

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный
университет им. Н.И. Лобачевского»**

Физический факультет
Кафедра физики полупроводников, электроники и нанoeлектроники

УТВЕРЖДЕНО
решением ученого совета ННГУ
протокол № 6 от «31» мая 2023 г.
.

Рабочая программа дисциплины

Схемотехника

Уровень высшего образования
бакалавриат

Направление подготовки: 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника
Направленности (профили): материалы микро- и наносистемной техники

Форма обучения
очная

Нижегород, 2023 год

1. Место и цели дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Схемотехника» относится к дисциплинам по выбору формируемой участниками образовательных отношений части основной образовательной программы по направлению подготовки 28.03.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника».

Для усвоения данного курса необходимы знания по таким модулям и дисциплинам в рамках образовательной программы бакалавра как модуль «Математика» базовой части цикла математических и естественнонаучных дисциплин, а также дисциплины «Теоретические основы электротехники» и «Физические основы электроники» модуля профессиональной подготовки базовой части профессионального цикла.

Освоение данной дисциплины обязательно и предполагается в 6-м семестре.

Дисциплина «Схемотехника» включает логические связи в комплексе с дисциплинами «Физика конденсированного состояния» и «Физика полупроводников», осваиваемые студентами на младших курсах и параллельно. Дисциплина «Схемотехника» является предшествующей основой для будущего изучения студентами дисциплин «Основы проектирования электронной компонентной базы» и «Автоматизация проектирования интегральных схем».

Цель изучения дисциплины

- Изучение основных принципов схемных решений в разработке функциональных узлов аналоговой и цифровой полупроводниковой электроники.
- Овладение навыками синтеза простейших электронных устройств, содержащих усилители, электронные ключи, логические схемы, цифровые функциональные узлы, аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи.
- Освоение студентами простейших навыков выработки схемных решений основных аналоговых и цифровых узлов электроники.

Задачами курса являются: овладение навыками синтеза простейших электронных устройств, содержащих усилители, электронные ключи, логические схемы, цифровые функциональные узлы, аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	
ПК-1. Способен применять фундаментальные представления о физических явлениях и процессах, лежащих в основе работы приборов, схем и устройств электроники, наноэлектроники, нано- и микросистемной техники для достижения требуемых функциональных характеристик	ПК-1.1. Знает физические явления и процессы, лежащие в основе работы приборов и устройств электроники, наноэлектроники, нано- и микросистемной техники. ПК-1.2. Применяет фундаментальные представления о физических явлениях и процессах для достижения требуемых функциональных качеств приборов и устройств электроники, наноэлектроники, нано- и микросистемной техники	Знать теорию линейных и нелинейных цепей, элементную базу аналоговой и цифровой электроники, методы расчета усилителей, стабилизаторов постоянного напряжения и тока, генераторов электрических сигналов. Уметь анализировать воздействие сигналов на линейные и нелинейные цепи, рассчитывать усилители, стабилизаторы и генераторы электрических сигналов, применять аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи, синтезировать аналоговые и цифровые устройства на основе данных об их функциональном назначении, электрических параметрах и условиях эксплуатации Владеть современными методами расчета, моделирования и проектирования электронных устройств на основе аналоговой и цифровой элементной базы.	Вопросы по темам/разделам дисциплины. Комплект заданий к лабораторному практикуму. Фонд тестовых заданий

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

Общая трудоемкость	2 ЗЕТ
Часов по учебному плану	72
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа): - занятия лекционного типа	16

- занятия семинарского типа	16
-КСРИФ	1
самостоятельная работа	39 (работа в семестре)
Промежуточная аттестация	6 семестр – зачет

Структура дисциплины

Наименование разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации	Всего (часы)	в том числе				Самостоятельная работа обучающегося, часы
		контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы				
		из них			Всего	
Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа				
1. Введение. Общие вопросы, определения и методология практической схемотехники	5	2			2	3
2. Диодные схемы	7	2			2	5
3. Усилители сигналов на полупроводниковых компонентах	12	2		4	6	6
4. Операционные усилители	7	2			2	5
5. Обратная связь	7	2			2	5
6.Триггеры и мультивибраторы	11	2		4	6	5
7. Электронные ключи	11	2		4	6	5
8. Цифровая электроника	11	2		4	6	5
Промежуточная аттестация по дисциплине Зачет (1 час)						

Содержание разделов дисциплины

1. Введение. Общие вопросы, определения и методология практической схемотехники аналоговых и цифровых узлов полупроводниковой электроники.
2. Вольтамперная характеристика полупроводникового диода. Применение диодов в выпрямителях напряжения, однополупериодная и двухполупериодная схема. Умножитель напряжения. Диодный коммутатор. Диодные ограничители. Диодная защита. Параметрические стабилизаторы напряжения. Влияние температуры на выходное напряжение стабилизатора. Варисторы.
3. Биполярные транзисторы. Усилители сигналов на полупроводниковых компонентах. Классификация усилителей, основные параметры и характеристики Эквивалентные схемы усилителей. Обратная связь и её влияние на показатели и характеристики аналоговых

устройств. Частотно-зависимая обратная связь и амплитудно-частотная характеристика усилителей с обратной связью. Статический режим работы усилительных каскадов на транзисторах. Расчет режима работы транзистора по постоянному току. Линия нагрузки. Выбор рабочей точки. Способы включения транзисторов в усилительных каскадах и особенности их расчета по постоянному току. Схемы подачи напряжения смещения на транзисторы. Усилительный каскад. Дифференциальные усилители постоянного тока. Схемотехника усилителей низкой частоты, коэффициент усиления, АЧХ, основные схемы построения.

4. Операционные усилители, их параметры и характеристики. Операционные усилители, охваченные обратной связью. Основные схемные решения применения операционных усилителей: инвертор на операционном усилителе, схема сложения на операционном усилителе (ОУ), схема вычитания на ОУ, схема логарифмирования на ОУ, схема вычисления экспоненты и логарифма, схемы умножения и деления, неинвертирующий усилитель на ОУ, компараторы напряжения.
5. Понятие обратной связи. Положительная и отрицательная обратная связь. Влияние отрицательной обратной связи на коэффициент усиления, частотную характеристику, входное и выходное напряжение усилителя. Последовательная и параллельная обратная связь. Обратная связь по току и напряжению.
6. Релаксаторы. Ждущий мультивибратор. Режим синхронизации и деления частоты автоколебательного мультивибратора. Триггеры. Триггер Шмита на операционном усилителе. Инвертирующий триггер Шмита. Триггер Шмита с регулируемыми порогами срабатывания, триггер Шмита на транзисторах.
7. Электронные ключи. Общие сведения об импульсных процессах и устройствах. Цифровые и аналоговые электронные ключи. Принцип действия, схемотехника и основные параметры. Статические и динамические характеристики ключей на транзисторах. Мощные быстродействующие ключи на составных транзисторах.
8. Цифровая электроника. Основы импульсной и цифровой схемотехники. Логические элементы. Счетчики, элементы памяти. Счетчик импульсов на триггерах. Аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи.

Практические занятия (лабораторные работы) организуются, в том числе в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

Практическая подготовка предусматривает выполнение лабораторных работ по профилю профессиональной деятельности и направленности образовательной программы. На проведение лабораторных работ в форме практической подготовки отводится 16 часов.

Практическая подготовка направлена на формирование и развитие:

- практических навыков в соответствии с профилем ОП: основных принципов схемных решений в разработке функциональных узлов аналоговой и цифровой полупроводниковой электроники;

- компетенций, относящихся к физическим явлениям и процессам, лежащим в основе работы приборов, схем и устройств электроники, наноэлектроники, нано- и микросистемной техники.

Текущий контроль успеваемости реализуется в рамках занятий лабораторного типа.

4. Образовательные технологии

Основные виды образовательных технологий: лекции, лабораторный практикум и контроль самостоятельной работы.

5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Виды самостоятельной работы. Самостоятельная работа связана с теоретической подготовкой к допуску и написанием отчётов по лабораторным работам. Самостоятельная работа может проводиться как в домашних условиях, так и в читальном зале библиотеки, в компьютерных классах, в учебных кабинетах (лабораториях) с доступом к лабораторному оборудованию, приборам, базам данных, к Интернет-ресурсам. Текущий контроль успеваемости сводится к контролю самостоятельной работы (КСР) и осуществляется путём контрольных опросов по спискам вопросов, приведённым в описаниях лабораторных работ, а также путём проверки протоколов измерений и отчётов по выполненным работам.

В практической части студенты должны освоить *задачи по разделам курса, некоторые из которых приведены ниже.*

1. Транзистор с коэффициентом передачи тока базы $\beta = 30$ и $h_{11} = 500$ Ом, имеет сопротивление в базе $R_6 = 1$ Ком, сопротивление нагрузки $R_n = 10$ Ком, напряжение питания $E_n = 15$ В, $E = 1$ В. Определить напряжение $U_{кэ}$ при замкнутом ключе.
2. В схеме используется транзистор с коэффициентом передачи тока эмиттера $\alpha = 0,99$. В схеме сопротивление в эмиттере $R_э = 5$ Ком, $R_n = 5$ Ком, $E_n = 20$ В. Определить, при каком минимальном значении входного напряжения транзистор будет работать в режиме насыщения?
3. В транзисторном усилителе коэффициент усиления по напряжению равен 5000. В нем использованы транзисторы с $\beta = 100$. Усилитель охвачен отрицательной обратной связью с параметрами $\gamma = 0,01$. Определить изменение общего коэффициента усиления (%) при наличии ОС и без неё, если изменение напряжения питания приводит к изменению β до 50.
4. Транзисторный каскад работает по схеме ОЭ. Чему, приблизительно, равен коэффициент усиления по напряжению, если в коллекторной цепи подключен резистор в 1 кОм, а в эмиттерной 100 Ом.
5. Транзистор включен по схеме ОЭ. Напряжение база - эмиттер равно 0,6 (в), напряжение коллектор - эмиттер 10 (в). Определить напряжение коллектор - база.

6. Определить номиналы переходных и блокировочных конденсаторов для обеспечения нижней граничной частоты в 100 Гц при условии, что $M_n = 1,41$ на этой частоте. Через транзисторы течет ток покоя $I_{ко} = 5 \text{ мА}$, $\beta = 50$, $r_b = 70 \text{ Ом}$.
7. В ОУ заведена отрицательная ОС через резистор $R_1 = 1 \text{ кОм}$. и $R_{oc} = 100 \text{ кОм}$. Чему равен коэффициент усиления устройства?
8. Чему (примерно) равно входное сопротивление ОУ с ОС по инвертирующему входу, если на него заведена ОС через резистор $R_1 = 1 \text{ кОм}$ и $R_{oc} = 100 \text{ кОм}$?
9. Между входами ОУ включен фотодиод ФД, ток которого при данной освещенности составляет 5 мА. Какой резистор следует включить в цепь обратной связи, чтобы получить на выходе напряжение в 5 вольт?
10. Чему равняется коэффициент усиления по напряжению трехкаскадного усилителя с коэффициентами усиления $K_{и1} = 40$, $K_{и2} = 10$, $K_{и3} = 0,8$?

Перечень лабораторных работ:

- Транзисторный ключ.
- Исследование характеристик мультивибратора на биполярных транзисторах.

Вопросы к лабораторной работе «Биполярный транзисторный ключ»:

1. Пояснить работу электронной схемы, выполняющей режим работы ключа.
2. Нарисовать статические характеристики (входные и выходные) для биполярного транзистора в схеме с ОЭ. Основные режимы работы схемы. Характеристики остаточного тока и остаточного напряжения. Уравнение нагрузочной прямой. Понятие степени насыщения транзистора.
3. Нарисовать и объяснить топологию интегрального БП $n - p - n$ транзистора без скрытого слоя и со скрытым слоем.
4. Оценить величину остаточного напряжения $U_{ост}$ в интегральном транзисторе.
5. Переходные процессы в транзисторных ключах. Количественная оценка переходных процессов.
6. Преимущества и недостатки БП ключа с барьером Шоттки. Нарисовать топологию данного ключа. Пояснить работу схемы.
7. Объяснить методику измерения, используемую в данной работе.

Вопросы к лабораторной работе «Исследование характеристик мультивибратора на биполярных транзисторах»:

1. Нарисовать и качественно объяснить входные и выходные статические характеристики $p - n - p$ транзистора в схеме с общим эмиттером.
2. Указать на характеристиках участки, соответствующие активному режиму и области насыщения.
3. Описать работу мультивибратора в автоколебательном режиме с точки зрения двухкаскадного усилителя с положительными обратными связями.
4. Что называется петлевым коэффициентом усиления?

5. Как выполняются условия самовозбуждения, баланс фаз и амплитуд? В чем принципиальное отличие релаксационных и гармонических автогенераторов?
6. Какими параметрами определяется крутизна фронта нарастания и длительность спада импульсов в стадии опрокидывания схемы?
7. Какие элементы схемы определяют время нахождения в каждом из состояний квазиравновесия?
8. Качественно обсудите вопрос о стабильности длительности импульсов (в частности о температурной стабильности частоты автоколебаний).
9. Укажите возможные способы регулировки длительности амплитуды импульсов.
10. Исследовать работоспособность мультивибратора с эмиттерно-базовыми связями

6. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине

6.1. Перечень компетенций выпускников образовательной программы, в формировании которых участвует дисциплина, с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений) приведён выше (раздел 2). Ниже приведена таблица образовательных дескрипторов (отличительных признаков уровней освоения компетенций).

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	Шкала оценивания сформированности компетенций						
	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	Не зачтено		зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок.	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько незначительных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки.	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи, отдельные несущественные недочеты	Продемонстрированы все основные умения, Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без

			ном объеме.	ния, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	недочетами.	ми, выполнены все задания в полном объеме.	недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

6.2. Описание шкал оценивания

Используется шкала оценивания «зачет-незачет»

6.3. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю), характеризующих этапы формирования компетенций

Оценочные средства для контроля текущей успеваемости включают в себя контрольные вопросы, содержащиеся в учебно-методических пособиях по лабораторным работам. Эти вопросы используются при допуске к выполнению экспериментальной части работ.

Критерии выставления оценки при сдаче зачета

Аттестация по дисциплине проходит в виде зачета по результатам шестого семестра в виде индивидуального собеседования.

Критерии оценок зачета:

зачтено - владение программным материалом, понимание сущности работы электрических схем.

незачтено - полное непонимание сущности работы простейших электрических схем.

6.4. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих этапы формирования компетенций и (или) для итогового контроля сформированности компетенции.

Вопрос 1.

Напряжение, достаточное для открывания кремниевого диода, составляет

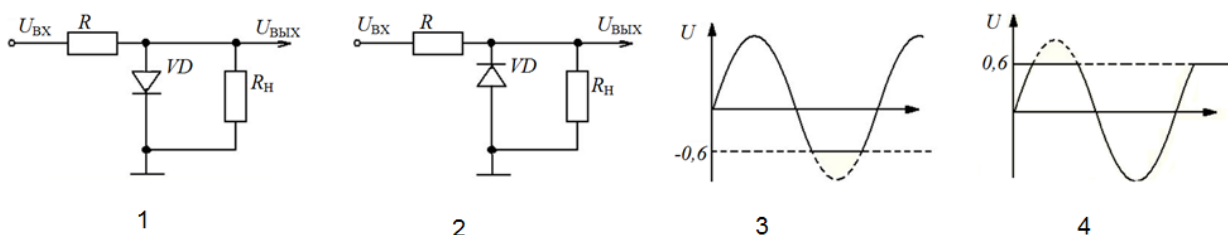
1. 0.1–0.2 В
2. 0.6–0.7 В
3. 2–3 В

Шкала оценки:

Зачтено – ответ (2);
незачтено – ответы (1, 3).

Вопрос 2 .

Установите соответствие между схемами и временными диаграммами работы диодных ограничителей (пунктиром указано входное напряжение, сплошной линией – выходное)



1. 1-4, 2-3
2. 1-3, 2-4

Шкала оценки:

Зачтено – ответ (1);
незачтено – ответ (2).

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. Титце, У. Полупроводниковая схемотехника. Том I / У. Титце, К. Шенк. – Москва: ДМК Пресс, 2009. — 832 с.
<http://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=322015&idb=0>
2. Титце, У. Полупроводниковая схемотехника. Том II / У. Титце, К. Шенк. — Москва: ДМК Пресс, 2009. — 942 с.
<http://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=636648&idb=0>
3. Манаев Е. И. Основы радиоэлектроники: - М.: Радио и связь, 1985. - 504 с.
<http://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=314071&idb=0>
4. Степаненко И.П. Основы теории транзисторов и транзисторных схем. – Москва: Издательство «Энергия», 1967, 615 с.
<http://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=318079&idb=0>

б) дополнительная литература:

1. Н.В. Суханова. Основы электроники и цифровой схемотехники. [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Н.В. Суханова - Воронеж : ВГУИТ, 2017. – 95 с.
<http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785000322260.html>
2. Фрике К. Мир электроники: Вводный курс цифровой электроники /Пер. с нем. Под ред. и дополн. В.Я. Кремлева/ К. Фрике. М.: Техносфера, 2003.- 432 с.
<http://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=50998&idb=0>
3. Джонс М. Х. Электроника – практический курс. – М.: Постмаркет, 1999.– 528 с. <http://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=29901&idb=0>
4. Хоровиц П., Хилл У. - Искусство схемотехники: в 2 т. с доп. [Т.] 1. - М.: Мир, 1986. - 598 с. <http://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=321343&idb=0>
5. Хоровиц П., Хилл У. - Искусство схемотехники: в 2 т. с доп. [Т.] 2. - М.: Мир, 1986. - 590 с. <http://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=321344&idb=0>

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения. При выполнении лабораторных занятий некоторых математических расчетов студенты могут воспользоваться техническими возможностями учебно-лабораторного комплекса National Instruments с установленным лицензионным программным обеспечением LabView и терминал-класса с установленным лицензионным программным обеспечением.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями установленного ННГУ образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 28.03.01 "Нанотехнологии и микросистемная техника".

Автор:

к.ф.-мат. наук, доцент кафедры физики полупроводников,
электроники и наноэлектроники

А.П. Горшков

Рецензент:

заведующий кафедрой
теоретической физики, д.ф.-м.н.

В.А. Бурдов

Заведующий кафедрой
физики полупроводников электроники
и наноэлектроники,
д.ф.-м.н. профессор

Д. А. Павлов

Программа одобрена на заседании Учебно-методической комиссии физического факультета ННГУ, протокол б/н от «20» мая 2023 г.

Председатель
Учебно-методической комиссии
физического факультета ННГУ

А.А. Перов