

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Радиофизический факультет

УТВЕРЖДАЮ:
Декан

А. Г. Коротаев

Рабочая программа дисциплины

Элементы полупроводниковой схемотехники

по направлению подготовки

03.03.03 Радиофизика

Направленность (профиль) подготовки :
Радиофизика, электроника и информационные системы

Форма обучения
Очная

Квалификация
Бакалавр

Год приема
2025

СОГЛАСОВАНО:
Руководитель ОП
М.Л. Громов

Председатель УМК
А.П. Коханенко

Томск – 2025

1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ОПК-1 Способен применять базовые знания в области физики и радиофизики и использовать их в профессиональной деятельности, в том числе в сфере педагогической деятельности;

ОПК-3 Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности..

ПК-2 Способен проводить математическое моделирование процессов в приборах и устройствах радиофизики и электроники, владеть современными отечественными и зарубежными пакетами программ при решении профессиональных задач..

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИОПК 1.3 Применяет базовые знания в области физики и радиофизики при осуществлении профессиональной деятельности.

ИОПК 3.1 Использует современные информационные технологии и программные средства при решении задач профессиональной деятельности.

ИОПК 3.2 Соблюдает требования информационной безопасности при использовании современных информационных технологий и программного обеспечения.

ИПК 2.1 Понимает принцип действия и модели разрабатываемого радиоэлектронного прибора или устройства.

ИПК 2.2 Применяет в профессиональной деятельности различные численные методы, в том числе реализованные в готовых библиотеках при решении конкретных радиофизических задач.

ИПК 2.3 Владеет современными пакетами программ при решении задач в области радиофизики и радиоэлектроники.

2. Задачи освоения дисциплины

– Познакомиться с основными принципами построения схем с использованием полупроводниковых приборов

– Научиться использовать принципы функционирования полупроводниковых схем для практической реализации электронных устройств различного назначения, а также методы их анализа и расчета по заданным статическим и динамическим параметрам.

3. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к Блоку 1 «Дисциплина (модули)».

Дисциплина относится к части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений, предлагается обучающимся на выбор. Дисциплина входит в модуль Модуль «Твердотельная электроника».

4. Семестр(ы) освоения и форма(ы) промежуточной аттестации по дисциплине

Восьмой семестр, зачет

5. Входные требования для освоения дисциплины

Для успешного освоения дисциплины требуются результаты обучения по следующим дисциплинам: «Основы информатики», «Радиоэлектроника», «Физика полупроводников», «Полупроводниковая электроника».

6. Язык реализации

Русский

7. Объем дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 з.е., 108 часов, из которых:

-лекции: 30 ч.

-практические занятия: 30 ч.

в том числе практическая подготовка: 0 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

8. Содержание дисциплины, структурированное по темам

Тема 1. Введение.

Цели, задачи и структура дисциплины. Связь с другими дисциплинами. Основные определения. Классификация и области применения полупроводниковых электронных устройств, цифровые и аналоговые устройства. Элементная база полупроводниковых аналоговых электронных устройств.

Тема 2. Полупроводниковые диоды и их применение

Основные типы, эквивалентные схемы и эксплуатационные характеристики диодов с барьером Шоттки (ДБШ), диодов с $p-n$ -переходом. Модели диодов, используемые в программах для компьютерного моделирования. Использование выпрямительных диодов в мостовых выпрямителях переменного тока. Стабилизация напряжений с помощью стабилитронов.

Тема 3. Биполярные транзисторы в схемах усиления

Схема с общим эмиттером (ОЭ). Передаточная характеристика схемы с общим эмиттером. Характеристики режима малых сигналов схемы с ОЭ. Отрицательная обратная связь по току и по напряжению в схемах с ОЭ. Частотная характеристика и верхняя граничная частота схемы с ОЭ. *Схема усилителя с общим коллектором (ОК).* Передаточная характеристика схемы с ОК. Характеристики схемы с ОК в режиме малых сигналов. Установка рабочей точки усилителя по схеме с ОК. Частотная характеристика и верхняя граничная частота схемы с ОК. Преобразование импеданса посредством схемы с ОК. *Схема с общей базой (ОБ).* Передаточная характеристика схемы с ОБ. Режим малых сигналов схемы с ОБ. Установка рабочей точки усилителя по схеме с ОБ. Частотная характеристика и верхняя граничная частота схемы с ОБ.

Тема 4. Полевые транзисторы в схемах усиления

Схема с общим истоком. Передаточные характеристики схемы с общим истоком. Режим схемы с общим истоком для малых сигналов. Схема с общим истоком и отрицательной обратной связью по току. Схема с общим истоком и обратной связью по напряжению. Установка рабочей точки усилителя по схеме с общим истоком. Частотная зависимость и граничная частота схемы с общим истоком. *Схема с общим стоком.* Передаточная характеристика схемы с общим стоком. Режим малых сигналов схемы с общим стоком. Установка рабочей точки усилителя по схеме с общим стоком. Частотная зависимость и граничная частота схемы с общим стоком. *Схема с общим затвором.* Передаточная характеристика схемы с общим затвором. Режим малых сигналов схемы с общим затвором. Установка рабочей точки усилителя по схеме с общим затвором. Частотная характеристика и граничная частота схемы с общим затвором.

Тема 5. Многокаскадные усилители

Принципы согласования каскадов усилителей. Использование эмиттерного повторителя для согласования. Стабилизация рабочей точки двухкаскадных усилителей (ОЭ-ОЭ). Каскодное соединение транзисторов (ОЭ-ОБ). Дифференциальный усилитель (ОК-ОБ).

Тема 6. Операционные усилители

Принцип действия и характеристики операционных усилителей (ОУ). Идеальный ОУ. Обратная связь в схемах с ОУ. Схемы инвертирующего и неинвертирующего усилителей, сумматор, дифференцирование и интегрирование сигналов с помощью ОУ. Аналоговые вычислительные машины.

Тема 7. Биполярные и полевые транзисторы в переключающих и интегральных цифровых схемах

Простейший ключ на биполярном транзисторе. Логические элементы на биполярных транзисторах. Резисторно-транзисторная логика. Диодно-транзисторная логика. Транзисторно-транзисторная логика. Эмиттерно-связанная логика. МДП- (МОП-) транзисторные ключи. Логические элементы на МДП-транзисторах. МОП-транзистор в качестве ячейки памяти. Применение МОП-транзисторов в силовых схемах.

Тема 8. Цифровые устройства

Логические элементы. Комбинационные устройства (шифраторы, дешифраторы, мультиплексоры, демультимплексоры). Последовательностные устройства (триггеры, счетчики). Основные типы интегральных микросхем и их обозначение. Современная элементная база высокой степени интеграции: контроллеры, ПЛИС, микросхемы памяти.

9. Текущий контроль по дисциплине

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости, проведения контрольных работ, выполнения домашних заданий по практическим занятиям и фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза в семестр.

Примеры тем практических занятий.

1) Построение ВАХ ДБШ, диода с $p-n$ -переходом, стабилитрона в программе LTSpice. Изучение схем однополупериодного и двухполупериодного выпрямителей, стабилизатора напряжения.

2) Реализация в программе моделирования электронных схем LTSpice различных вариантов схем однокаскадных усилителей с транзистором по схеме с ОЭ. Изучение способов задания рабочей точки, расчет значений элементов.

3) Реализация в программе моделирования электронных схем LTSpice различных вариантов схем однокаскадных усилителей с транзистором по схеме с ОК. Изучение способов задания рабочей точки, расчет значений элементов.

4) Реализация в программе моделирования электронных схем LTSpice различных вариантов схем однокаскадных усилителей с транзистором по схеме с ОБ. Изучение способов задания рабочей точки, расчет значений элементов.

5) Реализация в программе моделирования электронных схем LTSpice различных вариантов схем однокаскадных усилителей с транзистором по схеме с общим истоком. Изучение способов задания рабочей точки, расчет значений элементов.

6) Реализация в программе моделирования электронных схем LTSpice различных вариантов схем однокаскадных усилителей с транзистором по схеме с общим стоком. Изучение способов задания рабочей точки, расчет значений элементов.

7) Реализация в программе моделирования электронных схем LTSpice различных вариантов схем однокаскадных усилителей с транзистором по схеме с общим затвором. Изучение способов задания рабочей точки, расчет значений элементов.

8) Реализация в программе моделирования электронных схем LTSpice различных вариантов схем многокаскадных усилителей. Расчет значений элементов.

9) Реализация в программе моделирования электронных схем LTSpice различных вариантов схем на ОУ. Выполнение математических операций с помощью ОУ. Расчет значений элементов.

10) Реализация в программе моделирования электронных схем LTSpice различных вариантов переключающих схем. Расчет значений элементов.

11) Реализация в программе моделирования электронных схем LTSpice комбинационных и последовательностных устройств. Синтез цифровых комбинационных и последовательностных устройств.

Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.

Изучать материал курса рекомендуется последовательно, двигаясь от первой темы к последней. Подразделы темы 1 напоминают об основных понятиях и соотношениях,

применяемых для анализа электронных схем, таких как законы Кирхгофа, закон Ома, также приводятся физические соотношения для описания характеристик пассивных компонентов.

Вторая часть посвящена диодам, разбираются особенности применения диодов в выпрямляющих, детектирующих схемах, а также применение стабилитронов для стабилизации напряжения.

Третья и четвертая части посвящены изучению базовых схем на основе биполярных и полевых транзисторов, соответственно. Схеме с общим эмиттером уделяется больше внимания, поскольку во-первых эта схема применяется наиболее часто, а во-вторых принципы выбора рабочей точки каскада, способ стабилизации рабочей точки во многом являются общими для других типов включения транзисторов. Аналогично излагается материал касающийся полевых транзисторов.

Пятая часть содержит материал позволяющий проводить синтез многокаскадных усилителей, при изучении основное внимание необходимо уделить принципам согласования транзисторных каскадов.

В шестой части изучаются типовые схемы предназначенные для коммутирования электрического тока, при этом важно обратить внимание, как с помощью достаточно маломощных сигналов (единицы вольт, единицы миллиампер) управлять большими токами и/или напряжениями.

Седьмая часть посвящена операционным усилителям (ОУ) их схемотехнике, и основным свойствам. Изучающим необходимо научиться синтезировать схемы с применением ОУ с заданными функциональными характеристиками, знать особенности применения ОУ и их ограничения.

Восьмая часть посвящена цифровым устройствам. Особое внимание необходимо уделить изучению типовых узлов цифровой электроники, которые выполнены в виде функционально законченных интегральных микросхем. Обзорно дается информация по методам синтеза цифровых устройств, а также по устройству и использованию микропроцессоров, микроконтроллеров, ПЛИС.

Практически все разделы курса строятся на основе семинарских занятий в ходе которых преподаватель знакомит студентов с типовым узлом электронной схемы, проводится его математическое описание и расчет основных параметров, затем проводится моделирование узла в программе моделирования электронных схем LTSpice, разбираются основные варианты изучаемого типового узла электронной схемы. На практических занятиях и в ходе самостоятельной работы студенты учатся проводить расчет узлов и моделирование с помощью программы LTSpice, что позволяет сравнивать результаты расчетов с результатом моделирования. В ходе занятий практикуется совместное обсуждение полученных результатов.

10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации

Зачет в восьмом семестре проводится в устной форме по билетам. Билет содержит теоретический вопрос. Продолжительность зачета 1,5 часа.

Примерный перечень теоретических вопросов

1. Классификация и области применения электронных устройств.
2. Отличительные особенности усилителей на биполярных транзисторах по схемам с общей базой, с общим коллектором, общим эмиттером.
3. Согласование усилительных каскадов.
4. Отличительные особенности усилителей на полевых транзисторах по схемам с общим затвором, с общим стоком, общим истоком.
5. Дифференциальный каскад.
6. Схемотехническая реализация основных логических функций.
7. Синтез комбинационных логических схем.

8. Базовые комбинационные логические схемы (шифраторы, дешифраторы, мультиплексоры, сумматоры, компараторы)

9. Применение полевых транзисторов с изолированным затвором для управления электрическим приводом.

10. Временные характеристики переключения полевых транзисторов с изолированным затвором. Влияние времени и частоты переключения на КПД полевого транзистора.

Результаты промежуточной аттестации по дисциплине характеризуются оценками «зачтено» или «не зачтено» в соответствии с таблицей.

Компетенция	Индикатор компетенции	Критерии оценивания результатов обучения	
		Не зачтено	Зачтено
ОПК-1 Способен применять базовые знания в области физики и радиофизики и использовать их в профессиональной деятельности, в том числе в сфере педагогической деятельности.	ИОПК-1.3 Применяет базовые знания в области физики и радиофизики при осуществлении профессиональной деятельности.	Не знает основных принципов построения схем с использованием полупроводниковых приборов	Знает принципы построения схем с использованием полупроводниковых приборов, применяет на практике.
ОПК-3 Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач	ИОПК 3.1 Использует современные информационные технологии и программные средства при решении задач профессиональной деятельности.	Плохо ориентируется в современных информационных технологиях и программных средствах.	Использует современные информационные технологии и программные средства при решении задач проектирования схем с полупроводниковым и приборами.

профессиональной деятельности..	ИОПК 3.2 Соблюдает требования информационной безопасности при использовании современных информационных технологий и программного обеспечения.	Не имеет представления о требованиях информационной безопасности при использовании современных информационных технологий и программного обеспечения.	Соблюдает требования информационной безопасности при использовании современных информационных технологий и программного обеспечения.
ПК-2 Способен проводить математическое моделирование процессов в приборах и устройствах радиофизики и электроники, владеть современными отечественными и зарубежными пакетами программ при решении профессиональных задач.	ИПК-2.1 Понимает принцип действия и модели разрабатываемого радиоэлектронного прибора или устройства.	Не имеет представления о принципах действия полупроводниковых приборов и схем	Способен описать принципы действия полупроводниковых приборов и схем
	ИПК-2.2 Применяет в профессиональной деятельности различные численные методы, в том числе реализованные в готовых библиотеках при решении конкретных радиофизических задач.	Не владеет методами численного расчёта характеристик полупроводниковых приборов и схем	Проводит численный расчёт характеристик полупроводниковых приборов и схем
	ИПК-2.3 Понимает физические принципы действия приборов и устройств, предназначенных для решения профессиональных задач.	Не способен провести моделирование характеристик простейших полупроводниковых приборов и схем.	Понимает физические принципы действия полупроводниковых приборов и схем приборов и моделирует их.

11. Учебно-методическое обеспечение

а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «Moodle» - <https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=14361>

б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине (п. 9, 10).

в) Методические указания по организации самостоятельной работы студентов (п.9).

12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

а) основная литература:

1. Новожилов, О. П. Электроника и схемотехника в 2 ч. Часть 1 : учебник для академического бакалавриата / О. П. Новожилов. — Москва : Издательство Юрайт, 2019. — 382 с. — (Бакалавр. Академический курс). — ISBN 978-5-534-03513-1. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/434561>
2. Новожилов, О. П. Электроника и схемотехника в 2 ч. Часть 1 : учебник для академического бакалавриата / О. П. Новожилов. — Москва : Издательство Юрайт, 2019. — 382 с. — (Бакалавр. Академический курс). — ISBN 978-5-534-03513-1. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/434561>
3. Опадчий Ю. Ф. Аналоговая и цифровая электроника : полный курс : [учебник для студентов вузов по специальности "Проектирование и технология радиоэлектронных средств"] / Ю. Ф. Опадчий, О. П. Глудкин, А. И. Гуров ; под ред. О. П. Глудкина. - 2-е изд., стер.. - Москва : Горячая линия - Телеком, 2018. - 768 с.: ил., табл. - (Учебник для высших учебных заведений).

б) дополнительная литература:

1. Гаман В.И. Физика полупроводниковых приборов: Учебное пособие. – 2-е изд. – Томск: Изд-во НТЛ, 2000. – 426 с.
2. Володин В. Я. LTspice: компьютерное моделирование электронных схем - Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2010. - 389 с.: ил., табл. - (Электроника)
3. Титце У. Полупроводниковая схемотехника: пер. с нем.: [в 2 т.]. Т. 1 / У. Титце, К. Шенк. - Москва: Додэка -XXI, 2008. - 827 с.
4. Титце У. Полупроводниковая схемотехника: пер. с нем.: [в 2 т.]. Т. 2 / У. Титце, К. Шенк. - Москва: Додэка -XXI, 2008. - 941 с.
5. Хоровиц П. Искусство схемотехники / П. Хоровиц, У. Хилл; пер. с англ. Б.Н. Бронина [и др.]. - Изд. 7-е. - Москва: БИНОМ, 2014. - 704 с.: ил.

в) ресурсы сети Интернет:

1. Схемотехника: электронный ресурс. – URL: <https://www.club155.ru/electronics>
2. Справочник по электронным компонентам. – URL: <http://kazus.ru/>
3. eLIBRARY.RU: Научная электронная библиотека. – URL: <https://elibrary.ru/defaultx.asp?>
4. Электронно-библиотечная система «Лань» (доступ из сети НИ ТГУ). – URL: <http://e.lanbook.com/>
5. Scopus: база данных цитирования издательства Elsevier (доступ из сети НИ ТГУ). – URL: <http://www.scopus.com/>
6. Web of Science: база данных цитирования компании Clarivate Analytics (доступ из сети НИ ТГУ). – URL: <http://webofknowledge.com/WOS>

13. Перечень информационных технологий

а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

- Microsoft Office 2010 Russian Academic Open, Microsoft Windows Professional 7 Academic Open (Лицензия №47729022 от 26.11.2010);
- пакет программного обеспечения PTC MathCad Education (Договор поставки №7193 от 14.10.2015);
- пакет программного обеспечения LTSpice (свободно распространяемое программное обеспечение, <https://ltspice.analog.com/software/LTspice64.exe>).

14. Материально-техническое обеспечение

Аудитории для проведения занятий лекционного типа.

Аудитории для проведения занятий семинарского типа, индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Помещения для самостоятельной работы, оснащенные компьютерной техникой и доступом к сети Интернет, в электронную информационно-образовательную среду и к информационным справочным системам.

Аудитории для проведения занятий лекционного и семинарского типа индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации в смешенном формате («Актру»).

15. Информация о разработчиках

Севастьянов Евгений Юрьевич, к.т.н., радиофизический факультет НИ ТГУ, доцент.