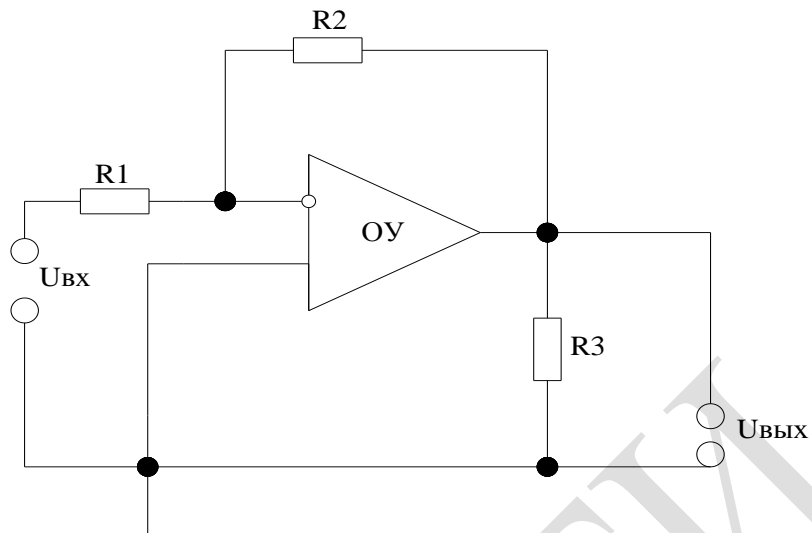


ВАРИАНТ 2

1. Определить координаты рабочей точки (точки покоя) в схеме усилительного каскада на биполярном транзисторе с общим эмиттером для случая задания рабочей точки с помощью резистора фиксирующего ток базы .

Дано: сопротивление в цепи коллектора транзистора = 1 кОм ;
сопротивление фиксирующее ток базы равно = 100 кОм ;
напряжение источника коллекторного питания = 6 В ; транзистор имеет статический коэффициент передачи тока базы $\beta = 50$

2. Нарисовать схему усилительного каскада на биполярном транзисторе с общим эмиттером и эмиттерной схемой стабилизации рабочей точки. Описать работу схемы эмиттерной стабилизации рабочей точки и пояснить с какой целью резистор в эмиттерной цепи транзистора часто блокируют конденсатором большой ёмкости (десятки и даже сотни микроФард).
3. Определить коэффициент усиления напряжения инвертирующего усилителя на операционном усилителе при $R_1 = 1\text{ кОм}$, $R_2 = 100\text{ кОм}$, $R_3 = 1\text{ кОм}$.

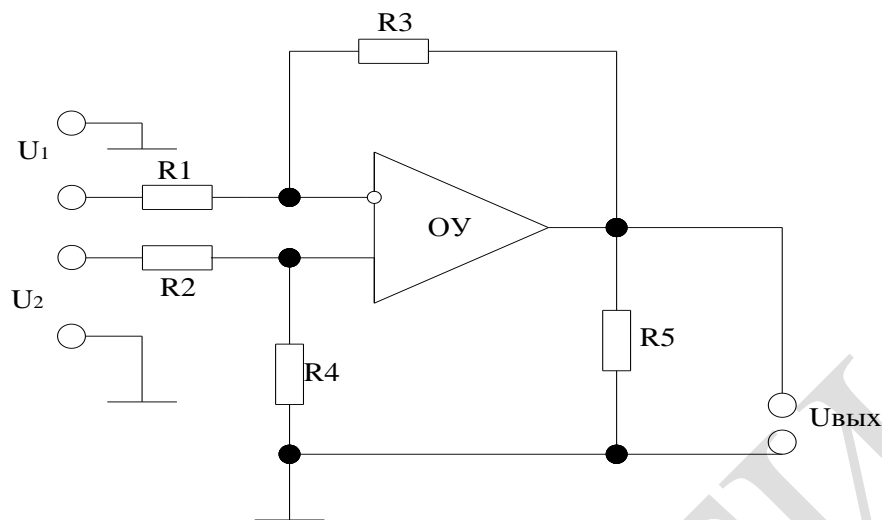


ВАРИАНТ 3

1. Нарисовать схему резисторного усилительного каскада на биполярном транзисторе с общим эмиттером и эмиттерной схемой стабилизации тока покоя коллектора транзистора (тока в рабочей точке) и пояснить назначение всех элементов схемы.
2. Нарисовать структурную схему усилителя с параллельной по входу отрицательной обратной связью по току, по способу её получения с выхода усилителя. Описать основные свойства такого вида обратной связи, т.е. указать основные её параметры в сравнении с параметрами усилителя без обратной связи.
3. Определить коэффициент усиления напряжения усилителя на операционном усилителе с дифференциальным входом

$$K = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_1 - U_2} \text{ при } R_1 = R_2 = 1 \text{ кОм}, \quad R_3 = R_4 = 10 \text{ кОм}$$

$$R_5 = 1 \text{ кОм}$$



ВАРИАНТ 4

1. Нарисовать схему однокаскадного усилителя с комбинированной по входу и выходу обратной связью, т.е. по входу смешанной – параллельной и последовательной, а по выходу смешанной – по току и по напряжению. В основу должна быть положена схема резисторного каскада на биполярном транзисторе с общим эмиттером. Определить для неё параметры β , r_{be} , r_{ce} .
2. Определить изменение коэффициента усиления напряжения в схеме резисторного каскада на биполярном транзисторе с общим эмиттером, при отключении блокировочного конденсатора в цепи эмиттера. При этом транзистор имеет крутизну $S = 100 \text{ мСм}$, а резистор в эмиттерной цепи $R_E = 100 \text{ Ом}$.
3. Нарисовать схему суммирующего усилителя с масштабными коэффициентами на базе одного операционного усилителя. Записать выражения для расчета элементов схемы.

ВАРИАНТ 5

1. Описать нестабильность коллекторного тока биполярного транзистора, обусловленную непостоянством температуры окружающей среды. Определить три главные составляющие приращения (изменения) тока покоя коллектора $I_{К0}$, обусловленные непостоянством температуры окружающей среды.

2. Нарисовать схему резисторного каскада на полевом транзисторе на основе n - перехода и каналом - типа; пояснить назначение элементов в схеме и записать основное выражение, позволяющее рассчитать (определить):
 - а) коэффициент усиления;
 - б) сопротивление в цепи истока – сопротивление автоматического смещения.
3. Нарисовать схему интегратора на основе операционного усилителя и пояснить работу схемы при подаче на его вход последовательности прямоугольных импульсов (меандр) при различных соотношениях длительности импульсов и постоянной времени интегрирующей цепочки в цепи обратной связи.

ВАРИАНТ 6

1. Нарисуйте схему дифференциального каскада на биполярных транзисторах. Поясните, почему у этой схемы существенно разная величина коэффициента усиления для синфазного и дифференциального входного сигналов. Дайте определение для КОСС (коэффициента ослабления синфазного сигнала).
2. Поясните на чем основана работа схемы стабилизации рабочей точки биполярного транзистора (стабилизация тока покоя коллектора) в условиях изменяющейся температуры окружающей среды. Нарисуйте схемы термокомпенсации ухода рабочей точки при изменениях температуры окружающей среды.
3. Нарисуйте схему дифференциатора на базе операционного усилителя; поясните работу схемы. Нарисуйте эпюры сигнала на выходе дифференциатора при подаче на его вход последовательности прямоугольных импульсов при различных соотношениях длительности импульсов и постоянных времени дифференцирующей цепочки в цепи обратной связи устройства.

ВАРИАНТ 7

1. Нарисуйте схему установки рабочей точки (тока покоя коллектора) с помощью резистивного делителя в цепи базы биполярного транзистора, фиксирующего напряжение смещения на базе $\varphi_{\text{б}}$.

Сформулируйте требования к элементам этого резистивного делителя

(резисторы R_{B1} и R_{B2}) для случая, когда на базе этой схемы построен усилительный каскад и транзистор включен с общим эмиттером.

2. Нарисуйте структурную схему усилителя с отрицательной по знаку, последовательной по входу, обратной связью по напряжению (по выходу) и поясните, почему такая обратная связь, во-первых, уменьшает коэффициент усиления напряжения, а во-вторых, почему это уменьшение происходит не в фактическое значение глубины (возвратной разницы) обратной связи F , а некое условное значение F' ?
3. Назовите способы повышения (и реализации) входного сопротивления в схемах операционных усилителей разных поколений (первого, второго, третьего и т.д.)

ВАРИАНТ 8

1. Нарисуйте схему установки рабочей точки (тока покоя коллектора I_{CQ}) фиксированным током эмиттера. Укажите на достоинство и недостатки такого способа установки рабочей точки в схемах на биполярных транзисторах.
2. Дайте определение для коэффициента усиления напряжения K_u и для коэффициента усиления ЭДС K_{ECS} (сквозного коэффициента усиления). Почему разница между K_u и K_{ECS} практически исчезает в схемах усилителей на полевых транзисторах, особенно на МДП и МОП – транзисторах.
3. Сформулируйте требования к построению схем выходных каскадов операционных усилителей. Приведите конкретные возможные схемы окончательных каскадов операционных усилителей (простейшие и сложные)

ВАРИАНТ 9

1. Докажите, что коэффициент усиления по напряжению в усилителе на биполярном транзисторе с общим эмиттером при выборе рабочей точки (тока покоя коллектора I_{CQ}) путем задания определенной величины смещения на базу такой величины чтобы напряжение источника питания U_{CC} делилось ровно пополам между нагрузочным резистором в цепи коллектора R_C и транзистором $- \beta (U_{0K})$ для малого сигнала, не зависит от величины тока покоя I_{CQ} и приближенно равен $\approx 20\beta_{п}$.
2. Нарисуйте эквивалентную схему замещения биполярного транзистора с общим эмиттером, известной под названием схемы Джиаклетто. Дайте определение для входящих в неё элементов.
3. Нарисуйте график амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) резисторного каскада, поясните причины отклонения её (АЧХ) от идеальной, а так же дайте определение для граничных частот.

ВАРИАНТ 10

1. Нарисуйте эквивалентную схему полупроводникового диода в режиме инжекции (прямое включение диода), дайте определение характеристическим параметрам диода в этом режиме для постоянного и переменного токов. При таком напряжении на диоде (идеализированного!) дифференциальное сопротивление равно сопротивлению для постоянного тока.
2. Нарисуйте схему одиночного усилительного каскада на полевом транзисторе с управляющим р-n переходом и автоматическим смещением. Поясните назначение каждого элемента схемы.
3. Дайте определение КОСС (коэффициент ослабления синфазного сигнала) для дифференциального усилительного каскада на биполярных транзисторах. Запишите формулу для нахождения величины КОСС.
- 4.

ВАРИАНТ 11

1. Нарисуйте эквивалентную схему полупроводникового диода в режиме экстракции (обратное включение диода). Дайте определение характеристическим параметрам диода в этом режиме для переменного и постоянного токов. Укажите на роль барьерной ёмкости при использовании диода для целей коммутации электрических цепей и для случая использования диода в выпрямительных схемах в широком диапазоне частот.
2. Опишите с помощью переходных характеристик работу резисторного каскада при усилении импульсных сигналов. Укажите на возможные искажения последовательности прямоугольных импульсов, возникающих в резисторном каскаде в процессе усиления. Поясните причины искажения фронтов импульсов и их вершин при прохождении их через усилительный каскад на биполярном транзисторе.
3. Дайте количественную оценку основным техническим параметрам и характеристикам идеального операционного усилителя.

ВАРИАНТ 12

1. Запишите уравнение ВАХ (Вольт-Амперной характеристики) для идеального и реального полупроводникового диода в режиме прямого включения (формулы Эберс-Молла). Сформулируйте критерий вырождения экспоненциальной зависимости прямого тока диода от напряжения на нем.
2. Нарисуйте схему однотактного выходного (оконечного) каскада усилителя на биполярном транзисторе с непосредственным включением нагрузки в цепь коллектора транзистора. Дайте определение основным энергетическим показателям для режима класса А.
3. Сформулируйте критерий устойчивости Найквиста для усилителя с обратной связью. Дайте определение для запасов устойчивости по модулю и аргументу возвратного отношения (петлевого усиления).

ВАРИАНТ 13

1. Нарисуйте стоко-затворные ВАХ (вольт-амперные характеристики) для полевых транзисторов с каналами р- и n- типов на основе управляющего р-n перехода. Запишите аналитическое выражение зависимости тока стока от напряжения на затворе.
2. Нарисуйте схему трансформаторного выходного каскада. Дайте определение основным энергетическим показателям. Поясните главную роль трансформаторной связи коллектора транзистора с нагрузкой.
3. Поясните назначение разделительных конденсаторов в цепях межкаскадной связи усилителей на базе резисторных каскадов. Приведите соображения по расчету необходимых емкостей этих конденсаторов.

ВАРИАНТ 14

1. Нарисуйте стоко-затворные ВАХ (вольт-амперные характеристики) полевых транзисторов МДП (МОП) обедненного и обогащенного типов с каналами р- и n- типов.
2. Нарисуйте схему двухтактного выходного трансформаторного каскада на биполярном транзисторе. Опишите основные свойства (достоинства) двухтактных схем усилительных каскадов.
3. Сформулируйте основные свойства комбинированной по входу и выходу отрицательной обратной связи (формула Блекмана).

ВАРИАНТ 15

1. Поясните какую нагрузку в выходной цепи транзистора принято называть «активной»; каким электрическим параметрам (характеристикам) она отвечает для постоянного и переменного токов; нарисуйте возможные варианты схем на базе биполярного транзистора.
2. Нарисуйте схему бестрансформаторного двухтактного выходного каскада на двух биполярных транзисторах. Особенности применения комплементарных транзисторов.
3. Опишите основное свойство отрицательной обратной связи по напряжению.

ВАРИАНТ 16

1. Нарисуйте схему ИТУН (источника тока, управляемого напряжением) на основе операционного усилителя. Запишите аналитическое выражение (желательно его получить самостоятельно) для зависимости выходного тока (тока в нагрузке) от величины входного напряжения.
2. Нарисуйте эквивалентную схему резисторного каскада на биполярном транзисторе применительно к области средних частот. Указание: транзистор заменяется эквивалентной схемой Джиаколетто. Выведите (получите) формулу для коэффициента усиления.
3. Опишите основные свойства отрицательной обратной связи по току.

ВАРИАНТ 17

1. Нарисуйте схему ИНУТ (источника напряжения, управляемого током) на основе операционного усилителя и получите выражение, устанавливающее связь выходного напряжения со входным током (например, когда источником входного тока является фотодиод).
2. Нарисуйте эквивалентную схему резисторного каскада на биполярном транзисторе применительно к области верхних (высоких) частот. Указание: транзистор заменяется эквивалентной схемой Джиаколетто. С помощью эквивалентной схемы пояснить вид АЧХ (амплитудно-частотной характеристики) в области верхних частот.
3. Укажите область применения отрицательной обратной связи, в частности, поясните, с какой целью в усилителях применяется глубокая отрицательная обратная связь.

ВАРИАНТ 18

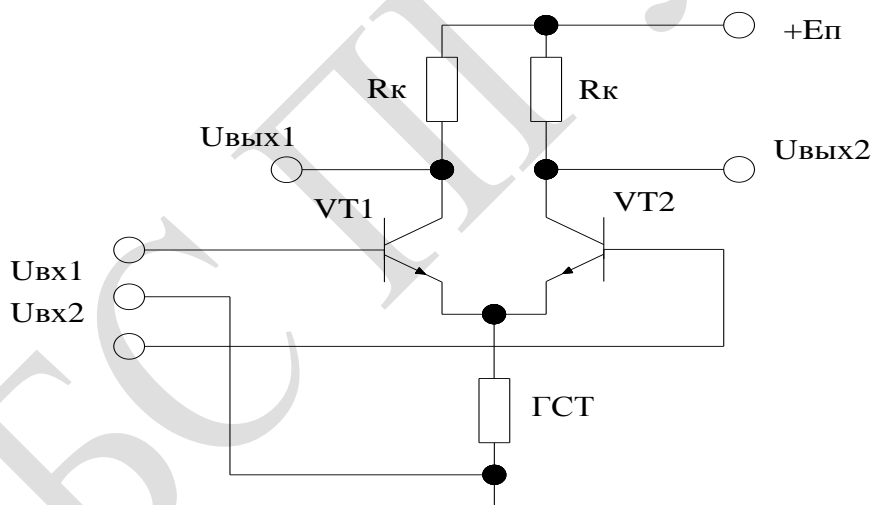
1. Нарисуйте простейшие схемы фильтров нижних частот первого и второго порядков на основе операционных усилителей.

2. Опишите способы коррекции АЧХ (амплитудно-частотной характеристики) резисторных усилительных каскадов в области верхних и нижних частот. Зарисуйте основные схемы коррекции АЧХ.
3. Опишите схемы логарифмирующих и антилогарифмирующих усилителей на основе операционных усилителей.

8. Примеры решения задач

ВАРИАНТ 7. Задача 3. Ответ:

Как известно в операционных усилителях входной каскад выполняется по схеме дифференциального каскада. В операционных усилителях первого поколения входной каскад выполняется с использованием биполярных транзисторов

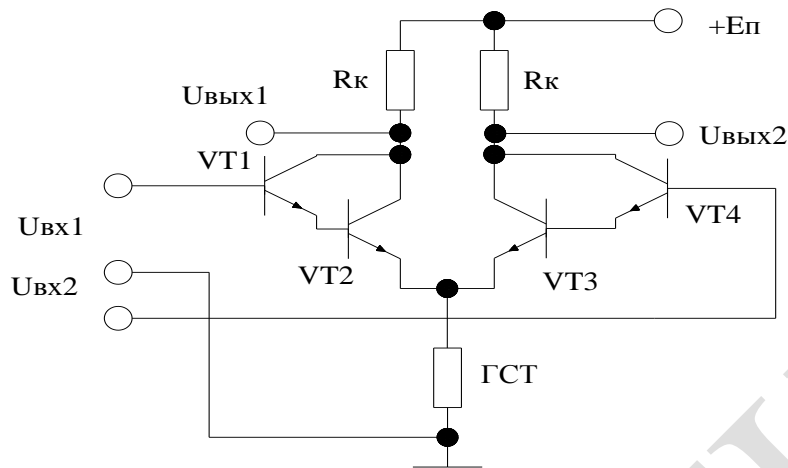


В такой схеме входное сопротивление для дифференциального входного сигнала определяется по формуле

$$r_{д} = r_{Б} + r_{Э}(1 + h_{21Э})$$

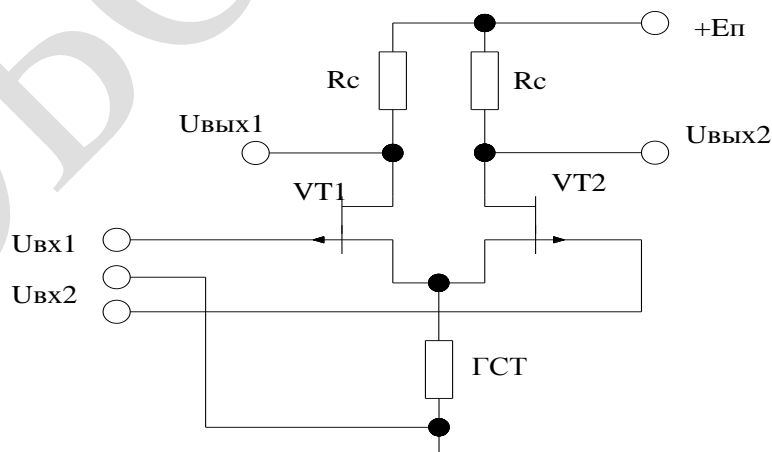
Из этого выражения следует, что $r_{д}$ невелико. Так, конкретно, если $r_{Б} = 10 \text{ Ом}$, $r_{Э} = 50 \text{ Ом}$, $h_{21Э} = 100$, то $r_{д} \approx 5 \text{ кОм}$.

Вспомним, что идеальный операционный усилитель должен иметь $r_{д} \rightarrow \infty$. Для повышения входного сопротивления в операционном усилителе второго поколения в схеме входного каскада применены составные транзисторы Дарлингтона.



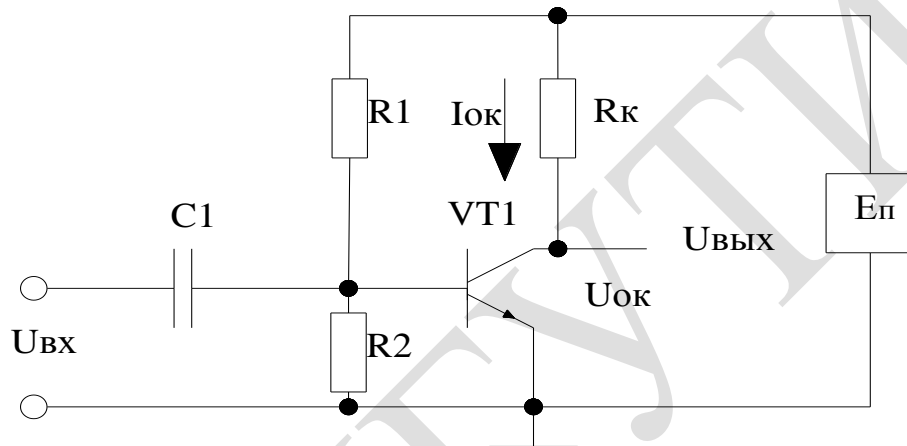
Составной транзистор Дарлингтона эквивалентен одному биполярному транзистору с коэффициентом усиления тока базы $\beta = h_{21\beta VT1} \cdot h_{21\beta VT2}$ или $\beta = h_{21\beta VT3} \cdot h_{21\beta VT4}$; таким образом, входное сопротивление становится примерно на два порядка большим.

В операционных усилителях третьего поколения, с целью ещё большего повышения входного сопротивления, стали применять в качестве усилительных элементов в схеме входного дифференциального каскада полевые транзисторы (в начале полевые транзисторы на основе управляющего - n перехода, а затем – полевые транзисторы с изолированным затвором структур МДП и МОП, например:



Входное сопротивление таких схем очень большое и имеет порядок единиц, десятков и даже сотен (на МОП-транзисторах) МегаОм.

ВАРИАНТ 9. Задача 1. Ответ – решение задачи проводится следующим образом. Как известно, коэффициент усиления по напряжению усилительного каскада по напряжению на биполярном транзисторе, выполненного по схеме:



Определяется выражением: $\beta = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}} = \beta R_{\text{к}}$, где β – крутизна кол-

лекторного тока транзистора $\beta = \frac{I_{\text{к}}}{I_{\text{т}}}$ ($I_{\text{к}}$ – ток коллектора в рабочей

точке, $U_{\text{т}}$ – температурный потенциал $\approx 25 \text{ мВ}$ при комнатной температуре). Далее, по условиям задачи напряжение на коллекто-

ре в рабочей точке выбираем равным $U_{\text{к}} = \frac{E_{\text{п}}}{2}$, поэтому сопротив-

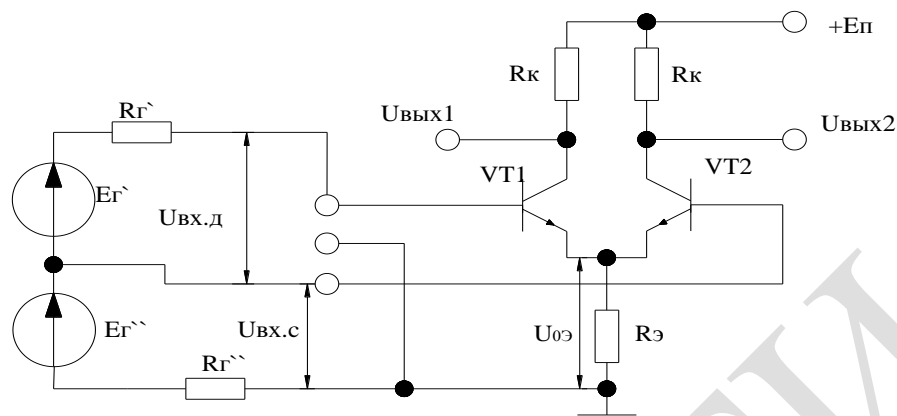
ление резистора $R_{\text{к}}$ в коллекторной цепи равно $R_{\text{к}} = \frac{E_{\text{п}} - U_{\text{ок}}}{I_{\text{к}}} = \frac{E_{\text{п}}}{2\beta I_{\text{т}}}$.

В результате: $\beta = \beta R_{\text{к}} \cong \frac{E_{\text{п}}}{2U_{\text{т}}} \cong 20 \frac{E_{\text{п}}}{U_{\text{т}}}$, т.е. действительно, коэффи-

циент усиления при этом не зависит от величины тока покоя кол-

лектора.

ВАРИАНТ 10. Задача 3. Ответ: решение задачи проводится следующим образом. В схеме простейшего дифференциального каскада, например на одиночных биполярных транзисторах



В эмиттерной цепи транзисторов VT1 и VT2 находится резистор $R_{\text{Э}}$, который для синфазного входного сигнала создает глубокую отрицательную обратную связь, уменьшая коэффициент усиления $v = 1 + SR_{\text{Э}}$ раз (здесь S – крутизна коллекторного тока транзистора). В то же время наличие $R_{\text{Э}}$ в эмиттерной цепи транзисторов для дифференциального сигнала обратную связь не создает. В итоге, коэффициенты усиления для синфазного (помеха) и дифференциального сигналов (полезный сигнал) оказываются существенно разными. Коэффициент усиления для дифференциального сигналов равен $\frac{U_{\text{ВЫХ2}}}{U_{\text{ВХД}}}$, коэффициент усиления для синфазного сигнала равен $\frac{U_{\text{ВЫХ2}}}{U_{\text{ВХС}}}$. Отношение $\text{КОСС} = \frac{U_{\text{ВЫХ2}}}{U_{\text{ВХС}}}$ называется коэффициентом ослабления синфазного сигнала. Известно, что $\text{СС} \cong \frac{R_{\text{Э}}}{r_{\text{Э}}}$, где $r_{\text{Э}}$ – дифференциальное сопротивление эмиттера $r_{\text{Э}} = \frac{\varphi_{\text{T}}}{I_{\text{Э}}}$.

9. МЕТОДИЧЕСКОЕ ПИСЬМО

по изучению дисциплины «Схемотехника телекоммуникационных устройств»

Программа дисциплины «Схемотехника телекоммуникационных устройств» составлена на основании Государственного образовательного стандарта для студентов по направлению 210700 бакалавров профилей «Многоканальные телекоммуникационные системы» и «Сети связи и системы коммутации». «Схемотехника телекоммуникационных устройств» как учебная дисциплина изучается студентами на 2 и 3 курсах (3-6 семестрах). На изучение дисциплины для указанных выше специальностей и бакалавров по направлению телекоммуникации одинаково отводится: лекций - 10 часов, лабораторных занятий – 8 часов (практические занятия – упражнения не предусмотрены) и самостоятельная работа – 160 часов. Итогом изучения дисциплины является экзамен.

Задачей данной учебной дисциплины является: формирование знаний, навыков и умения, позволяющих самостоятельно понимать физические процессы, происходящие в аналоговых электронных устройствах, изучаемых в специальных дисциплинах многоканальных телекоммуникационных систем, сетей связи и систем коммутации, радиосвязи радиовещания и телевидения.

Студенты должны знать:

- принципы работы электронных функциональных узлов (усилителей, сумматоров, логарифматоров, дифференциаторов; источников тока, управляемых напряжением; источников напряжения, управляемых током; гираторов; активных ARC – фильтров, компараторов, генераторов и других).
- уметь выполнять расчеты упомянутых выше функциональных электронных блоков.
- уметь проводить компьютерное моделирование и проектирование аналоговых электронных устройств.
- уметь выполнять экспериментальные исследования аналоговых электронных устройств.
- уметь пользоваться измерительной аппаратурой.

СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Лекция 1. Дается определение, классификация и области применения аналоговых электронных устройств; приводится краткая историческая справка развития аналоговых электронных устройств, отмечается вклад отечественных ученых. Дается программа курса. Лекция рассчитана на 2 часа.

Лекция 2. Рассматриваются важнейшие эксплуатационные параметры полупроводниковых диодов и транзисторов. Рассматриваются схемы подачи смещения (установки рабочей точки) на управляющие электроды усилительных элементов, обеспечивающие требуемый режим по постоянному току. Рассматриваются вопросы (причины) неустойчивости рабочей точки. Лекция рассчитана на 2 часа.

Лекция 3. Даются основы теории обратной связи в аналоговых электронных устройствах. Основные понятия и определения, классификация. Алгоритм определения возвратной разности. Рассматриваются теоретические вопросы влияния обратных связей различного типа на показатели и характеристики усилительных устройств (коэффициенты усиления, неустойчивость сквозного коэффициента усиления, линейные и нелинейные искажения; входное и выходное сопротивление; формула Блекмана). Лекция рассчитана на 4 часа.

Лекция 4. Рассматриваются функциональные устройства на операционных усилителях. Дается определение операционному усилителю, рассматриваются требования, предъявляемые к ним; основные параметры операционных усилителей, начиная с 1-ого по 4-ое поколения. Рассматриваются аналоговые устройства на базе операционных усилителей, осуществляющие математические операции над входными сигналами (усиление, суммирование, вычитание, логарифмирование, дифференцирование, интегрирование, перемножение и другие).

Лекция 5. Излагается теория, схемотехника, работа, включая таблицы истинности основных логических элементов и основных узлов цифровых устройств. Дается схемотехническая реализация упомянутых выше логических элементов и цифровых устройств.

ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ

Лабораторная работа № 1. Исследование схем смещения и стабилизация точки покоя. Рассчитана на 2 часа.

Цель работы

1. Выполнение домашнего расчетного задания по определению неустойчивости рабочей точки биполярного транзистора в схеме резисторного усилительного каскада с эмиттерной стабилизацией.

2. Экспериментальное исследование температурной неустойчивости точки покоя биполярного транзистора в схемах:

- а) подача смещения на базу фиксированным током базы;
- б) подача смещения на базу фиксированным напряжением;
- в) эмиттерной стабилизации;
- г) температурной компенсации (схема с диодным смещением);
- д) генератора стабильного тока (ГСТ).

Содержание работы

1. Снятие зависимостей тока покоя транзистора I_{OK} , напряжения покоя коллектор - эмиттер V_{OK} от температуры в пяти выше указанных схемах подачи смещения и стабилизации точки покоя. Зависимости снимаются при $t^{\circ}C=20$ и $t^{\circ}C=65$.

2. Снятие зависимости максимальной неискаженной (на глаз) величины гармонического сигнала на выходе $U_{выхм}$ в пяти выше указанных схемах от температуры окружающей среды ($t^{\circ}C=20$ и $t^{\circ}C=65$).

Лабораторная работа № 3. Исследование отрицательных обратных связей в усилительных устройствах. Рассчитана на 2 часа.

Цель работы

1. Закрепление теоретического материала лекций и использование основных расчетных формул для проведения конкретных расчетов в схеме усилителя с комбинированной по входу и выходу отрицательной обратной связи.

2. Экспериментальное исследование усилителя с комбинированной по входу и выходу отрицательной обратной связи.

Содержание работы

1. Выполнение домашнего расчетного задания по определению глубины обратной связи конкретного усилителя с конкретной комбинированной обратной связью по входу и выходу. Выполнение расчетов для коэффициента усиления, входного и выходного сопротивлений усилителя с конкретной комбинированной по входу и выходу отрицательной обратной связью.

2. Экспериментальное исследование конкретного усилителя с комбинированной по входу и выходу отрицательной обратной связью (выполнение измерений коэффициента усиления при наличии и отсутствии обратной связи; измерение неустойчивости коэффициента усиления, обусловленного неустойчивостью питающего напряжения при наличии и отсутствии обратной связи; измерение АЧХ при наличии и отсутствии обратной связи; измерение входного и выходного сопротивлений усилителя при наличии и отсутствии обратной связи).

Лабораторная работа №5. Исследование широкополосного и импульсного каскадов. Рассчитана на 2 часа.

Цель и содержание работы

1. Выполнение домашнего расчетного задания по определению оптимального сопротивления в коллекторной цепи биполярного транзистора в схеме с общим эмиттером по критерию наибольшей площади усиления и импульсной добротности. Расчет коэффициента усиления и верхней граничной частоты каскада с эмиттерной высокочастотной коррекцией, а также площади усиления и импульсной добротности.

2. Экспериментальное определение зависимости площади усиления каскада на биполярном транзисторе в схеме резисторного каскада с общим эмиттером от сопротивления нагрузки в коллекторной цепи транзистора .

3. Снятие АЧХ усилителя с эмиттерной высокочастотной коррекцией (и без неё). Определение площади усиления.

4. Экспериментальное исследование резисторного каскада с эмиттерной высокочастотной коррекцией и без неё при усилении импульсных сигналов различной длительности и частоты следования. Экспериментальное определение искажений прямоугольного импульсного сигнала (определение времени установления фронтов и спада вершины импульса).

Лабораторная работа №4. Исследование базовых элементов цифровых узлов и изучение схемотехники цифровых устройств на их основе.

Цель лабораторной работы состоит, во-первых, в изучении схемотехники основных логических элементов цифровых узлов на биполярных и полевых транзисторах, во-вторых, изучить таблицы истинности основных логических элементов и узлов цифровых устройств.

10. ВОПРОСЫ

для подготовки к экзамену по дисциплине

«Схемотехника телекоммуникационных устройств»

1. Основные эксплуатационные характеристики полупроводниковых диодов. Вольт-амперная характеристика реального полупроводникового диода, ее отличие от ВАХ идеального диода.
2. Характеристические параметры полупроводникового диода.
3. Вырождение экспоненциальной ВАХ. Критерий вырождения.
4. Эквивалентные схемы полупроводникового диода для прямого и обратного включения. Параметры эквивалентных схем.
5. Схемы на диодах. Выпрямление. Диодная развязка. Диодная защита. Стабилизация напряжения.
6. Нелинейные схемы на диодах. Логарифматор. Защита входа усилителя от перегрузки. Диодный ключ. Схема выборки-хранения.
7. Транзистор. Уравнения Эберса-Молла, описывающие вольт-амперные характеристики транзистора.
8. Параметры биполярного транзистора. Определение крутизны, входного сопротивления, выходной проводимости.
9. Гибридная П-образная эквивалентная схема транзистора. (Эквивалентная схема Джаколетто). Параметры эквивалентной схемы.
10. Вольт-амперные характеристики полевых транзисторов с р-п переходом. Уравнение вольт-амперной характеристики.
11. Вольт-амперные характеристики МДП полевых транзисторов со встроенным каналом р и n типов.
12. Схемы цепей питания. Установка рабочей точки с помощью резистора, фиксирующего ток базы. Достоинства и недостатки.
13. Установка рабочей точки с помощью резисторного делителя, фиксирующего напряжение на базе. Достоинства и недостатки.
14. Установка рабочей точки в схемах на полевых транзисторах.
15. Нестабильность рабочей точки биполярного транзистора. Причины неустойчивости. Расчет температурной неустойчивости рабочей точки биполярного транзистора.
16. Установка рабочей точки схемой фиксации тока эмиттера. Достоинства и недостатки.

17. Схема эмиттерной стабилизации рабочей точки.
18. Схема автоматического смещения полевого транзистора с p-n переходом.
19. Термостабильная рабочая точка схемы на полевом транзисторе.
20. Схема установки рабочей точки для МДП транзистора.
21. Схема коллекторной стабилизации рабочей точки. Достоинства и недостатки.
22. Схемы термокомпенсации. Схема с диодным смещением.
23. Схемы термокомпенсации. Схема с диодно-резисторным смещением.
24. Схема получения малых стабильных токов при относительно большом значении опорного тока.
25. Основы теории обратной связи. Основные понятия и определения. Возвратная разность, возвратное отношение, их определение.
26. Классификация обратных связей: по знаку, по способу введения и получения напряжения (тока) обратной связи.
27. Влияние обратной связи на коэффициенты усиления тока, напряжения, ЭДС, мощности для схемы усилителя с параллельной ОС.
28. Влияние обратной связи на коэффициенты усиления тока, напряжения, ЭДС, мощности для схемы усилителя с последовательной ОС.
29. Влияние обратной связи на коэффициенты усиления тока, напряжения, ЭДС, мощности для схемы усилителя с комбинированной ОС.
30. Влияние обратной связи на входное сопротивление усилителя с последовательной ОС.
31. Влияние обратной связи на входное сопротивление усилителя с параллельной ОС.
32. Влияние обратной связи на входное и выходное сопротивления усилителя с комбинированной ОС. Формула Блекмана.
33. Влияние обратной связи на выходное сопротивление усилителя с обратной связью по току.
34. Влияние обратной связи на выходное сопротивление усилителя с обратной связью по напряжению.
35. Влияние обратной связи на нестабильность сквозного коэффициента усиления, нелинейные искажения, помехи.
36. Устойчивость усилителя с обратной связью. Критерий устойчивости. Запасы устойчивости по модулю и по фазе.

37. Усилительные устройства. Принцип усиления сигналов. Структурная схема усилительного устройства. Основные показатели и характеристики.
38. Каскады предварительного усиления. Резисторный каскад. Эквивалентная схема. Уравнения для АЧХ и ФЧХ.
39. Импульсные усилители. Резисторный каскад. Уравнения для переходных характеристик в области малых и больших времен.
40. Оконечные (выходные) усилительные каскады (однотактные и двухтактные). Трансформаторные и бестрансформаторные. Основные энергетические показатели.
41. Операционные усилители. Определение. Структура. Основные параметры.
42. Схемы входных каскадов операционных усилителей. Активная нагрузка. Типы генераторов стабильного тока. Схема «токовое зеркало».
43. Коэффициент ослабления синфазной составляющей (КООС)
44. Промежуточные и выходные каскады операционных усилителей. Первое поколение (К140УД1). Устройство сдвига уровня.
45. Промежуточные и выходные каскады операционных усилителей Второе поколение (К140УД7). Защита выходного каскада от перегрузки по току.
46. Коррекция АХЧ операционных усилителей. Запасы устойчивости по модулю и по фазе.
47. Скорость нарастания выходного напряжения операционного усилителя.
48. Повторитель напряжения на операционном усилителе.
49. Инвертирующий усилитель на операционном усилителе.
50. Неинвертирующий усилитель на операционном усилителе.
51. Усилитель с дифференциальным входом на операционном усилителе.
52. Инвертирующий сумматор на операционном усилителе. Схема суммирования с масштабными коэффициентами.
53. Неинвертирующий сумматор на операционном усилителе.
54. Схема усиления сигналов мостовой схемы.
55. Интегратор и дифференциатор на операционном усилителе.
56. Логарифмирующий и антилогарифмирующий усилитель на операционном усилителе

57. Преобразователь напряжение-ток и преобразователь ток-напряжение на операционном усилителе.
58. Преобразователь отрицательного сопротивления (НИС) на операционном усилителе.
59. Гираторы. Эквивалент индуктивности на операционном усилителе.
60. Активные фильтры на операционных усилителях (АРС-фильтры). Преобразование нижних частот в верхние.
61. Реализация ФНЧ и ФВЧ первого порядка на операционном усилителе.
62. Реализация ФНЧ и ФВЧ второго порядка на одном операционном усилителе. Фильтр Рауха. Фильтр Саллена - Кея.
63. Генераторы и компараторы аналоговых сигналов на операционных усилителях.
64. Перечислите основные логические функции и запишите их логические соотношения.
65. Назовите три основных операции между логическими переменными.
66. Нарисуйте таблицу истинности для логического сложения.
67. Нарисуйте таблицу истинности для логического умножения.
68. Дайте определение логической функции «конъюнкция».
69. Дайте определение логической функции «дизъюнкция».
70. Дайте определение функции «Штрих Шеффера».
71. Дайте определение функции «Стрелка Пирса».
72. Нарисуйте схематическое обозначение логических элементов И, НЕ, И-НЕ, ИЛИ, ИЛИ-НЕ.
73. Нарисуйте возможные схемы реализации логических функций И, И-НЕ.
74. Нарисуйте возможные схемы реализации логических функций ИЛИ, ИЛИ-НЕ.
75. Дайте определение логической функции «исключающее ИЛИ».
76. Нарисуйте схематическое обозначение логической функции «суммирование по модулю два».
77. Дайте определение логическим функциям «равнозначность» и «неравнозначность».
78. Нарисуйте «основную» схему триггера на логических элементах ИЛИ-НЕ (или на И-НЕ).

79. Составьте таблицу истинности для RS-триггера.
80. Нарисуйте схемотехническое условное обозначение триггера RS-типа.
81. Дайте определение для триггера D-типа и назовите основное его функциональное отличие от RS-триггера.
82. Нарисуйте таблицу истинности для триггера D-типа.
83. Расскажите о возможных схемах реализации триггера D-типа.
84. Расскажите о триггере JK-типа и нарисуйте для него таблицу истинности.
85. Дайте определение терминам «комбинационные логические схемы» и «последовательные логические схемы».
86. Дайте определение логическому устройству «сумматор».
87. Нарисуйте таблицу истинности для «полусумматора».
88. Составьте схему одноразрядного полусумматора.
89. Зарисуйте таблицу истинности для полного сумматора.
90. Дайте определение и назначения цифрового устройства «схема сравнения».
91. Нарисуйте таблицу истинности для функций «равнозначность» и «неравнозначность».
92. Дайте определение цифровому устройству «дешифратор».
93. Дайте определение цифровому устройству «счетчик», классификации и назначение.
94. Расскажите о схемотехнической реализации асинхронного двойного счетчика.
95. Нарисуйте таблицу истинности (состояний) асинхронного двойного счетчика.
96. Расскажите о цифровом устройстве «регистр», о его классификации по функциональному назначению.
97. Расскажите о возможной схемной реализации регистра памяти.
98. Расскажите о возможной схемной реализации регистра сдвига.
99. Нарисуйте таблицу функционирования четырех разрядного регистра сдвига.