КАЗАХСКО-АМЕРИКАНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ÝËÅÊÒÐÎÍÍÛÅ, ÊÂÀÍÒÎÂÛÅ ÏÐÈÁÎÐÛ È ÌÈÊÐÎÝËÅÊÒÐÎÍÈÊÀ

Программа, методическое указание и контрольные задания (для студентов заочной формы обучения специальности 3805 – Радиосвязь, радиовещание и телевидение)

Алма-Ата 2001

 Введение

Электронные, квантовые приборы и микроэлектронные изделия являются основой практически всех радиоэлектронных и коммуникационных устройств и систем.

Задачей дисциплины “Электронные, квантовые приборы и микроэлектроника” является подготовка студентов к решению задач, связанных с рациональным выбором элементной базы при разработке радиоэлектронной и коммуникационной аппаратуры, квалифицированной эксплуатации микроэлектронной аппаратуры, а также приобретение навыков работы и знаний по работе с электронными приборами и микроэлектронными изделиями.

Дисциплина “Электронные, квантовые приборы и микроэлектроника” базируется на соответствующих разделах курсов математики, физики, теории электрических цепей.

Программа
курса “Электронные, квантовые приборы и микроэлектроника”

*Введение*

Классификация электронных, квантовых приборов и изделий микроэлектроники. Краткий исторический очерк развития электронной и микроэлектронной техники. Значение курса, как одного из базовых, для радиоэлектронных и коммуникационных специальностей.

Раздел 1. Полупроводниковые приборы

*1 Электропроводность полупроводников.*

Основные понятия зонной теории. Уровень Ферми для собственного и примесного полупроводников.

Концентрация подвижных носителей зарядов. Генерация, рекомбинация, время жизни носителей. Диффузионное и дрейфовое движения носителей, диффузионный и дрейфовый токи, уравнения диффузии и непрерывности.

*2 Физические процессы в электронно-дырочных переходах и контактах.*

Электронно-дырочный (p-n) переход в состоянии равновесия. Способы получения переходов. Энергетическая и потенциальная диаграммы, высота потенциального барьера, движение носителей, распределение зарядов и напряженности электрического поля в обедненном слое, ширина перехода.

Прямое и обратное включение p-n перехода. Инжекция и экстракция неосновных носителей, прямой и обратный токи.

Вольтамперная характеристика идеализированного электронно-дырочного перехода, влияние на нее температуры, концентрации примесей, генерации и рекомбинации носителей в области перехода. Вольтамперная характеристика реального электронно-дырочного перехода. Влияние сопротивлений областей при прямом включении. Пробой перехода. Тепловой, лавинный и туннельный пробои при обратном включении, влияние концентрации примесей.

Контакт металл-полупроводник при различных соотношениях работ выхода, контакт с барьером Шотки. Контакт полупроводников с различной шириной запрещенной зоны (гетеропереходы). Энергетические диаграммы контакта металл-полупроводник в состоянии равновесия. Вольтамперные характеристики переходов с барьером Шотки и гетеропереходов.

Статическое и дифференциальное сопротивления электронно-дырочного перехода. Барьерная и диффузионная емкости.

Принципы построения основных полупроводниковых приборов. Классификация полупроводниковых приборов по типу структуры. Приборы, основанные на различных объемных эффектах. Приборы с электронно-дырочными переходами. Приборы, основанные на контактах металл-полупроводник и металл-диэлектрик-полупроводник.

*3 Полупроводниковые диоды*

Классификация. Выпрямительные и детекторные диоды: назначение, устройство, основные параметры, влияние температуры. Стабилитроны, вольтамперная характеристика, параметры, назначение. Варикапы, варакторы, параметрические диоды: назначение, основные параметры. Импульсные диоды: назначение, параметры. Диоды с барьером Шотки, параметры, сравнение с обычными диодами, применения. Туннельные диоды, особенности устройства, вольтамперная характеристика, параметры, применения. Диоды со структурой p-i-n типа, принцип работы, параметры, применение.

*4 Биполярные транзисторы*

Устройство и принцип действия транзистора, назначение и способы изготовления. Схемы включения: с общей базой, общим эмиттером и общим коллектором. Режимы работы: активный, отсечки, насыщения, инверсный.

Работа транзистора в активном режиме. Потенциальная диаграмма. Инжекция неосновных носителей в эмиттерном переходе, движения носителей в базовой области, экстракция неосновных носителей в коллекторном переходе. Коэффициенты инжекции и передачи тока эмиттера. Связь между токами электродов. Распределение концентрации неосновных носителей в базе транзистора при различных включениях переходов.

Статические характеристики биполярных транзисторов в схемах с общей базой и общим эмиттером (входные, выходные, прямой передачи, обратной связи).

Эквивалентные схемы и параметры биполярных транзисторов. Физические параметры: коэффициенты передачи токов эмиттера и базы; дифференциальные сопротивления, барьерная и диффузионная емкости эмиттерного и коллекторного переходов; объемные сопротивления областей транзистора. Модель Эберса-Молла. Малосигнальные эквивалентные схемы: Т-образная и П-образная эквивалентные схемы. Транзистор как линейный четырехполюсник, системы его дифференциальных параметров и соответствующие эквивалентные схемы. Связь h-параметров с физическими параметрами.

Определение h-параметров по статистическим характеристикам.

Частотные свойства биполярных транзисторов. Граничные частоты. Предельные частоты коэффициентов передачи по току и мощности. Методы улучшения частотных свойств. Дрейфовые транзисторы. Особенности устройства высокочастотных и сверхвысокочастотных транзисторов.

Ключевой режим работы биполярных транзисторов. Импульсные транзисторы.

Предельно-допустимые эксплутационные параметры. Тепловые и электрические параметры. Механические и климатические воздействия. Влияние излучении на работу транзистора. Долговечность и экономичность.

Разброс параметров и характеристик, взаимозаменяемость транзистора.

*5 Полевые транзисторы*

Устройство и принцип действия. Классификация полевых транзисторов, технологические и конструктивные особенности. Полевые транзисторы с управляющим электронно-дырочным переходом и с изолированным затвором: режимы работы с обогащением и обеднением канала. Схемы включения с общим истоком, общим затвором и общим стоком. Статистические характеристики, триодная и пентодная области характеристик. Дифференциальные параметры: крутизна, внутреннее сопротивления и статический коэффициент усиления. Емкости. Эквивалентная схема. Частотные свойства. Области применения полевых транзисторов.

*6 Различные полупроводниковые приборы*

Тиристоры, устройства, классификация. Диодный тиристор, принцип работы, вольтамперная характеристика, статистические и импульсные параметры. Триодный тиристор, семейство вольтамперных характеристик, статические и импульсные параметры. Применение тиристоров.

Теплоэлектрические полупроводниковые приборы: термистор, болометр и термоэлемент: устройство, параметры, применение. Полупроводниковые резисторы и варисторы. Датчики Холла.

Шумы и шумовые параметры полупроводниковых приборов.

Раздел II. Оптоэлектронные и квантовые приборы

*Оптоэлектронные и квантовые приборы.*

Светоизлучатели и фотоприемники.

Фотоприемники. Фотопроводимость полупроводников. Фоторезистор, фотодиод, фототранзистор, фототиристор: устройство. принцип работы, характеристики, параметры, применение.

Светоизлучатели: лазеры и светодиоды. Устройство, принцип применения, параметры и характеристики светодиода.

Полупроводниковые лазеры. Принцип действия, параметры и характеристики. Достоинства полупроводниковых лазеров.

Оптроны: устройство, принцип работы, параметры, характеристики, разновидности и применение.

Индикаторы: жидкокристаллические, полупроводниковые и газоразрядные. Применение.

Раздел III. Микроэлектроника

*1 Технологические основы микроэлектроники*

Комплексная микроминиатюризация. Основная задача микроэлектроники. Классификация изделий микроэлектроники.

Базовые технологические процессы изготовления полупроводниковых интегральных микросхем (ИМС) (эпитаксия, термическое окисление, диффузия, ионное легирование, фотолитография, металлизация).

Диоды полупроводниковых ИМС. Диодное включение транзисторов.

Многоэмиттерные и многоколлекторные транзисторы, транзисторы с барьером Шотки. Горизонтальные и вертикальные р-n-р транзисторы и супербета-транзисторы.

МДП с одним типом кандалов (n-МДП, p-МДП) и с двумя типами каналов (комплементарные КМДП). Особенности этих схем.

Параметры и характеристики пассивных элементов полупроводниковых ИМС (диффузионных и ионно-легированных резисторов, диффузионных и МДП конденсаторов) и отличие их от соответствующих параметров и характеристик дискретных резисторов и конденсаторов.

Температурные коэффициенты сопротивлений и емкостей пассивных элементов полупроводниковых ИМС, их основные отличия от дискретных пассивных компонентов.

Способы изоляции между компонентами ИМС и их особенности.

Способ изоляции элементов в полупроводниковых ИМС, выполненных на основе биполярных структур и последовательность технологических операций при их изготовлении.

Гибридные интегральные микросхемы (микросборки). Особенности толстопленочных и тонкопленочных ИМС, а также параметры и характеристики их пассивных элементов (резисторов, конденсаторов, индуктивностей).

Основные этапы сборки и типы корпусов для полупроводниковых и гибридных ИМС.

*2 Аналоговые микросхемы.*

Операционный усилитель (ОУ). Выполнение аналоговых функций (усиление, сравнение, ограничение, частотная фильтрация, суммирование, интегрирование, дифференцирование и др.).

Три каскада интегральных ОУ: входной, промежуточный и выходной. Базовые цепи генераторов стабильного тока или стабилизаторов тока. Каскады сдвига уровня и выходные каскады.

Дифференциальный каскад (ДК). Идентичность параметров транзисторов и нагрузочных резисторов.

Параметры и характеристики ОУ.

Основной принцип применения ОУ – включение глубокой отрицательной обратной связи (ООС).

*3 Цифровые ИМС.*

Основные виды цифровых ИМС: РТЛ, ДТЛ, ТТЛ и др. Системы параметров интегральных логических элементов.

Логические элементы с барьером Шотки и логические элементы на основе переключателей тока.

МДП транзисторные ключи. Транзисторные ключи на комплементарных структурах (КМДП).

Интегральные логические элементы с инжекционным питанием (И2Л).

Принципы построения триггеров и их типы. Триггер элементарная ячейка запоминающих устройств. Типы запоминающих устройств и их основные параметры.

*4 Большие и сверхбольшие интегральные схемы (БИС и СБИС)*

Повышение степени интеграции основная тенденция развития микроэлектроники.

Пути повышения степени интеграции и проблемы, связанные с созданием БИС и СБИС.

Особенности базовых элементов БИС и СБИС (n-МДП, КМДП, И2Л).

Приборы с зарядовой связью (ПЗС).

Базовые матричные кристаллы при создании БИС и СБИС частного применения.

Микропроцессоры, однокристальные микро-ЭВМ, цифро-аналоговые и аналого-цифровые преобразователи (АЦП, ЦАП).

Перспективы развития микроэлектроники

Функциональная микроэлектроника. Оптоэлектроника, акустоэлектроника, магнетоэлектроника, биоэлектроника и др.

Содержание лекций

1 Цели и задачи курса “Электронные, квантовые приборы и микроэлектроника”. Физика полупроводников. p-n- переходы. Полупроводниковые диоды. Разновидности и характеристики.

2 Транзисторы. Принцип действия, разновидности и характеристики.

3 Полевые транзисторы. Принцип действия, разновидности и характеристики.

4 Тиристоры. Принцип действия, разновидности и характеристики.

5 Комплексная микроминиатюризация РЭА. Основная задача микроэлектроники. Классификация изделий микроэлектроники.

6 Основные технологические операции изготовления ИМС. Формирование структур полупроводниковых ИМС. Изготовление гибридных ИMС.

7 Виды аналоговых ИМС. Изготовление дифференциальных усилителей. Операционные усилители.

8 Виды цифровых ИМС. Базовые логические элементы. Интегральные триггеры. Элементы запоминающих устройств. Большие и сверхбольшие интегральные схемы. Перспективы развития микроэлектроники.

Перечень лабораторных работ

1 Исследование полупроводниковых диодов различных типов.

2 Исследование статических характеристик биполярных транзисторов.

3 Исследование цифровых ИМС.

4 Исследование топологии ИМС.

Методические указания

к изучению курса “Электронные, квантовые приборы и
микроэлектроника“

*1 Общие указания*

В соответствии с учебным планом курса “Электронные, квантовые приборы и микроэлектроника” студент обязан выполнить контрольную работу, ответить на контрольные вопросы, выполнить лабораторный практикум и сдать экзамен. К сдаче экзамена студент допускается при предъявлении экзаменатору выполненных и зачтенных контрольных работ.

Основной формой изучения курса является самостоятельное изучение рекомендованной литературы. Очные виды занятий являются дополнительной формой в помощь самостоятельной работе студентов по изучению курса.

Кафедра рекомендует вести краткий конспект изучаемого учебного материала. После изучения каждого раздела необходимо ответить на контрольные вопросы и выполнить контрольные задания. На два контрольных вопроса (по разделу II – один) из каждого раздела (согласно шифра, см. задачу № 1 контрольного задания) ответы следует дать в письменной форме.

В приведенных ниже методических указаниях даются ссылки на основные литературы [1, 2]. Однако, для изучения программы курса можно пользоваться и списком дополнительной литературы.

Дополнительной литературой можно также пользоваться для более углубленного изучения отдельных пунктов или разделов программы или в случае отсутствия книг основной литературы.

*Методические указания по разделам курса*

Раздел 1. Полупроводниковые приборы

*1 Электрические свойства полупроводников*

[1], с. 29-42;

В этом пункте рассматриваются физические основы полупроводников. Нужно вспомнить основные положения квантовой механики из курса физики: основы зонной теории, статистика Ферми-Дирака, уровень Ферми и его зависимость от концентрации примесей в полупроводниках и температуры. Следует уяснить способы построения энергетических уровней собственных и примесных полупроводников. Нужно различить диффузионный и дрейфовый токи.

*2 Физические процессы в электронно-дырочных переходах и контактах*

[1], с. 42-55;

Материал этого пункта надо тщательно изучить, так как он является чрезвычайно важным для понимания работы всех полупроводниковых приборов. Необходимо изучить свойства p-n переходов, их энергетические и потенциальные диаграммы.

Надо знать уравнение вольтамперной характеристики, отличие теоретической характеристики от реальной, виды пробоев p-n перехода. Изобразить эквивалентную схему p-n перехода и дать физическое объяснение наличия барьерной и диффузионной емкостей перехода.

Необходимо знать принцип действия контакта металл-полупроводник (барьер Шотки).

*3 Полупроводниковые диоды*

[1], c. 56-92;

*4 Биполярные транзисторы*

[1], c. 93-175;

*5 Полевые транзисторы*

[1], с. 183-211.

Надо усвоить устройство и принцип действия полевых транзисторов с управляемым p-n переходом, знать их статическое характеристики и дифференциальные параметры.

Следует разобраться с принципом действия, структурой и особенностями полевых транзисторов с изолированными затворами (МДП-транзисторы), их разновидностями; МДП с индуцированным и встроенным каналами. Необходимо знать режимы обеднения и обогащения этих транзисторов и какие из них могут работать в том или ином режиме. Все это необходимо проиллюстрировать на физике процессов, а также с помощью статических характеристик транзисторов.

Следует знать схемы включения, дифференциальные малосигнальные параметры и эквивалентные схемы полевых транзисторов.

Необходимо иметь представление о приборах с зарядовой связью.

Этот материал можно найти в [4].

*6 Различные полупроводниковые приборы*

[1], c.175-182;

В этом пункте основное внимание уделяется устройству тиристоров. Нужно знать устройство и принцип действия диодного и триодного тиристора. Нужно также уяснить работу теплоэлектрических приборов, полупроводниковых резисторов и варисторов.

Шумы и надежность электронных приборов [1], с. 158-165, 19-22;

Контрольные вопросы к I-разделу

Укажите роль электронных приборов и изделий микроэлектроники в подготовке специалистов Вашего профиля.

Начертите диаграммы энергетических зон собственного и примесного полупроводников и объясните характер электропроводности в полупроводниках.

Что такое диффузионный и дрейфовый токи?

Почему резко снижается концентрация подвижных носителей заряда в приконтактной области двух полупроводников с разными типом проводимости?

Начертите потенциальную диаграмму (или диаграмму энергетических уровней) p-n перехода в равновесном состоянии.

Начертите потенциальную диаграмму (или диаграмму энергетических уровней) p-n перехода при прямом включении.

Начертите потенциальную диаграмму (или диаграмму энергетических уровней) p-n перехода при обратном включении.

Чем отличается реальная вольтамперная характеристика p-n перехода от теоретической?

Какие виды пробоя p-n перехода вы знаете?

Что такое зарядная емкость p-n перехода?

Что такое диффузионная емкость p-n перехода?

Дайте классификацию полупроводниковых приборов по технологии изготовления и по типу структуры.

Как называются приборы, основанные на контакте металл-полупроводник?

Дайте классификацию диодов по конструктивным особенностям и применению.

Каково устройство и принцип действия полупроводникового диода?

Объясните устройство стабилитрона и его включение в схему.

Каковы особенности работы диодов в импульсном режиме?

Дайте классификацию транзисторов по конструкции и их применению.

Начертите схемы включения транзистора с общей базой, с общим эмиттером и с общим коллектором?

В чём заключается особенности режимов: активного, отсечки и насыщения?

Расскажите принцип действия биполярного транзистора.

Дайте сравнение усилительных свойств транзисторов в разных схемах включений.

Изобразите статистические характеристики транзисторов и объясните ход их изменения.

Какие системы параметров транзисторов Вам известны и какая связь между ними?

Изобразите эквивалентные низкочастотные Т-образные схемы транзистора.

Что такое предельная частота, граничная частота усиления тока базы?

Нарисуйте диаграмму коллекторного тока при импульсном режиме работы.

Каков принцип действия полевого транзистора с управляющим p-n переходом?

Нарисуйте схему устройства транзистора с изолированным затвором и объясните его принцип действия.

Изобразите три схемы включения полевого транзистора. Нарисуйте семейство статических (выходных и передаточных) характеристик.

Что такое прибор с зарядовой связью?

Объясните принцип действия динистора.

Объясните вольтамперную характеристику динистора.

Назовите параметры тиристоров.

Объясните принцип действия полупроводниковых резисторов, варисторов.

Объясните принцип действия датчика Холла.

Назовите виды шумов в транзисторе.

Как определяется долговечность прибора?

Что такое интенсивность отказов?

Как влияет режим на надежность полупроводниковых приборов?

Раздел II. Оптоэлектронные и квантовые приборы

[1], с, 313-327, 356-371;

Данная тема является одним из перспективных направлений развития электроники. Поэтому необходимо уяснить достоинства оптоэлектронных приборов вообще, и оптронов в частности. Краткие сведения по оптронам можно найти в [1] и [4], по индикаторам в [1]. Более полные сведения по ним можно найти в дополнительной литературе [9].

Контрольные вопросы по разделу II

Основные достоинства оптоэлектронных приборов.

Устройство оптрона и основные его узлы.

Светоизлучатели. Основные требования к ним.

Светодиоды. !принцип цействия, характеристики, параметры.

Оптическая среда. назначение, требования к ней.

Фотоприемники. Характеристики и параметры.

Принцип действия фоторезистора, Характеристики и параметры.

Принцип действия и устройство Фотодиода. Фотогенераторный

режим.

Фотопреобразовательный режим фотодиода.

Способы повышения коэффициента передачи тока оптронов.

Фототранзисторы и фототиристоры. Принцип работы и выходные характеристики,

Классификация оптронов. Условные обозначения.

Сравнительная характеристика.

Характеристики оптронов.

Параметры оптронов.

Применение оптронов.

Принцип действия полупроводниковых индикаторов

Жидкокристалические индикаторы. Принцип действия и разновидности.

Газоразрядные индикаторы и плазменные панели.

Применение индикаторов.

Полупроводниковые лазеры. Принцип действия, характеристики и особенности.

Раздел III. Микроэлектроника

*1 Технологические основы микроэлектроники*

Средством решения проблемы увеличения надежности, снижения стоимости, массогабаритных показателей и энергопотребления РЭА является комплексная миниатюризация, в широком смысле означающая системный подход к применению в аппаратуре средств микроэлектроники, а в прикладном смысле – метод создания аппаратуры, при котором все ее узлы, блоки и устройства выполнены на базе изделий микроэлектроники. Следует уяснить, что основная задача микроэлектроники – решение вопросов надежности микроэлектронных устройств, состоящих из большого количества элементов. Это и есть – «Тирания большого количества».

Классификация изделий микроэлектроники приведена в [2, с.27-32].

Основным видом изделий микроэлектроники являются ИМС, которые могут быть квалифицированы по технологии изготовления, степени интеграции, функциональному назначению и по применяемости в аппаратуре. Подробно см. [2, с. 23-38].

Базовые технологические процессы изготовления полупроводниковых ИМС (эпитаксия, термическое окисление, диффузия, ионное легирование, фотолитография, металлизация) достаточно полно и компактно описаны в [2, с. 55-78]. Усвойте назначение каждого из базовых процессов, а также умейте без излишней детализации объяснить их сущность.

Основу биполярных полупроводниковых ИМС составляют n-p-n транзисторы. Отличия параметров и характеристик интегрального n-p-n транзистора от дискретного определяются расположением всех трех выводов на одной поверхности, а также влиянием подложки. Обратите внимание на способы улучшения параметров интегрального n-p-n транзистора, в частности, введение скрытого n-слоя.

Диоды полупроводниковых ИМС реализуются на основе n-p-n транзисторов, причем их параметры зависят от схемы включения транзистора в качестве диода.

Весьма важно для понимания принципов построения современных полупроводниковых цифровых ИМС разобраться с устройством и особенностями активных структур, не имеющих дискретных аналогов: многоэмиттерных и многоколлекторных транзисторов, транзисторов с барьером Шотки.

Обратите внимание на проблему реализации p-n-p транзисторов на одной подложке с основными n-p-n транзисторами, поймите отличия горизонтального и вертикального p-n-p транзисторов. Такие элементы наряду с супербета-транзисторами широко используются в полупроводниковых ИМС. Все перечисленные элементы ИМС подробно описаны в [2, с. 89-103].

В МДП ИМС используются структуры с одним типом кандалов (n-МДП, p-МДП) или двумя типами каналов (комплементарные, КМДП). Необходимо ясно понимать, что важным преимуществом МДП ИМС по сравнению с биполярными ИМС является упрощение технологии изготовления и соответственно больший процент выхода годных изделий и меньшая стоимость. МДП активные элементы занимают значительно меньшую площадь на подложке и позволяют реализовать ИМС с очень высокой степенью интеграции при малой потребляемой мощности. Обратите внимание на устройство и особенности КМДП ИМС, являющихся в настоящее время одним из наиболее перспективных типов ИМС. Данные вопросы достаточно кратко и понятно рассмотрены в [2, с. 103-112, 138-145].

Параметры и характеристики пассивных элементов полупроводниковых ИМС (диффузионных и ионно-легированных резисторов, диффузионных и МДП конденсаторов) существенно отличаются от соответствующих параметров и характеристик дискретных резисторов и конденсаторов.

Необходимо знать порядок температурных коэффициентов сопротивлений и емкостей пассивных элементов полупроводниковых ИМС, их основные отличия от дискретных пассивных компонентов и уметь изобразить простейшие модели (эквивалентные схемы), учитывающие паразитные эффекты. Особое внимание уделите МДП конденсаторам, широко используемым в самых новейших разработках дискретно-аналоговых МДП БИС. Следует также понимать, что, несмотря на большой разброс номиналов полупроводниковых резисторов и конденсаторов, отношения номиналов в пределах кристалла выдерживаются с достаточно высокой точностью (0,5...3%). Пассивные компоненты полупроводниковых ИМС подробно описаны в [2, с.116-127]. При изучении элементов полупроводниковых ИМС усвойте способы изоляции между ними и их особенности.

Способ изоляции элементов в полупроводниковых ИМС, выполненных на основе биполярных структур, во многом определяет как предельно достижимые параметры и характеристики ИМС, так и последовательность технологических операций при их изготовлении. Следует понимать, что в полупроводниковых ИМС на МДП структурах изоляция между элементами не требуется.

Известные способы изоляции между элементами разделяются на два главных типа: изоляция обратно смещенным p-n переходом и изоляция диэлектриком.

Гибридные интегральные микросхемы (микросборки) представляют собой комбинацию пленочных пассивных элементов и дискретных активных компонентов, расположенных на общей диэлектрической подложке. В настоящее время в качестве дискретных активных элементов, кроме бескорпусных транзисторов и диодов, широко используют полупроводниковые ИМС различной степени интеграции, в частности, операционные усилители, триггеры, регистры и т.д. Таким образом, гибридные ИМС представляют собой не только функциональные узлы (усилители, звенья фильтров и т.д.), но и целые блоки устройства РЭА. Аналогом гибридной ИМС в МЭА третьего поколения является печатная плата, заполненная компонентами в виде корпусированных ИМС.

Использование гибридных ИМС в РЭА четвертого поколения позволяет резко уменьшить массогабаритные параметры и повысить надежность.

При изучении гибридных ИМС обратите внимание на особенности толстопленочных и тонкопленочных ИМС, а также параметры и характеристики их пассивных элементов (резисторов, конденсаторов, индуктивностей). Этот материал достаточно подробно изложен в [2, с. 115-202]. Методы получения толстых и тонких пленок приведены в [2, с. 195-172].

Особое внимание уделите изучению вопросов расчета и проектирования гибридных ИMС, необходимых для успешного выполнения третьей задачи контрольной работы [2, с. 203-216].

Основные этапы сборки и типы корпусов для полупроводниковых и гибридных ИМС рассмотрены в [2, с. 145-148, 198-202].

*2 Аналоговые ИМС*

Номенклатура современных аналоговых ИМС обширна и разнообразна по функциональному назначению [2, с. 284-288].

Наиболее распространенным типом многофункциональных аналоговых ИМС является операционный усилитель (ОУ), с помощью которого возможно выполнение всех аналоговых функций (усиление, сравнение, ограничение, частотная фильтрация, суммирование, интегрирование, дифференцирование и др.) [2, с. 288-290];

Для успешного изучения устройства ОУ предварительно познакомьтесь с базовыми цепями аналоговых ИМС.

Широкое применение в аналоговых ИМС нашли базовые цепи генераторов стабильного тока или стабилизаторов тока. Необходимо понять назначение таких цепей, знать их вольтамперную характеристику и уметь пояснить принцип стабилизации тока как в простейших стабилизаторах, так и в "отражателях тока".

Разберитесь без особой детализации с назначением и принципом действия каскада сдвига уровня и выходных каскадов.

Важнейшей базовой цепью аналоговых ИМС, в полной мере использующей основные преимущества интегральной технологии, является дифференциальный каскад (ДК). Идентичность параметров транзисторов и нагрузочных резисторов в обоих плечах ДК, а также близость расположения элементов на подложке ИМС позволяют обеспечить параметры, недостижимые при использовании дискретных компонентов. Ознакомьтесь с принципом действия и основными параметрами ДК, обратив особое внимание на выражения для коэффициента подавления синфазной составляющей сигнала и коэффициента усиления дифференциальной составляющей сигнала.

Современные интегральные ОУ содержат три каскада: входной, промежуточный и выходной. Входной каскад всегда является дифференциальным каскадом, промежуточный – каскадом сдвига уровня и выходной –эмиттерный повторитель на комплементарных транзисторах [2, с. 288-291] .

Необходимо иметь ясное представление о параметрах и характеристиках ОУ. Наряду с параметрами ОУ*,* определенными входным дифференциальным каскадом, следует понимать параметры, характеризующие его частотные свойства. Граничная частота или частота единичного усиления, составляющая для современных ОУ десятки МГц, определяется при коэффициенте усиления, равном единице [2, с. 289-291].

Обратите внимание на основной принцип применения ОУ – включение глубокой отрицательной обратной связи (ООС), позволяющей за счет избыточного коэффициента усиления обеспечить независимость параметров функционального узла от параметров ОУ. Вчастности, при введении сопротивления ООС коэффициент усиления определяется отношением резисторов на входе и в цепи ООС. Основные сведения об ОУ и принципах их применения содержатся в [2, с. 284-292].

*3 Цифровые ИМС*

Базовыми ячейками всех цифровых ИМС являются логические элементы, выполняющие логические операции И-НЕ, ИЛИ-НЕ [2, с. 260-262].

Особое внимание уделите изучению системы параметров интегральных логических элементов [2, с. 263-266]. Основные статические параметры логического элемента могут быть определены из передаточной характеристики.

Воснову классификации ИМС логических элементов положено их схемотехническое построение [2, с. 266-271]. Значительно облегчит понимание особенностей каждого вида ИМС логических элементов предварительное рассмотрение статического и динамического режимов простейших логических элементов.

Необходимо понимать причины ограничения быстродействия логических элементов. Основным способом повышения быстродействия является уменьшение степени насыщения транзисторов без изменения величины нагрузочных резисторов. Этот принцип реализуют логические элементы с барьером Шотки и логические элементы на основе переключателей тока.

При изучении МДП транзисторных ключей особое внимание уделите особенностям и преимуществам комплементарного ключа (КМДП).

Внастоящее время наибольшее распространение в ИМС малой и средней степени интеграции получили транзисторно-транзисторные (ТТЛ), транзисторно-транзисторные с барьером Шотки (ТТЛШ) и эмиттерно-связанные (ЭСЛ) интегральные логические элементы. Изучите схемы и особенности таких элементов, а также ориентировочные параметры каждого из них.

В больших интегральных схемах (БИС) широкое распространение получили МДП- и КМДП-интегральные логические элементы [2, с. 275-280], а также интегральные логические элементы с инжекционным питанием (И2Л). Особое внимание обратите на принципы работы схем И2Л, существенно отличающиеся от принципов работы других логических элементов. При изучении МДП-интегральных логических элементов помните, что наряду с элементами на ранее рассмотренных статических ключах иногда используются динамические элементы, имеющие определенные преимущества по потребляемой мощности.

Необходимо знать ориентировочные параметры всех типов интегральных логических элементов и уметь сравнить их между собой.

На основе интегральных логических элементов реализуются интегральные логические триггеры. Функциональное отличие триггера от логического элемента состоит в том, что триггер обладает двумя устойчивыми состояниями по каждому из выходов. Перевод триггера из одного устойчивого состояния в другое возможны при определенной логической комбинации входных сигналов. По логической структуре переключения различают типы триггеров. Необходимо знать принципы их построения и типы.

Триггер является элементарной ячейкой запоминающих устройств. Следует различать типы запоминающих устройств и их основные параметры.

Разнообразие видов триггеров объясняется их применением для построения арифметических и логических устройств.

Дальнейшее совершенствование цифровых ИМС с целью улучшения технико-экономических показателей возможно за счет схемотехнических и технологических приемов [2, с. 281-284].

*4 Большие и сверхбольшие интегральные схемы (БИС и СБИС)*

Повышение степени интеграции является основной тенденцией развития микроэлектроники, так как использование БИС сопровождается резким улучшением всех основных показателей аппаратуры.

Пути повышения степени интеграции и проблемы, связанные с созданием БИС и СБИС, подробно рассмотрены в [2].

В цифровых БИС находят применение базовые ячейки, занимающие малую площадь на подложке и обладающие минимальной потребляемой мощностью (n-МДП, КМДП, И2Л).

В настоящее время для создания БИС и СБИС начали использовать функционально-интегрированные структуры, в частности, приборы с зарядовой связью (ПЗС).

Увеличение степени интеграции приводит к резкому сужению сферы применения БИС и СБИС, что делает их производство экономически нецелесообразным. Исключение составляют БИС и ОБИС для средств вычислительной техники. Использование базовых матричных кристаллов при создании БИС и СБИС частного применения снимает экономические ограничения.

Широкое использование средств вычислительной техники и цифровой обработки сигналов стимулируется созданием цифровых БИС микропроцессоров, однокристальных микро-ЭВМ, цифро-аналоговых и аналого-цифровых преобразователей (АЦП, ЦАП). Начальные сведения о таких БИС содержатся в [2, с. 221-241, 298-302]. Особое внимание при изучении раздела обратите на структуру и основные возможности микропроцессоров, являющихся наиболее сложными и универсальными БИС [2, с. 198-302].

*Перспективы развития микроэлектроники*

Основные усилия разработчиков ИМС направлены на усовершенствование уже сложившихся принципов создания ИМС, на улучшение их электрических и эксплуатационных характеристик. Работы ведутся, главным образом, в направлении повышения быстродействия схем (уменьшения энергии, расходуемой внешним источником на одно переключение логического устройства) и их степени интеграции. Решение этих проблем связывают с усовершенствованием технологии получения микроэлектронных структур минимально возможных размеров [2, с. 345, 375-380].

Дальнейшее развития микроэлектроники связано с принципиально новым подходом, позволяющим реализовать определенную функцию аппаратуры без применения стандартных базовых элементов, используя различные физические эффекты в твердом теле. Такое направление получило название "функциональная микроэлектроника". Используются оптические явления (оптоэлектроника), взаимодействие электронов с акустическими волнами в твердом теле (акустоэлектроника), эффекты в новых магнитных материалах (магнетоэлектроника), электрические неоднородности в однородных полупроводниках, явление холодной эмиссии в пленочных структурах, явления живой природы на молекулярном уровне (бионика, биоэлектроника, нейристорная электрониа) и др. Подробно основные направления функциональной микроэлектроники рассмотрены в [2, с. 345-375].

Контрольные вопросы к разделу III

Поясните понятие надежности компонентов РЭА, дайте определения понятиям "вероятность безотказной работы" и "интенсивность отказов". Что означает термин «Тирания больших количеств».

Перечислите и поясните базовые физико-химические процессы создания полупроводниковых микроэлектронных структур.

Приведите последовательность технологических операций по изготовлению полупроводниковых биполярных ИМС.

Приведите последовательность технологических операций по изготовлению МДП ИМС.

Каким образом осуществляется сборка и герметизация полупроводниковых ИМС, какие типы корпусов Вы знаете?

Изобразите конструкцию биполярной ИМС с изоляцией между элементами обратно смещенными p-n переходами.

Изобразите конструкцию биполярной ИМС с диэлектрической изоляцией между элементами.

Перечислите основные преимущества и недостатки ИМС с диэлектрической изоляцией между элементами.

Изобразите устройство интегрального n-p-n транзистора, поясните основные отличия от аналогичного дискретного транзистора.

Изобразите устройство многоэмиттерного и многоколлекторного транзисторов, поясните их основные особенности.

Изобразите устройство горизонтального и вертикального p-n-p транзисторов, поясните их основные особенности.

Изобразите схемы включения транзистора в качестве диода, приведите основные параметры для каждой из схем включения.

Изобразите устройство КМДП структуры, поясните основные особенности и преимущества.

Перечислите и объясните основные преимущества и недостатки КМДП ИМС по сравнению с биполярными ИМС.

Изобразите устройство диффузионного резистора, приведите его основные параметры.

Изобразите устройство диффузионного конденсатора на основе обратно смещенного p-n перехода, приведите его основные параметры.

Изобразите устройство МДП конденсатора, поясните его основные преимущества по сравнению с диффузионными конденсаторами.

Поясните устройство гибридной ИМС (микросборки).

Перечислите преимущества и недостатки толстопленочных и тонкопленочных гибридных ИМС (микросборок).

Изобразите и поясните возможные конструкции пленочных резисторов, конденсаторов и индуктивностей.

Изобразите и поясните конструкцию типовой гибридной ИМС (микросборки); укажите, какие виды корпусов и материалы подложки используются.

Перечислите основные методы нанесения тонких пленок, поясните основные преимущества и недостатки каждого из методов.

Назовите основные тенденции совершенствования ИМС.

Перечислите виды аналоговых ИМС по выполняемым функциям.

Дайте определение понятия "интегральный операционный усилитель". Из каких основных каскадов он состоит?

Изобразите схему дифференциального каскада, поясните принцип действия.

Изобразите схему каскада сдвига уровня, поясните принцип действия.

Изобразите схему простейшего стабилизатора тока и поясните принцип действия.

Поясните принцип построения выходного каскада ОУ и его назначение.

Поясните принцип стабилизации параметров устройств на ОУ с помощью введения цепи отрицательной обратной связи.

Почему ОУ называют многофункциональной аналоговой ИС?

Перечислите простейшие логические функции, напишите их таблицы истинности. Какие логические функции выполняют интегральные логические элементы?

Перечислите и поясните основные параметры интегральных логических элементов.

Поясните увеличение быстродействия в логических элементах и на переключателях тока.

Изобразите схемы ТТЛ и ТТЛШ и поясните принцип действия.

Изобразите схемы ЭСЛ и И2Л и поясните принцип действия.

Изобразите схемы МДПЛ и КМДПЛ и поясните принцип действия.

Сравните основные типы интегральных логических элементов по быстродействию и потреблению.

Дайте определение понятию "большая интегральная схема (БИC)".

В чем заключаются принципиальные преимущества БИС?

Перечислите основные проблемы, возникающие при повышении степени интеграции ИМС.

Перечислите основные виды универсальных БИС.

Дайте определение понятия "микропроцессор", поясните, из каких основных узлов он состоит.

Поясните назначение БИС цифро-аналоговых и аналого-цифровых преобразователей.

Дайте определение понятию "функциональная микроэлектроника".

Какие физические явления используются в функциональной микроэлектронике?

Перечислите типы оптоэлектронных ИМС, поясните устройство и принцип действия.

Дайте определение понятию "акустоэлектроника"; поясните, какие приборы реализуются средствами акустоэлектроники.

Что такое "хемотроника", каковы основные направления ее развития?

Что такое "биоэлектроника", каковы перспективы ее развития?

Контрольное задание

Общие указания по выполнению контрольных заданий

1. Перед выполнением контрольной работы необходимо проработать соответствующий теоретический материал и ознакомиться с методическими указаниями к соответствующей контрольной работы.

2. В случае затруднения, возникшего при решении задач, студент может обратиться на кафедру за устной или письменной консультацией.

3. Письменные ответы на контрольные вопросы должны быть четкими и ясными, по возможности краткими.

4. Контрольные работы должны быть аккуратно оформлены: пронумерованы страницы, указаны номера рисунков и таблиц, оставлены поля, для заметок преподавателя.

Небрежно оформленная работа может быть возвращена без рецензирования.

5. Все графические построения выполняются аккуратно карандашом на миллиметровой бумаге с указанием масштаба и размерностей по осям согласно ГОСТ.

Если графическому построению предшествуют расчет, то расчетные данные сводятся в таблицу.

Все величины, определяемые из графика, должны быть отмечены на графике.

6. В конце работы следует привести список использованной литературы и расписаться, указав дату выполнения.

7. Исправления не зачтенной работы производятся на чистых листах не зачтенной работы или новая тетрадь подшивается к старой и совместно с рецензией высылается на повторную рецензию.

Контрольное задание состоит из двух задач.

Задача №1

Ответить на два (по разделу II – один) контрольных вопроса из каждого раздела курса. Выбор вариантов осуществляются согласно первой букве фамилии студента и последней цифре номера зачетной книжки по таблице 1.

Задача № 2.

Рассчитать режим по постоянному и переменному току транзистора с общим эмиттером (ОЭ), работающего на активную нагрузку и управляемого от генератора синусоидального тока.

*Задано:*

1) семейства статических входных и выходных характеристик транзистора, по табл. 2 (соответствующие характеристики находятся по справочной литературе, например, по 10,11);

Таблица 2

|  |  |
| --- | --- |
| Параметр | Первая буква фамилий студента |
| А, Д | Б, Е | В, Г, Я | Ж, З, И | Л, К | М, О | Н, П | С, Ч, Ф | Р, Т, У | Х, Ц, Ш, Щ, Э, Ю |
| Тип транзистора | ГТ308 | МП25 | КТ 361 | КТ 312А | МП 118 | КТ 315 | КТ 375А | КТ 312Б | КТ 361Д | КТ 201А |

2) напряжение коллекторного питания – ЕК,

3) сопротивление коллекторной нагрузки – RK,

4) амплитуда переменной составляющей базового тока – IБМ. .

Значения ЕК, RK, IБМ­ – выбираются согласно шифра студента по таблицам 3, 4.

*Требуется:*

1. Перерисовать статические характеристики транзистора и построить на них динамические (нагрузочные) характеристики.

Таблица 3

|  |  |
| --- | --- |
| Параметр | Последняя цифра номера зачетной книжки |
|  | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| ЕК, ВRK, кОм | 10  0,5 | 12 0,6 | 15 0,75 | 18 1,0 | 20 1,0 | 10  1,0 | 12 1,2 | 15 1,5  | 18 1,8 | 20 2,0 |

Таблица 4

|  |  |
| --- | --- |
| Параметр | Предпоследняя цифра номера зачетной книжки |
|  | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| БМ,мкА | 50 | 75 | 100 | 50 | 75 | 100 | 50 | 75 | 100 | 150 |

2. Исходя из условия оптимального (неискаженного) усиления выбрать рабочую точку на входной и выходной характеристиках.

3. Указать пределы изменения входных и выходных токов и напряжений, соответствующих БМ.

4. Определить в рабочей точке параметры h11, h12, h21, h22, k, k.

Методические указания по выполнению контрольного задания

Письменные ответы на контрольные вопросы следует давать после изучения соответствующей темы курса.

Расчетную часть контрольного задания (задачи 2,3) необходимо выполнять после изучения тем 4 I-раздела и 1 III-раздела курса. Построение рабочих (нагрузочных) характеристик и определение параметров по характеристикам показано в [1] (стр.148-155). Следует обратить внимание на то, что статистические входные характеристики, снятые при разных значениях VК, располагаются близко друг другу. Это позволяет, с достаточной степенью точности, принимать одну из статистических входных характеристик за рабочую динамическую входную характеристику.

Ниже на примере показано последовательность расчетов и построений для задачи № 2.

*Пример расчета задачи 2*

Пусть исходными данными для расчета будут: ЕК = 20 В; RК = 1 кОм; IБМ= 50 мкА. Тип транзистора – КТ312Б.

Расчет начнем с выбора рабочей точки на выходной динамической характеристике или нагрузочной линии (НЛ). Уравнение НЛ описывается выражением:

ЕК = VК + IК RК или IК = (ЕК -VК )/ RК,

где VК, IК – напряжение и ток коллектора.

Срисовывая из справочника [10] семейство выходных статистических характеристик транзистора КТ312Б, строим на нем нагрузочную линию, ордината которой при VК = ЕК (см.рис.3). Поскольку нагрузка RК является чисто активной, то соединение прямой этих двух точек и дает НЛ.

На полученной НЛ необходимо выбрать положение рабочей точки (РТ), что практически сводится к определению тока и напряжения коллектора при отсутствии входного переменного сигнала. Для этого предварительно отметим все точки пересечения НЛ со статическими выходными характеристиками (1÷5), построенными для различных значений базового тока (0÷0,4 мА). Как видно из построений, заданную амплитуду (по условиями задачи) базового тока IБМ= 0,05 мА (с двойным размахом в 0,1 мА) можно разместить в промежутке между любыми из соседних характеристик, поскольку они как раз и отличаются на 0,1 мА. Чаще всего выбирают такое значение базового

Рис. 3

тока, которые соответствует середине НЛ, т.е. в точке 3 с IБ =0,2 мА. Так можно поступить и студентам, выполняющим данное контрольное задание. Однако мы здесь рассмотрим более обобщенный случай, когда реализуется более эффективный режим усиления с наименьшими искажениями и рассеиваемой мощностью. Например, если учесть что, во-первых, верхние характеристики располагаются более близко, чем нижние (сравните промежутки между точками 1-2 и 4-5), а во-вторых, верхние толчки (3÷5) соответствуют сравнительно большим значениям коллекторного и базового токов, следовательно, большей рассеиваемой мощности, то желательно находиться между точками 1-2.

Однако указанные точки, в особенности, точка 1, соответствующая IБ= 0, находится на самом нижнем нелинейном участке входной характеристики (рис. 4, перерисовано со справочника), в связи с чем, пределы изменения базового тока необходимо сместить несколько выше, к примеру, к окрестности точки 2. Однако в справочнике характеристики приведены с дискретностью IБ =0,1 мА и отсутствуют характеристики, соответствующие к изменению IБ = 0,05 мА. Это положение можно легко подправить, если считать, что одинаковым их изменениям IБ соответствуют одинаковые изменения IК. Практически это сводится к тому, что в промежутке между выходными характеристиками для IБ = 0,1 мА и IБ = 0,2 мА, а также для IБ = 0 и IБ = 0,1 мА, по середине, проводим характеристики для IБ = 0,15 мА и IБ = 0,05 мА (см. штриховые линии).

 Точки пересечения этих линии с НЛ отметим точками 1' и 2', что и будет показывать пределы изменения рабочей точки.

По построенным характеристикам рабочая точка будет находиться в точке 2, как на выходной, так и на входной характеристиках[[1]](#footnote-1)\*. Их координаты по выходной характеристике (рис. 3):

 VК0 = 12,2 ≈ 12 В;

 IК0 = 7,5 мА;

по входной характеристике (рис. 3):

 VБ0 = 0,75 В;

 IБ0 = 0,1 мА.

Имея постоянную составляющую IБО= 0,1 мА, строим на этом уровне изменение базового тока iБ(t), т. е. сумму переменного и постоянного составляющих (на рис.3 заштриховано). Соответствующее изменение базового напряжения, с пределами изменения VБмин и VБмах на уровне VБ0, показана на нижней части этого рисунка.

Аналогичное построение осуществляется и на выходной характеристике транзистора относительно уровней IК0 и VК0 c амплитудами IКМ и VКМ.

Параметрами переменного сигнала на входе и на выходе являются соответственно IБМ, VБМ и IКМ, VКМ.

При определении IКМ, VКМ, а также VБМ, следует обратить внимание на то, что полуволны этих величин не одинаковы. Это приводит к тому, что усиление сопровождается искажениями (при равной амплитуде положительной и отрицательной полуволн базового тока, амплитуды коллекторного тока и коллекторного и базового напряжений неодинаковы). Поэтому желательно, чтобы величины IКМ, VКМ, и VБМ были усреднены, т. е.:

IКМ = 2,9 мА;

VКМ = = 2,85 В;

VБМ = = 0,04 В;

Используя найденные величины, а также значения 2⋅ и 2⋅ (см. рис.3), находим h-параметры и коэффициенты усиления по току КI и напряжению KU:

h11Э = 0,8 кОм; h12Э = ;

h21Э = 70; h22Э = ≈ 0,26 мСм ≈ 0,26⋅10-3 См;

КI = 58; KU = ≈ 70;

Кроме того можно определить:

R ВХ = h11 = 0,8 кOм; КР = КI ⋅ KU = 58 ⋅ 70 = 4060;

P К~ = ≈ 4 мВт;

РК0 = I К0 ⋅ V К0 = 7,5 ⋅ 12 ≈ 90 мВт;

где P К~ и РК0 мощности соответственно на нагрузке и транзисторе.

Система уравнений транзистора через h-параметры можно записать в следующем виде:

Этой системе соответствует эквивалентная схема транзистора, где используются ранее определенные h-параметры:

IК

h11Э = 800

IБ

h22ЭIБ = 0,26 мСм

h11Э ⋅VK= = 0,03 VK

h21ЭIБ = 70IБ

Рис. 4

где левая часть схемы соответствует первому уравнению вида

 VБ = h11ЭIБ + h12ЭVK = 0,8 IБ +0,03VK,

а правая часть – второму уравнению

 IК = h21ЭIБ + h22ЭVK = 70IБ + 0,26⋅VK

Список литературы

*Основная*

Батушев В. А. Электронные приборы. – М. , “Высшая школа” 1980. – 383 с.

Ефимов И.Е., Козырь И.Я. Основы микроэлектроники. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1983. – 384 с.

*Дополнительная*

Тугов Н.М., Глебов Б.А., Чарыков Н.А. Полупроводниковые приборы.
– М.: Энергоатомиздат, 1990. – 576 с.

 Пасынков В. В., Чиркин Л. К., Шинков А. Д. Полупроводниковые приборы. – М.: Высшая школа, 1981. – 431 с.

Аваев Н.А., Наумов Ю.Е., Фролкин В.Т. Основы микроэлектроники. – М.: Радио и связь, 1991г. – 288 с.

 Ефимов И.Е., Козырь И.Я., Горбунов Ю.И. Микроэлектроника. Физические и технологические основы, надежность. – М.: Высшая школа, 1986.
– 464 с.

 Ефимов И.Е., Горбунов Ю.И., Козырь И.Я. Микроэлектроника. Проектирование, виды микросхем, функциональная электроника. – М.: Высшая школа, 1987. – 416 с.

Степаненко И.П. Основы микроэлектроники. – М.: Сов. радио, 1980.
– 424 с.

 Носов. Ю. Р. Оптоэлектроника. – М.: Сов. Радио, 1977. – 232 с.

 Транзисторы для аппаратуры широкого применения. Справочник. Под ред. Б. Л. Перельмана. – М.: Радио и связь, 1981г. – 656 с.

 Полупроводниковые приборы: транзисторы. Справочник. Под ред. Н. Н. Горюнова – М.: Энергоатомиздат, 1985г. – 904 с.

Федотов Я. А. Основы физики полупроводниковых приборов. М., “Советское радио”, 1970. – 592 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 4

Программа курса “Электронные, квантовые приборы и микроэлектроника” 4

Раздел 1. Полупроводниковые приборы 4

Раздел II. Оптоэлектронные и квантовые приборы 7

Раздел III. Микроэлектроника 8

Содержание лекций 10

Перечень лабораторных работ 11

Методические указания 11

Методические указания по разделам курса 12

Раздел 1. Полупроводниковые приборы 12

Раздел II. Оптоэлектронные и квантовые приборы 15

Раздел III. Микроэлектроника 16

Контрольное задание 26

Задача №1 27

Задача № 2. 27

Методические указания по выполнению контрольного задания 28

Пример расчета задачи 2 29

Список литературы 34

1. \* Если, заданная (согласно шифра) совокупность исходных данных не позволяет реализовать нормальный режим усиления без искажения, то студентам разрешается провести корректировку величин ЕК и RК, предварительно обосновав необходимость нового режима. [↑](#footnote-ref-1)