



КГУУ

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «КГУУ»)

9 28.04.2026

УТВЕРЖДАЮ

Директор  
Института цифровых технологий  
и экономики

\_\_\_\_\_ Р.Р. Закиева

«25» марта 2025 г.

### РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.О.16 Физические основы электроники

---

Направление подготовки

12.03.01 Приборостроение

*(Код и наименование направления подготовки)*

Квалификация

\_\_\_\_\_ Бакалавр \_\_\_\_\_

г. Казань, 2025

Программу разработал:

Наименование кафедры	Должность, уч.степень, уч.звание	ФИО разработчика
Промышленная электроника	Доцент, к.ф-м.н	Синицин Алексей Михайлович

Согласование	Наименование подразделения	Дата	№ протокола	Подпись
Одобрена	Промышленная электроника	10.03.2025	18	_____ Зав.каф., доцент, д.т.н., Иванов Д.А.
Согласована	ПМ	11.03.2025	№3	_____ Зав.каф., д.т.н., доц. Козелков О.В.
Согласована	Учебно-методический совет института ИЦТЭ	25.03.2025	№7	_____ Директор, д.п.н., доц. Закиева Р.Р.
Одобрена	Ученый совет института ИЦТЭ	25.03.2025	№7	_____ Директор, д.п.н., доц. Закиева Р.Р.

## 1. Цель, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине

Целью освоения дисциплины «Физические основы электроники» является изучение физических и математических моделей материалов, приборов и узлов электроники и способов их использования при расчете и анализе электротехнических характеристик и параметров указанных объектов.

Задачами дисциплины являются:  
формирование навыков расчета и анализа электротехнических характеристик и параметров приборов и узлов электроники и нанoeлектроники, необходимых при изучении последующих курсов и в будущей инженерной деятельности.

Компетенции и индикаторы, формируемые у обучающихся:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора
ОПК-1 Способен применять естественнонаучные и общинженерные знания, методы математического анализа и моделирования в инженерной деятельности, связанной с проектированием и конструированием, технологиями производства приборов и комплексов широкого назначения	ОПК-1.6 Демонстрирует понимание физических явлений и умеет применять физические законы электричества и магнетизма при решении типовых задач электротехники с применением математического аппарата

## 2. Место дисциплины в структуре ОП

Предшествующие дисциплины (модули): Физика, Математика, Менеджмент, Информационные технологии.

Последующие дисциплины (модули):

Материаловедение, Прикладная схемотехника, Теория автоматического управления, Инжиниринг интеллектуальных систем, Технологии искусственного интеллекта в приборостроении, Цифровая и микропроцессорная техника, Производственная практика (проектная), Производственная практика (научно-исследовательская работа), Производственная практика (преддипломная).

## 3. Структура и содержание дисциплины

### 3.1. Структура дисциплины

Для очной формы обучения

Вид учебной работы	Всего ЗЕ	Всего часов	Семестр
			3
ОБЩАЯ ТРУДОЕМКОСТЬ ДИСЦИПЛИНЫ	7	252	252
КОНТАКТНАЯ РАБОТА*	-	133	133
АУДИТОРНАЯ РАБОТА	2,7	98	98
Лекции	0,9	32	32
Практические (семинарские) занятия	0,9	34	34
Лабораторные работы	0,9	32	32
САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА ОБУЧАЮЩЕГОСЯ	4,3	154	154

Проработка учебного материала	2,3	82	82
Курсовой проект	-	-	-
Курсовая работа	1	36	36
Подготовка к промежуточной аттестации	1	36	36
Промежуточная аттестация:			Э
			КР

### 3.2. Содержание дисциплины, структурированное по разделам и видам занятий

Разделы дисциплины	Всего часов	Распределение трудоемкости по видам учебной работы				Формы и вид контроля	Индексы индикаторов формируемых компетенций
		лекции	лаб. раб.	пр. зан.	сам. раб.		
Раздел 1	28	5	5	5	13	ТК1	ОПК-1.6.3, ОПК-1.6.У, ОПК-1.6.В
Раздел 2	30	5	5	6	14		ОПК-1.6.3, ОПК-1.6.У, ОПК-1.6.В
Раздел 3	32	6	6	6	14	ТК2	ОПК-1.6.3, ОПК-1.6.У, ОПК-1.6.В
Раздел 4	32	6	6	6	14		ОПК-1.6.3, ОПК-1.6.У, ОПК-1.6.В
Раздел 5	30	5	5	6	14		ОПК-1.6.3, ОПК-1.6.У
Раздел 6	28	5	5	5	13	ТК3	ОПК-1.6.У, ОПК-1.6.В
Курсовая работа	36				36	<b>ОМкр</b>	<b>ОПК-1.6.3, ОПК-1.6.У, ОПК-1.6.В</b>
Экзамен	36				36	<b>ОМ</b>	<b>ОПК-1.6.3, ОПК-1.6.У, ОПК-1.6.В</b>
<b>ИТОГО</b>	<b>252</b>	<b>32</b>	<b>32</b>	<b>34</b>	<b>154</b>		

### 3.3. Содержание дисциплины

Раздел 1. Материалы полупроводниковой электроники и физико-математические методы описания их электротранспортных свойств

Тема 1.1. Модели, описывающие электротранспортные свойства металлов и полупроводников.

*Рассматриваются электротранспортные свойства металлов и полупроводников и изучаются модели, описывающие эти свойства*

Тема 1.2. Фундаментальная система уравнений полупроводника.

*Изучается система уравнений полупроводника и её основные свойства*

Раздел 2. Граничные эффекты в полупроводниках.

Тема 2.1. Электронно-дырочные переходы, изотипные и анизотипные гетеропереходы, контакты «металл –полупроводник» и «полупроводник-диэлектрик».

*Изучаются свойства переходов и свойства контактов*

Тема 2.2. Энергетическая диаграмма p-n-перехода, процессы инжекции носителей через переход, зависимость свойств перехода от температуры и концентрации примесей.

*Изучается энергетическая диаграмма p-n-перехода и процессы в этом переходе*

### Раздел 3. Полупроводниковые диоды

Тема 3.1. Полупроводниковые диоды. Виды полупроводниковых диодов. ВАХ.

*Изучаются вольт-амперные характеристики и свойства полупроводниковых диодов*

Тема 3.2. Наиболее распространенные полупроводниковые диоды и узлы, построенные на их основе.

*Изучаются узлы и схемы на полупроводниковых диодах*

### Раздел 4. Биполярные транзисторы

Тема 4.1. Полупроводниковая структура биполярного транзистора

*Изучаются свойства и принцип работы биполярного транзистора*

Тема 4.2. Статические и динамические модели биполярного транзистора.

Модель Эбберса-Молла и ВАХ

*Изучаются вольт-амперные характеристики и модели биполярного транзистора*

Тема 4.3. Схемы замещения биполярных транзисторов

*Изучаются схемы замещения биполярных транзисторов*

Тема 4.4. Основные схемы включения биполярных транзисторов

*Рассматриваются основные схемы на биполярных транзисторах*

### Раздел 5. Полевые транзисторы

Тема 5.1. Полевые транзисторы с управляющим р-п-переходом

*Рассматриваются свойства и принципы работы полевых транзисторов с управляющим р-п-переходом*

Тема 5.2. Полевые транзисторы со структурой «металл-диэлектрик-полупроводник» (МДП)

*Рассматриваются свойства и принципы работы полевых транзисторов со структурой «металл-диэлектрик-полупроводник»*

Тема 5.3. Принципы построения усилительных каскадов на полевых транзисторах и их расчет

*Рассматриваются схемы на полевых транзисторах и их расчёт*

### Раздел 6. Силовые полупроводниковые приборы

Тема 6.1. Тиристор. (Динисторы)

*Изучается полупроводниковый прибор динистор и его свойства*

Тема 6.2. Тринисторы. Симисторы

*Изучается полупроводниковый прибор тринистор и его свойства*

Тема 6.3. Переходные процессы при включении тиристоров

*Изучаются переходные процессы в тиристорах*

### **3.4. Тематический план практических занятий**

Тема 1. Явления переноса зарядов в твердых телах

Тема 2. Электронно-дырочный переход

Тема 3. Электронно-дырочный переход

Тема 4. Расчет параметров моделей биполярного транзистора и координат его рабочей точки

Тема 5. Расчет параметров базовых схем усилительных каскадов на биполярном транзисторе

Тема 6. Расчет параметров моделей полевого транзистора и координат его рабочей точки

Тема 7. Расчет параметров базовых схем усилительных каскадов на полевом транзисторе

Тема 8. Расчет координат характерных точек на плоскости определения ВАХ тиристора. Тепловой расчет мощного тиристора

Тема 9. Расчет координат характерных точек на плоскости определения ВАХ фоторезистора и фотодиода

### **3.5. Тематический план лабораторных работ**

Тема 1. Исследование диодов

Тема 2. Исследование неуправляемого выпрямителя

Тема 3. Исследование параметрического стабилизатора напряжения на стабилитроне

Тема 4. Изучение статических характеристик и параметров биполярного транзистора

Тема 5. Изучение динамических характеристик и параметров биполярного транзистора

Тема 6. Исследование биполярного транзистора и транзисторного усилительного каскада

Тема 7. Исследование полевого транзистора и транзисторного усилительного каскада

Тема 8. Исследование тиристора, симистора и запираемого тиристора

### **3.6. Курсовая работа**

Тематика курсовой работы: Расчет элементов и характеристик транзисторного усилителя с блоком питания (выбирается в зависимости от варианта).

*Курсовая работа направлена на расчет двухкаскадного линейного транзисторного усилителя с емкостными связями между каскадами, имеющего заданные (для данного варианта) значения: 1) максимальных амплитуд входного и выходного напряжений ( $U_{вх}$  и  $U_{вых}$ ), 2) входного сопротивления ( $R_{вх}$ ), 3) величины сопротивления нагрузки ( $R_H$ ), 4) нижней и верхней частот рабочего диапазона ( $f_n$  и  $f_v$ , соответственно).*

#### 4. Оценивание результатов обучения

Оценивание результатов обучения по дисциплине осуществляется в рамках текущего контроля и промежуточной аттестации, проводимых по балльно-рейтинговой системе (БРС).

Шкала оценки результатов обучения по дисциплине:

Код компетенции	Код индикатора компетенции	Запланированные результаты обучения по дисциплине	Уровень сформированности индикатора компетенции			
			Высокий	Средний	Ниже среднего	Низкий
			от 85 до 100	от 70 до 84	от 55 до 69	от 0 до 54
			Шкала оценивания			
			отлично	хорошо	удовлетворительно	неудовлетворительно
			зачтено		не зачтено	
ОПК-1	ОПК-1.6	знать:				
		Физические основы функционирования электронных приборов и их наиболее важные параметры и характеристики	Знает физические основы функционирования электронных приборов и их наиболее важные параметры и характеристики, не допускает ошибок	Знает физические основы функционирования электронных приборов и их наиболее важные параметры и характеристики, может допустить несколько не грубых ошибок	Знает физические основы функционирования электронных приборов и их наиболее важные параметры и характеристики, присутствует грубые ошибки	Не знает физические основы функционирования электронных приборов и их наиболее важные параметры и характеристики, допускает множество грубых ошибок
		уметь:				
		Правильно применять физические законы и математические методы для решения задач теоретического и прикладного характера	Умеет правильно применять физические законы и математически	Умеет правильно применять физические законы и математически	Умеет правильно применять физические законы и математически	Не умеет правильно применять физические законы и математически

			методы для решения задач теоретического и прикладного характера, не допускает ошибок	методы для решения задач теоретического и прикладного характера, может допустить несколько не грубых ошибок	методы для решения задач теоретического и прикладного характера, присутствуют грубые ошибки	методы для решения задач теоретического и прикладного характера, допускает множество грубых ошибок
		владеть:				
		Навыками применения физических законов и математических методов для решения задач теоретического и прикладного характера	Владеет навыками применения физических законов и математических методов для решения задач теоретического и прикладного характера, не допускает ошибок	Владеет навыками применения физических законов и математических методов для решения задач теоретического и прикладного характера, может допустить несколько не грубых ошибок	Владеет навыками применения физических законов и математических методов для решения задач теоретического и прикладного характера, присутствуют грубые ошибки	Не владеет навыками применения физических законов и математических методов для решения задач теоретического и прикладного характера, допускает множество грубых ошибок

Оценочные материалы для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации приведены в Приложении к рабочей программе дисциплины.

Полный комплект заданий и материалов, необходимых для оценивания результатов обучения по дисциплине, хранится на кафедре разработчика и содержит 50 тестовых вопросов на каждую компетенцию, из них 20% - закрытого типа, 80% - открытого типа."

## 5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### 5.1. Учебно-методическое обеспечение

#### 5.1.1. Основная литература

1. Ефимов, И. Е. Основы микроэлектроники : учебник / И. Е. Ефимов, И. Я. Козырь. — 3-е изд. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 384 с. — ISBN 978-5-8114-0866-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/210218>.

2. Смирнов, Ю. А. Физические основы электроники : учебное пособие / Ю. А. Смирнов, С. В. Соколов, Е. В. Титов. — 2-е изд., испр. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 560 с. — ISBN 978-5-8114-1369-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/211208>.

3. Новиков, Ю. Н. Основные понятия и законы теории цепей, методы анализа процессов в цепях : учебное пособие / Ю. Н. Новиков. — 3-е изд., испр. и доп. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 368 с. — ISBN 978-5-8114-1184-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/210584>.

4. Пасынков, В. В. Полупроводниковые приборы : учебное пособие / В. В. Пасынков, Л. К. Чиркин. — 9-е изд. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 480 с. — ISBN 978-5-8114-0368-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/210338>.

#### 5.1.2. Дополнительная литература

1. Твердотельная электроника. Практикум : учебное пособие для вузов / Э.Н.Воронков . - М. : Академия, 2010. - 128 с. - Текст : непосредственный.

2. Александров, С. Е. Технология полупроводниковых материалов : учебное пособие / С. Е. Александров, Ф. Ф. Греков. — 2-е изд., испр. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 240 с. — ISBN 978-5-8114-1290-7. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/210869>.

3. Зырянов, Ю. Т. Основы радиотехнических систем : учебное пособие / Ю. Т. Зырянов, О. А. Белоусов, П. А. Федюнин. — 2-е изд., перераб. и доп. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 192 с. — ISBN 978-5-8114-1903-6. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/212156>.

4. Твердотельная электроника : учебное пособие для вузов / В. А. Гуртов. - 2-е изд., доп. - М. : Техносфера, 2005. - 408 с. - Текст : непосредственный.

5. Смирнов, Ю. А. Основы нано- и функциональной электроники : учебное пособие / Ю. А. Смирнов, С. В. Соколов, Е. В. Титов. — 2-е изд., испр. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 320 с. — ISBN 978-5-8114-1378-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/211205>.

## 5.2. Информационное обеспечение

### 5.2.1. Электронные и интернет-ресурсы

№ п/п	Наименование электронных и интернет-ресурсов	Ссылка
1	Дистанционный курс "Физические основы электроники" на площадке LMSMoodle	<a href="https://lms.kgeu.ru/course/view.php?id=3242">https://lms.kgeu.ru/course/view.php?id=3242</a>
2	Электронно-библиотечная система «Лань»	<a href="https://e.lanbook.com/">https://e.lanbook.com/</a>
3	Электронно-библиотечная система «ibooks.ru»	<a href="https://ibooks.ru/">https://ibooks.ru/</a>
4	Электронно-библиотечная система «book.ru»	<a href="https://www.book.ru/">https://www.book.ru/</a>

### 5.2.2. Профессиональные базы данных / Информационно-справочные системы

#### Профессиональные базы данных:

№ п/п	Наименование профессиональных баз данных	Адрес	Режим доступа
1	Официальный сайт Министерства науки и высшего образования РФ	<a href="https://www.minobrnauki.gov.ru/">https://www.minobrnauki.gov.ru/</a>	<a href="https://www.minobrnauki.gov.ru/">https://www.minobrnauki.gov.ru/</a>
2	Web of Science	<a href="https://webofknowledge.com/">https://webofknowledge.com/</a>	<a href="https://webofknowledge.com/">https://webofknowledge.com/</a>
3	Scopus	<a href="https://www.scopus.com">https://www.scopus.com</a>	<a href="https://www.scopus.com">https://www.scopus.com</a>
4	Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU	<a href="http://elibrary.ru">http://elibrary.ru</a>	<a href="http://elibrary.ru">http://elibrary.ru</a>
5	Scopus	<a href="http://www.scopus.com">www.scopus.com</a>	<a href="http://www.scopus.com">www.scopus.com</a>
6	Web of Science	<a href="http://apps.webofknowledge.com">apps.webofknowledge.com</a>	<a href="http://apps.webofknowledge.com">apps.webofknowledge.com</a>
7	Архив журналов РАН	<a href="https://www.elibrary.ru/titlerefgroup.asp?titlerefgroupid=3">https://www.elibrary.ru/titlerefgroup.asp?titlerefgroupid=3</a>	<a href="https://www.elibrary.ru/titlerefgroup.asp?titlerefgroupid=3">https://www.elibrary.ru/titlerefgroup.asp?titlerefgroupid=3</a>
8	Цифровой архив журнала Science	<a href="http://archive.neicon.ru">archive.neicon.ru</a>	<a href="http://archive.neicon.ru">archive.neicon.ru</a>
9	Физика твёрдого тела	<a href="http://journals.ioffe.ru">journals.ioffe.ru</a>	<a href="http://journals.ioffe.ru">journals.ioffe.ru</a>
10	Физика и техника полупроводников	<a href="http://journals.ioffe.ru">journals.ioffe.ru</a>	<a href="http://journals.ioffe.ru">journals.ioffe.ru</a>
11	Журнал технической физики	<a href="http://journals.ioffe.ru">journals.ioffe.ru</a>	<a href="http://journals.ioffe.ru">journals.ioffe.ru</a>
12	Письма в журнал технической	<a href="http://journals.ioffe.ru">journals.ioffe.ru</a>	<a href="http://journals.ioffe.ru">journals.ioffe.ru</a>

#### Информационно-справочные системы:

№ п/п		Адрес	Режим доступа
1	«Консультант ПЛЮС»	<a href="http://www.consultant.ru/">http://www.consultant.ru/</a>	<a href="http://www.consultant.ru/">http://www.consultant.ru/</a>

### 5.2.3. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение дисциплины

№ п/п	Наименование программного обеспечения	Описание	Реквизиты подтверждающих документов
1	Windows 7 Профессиональная (Pro)	Пользовательская операционная система	ЗАО "СофтЛайнТрейд" №2011.25486 от 28.11.2011 Неискл.
2	LabVIEW Professional Development System for Windows	Среда графического программирования и разработки приложений	ЗАО "СофтЛайнТрейд" №2013.39442 Неискл. право. Бессрочно
3	NI Academic Site License – Multisim Teaching Only (Smaii)	Пакет программного обеспечения для графического программирования и проектирования	ЗАО "СофтЛайнТрейд" №2013.39442 Неискл. право. Бессрочно
4	NI Academic Site License – LabVIEW Teaching and Research (Smaii)	Пакет программного обеспечения для графического программирования и проектирования	ЗАО "СофтЛайнТрейд" №2013.39442 Неискл. право. Бессрочно
5	Office Standard 2007 Russian OLP NL AcademicEdition+	Пакет программных продуктов содержащий в себе необходимые офисные программы	ЗАО "СофтЛайнТрейд" №21/2010 от 04.05.2010 Неискл. право. Бессрочно
6	Браузер Chrome	Система поиска информации в сети интернет	Свободная лицензия Неискл. право. Бессрочно
7	LMS Moodle	ПО для эффективного онлайн-взаимодействия преподавателя и студента	Свободная лицензия Неискл. право. Бессрочно

### 6. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Наименование вида учебной работы	Наименование учебной аудитории, специализированной лаборатории	Перечень необходимого оборудования и технических средств обучения
Лекции	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа	Специализированная учебная мебель, технические средства обучения, служащие для представления учебной информации большой аудитории (мультимедийный проектор, компьютер (ноутбук), экран), демонстрационное оборудование, учебно-наглядные пособия
Практические занятия	Учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа,	Специализированная учебная мебель, проектор, экран, компьютер в комплекте с монитором, стенды: ЭС-23 "Исследование

	<p>групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации</p>	<p>схем решающих усилителей (2 шт.), "Однокаскадный усилитель, ЦЦАП и АЦП, "Узкополосный резонансный усилитель", "Транзисторный ключ", "Генератор пилообразного напряжения", " Мощные усилительные каскады" , "Одновибраторы", "Амплитудная модуляция гармонических сигналов и детектирования амплитудно-модулируемого сигнала", "Схемы типовых генераторов", "Усилительные каскады на биполярном транзисторе", "Исследование работы активных и пассивных фильтров", "Измерение амплитудно-частотных характеристик фильтра на поверхностных акустических волнах", фотоколориметр КФК-3-01 (2 шт.), лабораторный стенд КС-11 (3 шт.), генератор, осциллограф</p>
Лабораторные работы	<p>Учебная лаборатория «А-408_» - <u>Лаборатория Физических основ электроники</u></p>	<p>Специализированная учебная мебель, доска аудиторная, телевизор, стенды: "Изучение характеристик и параметров полевого транзистора с управляющим р-п переходом", "Изучение характеристик и модулей полупроводниковых диодов", "МДП транзистор", "Исследование термоэлектронной эмиссии", "Изучение статических характеристик и параметров биполярного транзистора", "Исследование параметров МОП структур методом ВФХ", "Исследование тиристоров", "Схемотехника" (Звенья обратной связи; Операционные усилители; Модуль измерений; Функциональный генератор; Схемотехника элементов ТТЛ; Фильтры; Компаратор; Стабилизаторы напряжения; Транзисторный усилитель; Мультивибраторы и таймеры), компьютер в комплекте с монитором, камера</p>
	<p>Компьютерный класс с выходом в Интернет <u>А-405</u></p>	<p>Специализированная учебная мебель, технические средства обучения (мультимедийный проектор, компьютер (ноутбук), экран), лицензионное программное обеспечение</p>
	<p>Компьютерный класс с выходом в Интернет В-600а</p>	<p>Специализированная учебная мебель на 30 посадочных мест, 30 компьютеров, технические средства обучения (мультимедийный проектор, компьютер (ноутбук), экран), видеокамеры, программное обеспечение</p>
Самостоятельная работа	<p>Компьютерный класс с выходом в Интернет В-600а</p>	<p>Специализированная учебная мебель на 30 посадочных мест, 30 компьютеров, технические средства обучения (мультимедийный проектор, компьютер (ноутбук),</p>

		экран), видеокамеры, программное обеспечение
	Читальный зал библиотеки	Специализированная мебель, компьютерная техника с возможностью выхода в Интернет и обеспечением доступа в ЭИОС, экран, мультимедийный проектор, программное обеспечение
	Учебная аудитория для выполнения курсового проекта (курсовой работы) «А-408» - <u>Лаборатория Физических основ электроники</u>	Специализированная учебная мебель, проектор, экран, компьютер в комплекте с монитором, стенды: ЭС-23 "Исследование схем решающих усилителей (2 шт.), "Однокаскадный усилитель, ЦЦАП и АЦП, "Узкополосный резонансный усилитель", "Транзисторный ключ", "Генератор пилообразного напряжения", " Мощные усилительные каскады" , "Одновибраторы", "Амплитудная модуляция гармонических сигналов и детектирования амплитудно-модулируемого сигнала", "Схемы типовых генераторов", "Усилительные каскады на биполярном транзисторе", "Исследование работы активных и пассивных фильтров", "Измерение амплитудно-частотных характеристик фильтра на поверхностных акустических волнах", фотоколориметр КФК-3-01 (2 шт.), лабораторный стенд КС-11 (3 шт.), генератор, осциллограф

## 7. Особенности организации образовательной деятельности для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Лица с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ) и инвалиды имеют возможность беспрепятственно перемещаться из одного учебно-лабораторного корпуса в другой, подняться на все этажи учебно-лабораторных корпусов, заниматься в учебных и иных помещениях с учетом особенностей психофизического развития и состояния здоровья.

Для обучения лиц с ОВЗ и инвалидов, имеющих нарушения опорно-двигательного аппарата, обеспечены условия беспрепятственного доступа во все учебные помещения. Информация о специальных условиях, созданных для обучающихся с ОВЗ и инвалидов, размещена на сайте университета [www/kgeu.ru](http://www/kgeu.ru). Имеется возможность оказания технической помощи ассистентом, а также услуг сурдопереводчиков и тифлосурдопереводчиков.

Для адаптации к восприятию лицами с ОВЗ и инвалидами с нарушенным слухом справочного, учебного материала по дисциплине обеспечиваются следующие условия:

- для лучшей ориентации в аудитории, применяются сигналы оповещения о начале и конце занятия (слово «звонок» пишется на доске);
- внимание слабослышащего обучающегося привлекается педагогом жестом (на плечо кладется рука, осуществляется нерезкое похлопывание);

- разговаривая с обучающимся, педагогический работник смотрит на него, говорит ясно, короткими предложениями, обеспечивая возможность чтения по губам.

Компенсация затруднений речевого и интеллектуального развития слабослышащих обучающихся проводится путем:

- использования схем, диаграмм, рисунков, компьютерных презентаций с гиперссылками, комментирующими отдельные компоненты изображения;
- регулярного применения упражнений на графическое выделение существенных признаков предметов и явлений;
- обеспечения возможности для обучающегося получить адресную консультацию по электронной почте по мере необходимости.

Для адаптации к восприятию лицами с ОВЗ и инвалидами с нарушениями зрения справочного, учебного, просветительского материала, предусмотренного образовательной программой по выбранному направлению подготовки, обеспечиваются следующие условия:

- ведется адаптация официального сайта в сети Интернет с учетом особых потребностей инвалидов по зрению, обеспечивается наличие крупношрифтовой справочной информации о расписании учебных занятий;
- педагогический работник, его собеседник (при необходимости), присутствующие на занятии, представляются обучающимся, при этом каждый раз называется тот, к кому педагогический работник обращается;
- действия, жесты, перемещения педагогического работника коротко и ясно комментируются;
- печатная информация предоставляется крупным шрифтом (от 18 пунктов), тотально озвучивается;
- обеспечивается необходимый уровень освещенности помещений;
- предоставляется возможность использовать компьютеры во время занятий и право записи объяснений на диктофон (по желанию обучающихся).

Форма проведения текущей и промежуточной аттестации для обучающихся с ОВЗ и инвалидов определяется педагогическим работником в соответствии с учебным планом. При необходимости обучающемуся с ОВЗ, инвалиду с учетом их индивидуальных психофизических особенностей дается возможность пройти промежуточную аттестацию устно, письменно на бумаге, письменно на компьютере, в форме тестирования и т.п., либо предоставляется дополнительное время для подготовки ответа.

## **8. Методические рекомендации для преподавателей по организации воспитательной работы с обучающимися.**

Методическое обеспечение процесса воспитания обучающихся выступает одним из определяющих факторов высокого качества образования. Преподаватель вуза, демонстрируя высокий профессионализм, эрудицию, четкую гражданскую позицию, самодисциплину, творческий подход в решении профессиональных задач, в ходе образовательного процесса способствует формированию гармоничной личности.

При реализации дисциплины преподаватель может использовать следующие методы воспитательной работы:

- методы формирования сознания личности (беседа, диспут, внушение, инструктаж, контроль, объяснение, пример, самоконтроль, рассказ, совет, убеждение и др.);

- методы организации деятельности и формирования опыта поведения (задание, общественное мнение, педагогическое требование, поручение, приучение, создание воспитывающих ситуаций, тренинг, упражнение, и др.);

- методы мотивации деятельности и поведения (одобрение, поощрение социальной активности, порицание, создание ситуаций успеха, создание ситуаций для эмоционально-нравственных переживаний, соревнование и др.)

При реализации дисциплины преподаватель должен учитывать следующие направления воспитательной деятельности:

*Гражданское и патриотическое воспитание:*

- формирование у обучающихся целостного мировоззрения, российской идентичности, уважения к своей семье, обществу, государству, принятым в семье и обществе духовно-нравственным и социокультурным ценностям, к национальному, культурному и историческому наследию, формирование стремления к его сохранению и развитию;

- формирование у обучающихся активной гражданской позиции, основанной на традиционных культурных, духовных и нравственных ценностях российского общества, для повышения способности ответственно реализовывать свои конституционные права и обязанности;

- развитие правовой и политической культуры обучающихся, расширение конструктивного участия в принятии решений, затрагивающих их права и интересы, в том числе в различных формах самоорганизации, самоуправления, общественно-значимой деятельности;

- формирование мотивов, нравственных и смысловых установок личности, позволяющих противостоять экстремизму, ксенофобии, дискриминации по социальным, религиозным, расовым, национальным признакам, межэтнической и межконфессиональной нетерпимости, другим негативным социальным явлениям.

*Духовно-нравственное воспитание:*

- воспитание чувства достоинства, чести и честности, совестливости, уважения к родителям, учителям, людям старшего поколения;

- формирование принципов коллективизма и солидарности, духа милосердия и сострадания, привычки заботиться о людях, находящихся в трудной жизненной ситуации;

- формирование солидарности и чувства социальной ответственности по отношению к людям с ограниченными возможностями здоровья, преодоление психологических барьеров по отношению к людям с ограниченными возможностями;

- формирование эмоционально насыщенного и духовно возвышенного отношения к миру, способности и умения передавать другим свой эстетический опыт.

*Культурно-просветительское воспитание:*

- формирование эстетической картины мира;
- формирование уважения к культурным ценностям родного города, края, страны;

- повышение познавательной активности обучающихся.

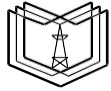
*Научно-образовательное воспитание:*

- формирование у обучающихся научного мировоззрения;
- формирование умения получать знания;
- формирование навыков анализа и синтеза информации, в том числе в профессиональной области.

**Вносимые изменения и утверждения на новый учебный год**

№ п/п	№ раздела внесения изменений	Дата внесения изменений	Содержание изменений	«Согласовано» Зав. каф. реализующей дисциплину	«Согласовано» председатель УМК института (факультета), в состав которого входит
1	2	3	4	5	6
2					
3					

*Приложение к рабочей  
программе дисциплины*



**КГЭУ**

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «КГЭУ»)**

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ  
по дисциплине**

**Физические основы электроники**

---

г. Казань, 2023

Оценочные материалы по дисциплине, предназначены для оценивания результатов обучения на соответствие индикаторам достижения компетенций.

Оценивание результатов обучения по дисциплине осуществляется в рамках текущего контроля (ТК) и промежуточной аттестации, проводимых по балльно-рейтинговой системе (БРС).

### 1. Технологическая карта

#### Семестр 3

Наименование раздела	Формы и вид контроля	Рейтинговые показатели							
		I текущий контроль	Дополнительные баллы к ТК1	II текущий контроль	Дополнительные баллы к ТК2	III текущий контроль	Дополнительные баллы к ТК3	Итого	Промежуточная аттестация
<b>Раздел 1. Материалы полупроводниковой электроники и физико-математические методы их описания электротранспортных свойств</b> <b>Раздел 2. Граничные эффекты в полупроводниках</b>	<b>ТК1</b>	<b>15</b>	<b>0-15</b>					<b>15-20</b>	<b>15-20</b>
Тест		7							
Защита лабораторной работы		4							
Отчет по самостоятельной работе		4							
<b>Выполнение КР</b>		10-20							<b>10-20</b>
<b>Раздел 3. Полупроводниковые диоды</b> <b>Раздел 4. Биполярные транзисторы</b> <b>Раздел 5. Полевые транзисторы</b>	<b>ТК2</b>			<b>25</b>	<b>0-15</b>			<b>25-30</b>	<b>25-30</b>
Тест				7					
Защита лабораторной работы				4					
Выполнение индивидуальных заданий (докладов)				14					
<b>Выполнение КР</b>		10-20							<b>10-20</b>
<b>Раздел 6. Силовые полупроводниковые приборы</b>	<b>ТК3</b>					<b>5</b>	<b>0-15</b>	<b>5-10</b>	<b>5-10</b>
Тест						3			

Защита лабораторной работы						2			
Отчет по самостоятельной работе						2			
<b>Выполнение КР</b>		10-20							<b>10-20</b>
<b>Промежуточная аттестация (КР, Экзамен)</b>	<b>ОМк р, ОМ</b>								<b>0-80</b>
Защита КР									0-40
В письменной форме по билетам									0-40

## 2. Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации

Шкала оценки результатов обучения по дисциплине:

Код компетенции	Код индикатора компетенции	Запланированные результаты обучения по дисциплине	Уровень сформированности индикатора компетенции			
			Высокий	Средний	Ниже среднего	Низкий
			от 85 до 100	от 70 до 84	от 55 до 69	от 0 до 54
			Шкала оценивания			
			отлично	хорошо	удовлетворительно	неудовлетворительно
			зачтено		не зачтено	
ОПК-1	ОПК-1.6	знать:				
		Физические основы функционирования электронных приборов и их наиболее важные параметры и характеристики	Знает физическое основы функционирования электронных приборов и их наиболее важные параметры и характеристики, не допускает ошибок	Знает физическое основы функционирования электронных приборов и их наиболее важные параметры и характеристики, может допустить несколько не грубых ошибок	Знает физическое основы функционирования электронных приборов и их наиболее важные параметры и характеристики, присутствует грубые ошибки	Не знает физическое основы функционирования электронных приборов и их наиболее важные параметры и характеристики, допускает множество грубых ошибок
уметь:						

		<p>Правильно применять физические законы и математические методы для решения задач теоретического и прикладного характера</p>	<p>Умеет правильно применять физические законы и математические методы для решения задач теоретического и прикладного характера, не допускает ошибок</p>	<p>Умеет правильно применять физические законы и математические методы для решения задач теоретического и прикладного характера, может допустить несколько не грубых ошибок</p>	<p>Умеет правильно применять физические законы и математические методы для решения задач теоретического и прикладного характера, присутствуют грубые ошибки</p>	<p>Не умеет правильно применять физические законы и математические методы для решения задач теоретического и прикладного характера, допускает множество грубых ошибок</p>
<p>владеть:</p>						
		<p>Навыками применения физических законов и математических методов для решения задач теоретического и прикладного характера</p>	<p>Владеет навыками применения физических законов и математических методов для решения задач теоретического и прикладного характера, не допускает ошибок</p>	<p>Владеет навыками применения физических законов и математических методов для решения задач теоретического и прикладного характера, может допустить несколько не грубых ошибок</p>	<p>Владеет навыками применения физических законов и математических методов для решения задач теоретического и прикладного характера, присутствуют грубые ошибки</p>	<p>Не владеет навыками применения физических законов и математических методов для решения задач теоретического и прикладного характера, допускает множество грубых ошибок</p>

Оценка **«отлично»** выставляется за выполнение *курсовой работы, защиты лабораторных работ, тестовых заданий; самостоятельных практических работ, докладов, полные и содержательные ответы на вопросы билета (теоретическое и практическое задание)*

Оценка **«хорошо»** выставляется за выполнение *курсовой работы, защиты лабораторных работ, тестовых заданий; самостоятельных практических работ, докладов, ответы на вопросы билета (теоретическое и практическое задание)*

Оценка **«удовлетворительно»** выставляется за выполнение *курсовой работы, защиты лабораторных работ, тестовых заданий; самостоятельных практических работ, докладов*

Оценка **«неудовлетворительно»** выставляется за слабое и неполное выполнение *курсовой работы, защиты лабораторных работ, тестовых заданий; самостоятельных практических работ, докладов*

### 3. Перечень оценочных средств

Краткая характеристика оценочных средств, используемых при текущем контроле успеваемости и промежуточной аттестации обучающегося по дисциплине:

Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Описание оценочного средства
Доклад (Дкл), сообщение (Сбщ)	Продукт самостоятельной работы студента, представляющий собой публичное выступление по представлению полученных результатов решения определенной учебно-практической, учебно-исследовательской или научной темы	Темы докладов, сообщений
Курсовой проект (КП), курсовая работа (КР)	Конечный продукт, получаемый в результате планирования и выполнения комплекса учебных и исследовательских заданий. Позволяет оценить умения обучающихся самостоятельно конструировать свои знания в процессе решения практических задач и проблем, ориентироваться в информационном пространстве и уровень сформированности аналитических, исследовательских навыков, навыков практического и творческого мышления. Может выполняться в индивидуальном порядке или группой обучающихся	Темы проектов
Отчет по лабораторной работе (ОЛР)	Выполнение лабораторной работы, обработка результатов испытаний, измерений, эксперимента. Оформление отчета, защита результатов лабораторной работы по отчету	Перечень заданий и вопросов для защиты лабораторной работы, перечень требований к отчету

Практическое задание (ПЗ)	Средство оценки умения применять полученные теоретические знания в практической ситуации. Задание направлено на оценивание компетенций по дисциплине, содержит четкую инструкцию по выполнению или алгоритм действий	Комплект задач и заданий
Тест (Тест)	Система стандартизированных заданий, позволяющая автоматизировать процедуру измерения уровня знаний и умений обучающегося	Комплект тестовых заданий

#### 4. Перечень контрольных заданий или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений и навыков, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения дисциплины

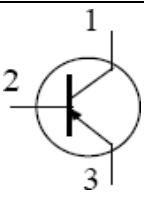
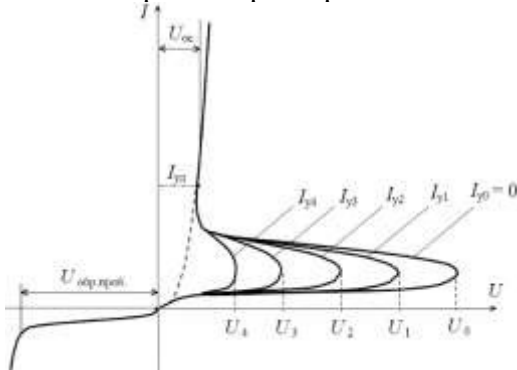
##### Пример задания

##### Для текущего контроля ТК1:

ОПК-1: ОПК-1.6 Демонстрирует понимание физических явлений и умеет применять физические законы электричества и магнетизма при решении типовых задач электротехники с применением математического аппарата

##### Тест:

Вопрос	Варианты ответа
 <p>На данном рисунке представлены...</p>	<p>Изменения в положениях различных зон энергии кристалла кремния при изменениях температуры</p> <p><b>Изменения ширины зон энергетических состояний одинаковых атомов при изменениях расстояния между ними.</b></p> <p>Энергетическая диаграмма кристалла германия при температуре 300К.</p>
<p>Формулы</p> $n_0 = N_c \exp \left[ - \frac{(\varepsilon_c - \varepsilon_F)}{k_B T} \right]$ $p_0 = N_v \exp \left[ \frac{(\varepsilon_v - \varepsilon_F)}{k_B T} \right]$ <p>представляют</p>	<p><b>Зависимости концентрации свободных электронов и дырок от температуры в беспримесном полупроводнике</b></p> <p>Зависимости концентрации свободных электронов и дырок от температуры в полупроводнике с донорной примесью</p> <p>Зависимости концентрации свободных электронов и дырок от температуры в полупроводнике с акцепторной примесью</p>
<p>На приведенном рисунке представлен</p> 	<p>варикапы</p> <p>туннельные диоды</p> <p><b>стабилитроны</b></p>
<p>На приведенном рисунке представлен</p>	<p>Биполярного транзистора <i>n-p-n</i>-типа</p>

	Полевого транзистора с управляющим <i>p-n</i> -переходом
На приведенном рисунке представлены вольтамперные характеристики ...	<b>Биполярного транзистора <i>p-n-p</i>-типа</b>
	Выпрямительного полупроводникового диода (при $T = \text{const}$ ).  Диодного тиристора (динистора), не проводящего в обратном направлении (при $T = \text{const}$ ).
	<b>Тринистора</b>

## Лабораторная работа 1: Исследование диодов.

### Предварительное задание

1. Нарисовать в линейном масштабе статические характеристики полупроводникового диода.
2. Нарисовать диаграмму напряжения на диоде при подаче на него импульса тока.
3. Нарисовать диаграммы тока и напряжения при переключении диода из проводящего состояния в непроводящее состояние.
4. Найдите зависимость времени рассасывания избыточных носителей заряда в базовой области (“полочки”) от  $I_n$ ?,  $I_{обр}$ ?

### Рабочее задание

1. Снять и построить прямую ветвь вольт-амперной характеристики (ВАХ) диода.
2. Снять и построить обратную ветвь ВАХ диода.
3. Зарисовать с экрана осциллографа форму прямого напряжения на диоде при поступлении на диод ступеньки прямого тока. Измерить сопротивление базы диода  $r_b(t_{и})$  по скачку напряжения в конце импульса.
4. Снять зависимость длительности полочки обратного тока диода от величины обратного тока  $t_{пол}(I_{обр})$  при 2-3 значениях прямого тока, протекающего через диод перед переключением. Измерить время спада обратного тока от уровня  $I_{обр}$  до уровня  $0,1 I_{обр}$ .

5. По результатам измерений п.1 построить прямую ветвь ВАХ диода в полулогарифмическом масштабе и определить параметры  $I_{дт}$  и  $\varphi_{д} = m\varphi_{Т}$ .
6. По результатам п.5. определить параметры  $r_{б0}$  и  $H$ .
7. По результатам п.6. рассчитать параметры  $\tau_{эКВ}$  и  $\tau_{\delta}$ .
8. По результатам п. 1. и п. 2. определить параметры кусочно-линейных статических моделей диода.

Типовые задачи для практического задания (Самостоятельная работа):

1. Определить концентрацию свободных носителей для германия и кремния при температуре 300 К, если ширины запрещенной зоны в этих кристаллах равны: кремний -  $E_{G0} = 1,21$  эВ при  $T = 0$  К и  $E_G = 1,17$  эВ при  $T = 300$  К; германий -  $E_{G0} = 0,785$  эВ и  $E_G = 0,66$  эВ.

2. Определить ширину запрещенной зоны в кристалле кремния при температурах  $T = 0$  К и  $T = 300$  К, если в этом кристалле концентрация свободных электронов при  $T = 300$  К равна  $n_i(300К) = 1,4 \cdot 10^{10}$  см<sup>-3</sup>, а температурная зависимость ширины запрещенной зоны определяется равенством  $E_G = E_{G0} - k_1 T$  с  $k_1 = 1,33 \cdot 10^{-4}$  эВ·К<sup>-1</sup>.

3. В беспримесном германии концентрация атомов равна  $4,5 \cdot 10^{28}$  м<sup>-3</sup>. При  $T = 300К$  один из каждых  $2 \cdot 10^9$  атомов ионизирован. Подвижности электронов и дырок при этой температуре равны соответственно 0,39 и 0,19 м<sup>2</sup>·В<sup>-1</sup>·с<sup>-1</sup>. Определить: а) удельную проводимость беспримесного германия; б) удельную проводимость германия при  $T = 300К$ , легированного элементом V группы, если на каждые  $10^8$  атомов германия приходится один примесный атом.



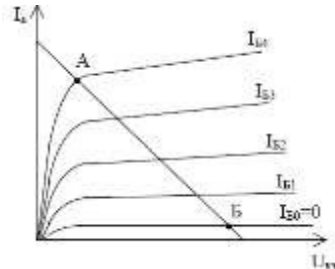
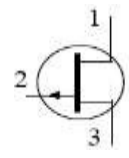
4. Кремниевый  $p$ - $n$ -переход получен между  $n$ -областью с удельным сопротивлением  $\rho_n = 5$  Ом·см и временем жизни неосновных носителей (дырок)  $\tau_p = 1$  мкс и  $p$ -областью с  $\rho_p = 0,1$  Ом·см и  $\tau_n = 5$  мкс. Определить: а) отношение дырочной составляющей к электронной; б) плотность тока, протекающего через переход при прямом напряжении, равном 0,3 В.

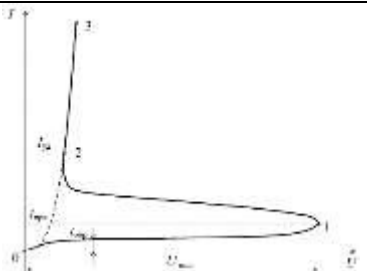
5. Кремниевый сплавной  $p$ - $n$ -переход имеет площадь поперечного сечения  $S = 1$  мм<sup>2</sup> и барьерную емкость  $C_{бар} = 300$  пФ при обратном напряжении 10 В. Относительная диэлектрическая проницаемость кремния  $\epsilon = 12$ . Определить: а) изменение барьерной емкости, если обратное напряжение увеличивается до 20 В; б) максимальную напряженность электрического поля в обедненном носителями заряда слое при обратном напряжении 10 В.

### Для текущего контроля ТК2:

ОПК-1: ОПК-1.6 Демонстрирует понимание физических явлений и умеет применять физические законы электричества и магнетизма при решении типовых задач электротехники с применением математического аппарата

Тест:

Вопрос	Варианты ответа
<p>На данном рисунке представлена упрощенная кристаллическая решетка кремния с примесью фосфора, где стрелочка обозначает.....</p> 	Процесс разрыва связи между атомом фосфора и атомом кремния.
	<b>Процесс образования свободного электрона</b>
	Процесс генерации дырки.
<p>На приведенном ниже рисунке представлено обозначение</p> 	Выпрямительного диода
	<b>Тунельного диода</b>
	Импульсного диода
<p>На рисунке представлено семейство выходных ВАХ биполярного транзистора и его нагрузочная прямая в схеме ОЭ. В режиме линейного усиления сигнала рабочая точка транзистора совпадает с ...</p> 	Точкой А
	Точкой Б
	<b>Точкой, лежащей примерно на середине отрезка АБ</b>
<p>На приведенном рисунке представлено обозначение .....</p> 	<b>Полевого транзистора с управляющим <i>p-n</i>-переходом и каналом <i>p</i>-типа</b>
	Полевого МОП-транзистора со встроенным каналом <i>n</i> -типа
	Полевого транзистора с управляющим <i>p-n</i> -переходом и каналом <i>n</i> -типа
<p>На приведенном рисунке представлена вольтамперная характеристика .....</p>	Динистора симметричного (при $T=\text{const}$ ).
	<b>Диодного тиристора (динистора), не проводящего в обратном направлении (при <math>T=\text{const}</math>).</b>

	Выпрямительного полупроводникового диода (при $T = \text{const}$ ).
-----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------

## Лабораторная работа 4: Изучение статических характеристик и параметров биполярного транзистора

### Предварительное задание

1. Нарисуйте семейства входных и выходных характеристик транзистора при включении его с общим эмиттером.
2. Нарисуйте выходные ВАХ в области пробоя при включении транзистора с общим эмиттером и с общей базой.
3. Как измеряются параметры нелинейной модели транзистора?
4. Как по ВАХ определяются параметры линейных схем замещения транзистора?
5. Нарисуйте схемы для снятия входных и выходных ВАХ транзистора.

### Рабочее задание

1. Снять и построить семейство статических входных вольт - амперных характеристик транзистора (нормальное включение).
2. Снять и построить семейство статических выходных вольт – амперных характеристик транзистора (нормальное включение) при наличии отпирающего тока базы.
3. Снять и построить выходные вольт - амперные характеристики транзистора при  $I_B = 0$  и при  $U_{BЭ} = 0$ . Характеристики снимать полностью, включая область пробоя (нормальное включение).
4. Включить транзистор инверсно (КН1 нажата). Снять и построить семейство статических выходных характеристик. Характеристики снимать полностью, включая и область пробоя.
5. Включить транзистор нормально. Для диодного включения (коллекторный переход закорочен) снять зависимость  $U_{BЭ}(I_B)$ .
6. Включить транзистор инверсно (эмиттерный переход закорочен). Повторить измерения по п. 5 для зависимости  $U_{BК}(I_K)$ .

7. По данным по п. 2 построить зависимости: тока коллектора ИТ от тока базы; коэффициента усиления тока базы  $\beta_N$  от тока эмиттера при двух значениях  $U_{кэ}: U_{кэ1} = 0$  и  $U_{кэ2} = 5B$ .

8. По данным п.2.4.4. построить зависимость коэффициента усиления тока базы  $\beta_I$  от тока коллектора.

9. По характеристике  $B_N(I_{э})/U_{кэ}$  рассчитать параметры  $A, C, D, V_A$ .

10. По данным п.2.4.3. определить параметр  $U_B$ .

11. По данным п. 5. и п.6. определить параметры  $m_{эФТ}; I_{эТ}; m_{кФТ}; I_{кТ}$ .

12. По результатам п. 1. и п. 2. определить параметры линейных схем замещения  $V_{эоа}, r_{вх.а}, r_{кк}, r_{к}^*$ .

13. По результатам п.2.4.9. построить  $I(U_{кэ})/I_{б}$  для активной нормальной области.

Темы индивидуальных заданий (Докладов):

1. Основные параметры полупроводниковых материалов и их влияние на характеристики дискретных приборов полупроводниковой электроники.

2. Статические и динамические модели полупроводниковых диодов и транзисторов.

3. Физико-математические модели базовых узлов электроники, построенных на полупроводниковых диодах и транзисторах.

4. Тепловые модели мощных диодов, тиристоров и транзисторов.

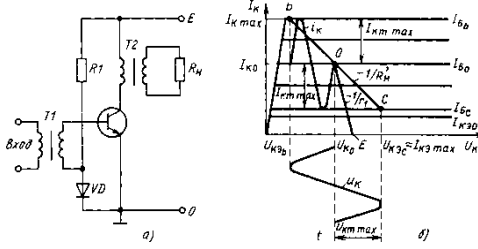
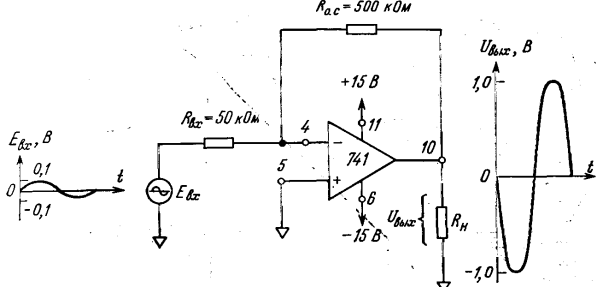
5. Особенности теплового расчета тиристоров, работающих в режиме фазоимпульсного управления

**Для текущего контроля ТКЗ:**

ОПК-1: ОПК-1.6 Демонстрирует понимание физических явлений и умеет применять физические законы электричества и магнетизма при решении типовых задач электротехники с применением математического аппарата

Тест:

Вопрос	Варианты ответа
Управление проводимостью канала полевого транзистора с управляющим $p-n$ -переходом осуществляется путем изменения	<b>приложенного к управляющему <math>p-n</math>-переходу обратного напряжения</b>
	напряжения между стоком и истоком транзистора
	сопротивления в цепи стока
Термостабилизация параметров каскада ОЭ достигается включением резистора в цепь	коллектора
	<b>эммитера</b>
	базы

<p>В электронных приборах для электронной перестройки резонансной частоты LC-контуров используются</p>	<p><b>варикапы</b></p> <p>туннельные диоды</p> <p>стабилитроны</p>
 <p>Представлена схема усилителя мощности, в каком режиме работает представленная схема</p>	<p><b>Класс А</b></p> <p>Класс В</p> <p>Класс АВ</p>
 <p>Представлена схема инвертирующего усилителя на ОУ, какой вид обратной связи используется в данной схеме</p>	<p>последовательная обратная связь по напряжению</p> <p>последовательная обратная связь по току</p> <p><b>параллельная обратная связь по напряжению</b></p>

## Лабораторная работа 7: Исследование полевого транзистора и транзисторного усилительного каскада

### Предварительное задание

5.3.1. Нарисуйте семейство проходных характеристик транзистора  $I_C = f(U_{3и})$  при  $U_{си} = const$ .

5.3.2. Нарисуйте семейство выходных характеристик  $I_C(U_{си})$  при  $U_{3и} = const$ . Укажите способ их получения из проходных характеристик.

5.3.3. На семействах проходных и выходных характеристик укажите пределы изменения  $I_C$ ,  $U_{си}$  и  $U_{3и}$ .

## Рабочее задание

- 5.1.1. Снять и построить семейство выходных характеристик исследуемого транзистора  $I_c(U_{cu})|_{U_{зс}=Const}$  для 8-10 значений  $U_{зс}$ .
- 5.4.2. Снять и построить проходные характеристики транзистора  $I_c(U_{зс})|_{U_{cu}=Const}$  для 4-5 значений  $U_{cu}$ .
- 5.4.3. Используя построенные выходные характеристики транзистора, рассчитать графическим методом сопротивление полностью открытого канала исследуемого транзистора при двух заметно отличающихся напряжениях  $U_{зс}$ .
- 5.4.4. Используя построенные проходные и выходные характеристики транзистора, произвести графический расчет его  $y$ -параметров ( $y_{12}$ ,  $y_{21}$  и  $y_{22}$ ) и указать связь этих параметров со статическими параметрами  $S_0$  и  $\Gamma_{к.дин.}$ .
- 5.4.5. Используя построенные проходные характеристики транзистора, определить 8-10 значений крутизны одной из проходных характеристик и построить график зависимости крутизны

Типовые задачи для практического задания (Самостоятельная работа):

1. Удельная проводимость канала  $n$ -типа полевого транзистора  $\sigma = 20,9$  См/м, а ширина канала  $w = 6$  мкм при напряжении затвор – исток, равном нулю. Найти напряжение отсечки  $U_{отс}$ , считая, что подвижность электронов  $\mu_n = 0,13$  м<sup>2</sup>/(В·с) и относительная диэлектрическая проницаемость кремния  $\epsilon = 12$ . б) При напряжении затвора, равном нулю, сопротивление сток – исток равно 50 Ом. При каком напряжении затвора сопротивление сток – исток станет равным 200 Ом?

2. Даны выходные ВАХ некоторого полевого транзистора. Определить положение рабочей точки данного полевого транзистора и найти параметры, определяющие это положение. Расчет параметров выполнить графо-аналитическим способом.

3. Полевой транзистор с управляющим  $p$ - $n$ -переходом и каналом с проводимостью  $n$ -типа имеет напряжение отсечки минус 8 В, ток стока при нулевом напряжении затвора равен 2 мА. В цепь стока включен резистор номиналом 1 кОм. Определить минимальное напряжение источника питания в цепи стока, при котором транзистор продолжает работать в режиме насыщения, если при этом напряжение затвора равно -0,3 В.

4. В кремниевом полевом транзисторе с управляющим  $p-n$ -переходом и с каналом  $p$ -типа половина ширины канала при напряжении  $U_{зи} = 0$  составляет 3 мкм. Удельное сопротивление канала равно 0,1 Ом·м. Определить: а) напряжение отсечки  $U_{отс}$ , полагая, что подвижность дырок  $\mu_p = 0,05 \text{ м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$  и относительная диэлектрическая проницаемость кремния  $\epsilon = 12$ ; б) половину ширины канала, если напряжение затвора  $U_{зи} = U_{отс}/2$  и ток стока равен нулю.

5. Крутизна  $S$  стокзатворной характеристики полевого транзистора с управляющим  $p-n$ -переходом и каналом  $p$ -типа в области насыщения при напряжении  $U_{зи} = -0,7 \text{ В}$  и  $U_{си} = 10 \text{ В}$  равна 1 мА/В. Чему равна крутизна транзистора при напряжениях  $U_{зи} = -1 \text{ В}$  и  $U_{си} = 10 \text{ В}$ , если напряжение отсечки транзистора  $U_{отс} = 3 \text{ В}$ .

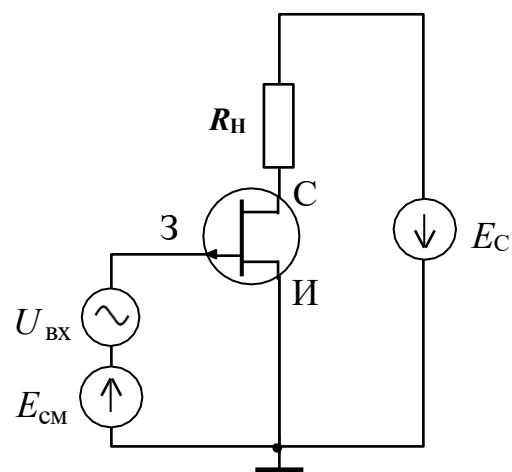


Рис. 2

### Курсовая работа

Тематика курсовой работы: Расчет элементов и характеристик транзисторного усилителя с блоком питания (выбирается в зависимости от варианта).

Курсовая работа направлена на расчет двухкаскадного линейного транзисторного усилителя с емкостными связями между каскадами, имеющего заданные (для данного варианта) значения: 1) максимальных амплитуд входного и выходного напряжений ( $U_{вх}$  и  $U_{вых}$ ), 2) входного сопротивления ( $R_{вх}$ ), 3) величины сопротивления нагрузки ( $R_{н}$ ), 4) нижней и верхней частот рабочего диапазона ( $f_{н}$  и  $f_{в}$ , соответственно).

Задание: 1) произвести выбор марок транзисторов и рассчитать параметры их рабочих точек при отсутствии; 2) произвести расчет величин и мощностей резисторов, обеспечивающих работу транзисторов в рабочей точке; 3) найти величины емкостей связи между источником сигнала и входом 1-го каскада, а также между выходом 1-го каскада и входом второго каскада; 4)

разработать схему блока питания со стабилизацией выходного напряжения.

№ варианта	ФИО студента	№ зачетной книжки	Параметры усилителя
1.			$U_{BX} = 0,01B; U_{ВЫХ} = 5B; R_{BX} = 2 \text{ кОМ}; R_H = 2,5\text{кОМ}; f_H = 40 \text{ Гц}; f_B = 25 \text{ кГц}$
2.			$U_{BX} = 0,02B; U_{ВЫХ} = 7B; R_{BX} = 1,8 \text{ кОМ}; R_H = 2,2\text{кОМ}; f_H = 50 \text{ Гц}; f_B = 30 \text{ кГц}$
3.			$U_{BX} = 0,05B; U_{ВЫХ} = 10B; R_{BX} = 1,6 \text{ кОМ}; R_H = 2,0\text{кОМ}; f_H = 50 \text{ Гц}; f_B = 40 \text{ кГц}$
4.			$U_{BX} = 0,1B; U_{ВЫХ} = 12B; R_{BX} = 1,4 \text{ кОМ}; R_H = 1,6\text{кОМ}; f_H = 40 \text{ Гц}; f_B = 20 \text{ кГц}$
5.			$U_{BX} = 0,2B; U_{ВЫХ} = 15B; R_{BX} = 1,2 \text{ кОМ}; R_H = 1,4\text{кОМ}; f_H = 35 \text{ Гц}; f_B = 18 \text{ кГц}$
6.			$U_{BX} = 0,3B; U_{ВЫХ} = 18B; R_{BX} = 1 \text{ кОМ}; R_H = 1,2\text{кОМ}; f_H = 45 \text{ Гц}; f_B = 24 \text{ кГц}$
7.			$U_{BX} = 0,4B; U_{ВЫХ} = 20B; R_{BX} = 0,8 \text{ кОМ}; R_H = 1,0\text{кОМ}; f_H = 60 \text{ Гц}; f_B = 40 \text{ кГц}$
8.			$U_{BX} = 0,5B; U_{ВЫХ} = 10B; R_{BX} = 0,7 \text{ кОМ}; R_H = 0,8\text{кОМ}; f_H = 55 \text{ Гц}; f_B = 25 \text{ кГц}$
9.			$U_{BX} = 0,6B; U_{ВЫХ} = 10B; R_{BX} = 0,8 \text{ кОМ}; R_H = 0,7\text{кОМ}; f_H = 60 \text{ Гц}; f_B = 28 \text{ кГц}$
10.			$U_{BX} = 0,7B; U_{ВЫХ} = 10B; R_{BX} = 0,7 \text{ кОМ}; R_H = 0,6\text{кОМ}; f_H = 45 \text{ Гц}; f_B = 25 \text{ кГц}$
11.			$U_{BX} = 0,8B; U_{ВЫХ} = 10B; R_{BX} = 0,6 \text{ кОМ}; R_H = 0,5\text{кОМ}; f_H = 35 \text{ Гц}; f_B = 30 \text{ кГц}$
12.			$U_{BX} = 0,9B; U_{ВЫХ} = 10B; R_{BX} = 0,5 \text{ кОМ}; R_H = 0,5\text{кОМ}; f_H = 50 \text{ Гц}; f_B = 18 \text{ кГц}$
13.			$U_{BX} = 0,01B; U_{ВЫХ} = 4B; R_{BX} = 1,8 \text{ кОМ}; R_H = 2,5\text{кОМ}; f_H = 40 \text{ Гц}; f_B = 25 \text{ кГц}$
14.			$U_{BX} = 0,02B; U_{ВЫХ} = 6B; R_{BX} = 1,8 \text{ кОМ}; R_H = 2,2\text{кОМ}; f_H = 50 \text{ Гц}; f_B = 30 \text{ кГц}$
15.			$U_{BX} = 0,03B; U_{ВЫХ} = 7B; R_{BX} = 1,7 \text{ кОМ}; R_H = 2,0\text{кОМ}; f_H = 50 \text{ Гц}; f_B = 40 \text{ кГц}$
16.			$U_{BX} = 0,4B; U_{ВЫХ} = 10B; R_{BX} = 1,5 \text{ кОМ}; R_H = 1,6\text{кОМ}; f_H = 40 \text{ Гц}; f_B = 20 \text{ кГц}$
17.			$U_{BX} = 0,25B; U_{ВЫХ} = 18B; R_{BX} = 1,3 \text{ кОМ}; R_H = 1,4\text{кОМ}; f_H = 35 \text{ Гц}; f_B = 18 \text{ кГц}$
18.			$U_{BX} = 0,3B; U_{ВЫХ} = 22B; R_{BX} = 1,1 \text{ кОМ}; R_H = 1,2\text{кОМ}; f_H = 45 \text{ Гц}; f_B = 24 \text{ кГц}$
19.			$U_{BX} = 0,35B; U_{ВЫХ} = 20B; R_{BX} = 0,9 \text{ кОМ}; R_H = 1,0\text{кОМ}; f_H = 60 \text{ Гц}; f_B = 40 \text{ кГц}$
20.			$U_{BX} = 0,4B; U_{ВЫХ} = 12B; R_{BX} = 1,1 \text{ кОМ}; R_H = 0,8\text{кОМ}; f_H = 55 \text{ Гц}; f_B = 25 \text{ кГц}$
21.			$U_{BX} = 0,6B; U_{ВЫХ} = 14B; R_{BX} = 0,9 \text{ кОМ}; R_H = 0,7\text{кОМ}; f_H = 60 \text{ Гц}; f_B = 28 \text{ кГц}$
22.			$U_{BX} = 0,7B; U_{ВЫХ} = 15B; R_{BX} = 0,8 \text{ кОМ}; R_H = 0,6\text{кОМ}; f_H = 45 \text{ Гц}; f_B = 25 \text{ кГц}$
23.			$U_{BX} = 0,8B; U_{ВЫХ} = 16B; R_{BX} = 0,7 \text{ кОМ}; R_H = 0,5\text{кОМ}; f_H = 35 \text{ Гц}; f_B = 30 \text{ кГц}$
24.			$U_{BX} = 0,9B; U_{ВЫХ} = 15B; R_{BX} = 0,6 \text{ кОМ}; R_H = 0,5\text{кОМ}; f_H = 50 \text{ Гц}; f_B = 18 \text{ кГц}$

### *Объем и содержание курсовой работы*

Курсовая работа состоит из пояснительной записки и графического материала. Записка содержит 20-30 страниц печатного текста и включает:

1. Титульный лист.
2. Задание на курсовую работу.
3. Содержание.
4. Введение.
5. Основную текстовую часть пояснительной записки:
  - а) расчёт параметров рабочих точек транзисторов;
  - б) расчёт резисторов, обеспечивающих работу транзисторов в рабочей точке;
  - в) расчет емкостей связи между источником сигнала и входом 1-го каскада, а также между выходом 1-го каскада и входом второго каскада;
  - г) выбор схемы блока питания и расчет его элементов;
6. Заключение.
6. Список использованной литературы.
7. Приложения (графический материал).

Графический материал работы должен включать 3-4 листа определенного формата (А4 или А3), где будут представлены:

- электрические принципиальные схемы каскадов разрабатываемого усилителя (с перечнем элементной базы), выполненные в соответствии с требованиями ГОСТ и ЕСКД;
- графики, диаграммы и расчетные формулы, отражающие результаты работы по созданию принципиальной схемы разрабатываемого усилителя.

### **Для промежуточной аттестации:**

#### *Теоретические вопросы на экзамене:*

1. Чем отличаются полупроводники от металлов и диэлектриков и как образуются свободные носители заряда в полупроводниках без примесей с точки зрения модели валентных связей?
2. Выпишите равенства, называемые граничными условиями Шокли для “р-п” – перехода, и укажите связь этих равенств с параметрами энергетической диаграммы “р-п” – перехода.
3. Нарисуйте график ВАХ выпрямительного диода, выпишите уравнение такой ВАХ, и перечислите основные параметры линеаризированной модели выпрямительного диода.
4. Опишите процессы, протекающие в полупроводниковом диоде при его включении, переключении и выключении, и укажите, как эти процессы связаны с барьерной и диффузионной емкостью “р-п” – перехода диода.
5. Опишите принципы построения линейной модели биполярного транзистора в Н-параметрах, укажите физический смысл Н-параметров, и продемонстрируйте приемы графического определения Н-параметров.

#### *Практические задания:*

1. Два полупроводниковых выпрямительных диода  $D_1$  и  $D_2$  и сопротивление  $R = 100$  Ом включены к внешнему источнику переменного напряжения  $U = U_m \sin(\omega t)$  с амплитудой  $U_m = 30$  В.

Используя линейную статическую модель диода с параметрами  $r_{\text{дин}} = 4$  Ом,  $U_0 = 0,7$  В,  $r_{\text{утеч}} \rightarrow \infty$ ,  $r_{\text{проб}} = 1$  Ом,  $U_{\text{проб}} = 10$  В, найдите максимальное значение (амплитуду) напряжения на сопротивлении  $R$ .

2. Резкий кремниевый  $p$ - $n$ -переход состоит из области  $p$ -типа с концентрацией акцепторной примеси  $N_a = 3 \cdot 10^{23}$  м<sup>3</sup> и  $n$ -области с концентрацией донорной примеси  $N_d = 3 \cdot 10^{22}$  м<sup>-3</sup>. Площадь  $p$ - $n$ -перехода  $S = 1$  мм<sup>2</sup>. Обратное напряжение  $U_{\text{обр}} = 10$  В.

Определить: а) ширину  $p$ - $n$ -перехода; б) максимальную напряженность электрического поля  $E_{\text{макс}}$  внутри обедненного носителями заряда слоя (слоя ОПЗ); в) барьерную емкость  $p$ - $n$ -перехода  $C_{\text{бар}}$ ; г) напряжение на  $p$ - $n$ -переходе, при котором произойдет электрический пробой перехода (если пробой начинает развиваться при напряженности поля  $E = 5 \cdot 10^7$  В·м.)

3. Два полупроводниковых выпрямительных диода  $D_1$  и  $D_2$  и сопротивление  $R = 100$  Ом включены к внешнему источнику переменного напряжения  $U = U_m \sin(\omega t)$  с амплитудой  $U_m = 15$  В (см. рис. 6). Параметры статических моделей диодов следующие: 1) ( $D_1$ )  $r_{\text{дин}1} = 4$  Ом,  $U_{01} = 0,7$  В,  $r_{\text{утеч}1} \rightarrow \infty$ ,  $r_{\text{проб}1} = 1$  Ом,  $U_{\text{проб}1} = 10$  В; 2) ( $D_2$ )  $r_{\text{дин}2} = 3$  Ом,  $U_{02} = 0,6$  В,  $r_{\text{утеч}2} \rightarrow \infty$ ,  $r_{\text{проб}2} = 2$  Ом,  $U_{\text{проб}2} = 12$  В. Найти максимальное значение напряжения, падающего на сопротивлении  $R$ .

4. Определить постоянный ток базы  $p$ - $n$ - $p$ -транзистора при температуре  $T = 300$  К. Током утечки перехода база – эмиттер пренебречь. Ток коллектора  $I_K = 1$  мА. Время жизни носителей  $\tau_p = 1,7 \cdot 10^{-6}$  с, подвижность дырок  $\mu_p = 0,2$  м<sup>2</sup>/(В·с), ширина базы  $w = 10^{-5}$  м.

5. Транзистор  $p$ - $n$ - $p$  включен в схему с общей базой. Покажите, что дифференциальное сопротивление эмиттера можно приближенно вычислить по формуле  $r_{\text{э}} \approx kT/(eI_{\text{э}})$ , где  $I_{\text{э}}$  – ток эмиттера. Вычислить  $r_{\text{э}}$  при  $T = 300$  К, если  $I_{\text{э}} = 2$  мА.