

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета РТЭ _____ Небольсин В.А.
«27» марта 2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
дисциплины
«Электроника и схемотехника»

Направление подготовки 16.03.01 Техническая физика

Профиль Физическая электроника

Квалификация выпускника бакалавр

Нормативный период обучения 4 года

Форма обучения очная

Год начала подготовки 2024

Автор программы



Коротков Л.Н.

Заведующий кафедрой
Твердотельной электроники



Небольсин В.А.

Руководитель ОПОП



Янченко Л.И.

Воронеж 2024

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели дисциплины

Ознакомление студентов с физическими процессами, происходящими в твердотельных электронных приборах. Освоение основных схемотехнических решений функциональных узлов аналоговой и цифровой электроники.

1.2. Задачи освоения дисциплины

1. Изучение студентами основ физики полупроводников.
2. Освоение студентами начал физических теорий, позволяющих описать устройство и принцип действия основных приборов твердотельной электроники;
3. Ознакомление студентов с методами экспериментального определения основных характеристик и параметров приборов электронной техники.
4. Изучение схемотехники базовых аналоговых и цифровых устройств электронной техники и методов ее проектирования.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Электроника и схемотехника» относится к дисциплинам обязательной части блока Б1.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Электроника и схемотехника» направлен на формирование следующих компетенций:

ОПК-1 - Способен использовать фундаментальные законы природы и основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ОПК-1	<u>знать</u> принципы функционирования приборов и устройств твердотельной электроники
	<u>уметь</u> проектировать простые устройства на основе проводниковых приборов.
	<u>владеть</u> навыками расчета электрофизических параметров и характеристик полупроводниковых приборов и устройств на их основе.

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Электроника и схемотехника» составляет 9 з.е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий

очная форма обучения

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры	
		5	6
Аудиторные занятия (всего)	126	72	54
В том числе:			
Лекции	72	36	36
Практические занятия (ПЗ)	18	18	-
Лабораторные работы (ЛР)	36	18	18
Самостоятельная работа	126	108	18
Курсовой проект	+		+
Часы на контроль	72	36	36
Виды промежуточной аттестации - экзамен	+	+	+
Общая трудоемкость: академические часы зач.ед.	324 9	216 6	108 3

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий очная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Лаб. зан.	СРС	Всего, час
1	Физические основы твердотельной электроники	1. Энергетические зоны и свободные носители заряда в твердых телах. Модельные представления о механизме образования свободных носителей заряда и зарядопереносе в собственных и примесных полупроводниках. Основные и неосновные носители заряда в полупроводниках. 2. Плотность электронных состояний в разрешенных зонах. Вероятность заполнения электронных состояний в полупроводниках. Функция распределения Ферми-Дирака при умеренных температурах. 3. Уровень Ферми и равновесная концентрация свободных носителей заряда в невырожденных полупроводниках. Уравнение электронейтральности для полупроводников. Закон действующих масс для невырожденных полупроводников. 4. Температурная зависимость равновесной концентрации	12	-	28	46

		и положения уровня Ферми в невырожденных полупроводниках. Неравновесные носители заряда в полупроводниках. 5. Элементарная теория электропроводности. Диффузия и дрейф свободных носителей заряда в полупроводниках. Подвижность свободных носителей заряда. Диффузионные и полные токи свободных носителей заряда. Уравнение непрерывности. Диффузионно-дрейфовое равновесие в неоднородно легированных полупроводниках. 6. Эффект поля в полупроводниках. Режим обогащения и обеднения, пороговое поле. Длина экранирования Дебая. Приближение полного обеднения. Электрическое поле и энергетическая зонная диаграмма. Расчет концентрации носителей.					
2	Контакт металл - полупроводник. Диод Шоттки	Общие сведения о контактах металл-полупроводник. Электрическое поле и энергетическая зонная диаграмма и распределение носителей заряда в окрестности барьера Шоттки в состоянии равновесия. Барьерная емкость. Эффект выпрямления на барьере Шоттки. ВАХ выпрямляющего контакта металл-полупроводник. Невыпрямляющие контакты металл-полупроводник.	4	2	-	16	22
3	Контакт электронного и дырочного полупроводников.	Контакт электронного и дырочного полупроводников. Электрическое поле и энергетическая зонная диаграмма в окрестности р-п перехода в состоянии равновесия. Контактная разность потенциалов. Ширина резкого р-п перехода. Барьерная емкость. Распределение носителей заряда. Эффект выпрямления на р-п переходе. Явление инжекции и экстракции неосновных носителей заряда. ВАХ р-п перехода с широкой базой. Пробой р-п перехода	6	2	4	16	28
4	Биполярный транзистор (БТ)	Устройство и электрофизические процессы в биполярном транзисторе (БТ). Усиление сигнала биполярным транзистором. Связь управляемого и управляющего токов БТ в схеме с общей базой и в схеме с общим эмиттером. Коэффициент инжекции, коэффициент переноса и эффективность коллектора. Модуляция толщины базы коллекторным напряжением. Зависимость коэффициента передачи от тока коллектора. Режимы работы и схемы включения БТ. Статические характеристики БТ. Эквивалентные схемы БТ. Динамические характеристики.	6	4	4	14	28
5	Полевой транзистор с управляющим р-п переходом (ПТУП)	Общие сведения о полевых транзисторах и их классификация. Структура и топология интегрального полевого транзистора с р-п затвором. Схема включения и рабочие напряжения полевого транзистора с р-п затвором. Влияние напряжения затвор-исток и сток-исток на процессы в канале и величину тока стока. Принцип действия полевого транзистора с р-п затвором. Выходные и передаточные характеристики полевого транзистора с р-п затвором. Эквивалентные схемы ПТУП	4	2	4	16	26
6	Полевой транзистор с изолированным	Физические процессы в структуре и принцип действия МОП-транзистора с индуцированным каналом. Выходные и передаточные характеристики МОП-транзисторов. Структура и топология интегральных МОП-транзисторов. Схема включения и рабочие напряжения полевого МОП-транзистора с индуцированным каналом.	4	2	6	18	30

	затвором					
		Итого, за 5 семестр	36	18	108	180
7	Пассивные компоненты электронных схем	Пассивные элементы электрических цепей. Резисторы, электрические конденсаторы, катушки индуктивности. Приборы функциональной электроники. Пьезоэлектрические резонаторы, трансформаторы, фильтры, линии задержки.	4		2	7
8	Электронные усилители	1. Классификация усилителей. Основные параметры и характеристики усилителя: коэффициент усиления, АЧХ, диапазон рабочих частот, амплитудная характеристика, динамический диапазон, линейные и нелинейные искажения. 2. Обратная связь (ОС) в усилителях. Виды классификации ОС. Способы подключения цепи ОС. Влияние отрицательной ОС на основные свойства усилителей. Критерий устойчивости Найквиста	4	4	5	13
9	Усилительные каскады на транзисторах.	1. Схема включения биполярного транзистора «с общим эмиттером». Нагрузочная прямая, рабочая точка. Коэффициент усиления каскада, входное и выходное сопротивление каскада. 2. Включение биполярного транзистора по схемам «с общей базой». «с общим коллектором». Дифференциальный усилительный каскад. 3. Мощные усилительные каскады. Усилители постоянного тока. Многокаскадные усилители, элементы межкаскадной связи.	6	4	3	13
10	Операционный усилитель (ОУ) и основные схемы его включения.	Операционный усилитель. Инвертирующая, неинвертирующая и дифференциальная схемы включения. Схемы суммирования, вычитания, логарифмирования и антилогарифмирования сигналов. Схемы умножения, деления, интегрирования и дифференцирования сигналов на ОУ. Компараторы. Триггер Шмидта	6		3	9
11	Генераторы электрических сигналов	Классификация генераторов. LC-генератор, - RC генератор синусоидального напряжения, блокинг генератор, мультивибратор.	6	4	3	13
12	Цифровая электроника	Логические выражения. Электронные ключи, базовые логические элементы, триггеры, цифровые функциональные узлы. Микропроцессор, архитектура микропроцессора. Аналого-цифровые и цифроаналоговые преобразователи	10	6	2	18
		Итого, за 6 семестр	36	18	18	108
	Экзамен					45+36
		Итого	72	36	81	207

5.2 Перечень лабораторных работ

1. Изучение полупроводниковых диодов.
2. Изучение статических характеристик биполярных транзисторов
3. Изучение полевых транзисторов с управляющим р-п переходом

4. Изучение МОП-транзисторов.
5. Исследование эмиттерного повторителя
6. Исследование двухтактного оконечного каскада усилителя низкой частоты.
7. Исследование симметричного мультивибратора на биполярных транзисторах.
8. Исследование RS – триггера на интегральных микросхемах

6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины предусматривает выполнение курсового проекта в 6 семестре для очной формы обучения.

Примерная тематика курсового проекта: «Проектирование широкополосного усилителя»

Задачи, решаемые при выполнении курсового проекта:

- 1. Оценка требуемого числа усилительных каскадов и параметров транзисторов.
- 2. Построение принципиальной электрической схемы усилителя.
- 3. Расчет электрической схемы

Курсовой проект включает в себя графическую часть и расчетно-пояснительную записку.

7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

7.1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

7.1.1 Этап текущего контроля

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе:

- «аттестован»;
«не аттестован».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован
ОПК-1	знать принципы функционирования приборов и устройств	Активная работа на практических занятиях, отвечает на теоретические вопросы при защите лабораторных работ	Выполнение работ в срок, предусмотрено	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих

	твердотельной электроники		тренинги в рабочих программах	программах
	уметь проектировать простые устройства на основе проводниковых приборов.	Своевременное оформление отчетов по лабораторным работам. Умение обрабатывать экспериментальные данные в рамках существующих физических моделей прибора.	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть навыками расчета электрофизических параметров и характеристик полупроводниковых приборов и устройств на их основе.	Решение прикладных задач на практических занятиях и в ходе подготовки к защите лабораторных работ.	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 5, 6 семестре для очной формы обучения по четырехбалльной системе:

«отлично»;

«хорошо»;

«удовлетворительно»;

«неудовлетворительно».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неудовл.
ОПК-1	знать (переносится из раздела 3 рабочей программы)	Тест	Выполнение теста на 90- 100%	Выполнение теста на 80- 90%	Выполнение теста на 70- 80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	уметь (переносится из раздела 3 рабочей программы)	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продemonстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продemonстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть (переносится из раздела 3 рабочей программы)	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продemonстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продemonстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

7.2 Примерный перечень оценочных средств (типичные контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)

7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию

7.2 Примерный перечень оценочных средств (контрольные задания или иные материалы, необходимые для знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)

7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тесту

Какое выражение связывает между собой концентрацию основных и неосновных носителей в невырожденном полупроводнике?

1. $n_0 p_0 = (n_i)^2$

2. $n_0 = n_i - p_0$

3. $n_0 = n_i / p_0$

Правильный ответ – 1.

2. Определить концентрацию дырок (в см^{-3}) при $T = 300 \text{ К}$ в кристалле кремния, содержащем ионизированных атомов сурьмы в куб. см.

Ответы:

1. 10^{16} см^{-3}

2. 10^6 см^{-3}

3. 10^{12} м^{-3}

Правильные ответы – 2 и 3.

3. Направленное движение носителей заряда под действием электрического поля называется

1 - дрейфом,

2 - диффузией,

3 - подвижностью носителей заряда.

Правильный ответ – 1.

4. Назовите физический смысл «эффективной плотности состояний электронов в зоне проводимости».

Ответы:

1. Эффективная плотность состояний электронов (N_c) соответствует числу электронов в зоне проводимости невырожденного полупроводника.

2. Эффективная плотность состояний электронов (N_c) соответствует числу электронов в запрещенной зоне невырожденного полупроводника.

3. Эффективная плотность состояний электронов (N_c) соответствует числу электронов в зоне проводимости невырожденного полупроводника на энергетических уровнях положения дна зоны проводимости (E_c).

Правильный ответ – 3.

5. Диффузионная длина — это:

1 - расстояние, на котором при одномерной диффузии в полупроводнике без электрического поля избыточная концентрация носителей заряда уменьшается вследствие рекомбинации;

2 - Расстояние, на которое носители заряда диффундируют за время жизни;

3 - среднее расстояние, проходимое носителями заряда между двумя последовательными рассеяниями;

4 - величина, связанная с временем жизни неравновесных носителей заряда соотношением $L = \sqrt{D\tau}$.

Правильные ответы: 1, 2, 4.

5) Как изменяется высота потенциального барьера p-n-перехода с изменением концентрации примесей в прилегающих к переходу областях:

1 - возрастает при увеличении концентрации примесей в соответствующих областях,

2 - уменьшается при увеличении концентрации примесей в соответствующих областях,

Правильный ответ: 1.

6) Базой полупроводникового прибора называют:

- 1 - область, в которую происходит инжекция неосновных для этой области носителей заряда,
- 2 - область, в которую происходит экстракция основных для этой области носителей заряда,
- 3- область, из которой происходит инжекция основных для этой области носителей заряда,
- 4 - область, из которой происходит экстракция неосновных для этой области носителей заряда.

Правильные ответы: 1, 4.

7. Электронно-дырочный переход смещен в прямом направлении, если к нему приложено внешнее напряжение:

- 1 - полярность которого совпадает с полярностью контактной разности потенциалов,
- 2 - создающее напряженность электрического поля, которая противоположна по направлению напряженности внутреннего электрического поля,
- 3- «плюсом» к р-области, а «минусом» к п-области,
- 4 - «минусом» к р-области, а «плюсом» к п-области,
- 5 - уменьшающее суммарную напряженность электрического поля в переходе,
- 6- уменьшающее высоту потенциального барьера.

Правильные ответы: 2,3,5 б.

8. Контакт металл-полупроводник обладает выпрямительными свойствами:

- 1 - в режиме обеднения,
- 2 - в режиме обогащения,
- 3 - в режиме слабой инверсии,
- 4 - в режиме сильной инверсии.

Правильный ответ: 1.

9. Условие, при котором можно пользоваться приближением полного обеднения.

1. $kT/q \gg \phi_s$ (k – постоянная Больцмана, T – температура, q – заряд электрона, ϕ_s – потенциал на поверхности полупроводника)
2. $kT/q \ll \phi_s$
3. $kT/q \approx \phi_s$

Правильный ответ - 2.

10. Как изменяется барьерная емкость при увеличении обратного напряжения на р-п-переходе?

- 1 – возрастает
- 2 – не меняется
- 3 - уменьшается

Правильный ответ - 3.

7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

1. Однородно легированный кремний n – типа имеет концентрацию легирующей примеси $N_D = 10^{15} \text{ см}^{-3}$. Оценить величину дебаевской длины экранирования L_D при $T = 300 \text{ К}$.

Ответ: $L_D \approx 0,13 \text{ мкм}$

2. Определить собственную концентрацию носителей заряда n_i в кремнии при температуре 300 К , если известно, что $m_n^* = 1,08m_0$, $m_p^* = 0,56m_0$ при $T = 300 \text{ К}$, $E_g = 1,11 \text{ эВ}$, а $kT = 0,0255 \text{ эВ}$.

Ответ: $n_i = 1,9 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-3}$.

3. Образец из полупроводника в форме прямоугольного параллелепипеда размером $0,25 \times 0,25 \times 0,05 \text{ см}$ характеризуется концентрацией носителей 10^{15} см^{-3} . К двум противоположным узким граням приложено напряжение $U = 15 \text{ В}$. Найти значение тока в мА , полагая подвижность носителей заряда $500 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$.

Ответ: 60 мА .

4. Ток коллектора биполярного транзистора, работающего в режиме насыщения, равен 10 мА , коэффициент передачи тока базы равен 50 , коэффициент насыщения равен 1.2 . Определить ток базы

в мкА.

Ответ: 240 мкА.

5. Вычислить прямое напряжение (в мВ) на р-п-переходе при прямом токе $I = 9 \text{ мА}$, если обратный ток насыщения при температуре $T = 300 \text{ К}$ равен 1 мкА. Ответ округлить до целого числа.

Ответ: 237 мВ.

6. В каком режиме работает биполярный р-п-р-транзистор, если напряжение база-эмиттер $U_{бэ} = -0,4 \text{ В}$, а напряжение коллектор-эмиттер $U_{кэ} = -5 \text{ В}$.

Ответ - в активном режиме.

7. В транзисторе, включенном по схеме с общим эмиттером, ток коллектора равен 29 мА, ток базы равен 500 мкА. Чему равен коэффициент передачи тока эмиттера. Ответ округлить до сотых.

Ответ: 0,98.

8. Удельная проводимость канала n-типа полевого транзистора с управляющим р-п-переходом и двумя затворами равна 8,85 См/м, подвижность электронов 0,12 м²/В·с, относительная диэлектрическая проницаемость кремния 12, толщина канала 4,8 мкм. Определить абсолютную величину напряжения отсечки в В.

Ответ: 2 В.

9. В МДП-транзисторе отношение ширины канала к его длине равно 10, приповерхностная подвижность электронов 500 см²/В·с, удельная емкость затвора 100 нФ/см². Определить удельную крутизну.

Ответ: 500 мкА/В².

10. Найти ширину р-п-перехода δ_0 в кремневом диоде при отсутствии внешнего напряжения, если известна концентрация акцепторной примеси $N_a = 10^{16} \text{ см}^{-3}$ в р-области и донорной примеси $N_d = 10^{17} \text{ см}^{-3}$ в п-области. Диэлектрическая проницаемость кремния $\epsilon = 12$.

Ответ: $\delta_0 = 0,316 \text{ мкм}$

7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1. Через идеальный р-п-переход протекает прямой ток 30 мА. Определить падение напряжения на переходе, если при температуре 300 К обратный ток диода 10 мкА.

Решение.

ВАХ идеального диода описывается формулой $I = I_0[\exp(U/\varphi_T) - 1] \approx I_0 \exp(U/\varphi_T)$, где $\varphi_T = kT/q \approx 0,0256 \text{ В}$.

Тогда $U = \varphi_T \cdot \ln(I/I_0) = 0,205 \text{ В}$.

2. В образце р-Si, находящемся при $T = 300 \text{ К}$, распределение примеси вдоль оси x:

$N_a(x) = N_0 \cdot \exp(-x/x_0)$, где $x_0 = 0,5 \text{ мкм}$. Считая $p(x) = N_a(x)$, вычислить напряженность внутреннего электрического поля E_i и плотности диффузионного и дрейфового токов дырок в зависимости от N . Считать $D_p = 10 \text{ см}^2/\text{с}$ и $\mu_p = 400 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$.

Решение.

В условиях термодинамического равновесия полная плотность тока дырок j_p равна нулю, т.е.

$$j_p = j_{p\text{диф}} + j_{p\text{др}} = q \left(\mu_p E - D_p \frac{dp}{dx} \right) = 0$$

Отсюда внутреннее поле

$$E_i = \frac{D_p}{\mu_p} \cdot \frac{dp}{dx} \cdot \frac{1}{p}$$

Продифференцировав $p(x)$: $dp/dx = -p/x_0$, получим

$$E_i = \frac{D_p}{\mu_p} \cdot \frac{1}{x_0} = 500 \frac{\text{В}}{\text{см}}$$

3. В транзисторе, включенном по схеме с общим эмиттером, ток коллектора равен 29 мА, ток базы равен 500 мкА. Чему равен коэффициент передачи тока эмиттера?

Решение.

Коэффициент передачи по току в схеме с общим эмиттером определяется выражением

$$\beta = I_K / I_B = 58.$$

С другой стороны коэффициент передачи по току в схеме с общим эмиттером связан коэффициентом передачи по току в схеме с общим эмиттером α следующим соотношением $\beta = \alpha / (1 - \alpha)$. Откуда находим $\alpha = 0,98$.

4. Электронный усилитель имеет коэффициент усиления по напряжению $K_{U0} = 1000$. После того, как к нему подключили цепь общей отрицательной обратной связи, коэффициент усиления уменьшился до величины $K = 100$. Найти глубину обратной связи F и коэффициент петлевого усиления $K_{U0} \beta$ и коэффициент передачи в цепи обратной связи β .

Решение.

$$F = K_{U0} / K = 10$$

$$K_{U0} \beta + 1 = F. K_{U0} \beta = 9$$

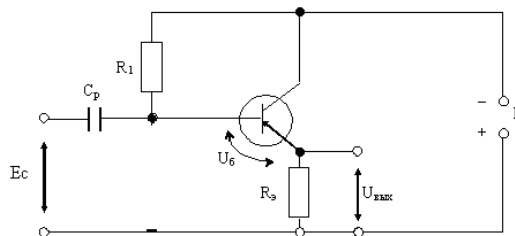
$$\beta = 9 / 1000 = 0,009$$

5. Покажите, что в случае, когда коэффициент петлевого усиления усилителя с обратной связью $K_{U0} \beta \gg 1$, коэффициент усиления K не зависит от свойств усилителя, в частности, от его коэффициента усиления без обратной связи K_{U0} . (Здесь β - коэффициент передачи в цепи обратной)

Решение

Коэффициент усиления усилителя, охваченного отрицательной обратной связью, дается формулой: $K = K_{U0} / (1 + K_{U0} \beta)$. Видим, при $K_{U0} \beta \gg 1$ коэффициент $K \approx 1/\beta$. Это значит, что усиление определяется только коэффициентом передачи в цепи обратной связи.

6. Найти входное сопротивление $R_{вх}$ эмиттерного повторителя (рис), если известно, что $h_{11} = 100$ Ом, $h_{12} = 0$, $h_{21} = 99$ и $h_{22} = 0$ Ом⁻¹. Нагрузочный резистор, включенный в цепь эмиттера $R_э = 1000$ Ом, $R_1 = 50$ кОм. Сопротивление конденсатора считать равным нулю.

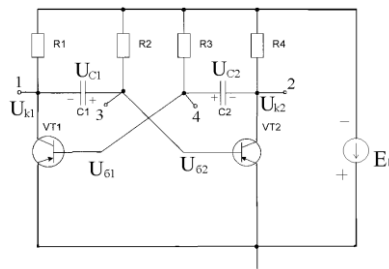


Найдем входное сопротивление эмиттерного повторителя без учета параллельно подключенного резистора смещения R_1 .

$$R_{вх}^* = [h_{11} + (h_{21} + 1)R_э] = 100,1 \text{ кОм.}$$

С учетом R_1 входное сопротивление $R_{вх} = (R_{вх}^* R_1) / (R_{вх}^* + R_1) = 33,3 \text{ кОм.}$

7. Найти частоту сигнала, генерируемого симметричным мультивибратором (рис), если $C1 = C2 = 0,05$ мкФ, $R2 = R4 = 3,3$ кОм.



Решение. Период колебаний определяется формулой $T \approx 1,4 \cdot R2 \cdot C1 = 1,4 \cdot 5 \cdot 10^{-8} \cdot 3,3 \cdot 10^{-3} = 23,1 \cdot 10^{-5} \text{ с.}$ Отсюда частота $F = 1/T = 4,33 \text{ кГц.}$

8. Изобразить схему RS - триггера на логических элементах 2ИЛИ-НЕ и составить для нее таблицу истинности.

Решение

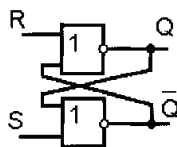


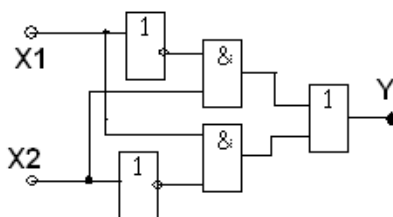
Схема RS – триггера

Таблица истинности для RS – триггера

Переменные		Исходные состояния выхода Q	последующие состояния выходов	
S^n	R^n	Q^n	Q^{n+1}	$\bar{Q}^{n+1}$
0	0	0	0	1
0	1	0	0	1
1	0	0	1	0
1	1	0	X	X
0	0	1	1	0
0	1	1	0	1
1	0	1	1	0
1	1	1	X	X

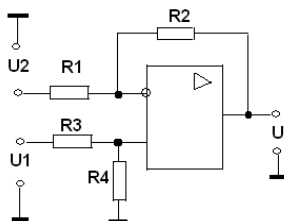
9. Изобразите логическую схему, реализующую выражение $Y = X_1 \oplus X_2$

Ответ



10. Изобразите электрическую схему, реализующую операцию вычитания аналоговых сигналов ($U = U_1 - U_2$) на идеальном операционном усилителе. Как должны соотноситься номиналы резисторов в этой схеме?

Решение.



Между резисторами в схеме должны выполняться следующие соотношения: $R_2 = R_1$ и $R_4 = R_3$.

(минимум 10 вопросов для тестирования с вариантами ответов)

7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

Не предусмотрено учебным планом

7.2.5 Примерный перечень вопросов для подготовки к экзаменам

1. Элементарная теория электропроводности.

2. Энергетические зоны и свободные носители заряда в твёрдых телах. Модельные представления о механизме образования свободных носителей заряда и зарядопереносе в собственных и примесных полупроводниках. Основные и неосновные носители заряда.
2. Плотность электронных состояний в разрешённых зонах. Эффективная плотность состояний.
3. Вероятность заполнения электронных состояний в полупроводниках. Функция распределения Ферми-Дирака.
4. Уровень Ферми и равновесная концентрация свободных носителей заряда в невырожденных полупроводниках. Уравнение электронейтральности для полупроводников. Закон действующих масс для невырожденных полупроводников.
5. Диффузия и дрейф свободных носителей заряда в полупроводниках. Подвижность свободных носителей заряда. Диффузионные и полные токи свободных носителей заряда.
6. Эффект поля в полупроводниках. Приближение слабого поля. Длина экранирования.
7. Эффект поля в полупроводниках. Приближение сильного поля. Ширина области обеднения.
8. Общие сведения о контактах металл-полупроводник. Работа выхода. Электрическое поле и энергетическая зонная диаграмма в окрестности барьера Шоттки в состоянии равновесия.
9. Энергетическая зонная диаграмма в окрестности барьера Шоттки в равновесном состоянии. Эффект выпрямления на барьере Шоттки. ВАХ выпрямляющего контакта металл-полупроводник.
10. Барьерная ёмкость перехода металл – полупроводник.
11. Электрическое поле и энергетическая зонная диаграмма в окрестности р-п перехода в состоянии равновесия.
12. Контактная разность потенциалов. Ширина резкого р-п перехода
13. Электрическое поле и энергетическая зонная диаграмма в окрестности р-п перехода в равновесном состоянии.
14. Контактная разность потенциалов и ширина резкого р-п перехода при наличии внешнего напряжения. Барьерная ёмкость р-п перехода. Варикапы.
15. Эффект выпрямления на р-п переходе. Явление инжекции и экстракции неосновных носителей заряда. ВАХ р-п перехода с широкой базой.
16. Пробой р-п перехода. Виды электрического пробоя. Стабилитроны.
17. Биполярный транзистор. Структура и принципы функционирования. Коэффициент инжекции, коэффициент переноса и эффективность коллектора.
18. Связь управляемого и управляющего токов биполярного транзистора в схеме с общей базой и в схеме с общим эмиттером.
19. Структура и топология планарного биполярного транзистора. Режимы работы и схемы включения биполярных транзисторов.
20. Статические характеристики биполярных транзисторов. (Входные и выходные ВАХи биполярного транзистора в схемах с ОЭ и ОБ.) Основные параметры биполярных транзисторов.
21. Зависимость коэффициента передачи по току от уровня инжекции и напряжения на коллекторе.
22. Биполярный транзистор как линейный четырехполусник. Малосигнальные параметры биполярного транзистора.
23. Принцип действия полевого транзистора с р-п затвором. Структура и топология интегрального полевого транзистора с р-п затвором.
24. Влияние напряжения затвор-исток и сток-исток на процессы в канале и величину тока стока. Выходные и передаточные характеристики полевого транзистора с р-п затвором. Крутизна характеристики.
25. Контакт металл – диэлектрик – полупроводник. Образование слоя с инверсной

- проводимостью. Структура и топология МДП-транзисторов. Принцип действия МОП-транзистора с индуцированным каналом.
26. Физические процессы и выходные и передаточные характеристики МОП-транзисторов.
 27. Пассивные элементы электрических цепей. Резисторы, основные параметры и конструкции. Конденсаторы, основные параметры и конструкции.
 28. Классификация электронных усилителей. Основные параметры и характеристики усилителя.
 29. Обратная связь (ОС) в усилителях. Способы подключения цепи ОС.
 30. Влияние отрицательной ОС на основные свойства усилителей. Расчет коэффициента усиления, входного и выходного сопротивления усилителя с ОС
 31. Положительная обратная связь. Устойчивость работы усилителя. Критерий устойчивости Найквиста..
 32. Рабочая точка и режим работы по постоянному току каскада с транзистором, включенным по схеме «с общим эмиттером». Расчет каскада.
 33. Многокаскадные усилители, элементы межкаскадной связи.
 34. Эмиттерный повторитель. Расчет каскада с транзистором, включенным по схеме «с общим коллектором».
 35. Усилительный каскад по схеме с общей базой. Основные параметры каскада.
 36. Дифференциальный усилительный каскад. Схемотехника УПТ.
 37. Мощные усилительные каскады. Двухтактные выходные каскады.
 38. Операционный усилитель (ОУ). Инвертирующие, неинвертирующие и дифференциальные каскады.
 39. Схемы суммирования, вычитания, логарифмирования и антилогарифмирования сигналов.
 40. Схемы умножения, деления, интегрирования и дифференцирования сигналов на ОУ. Компараторы на ОУ.
 41. Электронные ключи и простейшие логические элементы. Схемы полусумматора и сумматора.
 42. Триггеры. Реализация триггеров на основе биполярных и КМОП структур.
 43. Генераторы. Классификация. Разновидности генераторов синусоидального напряжения LC, RC, функциональные генераторы на ОУ.
 44. Схемы реализации АЦП. АЦП время импульсного типа, двойного интегрирования и поразрядного приближения.

7.2.6. Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

Тестирование по темам курса тест-задания.

1. Оценка «Неудовлетворительно» ставится в случае, если студент ответил правильно на 40% вопросов и меньше.
 2. Оценка «Удовлетворительно» ставится в случае, если студент ответил правильно на 40-60% вопросов.
 3. Оценка «Хорошо» ставится в случае, если студент ответил правильно на 60-80% вопросов.
 4. Оценка «Отлично» ставится, если студент ответил правильно на 80% вопросов и более.
2. Ответы на семинарских занятиях по теме курса.
 3. Подготовка и защита курсового проекта.

7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	Физические основы твёрдотельной электроники	ОПК-1	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
2	Контакт металл - полупроводник. Диод Шоттки	ОПК-1	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
3	Контакт электронного и дырочного полупроводников.	ОПК-1	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
4	Биполярный транзистор (БТ)	ОПК-1	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
5	Полевой транзистор с управляющим р-п переходом (ПТУП)	ОПК-1	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
6	Полевой транзистор с изолированным затвором	ОПК-1	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
7	Пассивные компоненты электронных схем	ОПК-1	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
8	Электронные усилители	ОПК-1	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
9	Усилительные каскады на транзисторах.	ОПК-1	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
10	Операционный усилитель (ОУ) и основные схемы его включения.	ОПК-1	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
11	Полевой транзистор с управляющим р-п переходом (ПТУП)	ОПК-1	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
12	Генераторы электрических	ОПК-1	Тест, контрольная работа,

	сигналов		защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
13	Цифровая электроника	ОПК-1	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....

7.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 30 мин. Затем осуществляется проверка теста экзаменатором и выставляется оценка согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение прикладных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Защита курсовой работы, курсового проекта или отчета по всем видам практик осуществляется согласно требованиям, предъявляемым к работе, описанным в методических материалах. Примерное время защиты на одного студента составляет 20 мин.

8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ)

8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

Укажите учебную литературу

Основная литература

1. Старосельский В.И. Физика полупроводниковых приборов микроэлектроники: учеб. пособие. М.: Высшее образование; Юрайт-Издат, 2009.-463 с.
2. Сысоев О.И. Физические основы твердотельной электроники. Часть 1: Учебное пособие/О.И. Сысоев. Воронеж, 2012.-213 с.: ил.
3. Алексенко А.Г. Основы микросхемотехники. – М.: БИНОМ. Лаборатория

знаний, 2004. – 448 с.

4. Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника и микроэлектронная техника: Учеб. пособие М.: Высш. шк. 2005,- 622с.

Дополнительная литература

1. Маллер Р., Кейминс Т. Элементы интегральных схем: Пер. с англ.-М.: Мир, 1989.- 630с.

2. Степаненко И.П. Основы микроэлектроники: Учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2001. – 488 с.

3. Зи С. Физика полупроводниковых приборов. В 2-х книгах, Кн 1, Кн. 2. Пер с англ.-2-е перераб. и доп. изд.-М.: Мир, 1984.-Кн.1.-456 с., Кн.2.-456 с.

4. Полупроводниковые приборы: Учебник для вузов/Н.М. Тугов, Б.А. Глебов, Н.А. Чарыков; Под ред. В.А. Лобунцова.-М.: Энергоатомиздат, 1990.-576 с.

5. Изъюрова Г.И., Королев Г.В., Терехов В.А., Ожогин М.А., Серов В.Н.

Расчет электронных схем. Учеб. пособие для вузов М.: Высш. шк. 1987. 335 с.

6. Хоровиц Г., Хилл У. Искусство схемотехники. В 3-х т./Пер. с англ. – М., 1993.

Методические разработки

Сысоев О.И., Коротков Л.Н., Янченко Л.И. Методические указания к выполнению лабораторной работы №1 по дисциплине «Электроника» для студентов направления 223200.62 «Техническая физика» очной формы обучения. - Воронеж, ВГТУ, 2011. – 47 с. (Библиотечный номер 252-2011)

Сысоев О.И., Коротков Л.Н., Янченко Л.И.. Методические указания к выполнению лабораторной работы №2 по дисциплине «Электроника» для студентов направления 223200.62 «Техническая физика» очной формы обучения. - Воронеж, ВГТУ, 2010. – 31 с. (Библиотечный номер (401-2010)

Коротков Л.Н., Сысоев О.И., Калядин О.В. Методические указания к выполнению лабораторных работ №3-4 по дисциплине «Электроника» для студентов направления 223200.62 «Техническая физика» очной формы обучения. - Воронеж, ВГТУ, 2012. – 51 с. (Библиотечный номер 287-2012)

8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем:

Укажите перечень информационных технологий

Microsoft Word, Microsoft Excel, Internet Explorer, Origin

9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

Укажите материально-техническую базу

Научно-учебная лаборатория кафедры ФТТ с

научно-исследовательскими измерительными стендами, комплексами и оборудованием, компьютерный класс. (аудитории 226, 226а первого корпуса ВГТУ)

10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

По дисциплине «Электроника и схемотехника» читаются лекции, проводятся практические занятия и лабораторные работы, выполняется курсовой проект.

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе.

Практические занятия направлены на приобретение практических навыков расчета простых электронных схем. Занятия проводятся путем решения конкретных задач в аудитории.

Лабораторные работы выполняются на лабораторном оборудовании в соответствии с методиками, приведенными в указаниях к выполнению работ.

Методика выполнения курсового проекта изложена в учебно-методическом пособии. Выполнять этапы курсового проекта должны своевременно и в установленные сроки.

Контроль усвоения материала дисциплины производится проверкой курсового проекта, защитой курсового проекта.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; пометать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.
Практическое занятие	Конспектирование рекомендуемых источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы. Прослушивание аудио- и видеозаписей по заданной теме, выполнение расчетно-графических заданий, решение задач по алгоритму.
Лабораторная работа	Лабораторные работы позволяют научиться применять теоретические знания, полученные на лекции при решении конкретных задач. Чтобы наиболее рационально и полно использовать все возможности лабораторных для подготовки к

	ним необходимо: следует разобрать лекцию по соответствующей теме, ознакомиться с соответствующим разделом учебника, проработать дополнительную литературу и источники, решить задачи и выполнить другие письменные задания.
Самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: - работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций; - выполнение домашних заданий и расчетов; - работа над темами для самостоятельного изучения; - участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад; - подготовка к промежуточной аттестации.
Подготовка к промежуточной аттестации	Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед экзаменом, экзаменом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

№ п/п	Перечень вносимых изменений	Дата внесения изменений	Подпись заведующего кафедрой, ответственной за реализацию ОПОП
----------	-----------------------------	----------------------------	--