

Министерство образования Республики Беларусь

**Учреждение образования
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ**

Кафедра электроники

**ПРОГРАММА, МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
И КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ**

**по курсу
«Основы радиоэлектроники»
для студентов специальности
41 01 02 «Микроэлектроника»
заочной формы обучения**

МИНСК 2002

УДК 621.37/39(075.8)

ББК 32.84 я73

П78

Составитель В.Т. Першин

Программа, методические указания и контрольные задания по
П78 курсу «Основы радиоэлектроники» для студентов специальности 41
01 02 «Микроэлектроника» заочной формы обучения/ Сост.
В.Т.Першин.- Мн.: БГУИР, 2002.- 34 с.: ил.

Методический материал содержит рабочую программу, методические указания, контрольные задания, перечень тем лабораторных работ и практических занятий по курсу «Основы радиоэлектроники» для студентов специальности 41 01 02 «Микроэлектроника» заочной формы обучения. Содержит также перечень указаний по использованию средств вычислительной техники при изучении этого курса.

Программа составлена в соответствии с типовой, утвержденной 01.09.1998 г., регистра. №02100.5.030-98

УДК 621.37/39(075.8)

ББК 32.84я73

© В.Т. Першин, составление, 2002

© БГУИР, 2002

Введение

В процессе работы над дисциплиной в третьем семестре студент должен прослушать 8 часов лекций, изучить темы 1-8, выполнить контрольное задание №1, лабораторные работы в течение 8 часов и сдать зачет. В четвертом семестре, продолжая работать над изучением этой дисциплины, студент должен прослушать 4 часа лекций, изучить темы 9-16, выполнить контрольное задание №2, лабораторные работы в течение 4 часов и сдать экзамен.

1. ПРОГРАММА И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ТЕМАМ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цель изучения дисциплины

Цель курса «Основы радиоэлектроники» состоит в изучении основ теории сигналов, электрических цепей, принципов работы и характеристик полупроводниковых приборов, основ аналоговых, импульсных и аналого-цифровых устройств, принципов построения радиоэлектронных устройств и систем на базе достижений современной микроэлектроники. Рассматриваются перспективы развития радиоэлектроники, формулируются насущные задачи современных направлений данной области науки и техники.

Полученные знания используются при изучении дисциплин «Физика активных элементов интегральных схем», «Аналоговая микросхемотехника», «Цифровая микросхемотехника».

1.2. Задачи изучения дисциплины

В результате изучения курса «Основы радиоэлектроники» студенты должны:

- владеть методами анализа сигналов в типовых линейных и нелинейных цепях;
- знать принципы работы и электрические характеристики полупроводниковых приборов;
- знать принципы построения радиоэлектронных устройств: усилителей – переменного и постоянного напряжения, мощности, широкополосных и частотно-избирательных; источников электропитания; генераторов гармонических колебаний; преобразователей частоты, модуляторов, детекторов; импульсных устройств – генераторов и формирователей импульсов;

- иметь представление о радиоприемных устройствах, телевидении, современных РЭУ и системах.

Соответствующие знания студенты получают из лекционной части курса. Умение и практические навыки в решении конкретных вопросов и задач прививаются на лабораторно-практических занятиях.

1.3. Программа, методические указания и вопросы для самопроверки

3-й семестр

Тема 1. Задачи и направления радиоэлектроники

Радиоэлектроника как область науки и техники. Основные направления современной радиоэлектроники. Структурная схема радиоканала. Связь частоты сигнала с длиной электромагнитной волны. Диапазоны частот по МККР. Объем сигнала и пропускная способность канала связи.

Литература: [1, с.4-6]; [2, с.5-13]; [4, с. 7-13].

Методические указания

Основной задачей радиоэлектроники является передача и обработка информации путем использования электромагнитных волн. Необходимо ознакомиться с краткой историей развития радиоэлектроники, основными областями ее применения, с задачами, стоящими перед ней, и путями их решения. Следует обратить внимание на значение элементной базы в развитии радиоэлектроники. Изучить диапазон частот, используемых в радиоэлектронике, и уметь объяснить назначение основных узлов обобщенной функциональной схемы радиоэлектронной системы передачи и приема информации.

Главной особенностью научно-технического прогресса на современном этапе является постоянное расширение сферы использования достижений радиоэлектроники.

В наш век освоения космического пространства и проникновения в тайны микромира неуклонно возрастает значение философского анализа проблем радиоэлектроники, утверждение диалектического подхода к решению проблем разработки радиоэлектронной аппаратуры настоящего и будущего. По этим вопросам имеется обширный материал, который постоянно обновляется, однако на страницах учебных пособий по радиоэлектронике в достаточном объеме он не освещается. Поэтому познакомиться с ним можно лучше всего по периодическим изданиям, рассматривающим философские вопросы естествознания.

Вопросы для самопроверки

1. Приведите краткие сведения из истории развития радиоэлектроники.
2. Зачем нужны высокочастотные электромагнитные колебания и какие основные диапазоны волн используются в радиоэлектронике?
3. Что составляет элементную базу радиоэлектроники и какие изменения произошли при ее развитии?
4. Нарисуйте схему обобщенного радиоэлектронного канала связи.
5. Зачем нужны модуляция и демодуляция?

Тема 2. Сигналы

Классификация сигналов. Гармонические колебания и их описание. Гармонический анализ периодических и непериодических сигналов. Ряд Фурье. Понятие о спектральной плотности. Интегральные преобразования Фурье. Примеры сигналов со сплошным и дискретным спектрами.

Радиосигналы. Сигналы с амплитудной, угловой и смешанной модуляцией. Ширина спектра радиосигнала. Распределение мощности в спектре. Манипулированные сигналы.

Теорема Котельникова. Квантование и дискретизация непрерывных сигналов. Цифровое представление сигнала. Импульсно-модулированные колебания.

Случайные сигналы. Их свойства и математическое описание. Основные статистические характеристики случайных сигналов. Корреляционная функция. Понятие о корреляционном анализе.

Помехи, их свойства и математическое описание. Основные статистические характеристики случайных процессов.

Литература: [1, с.434-475]; [2, с.13-35]; [4, с.222-248]; [6, с.38-65, 92-114, 119-127, 142-164].

Методические указания

Понятие сигнала является одним из основных понятий радиоэлектроники. Сигнал есть существующий в радиоэлектронной системе физический процесс, имеющий множество состояний, которые он принимает в соответствии с внешними воздействиями на эту систему. Основным свойством сигнала является то, что он несет информацию о воздействии. Вне организованной системы сигнал может существовать и сохранять свои физические свойства, но теряет все свойства сигнала, так как утрачивается связь воздействия на эту систему с ее реакцией и возможность понять информацию, содержащуюся в сигнале. Поэтому радиоэлектронная система, в пределах которой существует сигнал, должна быть заранее организована, т.е. построена по некоторому плану. Иными словами, структура системы уже включает в себе некоторую предварительную ин-

формацию по отношению к текущей информации, которую содержит в себе сигнал, существующий в данной системе.

Передача информации в радиоэлектронике осуществляется с помощью сигналов, которые могут быть периодическими и непериодическими, непрерывными и дискретными, регулярными и случайными. Следует разобраться в определениях и классификации этих сигналов.

При аналитическом описании детерминированных сигналов используется либо зависимость их от времени (представление сигнала во временной области), либо от частоты (представление сигнала в частотной области) в виде набора простейших гармонических колебаний с определенными частотами, амплитудами и начальными фазами, которые в сумме образуют сигналы во временной области.

При анализе периодических и непериодических сигналов пользуются разложением их по системе тригонометрических функций кратных аргументов (ряд Фурье и преобразования Фурье), которое позволяет связать как сигнал с его спектром, так и спектр с сигналом.

Необходимо изучить спектры периодической последовательности прямоугольных импульсов, одиночного прямоугольного импульса, знать связь между спектральным составом сигнала и его длительностью и частотой повторения, уметь формулировать основные теоремы о спектрах.

Серьезное внимание следует уделить изучению случайных сигналов, разобраться в различных методах анализа внутренней структуры этих сигналов. Нужно научиться различать нестационарные, стационарные и эргодические случайные сигналы. Нужно разобраться в основных идеях спектрального и корреляционного анализа случайных сигналов, предварительно уяснив для себя различия между ковариационной и корреляционной функциями.

Необходимо уяснить себе, что полезные сигналы (речевой, телевизионный, импульсный, радиолокационный), как и белый шум, являются случайными процессами, для описания которых используется аппарат теории вероятностей: плотность вероятностей, математическое ожидание, дисперсия, ковариационная, корреляционная функции. Среднее статистическое значение (математическое ожидание) имеет смысл постоянной составляющей, а дисперсия – средней мощности сигнала (помехи). Корреляционная функция сигнала является временной характеристикой. Автокорреляционная функция детерминированного сигнала характеризует степень связи (корреляции) сигнала со своей копией, сдвинутой на величину τ по оси времени. Она является четной функцией относительно временного сдвига τ и имеет максимум при $\tau = 0$. Для стационарного случайного процесса корреляционная функция при $\tau = 0$ равна дисперсии. Для приема сигнала на фоне помех применяется оптимальная фильтрация и корреляционный приемник, в которых отношение сигнал/шум для известного точно сигнала максимально.

Вопросы для самопроверки

1. В какой взаимосвязи находятся понятия информации, сообщения и сигнала?
2. Дайте классификацию сигналов.
3. Как можно описать детерминированный сигнал?
4. Дайте определения периодического и непериодического сигналов?
5. Какие характеристики исчерпывающим образом определяют структуру частотного спектра периодического сигнала?
6. Назовите основные формы записи ряда Фурье.
7. Как изменится спектр периодического сигнала, если период его повторения устремить в бесконечность?
8. Зависит ли ширина спектра последовательности прямоугольных видеоимпульсов от частоты следования этих импульсов?
9. Сформулируйте теорему В.А.Котельникова.
10. Как зависит ширина спектра импульса от его длительности?
11. Какие основные характеристики используются для описания случайных сигналов?
12. Назовите основные свойства спектров периодических и непериодических сигналов.
13. Назовите основные свойства стационарного случайного процесса.
14. Каким образом связаны спектральная плотность случайного сигнала и время корреляции?
15. Какова связь между шириной энергетического спектра и временем корреляции случайного процесса?
16. Что представляет собой корреляционный приемник?
17. В чем состоит существенное различие спектрального анализа детерминированных и случайных сигналов?

Тема 3. Линейные радиоцепи

Классификация электрических цепей.

Пассивные элементы: резисторы, конденсаторы, катушки индуктивности. Соотношения между токами и напряжениями в этих элементах. Простейшие цепи: делители напряжения и тока, аттенюаторы, трансформаторы.

Особенности анализа линейных цепей при гармоническом воздействии.

Линейная цепь как четырехполюсник. Входное сопротивление, нагрузка и комплексный коэффициент передачи. Амплитудно-частотная и фазочастотная характеристики четырехполюсника. Эквивалентные параметры четырехполюсника.

Линейные пассивные фильтры. Фильтры верхних и нижних частот, полосовые и заградительные.

Избирательные цепи. Частотные характеристики последовательного и параллельного контуров. Связанные контуры.

Современные линейные фильтры, основанные на достижениях микроэлектроники, акустоэлектроники и пр.

Спектральный метод анализа прохождения сигналов через линейные цепи.

Цепи с распределенными параметрами. Бегущие, стоячие и смешанные волны. Режимы холостого хода и короткого замыкания. Использование длинных линий в качестве трансформаторов сопротивлений, колебательных контуров, линий задержки формирователей импульсов. Элементы с распределенными параметрами в микроэлектронике.

Литература: [1, с.14-76]; [2,– с.35-116]; [3, с.8-46]; [4, с.14-30].

Методические указания

При изучении основных понятий радиоэлектронных цепей следует иметь в виду, что комплекс рассматриваемых в радиоэлектронике физических явлений описывается тремя типами дифференциальных уравнений, различающихся по свойствам и способам решения:

- линейными уравнениями с постоянными коэффициентами;
- линейными уравнениями с переменными коэффициентами;
- нелинейными уравнениями.

В соответствии с этими тремя типами уравнений различают линейные, параметрические и нелинейные цепи.

Физически под линейной понимают цепь, параметры которой не изменяются во времени и не зависят от токов и напряжений, действующих в цепи; параметры параметрической цепи также не зависят от токов и напряжений, действующих в этой цепи, но они изменяются во времени; цепь, параметры которой зависят от токов и напряжений, действующих в ней, называется нелинейной.

В действительности чисто линейных или чисто параметрических цепей не существует. Все цепи в принципе нелинейные. Поэтому к линейным или параметрическим цепям относят такие цепи, в которых нелинейностью можно пренебречь, а под нелинейными цепями понимают такие цепи, нелинейностью которых пренебречь нельзя.

Если линейные размеры линейной цепи соизмеримы с длиной волны действующего в ней сигнала, то такая цепь называется цепью с распределенными параметрами и описывается она линейными дифференциальными уравнениями в частных производных.

Следует обратить внимание на решение задач анализа и синтеза радиоэлектронных цепей при проектировании различного рода устройств, каналов связи и т.п. Нахождение схемы и элементов цепи, удовлетворяющих заданным условиям, составляет задачу синтеза радиоэлектронной цепи. В отличие от задачи анализа, в которой искомая величина - реакция на приложенное воздействие - получается однозначно, задача синтеза может иметь несколько решений (или совсем не иметь). Поэтому возникает вопрос о необходимости сопоставления

полученных вариантов и выбора оптимального решения. К сожалению, определенных критериев выбора наилучших решений не существует и разработчики радиоэлектронной аппаратуры часто руководствуются общими соображениями, такими, как достижение результатов с наименьшим количеством элементов и т.п.

Вопросы для самопроверки

1. По какому признаку элементы радиоэлектронных цепей делятся на пассивные и активные?
2. Приведите примеры пассивных радиоэлектронных цепей.
3. Дайте определения воздействия и реакции на воздействие.
4. Если в данной цепи выполняется принцип суперпозиции, то является ли она линейной?
5. Могут ли в линейных системах в процессе преобразования сигнала появиться частоты, отсутствующие во входном сигнале?
6. Почему модели (эквивалентные схемы) дискретных или интегральных пассивных элементов радиоэлектронной цепи могут принимать разный вид в зависимости от частоты действующих в цепи сигналов?

Тема 4. Полупроводниковые приборы

Классификация полупроводниковых приборов. Полупроводниковые резисторы. Полупроводниковые диоды: классификация, частотные свойства, температурная зависимость.

Режимы работы биполярного транзистора. Коэффициент передачи по току. Вольт-амперные характеристики транзистора. Эквивалентные схемы биполярного транзистора для случаев большого и малого сигналов. Система Н-параметров транзистора в схеме включения с ОЭ. Схемы включения транзистора с ОБ и ОК.

Полевые транзисторы. Классификация, основные характеристики.

Литература: [1, с.77-123]; [2, с.165-194]; [3, с.46-148]; [4, с.35-72].

Методические указания

Основным элементом большинства полупроводниковых приборов является электронно-дырочный переход (р-п-переход), представляющий собой переходный слой между двумя областями полупроводника, одна из которых имеет электронную электропроводность, другая – дырочную. Толщина электронно-дырочных переходов имеет порядок от сотых долей до единиц микрометров. Полупроводниковый прибор с р-п-переходом, имеющий два омических вывода, называют полупроводниковым диодом. Одна из областей р-п-структуры (p^+),

называемая эмиттером, имеет большую концентрацию основных носителей заряда, чем другая область, называемая базой.

Основной задачей изучения этого раздела является изучение физических свойств р-п-перехода и принципа работы диода. Важно отметить, что кремниевые диоды имеют существенно меньшее значение обратного тока по сравнению с германиевыми вследствие более низкой концентрации неосновных носителей заряда. Обратная ветвь вольт-амперной характеристики кремниевых диодов при данном масштабе практически сливается с осью абсцисс. Прямая ветвь вольт-амперной характеристики кремниевых диодов расположена значительно правее, чем германиевых. На вольт-амперные характеристики диодов оказывает существенное влияние температура окружающей среды. При увеличении температуры обратный ток насыщения германиевых диодов увеличивается примерно в 2 раза и кремниевых в 2,5 раза на каждые 10°C .

Важно разобраться с понятием общей емкости диода, измеренной между выводами диода при заданных напряжениях и частоте. Общая емкость диода равна сумме барьерной емкости, диффузионной емкости и емкости корпуса прибора. Следует иметь в виду, что барьерная емкость обусловлена нескомпенсированностью объемным зарядом, сосредоточенным по обе стороны от границы р-п-перехода. Модельным аналогом барьерной емкости может служить емкость плоского конденсатора, обкладками которого являются р- и п-области, а диэлектриком служит р-п-переход, практически не имеющий подвижных зарядов. Значение барьерной емкости колеблется от десятков до сотен пикофарад и при изменении напряжения может достигать десятикратной величины.

Изменение величины объемного заряда неравновесных электронов и дырок, вызванное изменением прямого напряжения, можно рассматривать как следствие наличия так называемой диффузионной емкости, которая включена параллельно барьерной емкости. Значения диффузионной емкости могут иметь порядок от сотен до тысяч пикофарад. Поэтому при прямом напряжении емкость р-п-перехода определяется преимущественно диффузионной емкостью, а при обратном напряжении – барьерной емкостью.

Рекомендуется только после усвоения принципа работы диода переходить к изучению более сложных полупроводниковых приборов.

Вопросы для самопроверки

1. Начертить вольт-амперную характеристику р-п-перехода в области прямых напряжений. Объяснить, почему при увеличении прямого напряжения ток диода возрастает?
2. Начертить вольт-амперную характеристику р-п-перехода в области обратных напряжений. Объяснить, чем обусловлен ток, проходящий через р-п-переход?

3. Объяснить явление пробоя р-n-перехода с увеличением обратного напряжения.
4. Объясните физический смысл барьерной емкости. От каких технологических параметров диода зависит барьерная емкость? У каких диодов – плоских или точечных – емкость будет больше и почему?
5. Как изменится барьерная емкость р-n-перехода, если увеличить обратное напряжение?
6. Почему диоды, применяемые в диапазоне высоких частот, должны иметь малую емкость перехода?
7. Как по вольт-амперной характеристике диода определить напряжение пробоя?
8. Чем объясняется рост обратного тока полупроводникового диода с ростом температуры?
9. Как по вольт-амперной характеристике диода определить его сопротивление постоянному и переменному токам при включении в прямом и обратном направлениях?
10. Как по вольт-амперной характеристике диода определить ее крутизну?
11. Объясните причину существования в транзисторе обратного тока коллектора?
12. При каких схемах включения транзистора можно получить усиление тока?
13. Что представляют собой входные и выходные статические характеристики транзистора, включенные по схеме с общим эмиттером?
14. Как по входным характеристикам транзистора определить его входное сопротивление?
15. Как по выходным характеристикам определить его выходное сопротивление?
16. Как оценить коэффициент усиления по току по выходным статическим характеристикам транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером?
17. Чем обусловлено высокое входное сопротивление составного транзистора?
18. Охарактеризуйте конструктивные особенности дискретных полевых транзисторов.
19. Опишите принцип работы полевого транзистора с управляющим переходом.
20. Что представляют собой входные и выходные статические характеристики полевого транзистора, включенного с общим истоком?
21. Приведите примеры серийно выпускаемых полевых транзисторов.
22. Начертите график вольт-амперной характеристики туннельного диода и укажите пиковый ток впадины. Определите по этому графику сопротивление диода, максимально допустимые прямой и обратный токи.
23. Охарактеризуйте области применения туннельных диодов.
24. Опишите устройство и преимущества многоэмиттерного транзистора.

Тема 5. Нелинейные цепи

Особенности анализа сигналов в нелинейных цепях. Описание характеристик нелинейных элементов точными и приближенными (аппроксимирующими) функциями. Аппроксимация характеристик степенными полиномами и кусочно-линейными функциями. Анализ спектров откликов нелинейных элементов при полиномиальной и кусочно-линейной аппроксимациях.

Обогащение спектра сигнала на выходе нелинейного элемента. Режимы преобразования сигнала: умножение частоты; нелинейное усиление; амплитудная модуляция, детектирование, выпрямление, преобразование «вверх» и «вниз».

Литература: [1, с.381-433]; [2, с.195-211]; [3, с. 444-459].

Методические указания

Следует обратить внимание на то, что задача аппроксимации состоит из двух частей: выбора типа аппроксимирующей функции и определения ее коэффициентов. При анализе нелинейных цепей следует иметь в виду, что успешное его проведение зависит от того, насколько оптимальным оказался выбор типа аппроксимирующей функции применительно к используемому методу гармонического анализа.

Вопросы для самопроверки

1. Чем отличаются графические методы решения нелинейных задач от аналитических?
2. Что понимается под углом отсечки?
3. Приведите примеры применения графических и аналитических методов к решению конкретных нелинейных задач.
4. Какой метод гармонического анализа является оптимальным при аппроксимации характеристик полиномом n -й степени?
5. Какой метод гармонического анализа является оптимальным при аппроксимации характеристик ломаной прямой?
6. Объясните принцип работы параметрического усилителя.
7. Благодаря каким преимуществам (по сравнению с другими усилителями) параметрические усилители получают все большее применение?
8. Какими энергетическими соотношениями характеризуется работа параметрического усилителя?

Тема 6. Усилители слабых сигналов

Назначение, классификация, параметры и характеристики усилителей. Искажения в усилителях. Основная схема усилительного каскада. Методы организации смещения рабочей точки. Методы стабилизации положения рабочей точки.

Усилитель переменного напряжения на биполярном транзисторе, включенном по схеме с общим эмиттером. Эквивалентные схемы усилительного каскада в области нижних, средних и верхних частот. Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) усилителя. Влияние паразитных связей на форму АЧХ усилителя. Разброс параметров. Низкочастотная и высокочастотная коррекция АЧХ усилителя. Особенности усилительных каскадов в микроэлектронике. Многокаскадные усилители. Виды межкаскадных связей. Дифференциальный каскад. Операционные усилители (ОУ) и их основные компоненты. Особенности схем интегральных ОУ. Особенности импульсных и избирательных усилителей. Паразитные связи и их влияние на основные параметры устройств. Примеры типовых усилителей на интегральных схемах.

Литература: [1, с.7-11]; [3,с.215-333]; [4, с.89-127].

Методические указания

Рекомендуется обратить внимание на то, что, несмотря на большое число возможных представлений зависимостей между токами и напряжениями в транзисторе, для расчета транзисторного усилителя достаточно иметь два основных семейства статических характеристик транзистора: семейство выходных статических характеристик для различных значений входного тока и семейство входных статических характеристик для различных напряжений на выходном электроде транзистора. На начальной стадии изучения достаточно ограничиться использованием только выходных и входных статических характеристик для включения транзистора, например, с общим эмиттером. Только после того, как будут приобретены прочные навыки расчета транзисторных схем, с помощью этих характеристик можно переходить к расчету схем с транзистором, включенным, например, с общей базой, и т.д.

При изучении этой темы особое внимание рекомендуется уделять вопросам устойчивости усилителей, содержащих цепи обратной связи. Чаще всего такие усилители являются многокаскадными и поэтому содержат большое число различных деталей, объединенных электрической схемой и конструктивным выполнением в единое устройство. Для компактности устройства его размеры и объем стараются сделать возможно меньшими. Небольшие расстояния между деталями вызывают появление между ними заметных емкостных и индуктивных связей. При неудачной компоновке свойства усилителя могут настолько измениться, что правильно рассчитанный усилитель не будет отвечать поставленным техническим требованиям. Строгая количественная оценка паразитных связей затруднена их большим числом, взаимным переплетением, а иногда и невозможностью локализации. Тем не менее в процессе изучения этой темы необходимо изучить ряд мер, правил и рекомендаций, соблюдение которых позволяет успешно бороться с паразитными связями.

Вопросы для самопроверки

1. По каким признакам принято проводить классификацию усилителей?
2. Дайте определение основных характеристических параметров усилителя.
3. Что понимается под операционным усилителем?
4. Назовите основные особенности построения схем операционных усилителей.
5. Какое влияние оказывает отрицательная обратная связь на нелинейные искажения сигнала на выходе усилителя?
6. Приведите примеры операционного усилителя в схемах, реализующих математические операции над сигналами.
7. Приведите примеры использования операционных усилителей в активных RC-фильтрах.
8. Какое влияние оказывает отрицательная обратная связь на коэффициент усиления усилителя и ширину диапазона рабочих частот?
9. Чем объясняется тот факт, что фаза сигнала на выходе усилителя зависит от частоты усиливаемого сигнала?

Тема 7. Обратные связи в усилителях

Понятие обратной связи в усилителе. Виды обратных связей. Влияние отрицательной обратной связи на параметры и характеристики усилителей. Устойчивость усилителей с обратной связью. Критерий Найквиста-Михайлова. Цепи коррекции в усилителях. Широкополосные усилители. Ключевой режим работы усилителя.

Примеры операционных усилителей с обратной связью для реализации вычислительных алгоритмов над аналоговыми сигналами.

Усилители мощности в режиме А, В и С.

Литература: [1, с.7-11,171-208]; [3, с.215-333]; [4, с.89-127].

Методические указания

При проектировании усилительных устройств большое внимание уделяется учету влияния обратных связей. Поэтому материал, связанный с изучением обратных связей в четырехполюсниках, часто в пособиях и учебниках излагается в разделе, относящемся к усилителям электрических сигналов. Это не снижает общности подхода к изучению предмета обратных связей и приближает его к специальным вопросам практики. Поэтому можно считать целесообразным изучить влияние обратных связей на характеристики четырехполюсников на примере усилительных схем, работающих в линейном режиме.

Вопросы для самопроверки

1. Назовите основные факторы, которыми определяется передача сигнала с выхода четырехполюсника на его вход.
2. На какие основные виды можно разделить схемы обратной связи в зависимости от способов соединения четырехполюсников?
3. Что такое положительная, отрицательная и комплексная связь? В каких случаях используется та или другая обратная связь?
4. Сформулируйте понятие "критерий устойчивости".
5. В чем заключается сущность критерия Найквиста?
6. Как практически построить диаграмму, на которой можно проиллюстрировать применение критерия Найквиста?
7. Как влияют неточности изготовления элементов цепи обратной связи на ее характеристики?
8. Как влияет цепь обратной связи на входное и выходное сопротивления?
9. Приведите примеры четырехполюсников с замкнутыми цепями обратной связи.

Тема 8. Усилители большой мощности

Режимы работы усилителей в классах А, В, С и D. Принципы увеличения мощности и КПД. Зависимость энергетических показателей от режима работы усилителя. Способы возбуждения мощных усилителей. Однотактные и двухтактные апериодические усилители мощности. Режимы работы. Выбор рабочей точки. Конструктивные особенности усилителей большой мощности. Отвод тепла, устранение паразитных связей. Влияние разброса параметров элементов на показатели усилителя.

Полосовой усилитель с одиночным резонансным контуром. Применение систем связанных контуров для повышения избирательности полосовых усилителей.

Усилитель импульсных сигналов: характеристика временных искажений.

Зависимость коэффициента полезного действия от коэффициента использования мощности.

Литература: [1, с.249-280; [3, с.215-333; [4, с.89-127; [9, с. 244-257].

Методические указания

При изучении материала этой темы следует сначала найти спектр тока, протекающего через нелинейный усилительный элемент, вольт-амперную характеристику которого можно аппроксимировать ломаной прямой, и убедиться в том, что работа нелинейного элемента с отсечкой тока сопряжена с большими нелинейными искажениями выходного сигнала, хотя к.п.д. усилителя увеличивается с уменьшением угла отсечки. Следует обратить внимание на то, что при угле

отсечки, близком к 90^0 , к.п.д. усилителя является достаточно высоким, амплитуды всех нечетных гармонических составляющих входного сигнала, за исключением первой, в спектре выходного сигнала равны нулю. Приходим к выводу, что в результате применения двухтактных схем, устраняющих проявление четных гармоник в нагрузке усилителя, можно сконструировать нелинейный усилитель, не вносящий нелинейных искажений и работающий с достаточно высоким к.п.д.

Вопросы для самопроверки

1. Почему в двухтактном трансформаторном усилителе мощности уменьшаются нелинейные искажения и отсутствует постоянное подмагничивание сердечника трансформатора?
2. Что понимается под углом отсечки?
3. В каких пределах может изменяться величина угла отсечки?
4. Какими способами можно подавать входной сигнал на оконечный двухтактный каскад усилителя мощности?
5. При каких углах отсечки получаются наивыгоднейшие режимы для удвоения, утроения частоты?
6. Почему коэффициент нелинейных искажений в резонансном усилителе мощности меньше, чем в апериодическом?
7. Как происходит компенсация четных гармонических составляющих входного сигнала в спектре выходного сигнала в двухтактной схеме усилителя мощности?
8. Как объяснить, что при одинаковом угле отсечки в режиме удвоения к.п.д. ниже, чем в режиме усиления?
9. Почему не применяются высокие кратности умножения частоты?
10. Как влияет на показатели двухтактного усилителя мощности разброс параметров элементов схемы этого усилителя?

4-й семестр

Тема 9. Электронные генераторы

Условия возникновения незатухающих колебаний в устройствах с обратной связью. LC-генераторы с трансформаторной обратной связью. Процесс установления стационарных колебаний в LC-генераторе. Условия стационарного режима: баланс амплитуд и баланс фаз. Метод фазовой плоскости. «Мягкий» и «жесткий» режимы самовозбуждения. Амплитудные и фазовые условия устойчивости стационарного режима.

Трехточечные схемы LC-генераторов.

Кварцевые генераторы.

LC-генераторы на приборах с отрицательным сопротивлением.

RC-генераторы. Необходимость введения автоматической регулировки усиления в RC-генераторах. Пример схемы RC-генератора с точной автоматической регулировкой амплитуды генерируемого сигнала.

Литература: [1, с.281-310]; [2, с.267-281]; [4, с.136-160], [9, с. 230 – 244].

Методические указания

Рекомендуется хорошо разобраться в физических явлениях, происходящих при самовозбуждении схемы автогенератора, установлении стационарной амплитуды колебаний. Следует обратить внимание на роль элемента с инерционной нелинейностью в виде термосопротивления, позволяющего улучшить форму генерируемых RC-генератором колебаний.

Вопросы для самопроверки

1. В чем состоят условия баланса фаз и баланса амплитуд в автогенераторе?
2. В каких фазовых соотношениях в транзисторном LC-генераторе находятся напряжение на базе, ток в контуре, коллекторный ток, напряжение на коллекторе?
3. Какими соотношениями определяются условия самовозбуждения схемы автогенератора?
4. Охарактеризуйте особенности "жесткого" и "мягкого" режимов самовозбуждения автогенератора.
5. Каким образом обеспечивается синусоидальная форма генерируемых LC-генератором колебаний?
6. Как изменяется частота колебаний в RC-генераторе при увеличении числа фазосдвигающих цепочек?
7. Почему кварцевый резонатор обеспечивает высокую стабильность частоты колебаний автогенератора?
8. Что понимается под отрицательным сопротивлением?
9. Почему для генерирования низкочастотных колебаний применяются в основном RC-генераторы, а не LC-генераторы?
10. Почему генератор с параллельной схемой питания не может работать без дросселя в цепи питания?
11. Приведите схемы, реализующие методы получения частотно-модулированных колебаний.

Тема 10. Нелинейные и параметрические преобразования сигналов

Устройства умножения и преобразования частоты.

Амплитудные модуляторы: работа и устройство.

Детектирование сигналов с амплитудной модуляцией. Диодный детектор в режиме малого и большого сигналов. Синхронный детектор.

Коммутаторы сигналов.

Ограничители напряжения. Частотные модуляторы. Детектирование сигналов с частотной модуляцией. Фазовые детекторы.

“Ключевые элементы нелинейных устройств”

Литература: [1, с.381-433]; [2, с.281-308]; [4, с.287-311].

Методические указания

Нелинейные и параметрические преобразования широко используются в радиоэлектронике для обработки сигналов в реальном масштабе времени. Вначале следует разобраться с принципом работы простейших схем диодного детектора амплитудно-модулированных колебаний, понять принцип работы линейного и квадратичного детектора, оценить области возможного применения каждого из этих детекторов. Только после хорошего усвоения работы диодного детектора следует изучить работу синхронного детектора амплитудно-модулированных колебаний, который чаще всего выполняется в микросхемном исполнении и используется для обработки телевизионных сигналов изображения.

Следует разобраться с принципом детектирования частотно-модулированных колебаний, понять, почему для хорошей работы частотного детектора нужно обязательно использовать ограничитель амплитуды колебаний.

Вопросы для самопроверки

1. Опишите принцип работы диодного детектора амплитудно-модулированных колебаний.
2. Опишите различия между работой квадратичного и линейного детектора.
3. Роль ограничителя при детектировании сигналов с частотной модуляцией.
4. Роль коммутатора при обработке телевизионного сигнала.
5. Опишите принцип работы фазового детектора.

Тема 11. Импульсные устройства

Компараторы напряжений. Введение положительной обратной связи, создающей гистерезис переключения компараторов.

Классические генераторы импульсов – мультивибраторы и ждущие мультивибраторы на транзисторах. Генераторы импульсов с независимой перестройкой частоты следования и длительности импульсов.

Генераторы пилообразного (линейно меняющегося) напряжения на транзисторах. Преобразователи напряжения во временной интервал.

Литература: [1, с.311-327]; [2, с.336-352]; [3, с.585-608].

Методические указания

При изучении теории и принципов построения формирователей импульсных сигналов следует уделить внимание вопросам, связанным с построением их на современной элементной базе. Обратите внимание на то, что в области аналоговой импульсной техники влияние микроэлектроники проявилось прежде всего в появлении и широком распространении схем различного назначения, главным и единственным компонентом которых служит интегральный операционный усилитель.

Вопросы для самопроверки

1. Каким образом из гармонического колебания можно получить последовательность прямоугольных видеоимпульсов?
2. Приведите примеры электронных схем, формирующих последовательность прямоугольных видеоимпульсов из гармонического колебания.
3. Дайте определение компаратора и приведите примеры его схемной реализации на операционном усилителе.
4. Приведите примеры пороговых элементов на операционном усилителе и поясните принцип работы.
5. Поясните физические процессы, происходящие в схеме мультивибратора во время переключения транзисторов из одного состояния в другое.
6. Какими особенностями схемного решения характеризуются мультивибраторы на специализированных интегральных микросхемах?
7. Объясните принцип работы блокинг-генератора с коллекторно-базовой связью.
8. Как формируется вершина импульса в схеме блокинг-генератора?
9. Перечислите процессы, происходящие в паузе между импульсами блокинг-генератора с коллекторно-базовой связью.
10. Какими параметрами схемы блокинг-генератора определяется длительность генерируемых импульсов?
11. Какими параметрами схемы мультивибратора определяется длительность и период генерируемых колебаний?
12. Приведите примеры схем генераторов пилообразного напряжения.
13. Какими конструктивными и технологическими параметрами характеризуются микросхемы, предназначенные для применения в схемах генераторов импульсных сигналов?

Тема 12. Устройства электропитания

Сетевые трансформаторы устройств электропитания. Однофазные выпрямители переменного напряжения – однополупериодные, двухполупериодные, мостовые. Расчет электрических характеристик трансформаторов и выпрямителей.

Электронные стабилизаторы напряжения. Анализ показателей работы стабилизатора напряжения: коэффициента полезного действия, коэффициента стабилизации, коэффициента сглаживания пульсаций. Защита стабилизатора напряжения от перегрузок.

Умножители напряжения.

«Бестрансформаторные» устройства электропитания.

Литература: [2, с.418-432]; [4, с.190-203].

Методические указания

Для получения электрической энергии нужного вида часто приходится преобразовывать энергию переменного тока в энергию постоянного тока (выпрямление) либо энергию постоянного тока – в энергию переменного (инвертирование). Выпрямление осуществляется выпрямителями, а инвертирование инверторами. Согласно ГОСТ 23413-75 выпрямители и инверторы являются вторичными источниками электропитания.

Стабилизатором напряжения (тока) называют устройство, автоматически обеспечивающее поддержание напряжения (тока) нагрузочного устройства с заданной степенью точности. В соответствии с ГОСТ 5237-69 это напряжение может отличаться от номинального значения в пределах от +5% до –15%.

Приступая к изучению этой темы, прежде всего следует разобраться с работой выпрямителя при различных нагрузках, а затем рассмотреть вопросы, связанные со стабилизацией тока или напряжения.

Вопросы для самопроверки

1. Какими преимуществами обладают выпрямители по сравнению с другими источниками питания?
2. Объясните физический смысл пульсаций.
3. Укажите достоинства и недостатки сглаживающих RC-фильтров по сравнению с фильтрами LC-типа.
4. Объясните работу транзисторного сглаживающего фильтра.
5. Укажите основные технические показатели выпрямительных схем. Проведите сравнение выпрямительных схем по их основным параметрам.
6. В чем состоит принцип построения структурных схем компенсационных стабилизаторов постоянного напряжения?
7. Какими техническими параметрами характеризуется работа стабилизаторов?
8. Как строятся наиболее типичные схемы стабилизаторов постоянного напряжения?
9. Каким образом можно стабилизировать величину переменного напряжения?
10. Как работает транзисторный преобразователь напряжения?

Тема 13. Радиоприемные устройства

Классификация и основные показатели приемных устройств. Приемник прямого усиления. Приемники информационного и синхронного типа.

Структурная схема радиоприемного устройства амплитудно-модулированных сигналов супергетеродинного типа.

Сопряжение настроек контуров, электронная перестройка частоты, автоматическая регулировка усиления в радиоприемных устройствах.

Специализированные интегральные схемы радиоприемных устройств амплитудно-модулированных сигналов.

Особенности радиоприемных устройств частотно-модулированных сигналов. Автоматическая подстройка частоты гетеродина.

Литература: [2, с.392-410]; [4, с.313-334].

Методические указания

На первоначальном этапе изучения материала этой темы необходимо получить общее представление о радиоприемном устройстве, рассматривая структурные схемы приемников прямого усиления и супергетеродинного приемника.

Вопросы для самопроверки

1. Что называется избирательностью приемника?
2. Как отражается на работе преобразователя нестабильность частоты гетеродина?
3. Какая цепь преобразователя на транзисторе определяет его избирательные свойства?
4. Почему в схемах преобразования транзисторных приемников напряжение на вход УПЧ подается с помощью катушки связи?
5. При каком условии частота зеркального канала меньше частоты принимаемого сигнала?
6. При приеме каких сигналов входная цепь и УВЧ оказывают заметное влияние на избирательность по соседнему каналу?
7. Какие колебательные цепи приемника влияют на его полосу пропускания в диапазоне длинных волн?
8. Как влияет увеличение промежуточной частоты на избирательность по соседнему каналу?

Тема 14. Телевидение

Физические основы и принцип передачи изображений. Классификация систем телевидения.

Характеристики телевизионного сигнала.

Стандарты систем вещательного телевидения.
Структурная схема черно-белого телевизора.
Особенности передачи и приема сигналов цветного телевидения.
Литература: [4, с.336-371].

Методические указания

Изученный в предыдущих темах материал позволяет понять основы построения систем телевизионного вещания. При этом важно иметь в виду сведения о спектрах передаваемых сигналов и особенностях человеческого зрения. Приступая к изучению этой темы, следует освежить в памяти сведения об амплитудной модуляции с одной боковой полосой. Обратите внимание на то обстоятельство, что передача информации в телевизионных системах осуществляется только в диапазоне ультракоротких волн.

Структурные схемы телевизоров цветного и черно-белого изображений во многом подобны. Для выделения и воспроизведения информации о цвете объектов в цветных телевизорах используются декодирующие устройства, трехлучевой кинескоп и узлы, предназначенные для обеспечения его нормальной работы. При этом декодирующее устройство служит для усиления сигнала яркости, выделения из него сигналов цветности и их преобразования. Полученные на выходе декодирующего устройства сигналы яркости и цветности управляют токами лучей цветного кинескопа.

В последнее время все более широкое распространение получают импульсные блоки питания без силового трансформатора. Поэтому важно повторить материал темы, посвященной источникам питания.

Вопросы для самопроверки

1. В чем суть трехкомпонентной структуры цветового зрения?
2. Поясните принцип электронного телевидения.
3. Как определяется нижняя и верхняя частоты спектра телевизионного сигнала?
4. Каково назначение гасящих и синхронизирующих импульсов?
5. Чему равна полоса частот, занимаемая одним каналом телевизионного вещания?
6. Каково назначение декодирующего устройства и какие функции оно выполняет?
7. Чем определяется форма частотной характеристики канала яркости?
8. Какие требования предъявляются к селектору телевизионных каналов?
9. Каким требованиям должен удовлетворять гетеродин для селектора каналов?
10. Поясните принцип работы системы автоматической подстройки частоты гетеродина.

Тема 15. Современные радиоэлектронные устройства и системы

Устройства опто-, акусто-, магнито- и криоэлектроники.

Цифровая запись и воспроизведение звука. Прием цифрового радиовещания. Системы радиоуправления объектами.

Системы радиопротиводействия.

Телевидение повышенного качества и высокой четкости. Спутниковое телевидение. Цифровое телевидение.

Принципы лазерной записи и воспроизведения.

Системы информационного обслуживания.

Бытовые и персональные ЭВМ.

Многоракурсное и голографическое телевидение.

Литература: [4, с. 187 – 198].

Тема 16. Перспективы развития радиоэлектроники

Тенденции и проблемы развития радиоэлектроники. Совершенствование элементной базы РЭУ и РЭС. Внедрение цифровых методов обработки информации. Защита информации.

Литература: [10, с. 218 – 272].

2. КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

Все контрольные задания составлены в 10 вариантах. Номер варианта должен выбираться студентом в соответствии с последней цифрой его учебного шифра.

При выполнении задания студент обязан соблюдать следующие правила.

1. Привести содержание контрольного задания и исходные данные для расчета в соответствие с номером варианта.

2. Расчету каждой величины должно предшествовать пояснение. При расчете вначале следует приводить буквенное начертание формулы. Против всех расчетных формул, кроме общеизвестных, обязательно должна быть указана использованная литература.

3. Результаты расчетов требуемых характеристик должны быть сведены в таблицы.

4. Принципиальные электрические схемы, вольт-амперные характеристики электронных приборов, используемые при расчетах, временные диаграммы, графики рассчитанных зависимостей должны быть выполнены четко на миллиметровой бумаге карандашом и обязательно вклеены в работу.

Контрольное задание № 1

Контрольное задание №1 состоит из пяти задач.

Задача 1. Построить форму напряжения на выходе дифференцирующей, интегрирующей или разделительной RC-цепи при подаче на ее вход одиночного прямоугольного импульса с амплитудой 10 В и длительностью 1 мкс, предварительно выбрав параметры этой цепи. Построить временные диаграммы, АЧХ и ФЧХ входного и выходного сигналов, АЧХ и ФЧХ коэффициента передачи дифференцирующей, интегрирующей или разделительной RC-цепи. Оценить техническую ширину спектра выходного сигнала при выбранных данных RC-цепи (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Тип цепи, через которую проходит сигнал	дифференцирующая	интегрирующая	разделительная	дифференцирующая	интегрирующая	дифференцирующая	дифференцирующая	интегрирующая	разделительная	дифференцирующая

Решить эту же задачу, когда на вход той же дифференцирующей, интегрирующей или разделительной RC-цепи подается неограниченная последовательность этих же импульсов, следующих с частотой 100 кГц. Сравнить полученные результаты и сделать свои выводы.

Задача 2. Составить схему, содержащую 10 ветвей, шесть узлов и не менее пяти источников постоянного напряжения. Выбрав произвольным образом параметры этой схемы, рассчитать величины и направления токов в каждой ветви схемы. Построить потенциальную диаграмму для этой схемы, вычислив предварительно величины всех падений напряжения на элементах анализируемой схемы.

Задача 3. Составить схему, содержащую восемь ветвей, пять узлов и не менее трех источников переменного тока одной частоты с различными начальными фазами и одинаковыми внутренними сопротивлениями. Выбрав произвольным образом параметры этой схемы, рассчитать величины токов и напряжений в каждой ветви. Построить векторную диаграмму токов и напряжений для этой схемы.

Задача 4. Рассчитать одноконтный реостатный усилитель мощности низкой частоты в соответствии с показателями, приведенными в табл. 2.2. Оценить коэффициент нелинейных искажений усилителя с помощью формул пяти ординат. Привести принципиальную электрическую схему усилителя со спецификацией его схемных элементов.

Таблица 2.2

Показатели	В а р и а н т ы									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Мощность в нагрузке, Вт	2,0	3,0	4,0	2,5	3,5	4,5	1,5	0,5	0,8	0,6
Коэффициент гармоник, %	3,0	2,5	3,0	4,0	4,5	3,5	5,0	4,0	4,5	3,5
Диапазон рабочих частот, f_n , Гц, F_v , кГц	100 5,0	50 6,0	20 7,0	50 8,0	100 9,0	80 10,0	40 7,0	60 9,0	20 7,0	50 8,0
Линейные искажения, M_n , дБ, M_v , дБ	0,25 1,2	0,30 1,3	0,45 1,4	0,50 1,3	0,60 1,2	0,25 1,4	0,35 1,5	0,45 1,3	0,55 1,4	0,6 1,0

Задача 5. К нелинейному элементу, вольт-амперная характеристика которого с напряжением отсечки U_n и крутизной S (рис. 2.1 и рис. 2.2) аппроксимирована ломаной прямой, приложено напряжение $u = U_0 + U_m \cos \omega t$, В. При заданных соответствующим вариантом исходных параметрах определить смещение U_0 и угол отсечки θ , при которых амплитуда n -й гармоники будет максимальной. Определить при этом смещении амплитуды гармонических составляющих тока $I_0, I_{m1}, I_{m2}, I_{m3}, I_{m4}$ и рассчитать по ним коэффициент гармоник $k_{н.и.}$ выходного сигнала (табл. 2.3). Для заданного сигнала и рассчитанного смещения U_0 построить графически эпюры входного сигнала и тока, протекающего через нелинейный элемент, привязав их к вольт-амперной характеристике данного нелинейного элемента.

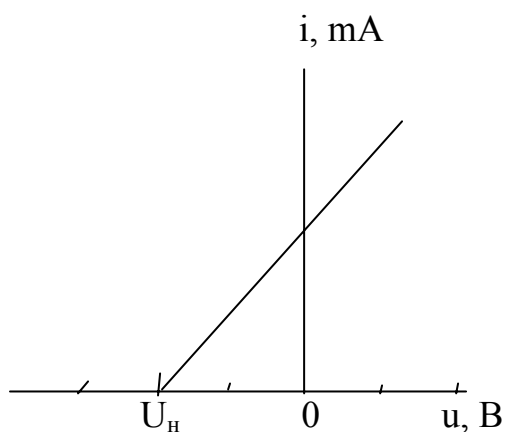


Рис. 2.1

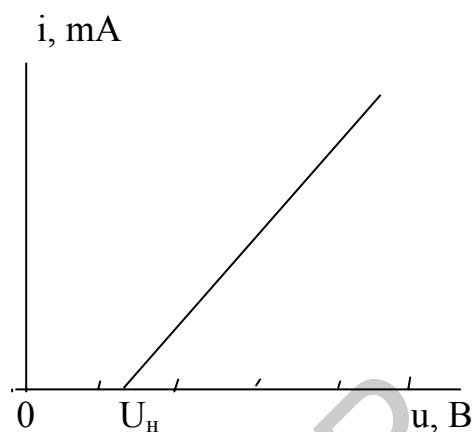


Рис. 2.2

Таблица 2.3

Номер варианта	Номер рисунка	U_H , В	S , mA/V	U_m , В	n
1	1	- 10	15	10	2
2	2	0,8	5	4	1
3	1	- 5	10	6	3
4	2	0,6	20	3	2
5	1	- 3	10	10	1
6	2	0,4	5	3	3
7	1	- 7	3	12	2
8	2	0,7	15	4	1
9	1	- 2	5	5	3
0	2	0,9	10	6	2

Контрольное задание № 2

Контрольное задание №2 состоит из пяти задач.

Задача 1,а. На вход резонансного усилителя подается АМ-колебание вида $U_{AM}(t) = U_m(1 + m\cos 2\pi f_H t)\cos 2\pi F_M t$. При этом частота несущего колебания f_H совпадает с резонансной частотой контура f_k . Определить необходимую полосу пропускания контура, его добротность и сопротивление потерь в контуре, при которых АМ-колебание будет проходить через усилитель без искажений. Данные для расчета приведены в табл. 2.4. Рассчитать и построить спектр АМ-колебания на выходе усилителя.

Таблица 2.4

Номер варианта	U_m , В	f_k , кГц	F_M , кГц	m , %	k	L , мкГн	C , пФ
1	2	500	15	60	0,02	-	200
2	5	600	20	80	- 0,03	-	390
3	3	400	12	70	-0,02	800	-
4	4	700	13	60	0,03	600	-
5	8	300	8	90	0,02	-	500

Как изменится спектр сигнала на выходе усилителя, если абсолютная расстройка $\Delta f = f_n - f_k = k f_k$? Построить (качественно) спектр выходного сигнала и его векторную диаграмму для указанной в задании расстройки.

Задача 1,б. На вход резонансного усилителя подается ЧМ-колебание вида $U_{\text{ЧМ}}(t) = U_m \cos(2\pi f_n t + \beta \sin 2\pi F_M t)$. По данным, приведенным в табл. 2.5, рассчитать колебательный контур, обеспечивающий прохождение заданного сигнала без искажений, если заданы средняя частота f_n , девиация Δf и индекс модуляции β . При этом предполагается, что средняя частота ЧМ-колебания совпадает с резонансной частотой контура, т.е. $f_n = f_k$. Определить добротность, сопротивление потерь в контуре. Рассчитать и построить спектр и векторную диаграмму выходного сигнала.

Таблица 2.5

Номер варианта	U_m , В	f_n , МГц	F_M , кГц	β , рад	L , мкГн	C , пФ	Δ , кГц	Δf , кГц
6	2	0,5	8	3	-	390	6	-
7	4	2,0	-	2	200	-	8	20
8	6	1,0	9	3	390	300	9	-
9	5	3,0	12	2	-	300	10	-
0	8	4,0	-	3	-	200	8	27

Как изменится спектр выходного сигнала, если $f_n \neq f_k$ и абсолютная расстройка $\Delta = f_n - f_k$? Построить (качественно) спектр и векторную диаграмму для указанной расстройки. Значения функций Бесселя приведены в табл. 2.6.

Таблица 2.6

β , рад	$J_0(\beta)$	$J_1(\beta)$	$J_2(\beta)$	$J_3(\beta)$	$J_4(\beta)$
1	0,765	0,440	0,115	-	-
2	0,224	0,576	0,353	0,128	-
3	-0,260	0,339	0,486	0,309	0,132

Задача 2. Автогенератор с контуром в цепи коллектора и индуктивной связью генерирует колебания с частотой $f_0 = 1$ МГц. Добротность контура $Q = 50$, вза-

имная индуктивность $M = 5 \text{ мкГн}$. Характеристика транзистора аппроксимируется полиномом третьей степени $i_k = 0,6 + 2u_c + 0,4u_c^2 - 0,2u_c^3$, мА. Выбрать величину смещения на базе транзистора для мягкого и жесткого режимов работы автогенератора и оценить амплитуды стационарных колебаний для этих режимов.

Задача 3. Начертить спроектированную на транзисторах КТ315Б схему симметричного мультивибратора, блокинг-генератора или триггера с автоматическим смещением, произвести расчет всех элементов схемы, определить амплитуду и время нарастания выходного напряжения, построить в масштабе временные диаграммы, иллюстрирующие работу рассчитанного устройства, если напряжение источника питания в каждом варианте $E_k = 10 \text{ В}$. Запуск триггеров осуществляется по базам транзисторов. Для ждущего режима определить параметры запускающего импульса. Исходные данные приведены в табл. 2.7, в которой приняты следующие обозначения: М – мультивибратор, БГ - блокинг-генератор, ТР – триггер, АР – автоколебательный режим, ЖР – ждущий режим, τ - длительность импульса, $f_{\text{зап}}$ – частота запуска.

Таблица 2.7

Параметры	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Схема	М	М	М	М	БГ	БГ	ТР	ТР	ТР	ТР
Режим работы	АР	АР	ЖР	ЖР	АР	АР	-	-	-	-
$f_{\text{зап}}$, кГц	-	-	0,8	0,7	-	1,0	25	40	60	50
τ , мс	10	20	5	2	10^{-3}	10^{-3}	-	-	-	-

Задача 4. На вход амплитудного модулятора, вольт-амперная характеристика нелинейного элемента которого задана уравнением $i = 8u + 0,25u^2$, мА, подается напряжение несущей частоты f_n и звуковой частоты F_M с амплитудами U_m и U_M соответственно. Определить коэффициент модуляции напряжения на контуре, добротность и параметры, при которых обеспечится прохождение АМ-колебания без искажений. Исходные данные приведены в табл. 2.8. Изобразить принципиальную электрическую схему базового модулятора и показать амплитудно-частотные спектры входного и выходного напряжений.

Таблица 2.8

Номер варианта	f_0 , МГц	F_M , кГц	C , пФ	L , мкГн	U_m , В	U_M , В
1	1	3	240	-	10	2
2	2	5	-	500	4	0,8
3	5	10	200	-	6	3
4	2,5	2	-	400	5	2
5	1,5	4	330	-	8	4
6	3	6	-	300	6	2
7	2	3	200	-	3	1
8	1	2	-	250	7	3
9	4	7	150	-	5	3
0	3,5	5	-	350	8	5

Задача 5. На вход полупроводникового диодного детектора с характеристикой $i = a_0 + a_1 u + a_2 u^2$ подано амплитудно-модулированное колебание

$$u(t) = U_m(1 + m \cos \Omega t) \cos \omega t,$$

где U_m , ω – амплитуда и угловая частота несущего колебания соответственно, Ω – угловая частота модулирующего колебания, m – коэффициент модуляции. Параметры сигнала и схемы приведены в табл. 2.9. Выбрать значение емкости C , включенной параллельно сопротивлению R нагрузки детектора, для осуществления фильтрации высокочастотных составляющих. Рассчитать коэффициенты передачи детектора по постоянному и переменному токам, коэффициент нелинейных искажений протектированного низкочастотного напряжения и коэффициент усиления детектора.

Таблица 2.9

Параметры сигналов и схемы	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
U_m , В	2	3	5	4	1,5	3	5	4	2	2,5
m , %	60	70	50	80	60	70	90	40	60	60
f_n , МГц	2	4	2,5	5	3	4	1,5	5	2,5	3
F_M , кГц	1,5	5	2	10	6	4	1	3	3	2,5
a_0 , мА	5	7	3	9	11	5	7	6	4	8
a_1 , мА/В	3	2	5	4	5	3	2	4	8	9
a_2 , мА/В ²	0,1	0,2	0,5	0,2	0,8	0,15	0,2	0,1	0,3	0,2
R , кОм	1	1,5	3	2	1	3	5	2,5	1,5	4

3. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

Целью лабораторных работ является закрепление лекционного материала, овладение методикой, приобретение и закрепление навыков работы с радиоэлектронными устройствами. Подготовка к лабораторным занятиям предусматривает изучение лекционного материала и указанной в программе основной литературы. После выполнения лабораторной работы оформляется отчет.

По дисциплине «Основы радиоэлектроники» студент должен выполнить 4 лабораторные работы из числа приведенных ниже и определенных преподавателем, ведущим лекционный курс. Рекомендуемый перечень лабораторных работ:

1. Исследование спектров видеосигналов.
2. Исследование цепей переменного тока.
3. Исследование частотных характеристик избирательных цепей.
4. Линейные усилители переменного напряжения.
5. Исследование нелинейного четырехполюсника.
6. Исследование LC-генератора гармонических сигналов.
7. Исследование RC-генератора гармонических сигналов.
8. Исследование амплитудного модулятора.
9. Исследование амплитудного детектора.
10. Импульсные устройства.

4. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

Практические занятия служат дальнейшему углублению знаний предмета и содержат следующие темы:

1. Расчет спектров видеосигналов.
2. Расчет спектров радиосигналов.
3. Расчет цепей с одиночным колебательным контуром.
4. Расчет цепей со связанными колебательными контурами.
5. Графический метод расчета линейного усилителя.
6. Аппроксимация вольт-амперных характеристик.
7. Нелинейное усиление.
8. Умножение частоты.
9. Расчет условий самовозбуждения LC-генераторов.
10. Расчет условий самовозбуждения RC-генератора.
11. Расчет амплитуды стационарных колебаний.
12. Расчет АМ-модуляторов.
13. Расчет детектора амплитудно-модулированных колебаний.
14. Расчет блокинг-генератора.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

5.1. Литература

1. Манаев Е.И. Основы радиоэлектроники. - М.: Радио и связь, 1990.- 512 с.
2. Каяцкас А.А. Основы радиоэлектроники. - М.: Высш. шк., 1988.- 464 с.
3. Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника. - М.: Высш. шк., 1991.- 622 с.
4. Ворсин Н.Н., Ляшко М.Н. Основы радиоэлектроники. - Мн.: Выш. шк., 1992.- 381с.
5. Лосев А.К. Теория линейных электрических цепей. - М.: Высш. шк., 1987.- 512 с.
6. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. - М.: Высш. шк., 1988,- 448 с.
7. Першин В.Т. Методическое пособие по выполнению контрольного задания по курсу «Основы радиоэлектроники и схемотехники» для студентов специальности «Э.01.03.00. Экономика и управление на предприятии» заочной формы обучения. – Мн.: БГУИР, 2001.– 52 с.
8. Першин В.Т. Методическое пособие по проведению практических занятий с использованием пакета MathCAD 2000 Professional по курсам «Основы радиоэлектроники» для студентов специальностей «41 01 02. Микроэлектроника» и «39 02 02. Проектирование и производство радиоэлектронных средств» и "Основы радиоэлектроники и схемотехники" для студентов специальности "27 01 01. Экономика и организация производства" дневной и заочной форм обучения. – Мн.: БГУИР, 2002. - 64 с.
9. Гершунский Б.С. Основы электроники. -Киев.: Вища шк., 1977, - 344 с.
10. Бондарь Б.Г. Основы микроэлектроники. – Киев.: Вища шк., 1987, -309 с.

5.2. Материалы по использованию вычислительной техники

5.2.1. Перечень методических указаний по использованию вычислительной техники

1. Першин В.Т. Исследование цепей переменного тока с применением ЭВМ – Мн.: БГУИР. 1996.- 21 с.
2. Сеница В.Н. Исследование частотных характеристик избирательных цепей.– Мн.: БГУИР. 1993.- 12 с.
3. Сеница В.Н. Исследование усилительных каскадов. - Мн.: БГУИР. 1993.– 12 с.

5.2.2. Программы для ПЭВМ

1. USIL – автор доц. В.Н.Синица
2. IZBIR – автор доц. В.Н.Синица
3. Пакет математических программ MathCAD
4. PER – автор доц. В.Т.Першин

5.3. Перечень наглядных пособий

1. Метод угла отсечки.
2. Четырехполюсник и его параметры.
3. АЧХ и полоса пропускания системы связанных контуров.
4. Амплитудные модуляторы.
5. Параллельный колебательный контур.
6. Последовательный колебательный контур.
7. Усилительный RC-каскад на биполярном транзисторе.
8. Амплитудные детекторы.
9. Генератор гармонических колебаний.
10. Преобразователь частоты.
11. Структурная схема супергетеродинного приемника.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение

1. ПРОГРАММА И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ТЕМАМ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цель преподавания дисциплины.

1.2. Задачи изучения дисциплины

1.3. Программа, методические указания и вопросы для самопроверки

2. КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

2.1. Контрольное задание № 1

2.2. Контрольное задание № 2

3. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

4. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

5.1. Литература

5.2. Материалы по использованию вычислительной техники

5.2.1. Перечень методических указаний по использованию вычислительной техники

5.2.2. Программы для ПЭВМ

5.3. Перечень наглядных пособий

Библиотека БГУИР

Учебное издание

**ПРОГРАММА, МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
И КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ**

по курсу
«Основы радиоэлектроники»
для студентов специальности
41 01 02 «Микроэлектроника»
заочной формы обучения

Составитель Першин Виктор Тихонович

Редактор Т.Н. Крюкова
Корректор Е.Н. Батурчик

Подписано в печать 16.09.2002.

Формат 60x84 1/16

Бумага офсетная. Печать ризографическая. Гарнитура Times. Усл.печ.л. 2.21.

Уч.-изд.л. 2.0.

Тираж 200 экз.

Заказ 519.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Учреждение образования

«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Лицензия ЛП №156 от 05.02.2001.

Лицензия ЛП №509 от 03.08.2001

220013, Минск, П. Бровки, 6