



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

АКТУАЛИЗИРОВАНО
решением ученого совета ИЭЭ
протокол №7 от 16.04.2024

УТВЕРЖДАЮ

Директор института

Электроэнергетики и электроники

_____ Р.В. Ахметова

« 30 » мая 2023 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.ДЭ.01.01.02 Компоненты силовой электроники

Направление подготовки

11.03.04 Электроника и микроэлектроника

Квалификация

_____ Бакалавр _____

г. Казань, 2023

Программу разработал:

Наименование кафедры	Должность, уч. степень, уч. звание	ФИО разработчика
Промышленная электроника	Проф., д.ф.-м.н., доц.	Калимуллин Р.И.

Согласование	Наименование подразделения	Дата	№ протокола	Подпись
Одобрена	Кафедра - разработчик «Промышленная электроника»	12.05.2023	18	_____ Зав. каф., д.ф.-м.н., проф. Голенищев-Кутузов А.В.
Согласована	Выпускающая кафедра «Промышленная электроника»	12.05.2023	18	_____ Зав. каф., д.ф.-м.н., проф. Голенищев-Кутузов А.В.
Согласована	Учебно-методический совет института Электроэнергетики и электроники	30.05.2023	8	_____ Директор, к.т.н., доц. Ахметова Р.В.
Одобрена	Ученый совет института Электроэнергетики и электроники	30.05.2023	9	_____ Директор, к.т.н., доц. Ахметова Р.В.

1. Цель, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине

Целью освоения дисциплины «Компоненты силовой электроники» является изучение характеристик, параметров и принципа действия компонентов силовой (энергетической) электроники, освоение методик анализа и расчета процессов в компонентах силовой электроники и в базовых функциональных узлах на их основе.

Задачами дисциплины являются:

- изучение номенклатуры пассивных и полупроводниковых компонентов силовой электроники, их основных характеристик и параметров;
- изучение особенностей работы компонентов силовой электроники и базовых функциональных узлов на их основе;
- освоение методик анализа и расчета переходных процессов, тепловых потерь мощности, максимально достигаемых электрических параметров компонентов силовой электроники, в том числе с применением современных программ схемотехнического моделирования;
- изучение принципов выбора компонентов для использования в конкретных устройствах силовой электроники.

Компетенции и индикаторы, формируемые у обучающихся:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора
ПК-1. Способен строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования	ПК-1.1. Анализирует и рассчитывает физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения
ПК-1. Способен строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования	ПК-1.3. Применяет на практике физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также стандартные программы, средства компьютерного моделирования

2. Место дисциплины в структуре ОП

Предшествующие дисциплины: Физика, Теория цепей и сигналов, Физические основы электроники, Схемотехника.

Последующие дисциплины: Энергетическая электроника.

3. Структура и содержание дисциплины

3.1. Структура дисциплины

Для очной формы обучения

Вид учебной работы	Всего ЗЕ	Всего часов	Семестр
			5
ОБЩАЯ ТРУДОЕМКОСТЬ ДИСЦИПЛИНЫ	5	180	180
КОНТАКТНАЯ РАБОТА*	-	85	85
АУДИТОРНАЯ РАБОТА	1,89	68	68
Лекции	0,94	34	34
Практические (семинарские) занятия	0,5	18	18
Лабораторные работы	0,45	16	16
САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА ОБУЧАЮЩЕГОСЯ	3,11	112	112
Проработка учебного материала	2,11	76	76
Курсовой проект	-	0	0
Курсовая работа	-	0	0
Подготовка к промежуточной аттестации	1	36	36
Промежуточная аттестация:			Э

3.2. Содержание дисциплины, структурированное по разделам и видам занятий

Разделы дисциплины	Всего часов	Распределение трудоёмкости по видам учебной работы				Формы и вид контроля	Индексы индикаторов формируемых компетенций
		лекции	лаб. раб.	пр. зан.	сам. раб.		
Раздел 1	11	4		2	5	ТК1	ПК-1.13, ПК-1.1У, ПК-1.1В
Раздел 2	25	4	4	2	15		ПК-1.13, ПК-1.1У, ПК-1.1В, ПК-1.33, ПК-1.3У, ПК-1.3В
Раздел 3	25	6	2	4	13	ТК2	ПК-1.13, ПК-1.1У, ПК-1.1В, ПК-1.33, ПК-1.3У, ПК-1.3В
Раздел 4	22	6	2	2	12		ПК-1.13, ПК-1.1У, ПК-1.1В, ПК-1.33, ПК-1.3У, ПК-1.3В
Раздел 5	21	4	2	2	13	ТК3	ПК-1.13, ПК-1.1У, ПК-1.1В, ПК-1.33, ПК-1.3У, ПК-1.3В
Раздел 6	15	4	2	2	7		ПК-1.13, ПК-1.1У,

							ПК-1.1В, ПК-1.33, ПК-1.3У, ПК-1.3В
Раздел 7	25	6	4	4	11		ПК-1.13, ПК-1.1У, ПК-1.1В, ПК-1.33, ПК-1.3У, ПК-1.3В
Экзамен	36				36	ОМ	ПК-1.13, ПК-1.1У, ПК-1.1В, ПК-1.33, ПК-1.3У, ПК-1.3В
ИТОГО	180	34	16	18	112		

3.3. Содержание дисциплины

Раздел 1. Пассивные компоненты силовой электроники.

Тема 1.1. Резисторы и конденсаторы.

Основные разновидности и параметры резисторов и конденсаторов, применяемых в силовой электронике.

Тема 1.2. Катушки индуктивности (дроссели) и трансформаторы

Основные разновидности, параметры, схемы замещения катушек индуктивностей (дросселей) и трансформаторов, применяемых в силовой электронике.

Раздел 2. Общие вопросы применения полупроводниковых приборов в схемах силовой электроники.

Тема 2.1. Основные типы силовых полупроводниковых приборов, их максимальные эксплуатационные параметры и область безопасных режимов.

Номенклатура силовых полупроводниковых приборов. Максимальные эксплуатационные параметры полупроводниковых приборов. Тепловое сопротивление. Область безопасных режимов полупроводниковых приборов в непрерывном и импульсном режимах. Критерии выбора полупроводникового прибора по его максимальным параметрам.

Тема 2.2. Особенности работы полупроводниковых приборов на реальную нагрузку в схемах силовой электроники. Способы защиты от аварийных режимов.

Особенности работы полупроводниковых приборов на комплексную нагрузку. Защита полупроводниковых приборов от перегрузок по току и перенапряжений при их работе на комплексную нагрузку.

Раздел 3. Мощные полупроводниковые диоды.

Тема 3.1. Основные разновидности полупроводниковых диодов, применяемых в схемах силовой электроники, их характеристики и параметры.

Номенклатура мощных полупроводниковых диодов, их области применения, характеристики и параметры. Современные импульсные диоды (Шоттки и на основе p-n-перехода).

Тема 3.2. Работа мощного полупроводникового диода в импульсном режиме на активную нагрузку.

Работа мощного полупроводникового диода в импульсном режиме на активную нагрузку. Расчет потерь мощности в диоде.

Тема 3.3. Особенности работы мощных полупроводниковых диодов в схемах силовой электроники.

Работа мощного полупроводникового диода в импульсном режиме на RL-нагрузку. Расчет потерь мощности в диоде.

Раздел 4. Мощные биполярные транзисторы.

Тема 4.1. Мощные биполярные транзисторы, их характеристики и параметры.

Структура, параметры и характеристики мощного биполярного транзистора. Недостатки ключей на мощных биполярных транзисторах.

Тема 4.2. Работа мощного биполярного транзистора в импульсном режиме на активную нагрузку.

Работа мощного биполярного транзистора в импульсном режиме на активную нагрузку. Расчет потерь мощности в транзисторе.

Тема 4.3. Работа мощного биполярного транзистора в импульсном режиме на RL-нагрузку.

Работа мощного биполярного транзистора в импульсном режиме на RL-нагрузку в виде дросселя в режимах прерывистого и непрерывного токов. Работа мощного биполярного транзистора в импульсном режиме на RL-нагрузку в виде выходного трансформатора в режимах прерывистого и непрерывного токов намагничивания. Расчет потерь мощности в транзисторе.

Раздел 5. Мощные МОП-транзисторы.

Тема 5.1. Мощные МОП-транзисторы, их характеристики и параметры.

Структура, параметры и характеристики мощного МОП-транзистора. Преимущества и недостатки мощных МОП-транзисторов. Эффект du/dt в МОП-транзисторе.

Тема 5.2. Работа мощного МОП-транзистора в импульсном режиме.

Работа мощного МОП-транзистора в импульсном режиме на активную нагрузку. Работа мощного МОП-транзистора в импульсном режиме на RL-нагрузку. Расчет потерь мощности в транзисторе.

Раздел 6. Биполярные транзисторы с изолированным затвором (IGBT).

Тема 6.1. Биполярные транзисторы с изолированным затвором (IGBT), их принцип действия, характеристики и параметры.

Структура, принцип действия, параметры и характеристики биполярного транзистора с изолированным затвором (IGBT). Современные разновидности IGBT. Преимущества и недостатки IGBT.

Тема 6.2. Работа IGBT в импульсном режиме.

Работа IGBT в импульсном режиме. Расчет потерь мощности в

транзисторе.

Раздел 7. Тиристоры.

Тема 7.1. Основные разновидности тиристоров, их принцип действия, характеристики и параметры.

Основные разновидности тиристоров. Структура и принцип действия динистора и тринистора. Характеристики и параметры тиристоров. Эффект du/dt в тиристоре.

Тема 7.2. Переходные процессы включения в тиристоре.

Включение тиристора током управления на активную и комплексную нагрузки. Расчет потерь мощности в тиристоре на этапе включения.

Тема 7.3. Переходные процессы выключения в тиристоре.

Способы выключения тиристора. Выключение тиристора током управления. Запираемые тиристоры GTO, GCT и IGCT.

3.4. Тематический план практических занятий

Занятие 1. Расчет параметров резисторов, конденсаторов, дросселей и трансформаторов.

Занятие 2. Максимальные электрические и энергетические параметры полупроводникового прибора. Правила выбора полупроводникового прибора по его максимальным параметрам. Работа полупроводниковых приборов в импульсном режиме на RC- и RL-нагрузку.

Занятие 3. Расчет параметров диодного ключа с активной нагрузкой.

Занятие 4. Расчет параметров диодного ключа с RL-нагрузкой.

Занятие 5. Расчет параметров ключа на биполярном транзисторе.

Занятие 6. Расчет параметров ключа на мощном МОП-транзисторе. Эффект du/dt в МОП-транзисторе.

Занятие 7. Расчет параметров ключа на биполярном транзисторе с изолированным затвором (IGBT).

Занятие 8. Расчет переходного процесса включения тиристора током управления. Эффект du/dt в тиристоре.

Занятие 9. Расчет переходного процесса выключения тиристора током управления.

3.5. Тематический план лабораторных работ

Занятие 1. Анализ работы полупроводниковых приборов в импульсном режиме на комплексную нагрузку. Цепи защиты.

Занятие 2. Анализ работы полупроводникового диода и биполярного транзистора в импульсном режиме на активную и индуктивную нагрузки.

Занятие 3. Анализ работы МОП-транзистора и IGBT в импульсном режиме на активную и индуктивную нагрузки.

Занятие 4. Анализ работы тиристорных схем.

3.6. Курсовой проект /курсовая работа

Данный вид работы не предусмотрен учебным планом.

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	
ПК-1	ПК-1.1	<p>знать: номенклатуру компонентов силовой электроники, их характеристики, параметры и взаимосвязь между ними; параметры физических и математических моделей компонентов и базовых функциональных узлов силовой электроники</p>	<p>знает в полном объеме номенклатуру компонентов силовой электроники, их характеристики, параметры и взаимосвязь между ними; параметры физических и математических моделей компонентов и базовых функциональных узлов</p>	<p>знает основные разновидности компонентов силовой электроники, их основные характеристики, параметры и, слабо ориентируется во взаимосвязи между ними; знает основные параметры физических и математических моделей компонентов и базовых функциональных узлов</p>	<p>знает основные разновидности компонентов силовой электроники, их главные характеристики, параметры и, не ориентируется во взаимосвязи между ними; плохо знает основные параметры физических и математических моделей компонентов и базовых функциональных узлов</p>	<p>не знает номенклатуру компонентов силовой электроники, их характеристики, параметры и взаимосвязь между ними; параметры физических и математических моделей компонентов и базовых функциональных узлов</p>

			льных узлов силовой электроники	компонентов базовых функциональных узлов силовой электроники	моделей компонентов базовых функциональных узлов силовой электроники	альных узлов силовой электроники
<p>уметь: анализировать и рассчитывать параметры компонентов и базовых функциональных узлов силовой электроники, а также параметры их физических и математических моделей</p>						
			в полной мере умеет анализировать и рассчитывать параметры компонентов и базовых функциональных узлов силовой электроники, а также параметры их физических и математических моделей	умеет анализировать и рассчитывать основные параметры компонентов и базовых функциональных узлов силовой электроники, а также основные параметры их физических и математических моделей	совершает негрубые ошибки при анализе и расчете основных параметров компонентов и базовых функциональных узлов силовой электроники, а также основных параметров их физических и математических моделей	не умеет анализировать и рассчитывать параметры компонентов и базовых функциональных узлов силовой электроники, параметры их физических и математических моделей или совершает грубые ошибки при анализе и расчете
<p>владеть: методами анализа и расчета параметров компонентов и базовых узлов силовой электроники, а также их физических и математических моделей</p>						
			в полной мере владеет методами анализа и расчета	владеет методами анализа и расчета основных параметров	владеет методами анализа и расчета основных параметров	не владеет методами анализа и расчета параметров

			параметров компонент и базовых узлов силовой электроники, а также их физические и математических моделей	компонентов и базовых узлов силовой электроники, а также их физические и математических моделей	компонентов и базовых узлов силовой электроники, а также их физические и математических моделей, совершает негрубые ошибки	компонентов и базовых узлов силовой электроники, а также их физические и математических моделей или совершает грубые ошибки при анализе и расчете
ПК-1	ПК-1.3	знать: порядок проведения анализа и расчета параметров базовых функциональных узлов силовой электроники				
			знает в полном объеме порядок проведения анализа и расчета параметров базовых функциональных узлов силовой электроники и	в целом знает порядок проведения анализа и расчета параметров базовых функциональных узлов силовой электроники, но путается в порядке проведения некоторых этапов	знает основные этапы, но путается в порядке проведения анализа и расчета параметров базовых функциональных узлов силовой электроники и	не знает порядка проведения анализа и расчета параметров базовых функциональных узлов силовой электроники
		уметь: проводить анализ и расчет процессов, происходящих в базовых функциональных узлах силовой электроники, в том числе с использованием программных средств компьютерного моделирования				
			в полной мере умеет проводить анализ и расчет процессов, происходящих	умеет проводить анализ и расчет процессов, происходящих в	умеет проводить анализ и расчет процессов, происходящих в	не умеет проводить анализ и расчет процессов, происходящих

			щих в базовых функциональных узлах силовой электроники, в том числе с использованием программных средств компьютерного моделирования	базовых функциональных узлах силовой электроники, в том числе с использованием некоторых программных средств компьютерного моделирования	базовых функциональных узлах силовой электроники, в том числе с использованием простых программных средств компьютерного моделирования, совершает негрубые ошибки	щих в базовых функциональных узлах силовой электроники, или совершает грубые ошибки при анализе и расчете
владеть: методами анализа и расчета процессов, происходящих в базовых функциональных узлах силовой электроники, в том числе с использованием программных средств компьютерного моделирования						
			в полной мере владеет методами анализа и расчета процессов, происходящих в базовых функциональных узлах силовой электроники, в том числе с использованием программных средств компьютерного моделирования	владеет методами анализа и расчета процессов, происходящих в базовых функциональных узлах силовой электроники, в том числе с использованием простых программных средств компьютерного моделирования	владеет методами анализа и расчета процессов, происходящих в базовых функциональных узлах силовой электроники, в том числе с использованием простых программных средств компьютерного моделирования, совершает негрубые ошибки	не владеет методами анализа и расчета процессов, происходящих в базовых функциональных узлах силовой электроники, или совершает грубые ошибки при анализе и расчете

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.

5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

5.1. Учебно-методическое обеспечение

5.1.1. Основная литература

1. Розанов, Ю. К. Силовая электроника : учебник / Ю. К. Розанов. — 2-е изд., испр. и перераб. — Москва : НИУ МЭИ, 2018. — 508 с. — ISBN 978-5-7046-1988-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/276884>

2. Салита, Е. Ю. Силовая электроника : учебное пособие / Е. Ю. Салита. — Омск : ОмГУПС, 2019. — 156 с. — ISBN 978-5-949-41225-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/129209>

3. Гусев, В. Г., Электроника и микропроцессорная техника : учебник / В. Г. Гусев, Ю. М. Гусев. — Москва : КноРус, 2022. — 798 с. — ISBN 978-5-406-08700-8. — URL: <https://book.ru/book/941129> — Текст : электронный.

5.1.2.Дополнительная литература

1. Силовые полупроводниковые ключи: семейства, характеристики, применение / П. А. Воронин. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Додэка — XXI, 2005. — 384 с. — Текст : непосредственный.

2. Справочник по силовой электронике : справочное издание / Ю. К. Розанов [и др.]. — М. : Издательский дом МЭИ, 2019. — 472 с. — URL: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383012512.html>. — ISBN 978-5-383-01251-2. — Текст : электронный.

3. Амелина, М. А. Программа схемотехнического моделирования Micro-Cap. Версии 9, 10 : учебное пособие для вузов / М. А. Амелина, С. А. Амелин. — 3-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 632 с. — ISBN 978-5-8114-6995-6. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/153923>.

4. Силовые полупроводниковые ключи : учебное пособие / Р. И. Калимуллин. — Казань : КГЭУ, 2005. — 147 с. — ISBN 5898730958 : 31.00 р. - Текст : непосредственный.

5. Калимуллин, Р. И. Полупроводниковые ключи и силовые модули в преобразовательных устройствах : лаб. практикум / Р.И .Калимуллин. – Казань : КГЭУ, 2005. – 15 с. – Текст : непосредственный.

5.2. Информационное обеспечение

5.2.1. Электронные и интернет-ресурсы

№ п/п	Наименование электронных и интернет-ресурсов	Ссылка
1	Электронно-библиотечная система «Лань»	https://e.lanbook.com/
2	Электронно-библиотечная система «ibooks.ru»	https://ibooks.ru/
3	Электронно-библиотечная система «book.ru»	https://www.book.ru/
4	Энциклопедии, словари, справочники	http://www.rubricon.com
5	Портал "Открытое образование"	http://npoed.ru

5.2.2. Профессиональные базы данных / Информационно-справочные системы

№ п/п	Наименование профессиональных баз данных	Адрес	Режим доступа
1	Российская национальная библиотека	http://nlr.ru/	http://nlr.ru/
2	Единое окно доступа к образовательным ресурсам	http://window.edu.ru/	http://window.edu.ru/
3	Web of Science	https://webofknowledge.com/	https://webofknowledge.com/
4	Scopus	https://www.scopus.com	https://www.scopus.com
5	КиберЛенинка	https://cyberleninka.ru/	https://cyberleninka.ru/
6	Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU	http://elibrary.ru	http://elibrary.ru
7	Национальная электронная библиотека (НЭБ)	https://rusneb.ru/	https://rusneb.ru/
8	Техническая библиотека	http://techlibrary.ru	http://techlibrary.ru
9	IEEE Xplore	www.ieeexplore.ieee.org	www.ieeexplore.ieee.org
10	Springer	www.springer.com	www.springer.com
11	«Консультант плюс»	http://www.consultant.ru/	http://www.consultant.ru/

5.2.3. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение дисциплины

№ п/п	Наименование программного обеспечения	Описание	Реквизиты подтверждающих документов
1	Microsoft Windows 7 Профессиональная (Pro)	Пользовательская операционная система	ЗАО "СофтЛайнТрейд" №2011.25486 от

			28.11.2011 Неискл. право. Бессрочно
2	Spectrum Software Micro-Cap 12	Пакет программного обеспечения для схемотехнического моделирования	Свободная лицензия Неискл. право. Бессрочно
3	Microsoft 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
4	Браузер Chrome	Система поиска информации в сети интернет	Свободная лицензия Неискл. право. Бессрочно
5	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, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации	Специализированная учебная мебель, технические средства обучения (мультимедийный проектор, компьютер (ноутбук), экран) и др.
Лабораторные работы	Компьютерный класс с выходом в Интернет А-405	Специализированная учебная мебель на 30 посадочных мест, 16 компьютеров, технические средства обучения (мультимедийный проектор, компьютер (ноутбук), экран), программное обеспечение
	Компьютерный класс с выходом в Интернет А-410	Специализированная учебная мебель на 29 посадочных мест, 16 компьютеров, технические средства обучения (мультимедийный проектор, компьютер (ноутбук), экран), видеокамеры, программное обеспечение
	Компьютерный класс с выходом в Интернет В-600а	Специализированная учебная мебель на 30 посадочных мест, 30 компьютеров,

		технические средства обучения (мультимедийный проектор, компьютер (ноутбук), экран), видеокамеры, программное обеспечение
Самостоятельная работа	Компьютерный класс с выходом в Интернет В-600а	Специализированная учебная мебель на 30 посадочных мест, 30 компьютеров, технические средства обучения (мультимедийный проектор, компьютер (ноутбук), 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

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. 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 выпускающая
1	2	3	4	5	6
1					
2					
3					

*Приложение к рабочей
программе дисциплины*



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

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
по дисциплине**

Компоненты силовой электроники

Направление подготовки _____ 11.03.04 Электроника и наноэлектроника _____

Квалификация _____ Бакалавр _____

г. Казань, 2023

Оценочные материалы по дисциплине «Компоненты силовой электроники», предназначенные 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 5

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
Раздел 1. Пассивные компоненты силовой электроники. Раздел 2. Общие вопросы применения полупроводниковых приборов в схемах силовой электроники	ТК1	15	0-15					15-20	15-20
Отчет по лабораторной работе		3							
Практическое задание		4							
Расчетно-графическая работа		5							
Тест		3							
Раздел 3. Мощные полупроводниковые диоды Раздел 4. Мощные биполярные транзисторы	ТК2			18	0-15			18-20	18-20
Отчет по лабораторной работе				3					
Практическое задание				6					
Расчетно-графическая работа				6					
Тест				3					
Раздел 5. Мощные МОП-транзисторы. Раздел 6. Биполярные транзисторы с изолированным затвором (IGBT). Раздел 7. Тиристоры	ТК3					18	0-15	18-20	18-20
Отчет по лабораторной работе						5			
Практическое задание						7			
Расчетно-графическая работа						4			
Тест						2			

Промежуточная аттестация (экзамен)	ОМ								0-40
Задание промежуточной аттестации									0-10
В письменной форме по билетам									0-30

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	
ПК-1	ПК-1.1	знать: номенклатуру компонентов силовой электроники, их характеристики, параметры и взаимосвязь между ними; параметры физических и математических моделей компонентов и базовых функциональных узлов силовой электроники				
		знает в полном объеме номенклатуру компонентов силовой электроники, их характеристики, параметры и взаимосвязь между ними; параметры физических и математических моделей компонентов и базовых функциональных	знает основные разновидности компонентов силовой электроники, их основные характеристики, параметры и, слабо ориентируется во взаимосвязи между ними; знает основные параметры физических и математических моделей компонентов	знает основные разновидности компонентов силовой электроники, их главные характеристики, параметры и, не ориентируется во взаимосвязи между ними; плохо знает основные параметры физических и математических моделей	не знает номенклатуру компонентов силовой электроники, их характеристики, параметры и взаимосвязь между ними; параметры физических и математических моделей компонентов и базовых функциональных	

			узлов силовой электроники	ов и базовых функциональных узлов силовой электроники	компонент ов и базовых функциональных узлов силовой электроники	узлов силовой электроники
<p>уметь: анализировать и рассчитывать параметры компонентов и базовых функциональных узлов силовой электроники, а также параметры их физических и математических моделей</p>						
			в полной мере умеет анализировать и рассчитывать параметры компонентов и базовых функциональных узлов силовой электроники, а также параметры их физических и математических моделей	умеет анализировать и рассчитывать основные параметры компонентов и базовых функциональных узлов силовой электроники, а также основные параметры их физических и математических моделей	совершает негрубые ошибки при анализе и расчете основных параметров компонентов и базовых функциональных узлов силовой электроники, а также основных параметров их физических и математических моделей	не умеет анализировать и рассчитывать параметры компонентов и базовых функциональных узлов силовой электроники, параметры их физических и математических моделей или совершает грубые ошибки при анализе и расчете
<p>владеть: методами анализа и расчета параметров компонентов и базовых узлов силовой электроники, а также их физических и математических моделей</p>						
			в полной мере владеет методами анализа и расчета параметров	владеет методами анализа и расчета основных параметров компонент	владеет методами анализа и расчета основных параметров компонент	не владеет методами анализа и расчета параметров компонент

			компонент ов и базовых узлов силовой электроник и, а также их физически х и математиче ских моделей	ов и базовых узлов силовой электроник и, а также их физически х и математиче ских моделей	ов и базовых узлов силовой электроник и, а также их физически х и математиче ских моделей, совершает негрубые ошибки	тов и базовых узлов силовой электрони ки, а также их физически х и математич еских моделей или совершает грубые ошибки при анализе и расчете
ПК-1	ПК-1.3	знать: порядок проведения анализа и расчета параметров базовых функциональных узлов силовой электроники				
			знает в полном объеме порядок проведения анализа и расчета параметров базовых функциона льных узлов силовой электроник и	в целом знает порядок проведения анализа и расчета параметров базовых функциона льных узлов силовой электроник и, но путается в порядке проведения некоторых этапов	знает основные этапы, но путается в порядке проведения анализа и расчета параметров базовых функциона льных узлов силовой электроник и	не знает порядка проведени я анализа и расчета параметро в базовых функцион альных узлов силовой электрони ки
		уметь: проводить анализ и расчет процессов, происходящих в базовых функциональных узлах силовой электроники, в том числе с использованием программных средств компьютерного моделирования				
		в полной мере умеет проводить анализ и расчет процессов, происходя щих в	умеет проводить анализ и расчет процессов, происходя щих в базовых	умеет проводить анализ и расчет процессов, происходя щих в базовых	не умеет проводить анализ и расчет процессов , происходя щих в	

			базовых функциональных узлов силовой электроники, в том числе с использованием программных средств компьютерного моделирования	функциональных узлов силовой электроники, в том числе с использованием программных средств компьютерного моделирования	функциональных узлов силовой электроники, в том числе с использованием простых программных средств компьютерного моделирования, совершает негрубые ошибки	базовых функциональных узлов силовой электроники, или совершает грубые ошибки при анализе и расчете
владеть: методами анализа и расчета процессов, происходящих в базовых функциональных узлах силовой электроники, в том числе с использованием программных средств компьютерного моделирования						
			в полной мере владеет методами анализа и расчета процессов, происходящих в базовых функциональных узлах силовой электроники, в том числе с использованием программных средств компьютерного моделирования	владеет методами анализа и расчета процессов, происходящих в базовых функциональных узлах силовой электроники, в том числе с использованием простых программных средств компьютерного моделирования	владеет методами анализа и расчета процессов, происходящих в базовых функциональных узлах силовой электроники, в том числе с использованием простых программных средств компьютерного моделирования, совершает негрубые ошибки	не владеет методами анализа и расчета процессов, происходящих в базовых функциональных узлах силовой электроники, или совершает грубые ошибки при анализе и расчете

Оценка **«отлично»** выставляется за выполнение заданий практических занятий, расчетно-графических работ, лабораторных работ и тестов; глубокое понимание принципов работы компонентов и базовых функциональных узлов силовой электроники, умение проводить анализ и расчет их параметров, умение использовать программные средства компьютерного моделирования для анализа и расчета их параметров; полные и содержательные ответы на вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы экзаменатора.

Оценка **«хорошо»** выставляется за выполнение заданий практических занятий, расчетно-графических работ, лабораторных работ и тестов; понимание принципов работы компонентов и базовых функциональных узлов силовой электроники, умение проводить анализ и расчет их основных параметров, в том числе с использованием программных средств компьютерного моделирования; ответы на вопросы экзаменационного билета.

Оценка **«удовлетворительно»** выставляется за выполнение заданий практических занятий, расчетно-графических работ, лабораторных работ и тестов.

Оценка **«неудовлетворительно»** выставляется за слабое и неполное выполнение заданий практических занятий, расчетно-графических работ, лабораторных работ и тестов.

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
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
Расчетно-графическая работа (РГР)	Средство проверки умений применять полученные знания по заранее определенной методике для решения задач или выполнения заданий по разделу или дисциплине в целом	Комплект индивидуальных заданий для выполнения РГР
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

Примеры заданий

Для текущего контроля ТК1:

Проверяемая компетенция: ПК-1. Способен строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования (ПК-1.1. Анализирует и рассчитывает физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения; ПК-1.3. Применяет на практике физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения, а также стандартные программы, средства компьютерного моделирования).

Тест

<i>Вопрос</i>	<i>Варианты ответа</i>
<i>Максимально допустимая мощность полупроводникового прибора определяется</i>	<i>электрическим пробоем</i>
	<i>условиями охлаждения</i>
	<i>температурой окружающей среды</i>
	<i>тепловым пробоем</i>
	<i>максимально допустимой температурой структуры</i>
<i>ОБР справа ограничена...</i>	<i>осью абсцисс</i>
	<i>максимально допустимым напряжением</i>
	<i>максимально допустимым током</i>
	<i>максимально допустимой мощностью</i>
	<i>осью ординат</i>
<i>При работе ключа на RL-нагрузку...</i>	<i>уменьшается время установления напряжения при включении</i>
	<i>увеличивается время установления напряжения при включении</i>
	<i>уменьшается время установления тока при включении</i>
	<i>увеличивается время установления тока при включении</i>
<i>С ростом линейных размеров радиатора тепловое сопротивление «радиатор-окружающая среда»...</i>	<i>растет, но лишь до некоторых пределов</i>
	<i>уменьшается, но лишь до некоторых пределов</i>
	<i>растет</i>
	<i>уменьшается</i>
<i>Защитить ключ от перегрузки по току при его работе на RC-нагрузку можно...</i>	<i>включением встречно-параллельно ключу стабилитрона</i>
	<i>включением параллельно ключу диода</i>
	<i>включением последовательно с емкостью нагрузки резистора</i>
	<i>последовательным включением нескольких ключей</i>
	<i>параллельным включением нескольких ключей</i>

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.

Лабораторная работа 1 «Анализ работы полупроводниковых приборов в импульсном режиме на комплексную нагрузку. Цепи защиты».

Перечень заданий и вопросов для защиты лабораторной работы:

1. Нарисуйте цепи защиты от перегрузки по току. Опишите их принцип действия. В чем заключаются преимущества RCD-цепи по сравнению с RC-цепью защиты?

2. Как изменяется всплеск тока в момент включения ключа, работающего на RC-нагрузку, при увеличении $R_{\text{доп}}$? Чем, в конечном итоге, будет ограничен всплеск тока в транзисторном ключе?

3. Как скажется на времени включения и выключения схем с RCD- и RC-цепью увеличение $R_{\text{доп}}$?

4. Нарисуйте цепи защиты от перенапряжения. Опишите их принцип действия. Назовите преимущества и недостатки вариантов схем защиты от перенапряжения. В каких областях применимы защита стабилитроном и диодом?

Перечень требований к отчету

Лабораторная работа выполняется на компьютере в программной среде Micro-Cap 12 согласно методическим указаниям о выполнении лабораторной работы.

Отчёт по лабораторной работе оформляется индивидуально каждым студентом, выполнившим необходимые эксперименты (независимо от того, выполнялся ли эксперимент индивидуально или в составе группы студентов). Страницы отчёта следует пронумеровать (титульный лист не нумеруется, далее идет страница 2 и т.д.).

Титульный лист отчёта должен содержать фразу: «Отчёт по лабораторной работе «Название работы» по дисциплине «Название дисциплины», чуть ниже: Выполнил студент группы (номер группы) (Фамилия, инициалы)». Внизу листа следует указать текущий год.

Отчёт должен содержать следующие основные разделы:

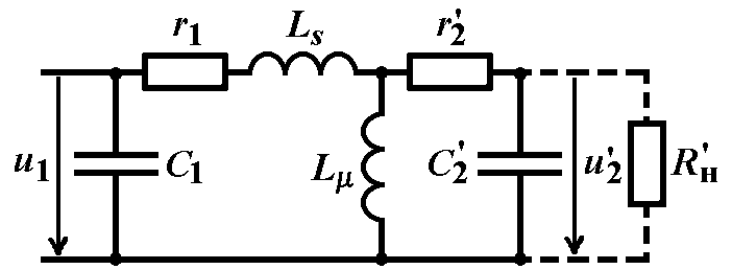
1. Цель работы.
2. Теоретическая часть.
3. Анализируемые схемы.
4. Результаты (таблицы экспериментальных данных, графики, скриншоты программ).
5. Выводы (основные приобретённые знания о предмете исследования).

Практическое задание

Примеры практических заданий:

Задача 1

Определить параметры эквивалентной схемы импульсного трансформатора L_s , L_μ , r_1 и r_2' , если индуктивность первичной обмотки $L_1 = 2$ мГн, коэффициент трансформации $n = 5$, активное сопротивление вторичной обмотки $r_2 = 2$ Ом, коэффициент связи между обмотками $k_{св} = 0,98$, сопротивление нагрузки $R_H = 10$ Ом.



Задача 2

Рассчитать, какую максимальную мощность может рассеивать биполярный транзистор без дополнительного радиатора, если предельно допустимая температура перехода корпуса $T_{к,макс} = 125^\circ\text{C}$, тепловое сопротивление «корпус-окружающая среда» $R_{т,к-с} = 10$ $^\circ\text{C}/\text{Вт}$. Температура окружающей среды $T_c = 30^\circ\text{C}$.

Задача 3

Как изменится вероятность отказов полупроводникового прибора, если его эксплуатационное напряжение уменьшится от величины $0,9U_{макс}$ до:

- 1) $0,75U_{макс}$;
- 2) $0,5U_{макс}$?

Ток в обоих случаях составляет одну и ту же величину.

Расчетно-графическая работа 1

Примеры заданий контрольной работы по вариантам:

Вариант 1

Провести тепловой расчет радиатора для полупроводникового прибора в виде пластины из анодированного алюминиевого сплава, установленной горизонтально. Считать, что пластина может рассеивать тепло в обе стороны – вверх и вниз. Исходные данные для расчета:

- мощность, рассеиваемая полупроводниковым прибором $P = 10$ Вт;
- температура окружающей среды $T_c = +35^\circ\text{C}$;
- максимальная температура перехода $T_\pi = +150^\circ\text{C}$;
- тепловое сопротивление корпус-радиатор $R_{к-р} = 0,1$ К/Вт;
- тепловое сопротивления переход-корпус $R_{п-к} = 0,3$ К/Вт;
- минимальная длина пластины $x = 50$ мм.

Вариант 2

Провести тепловой расчет радиатора для полупроводникового прибора в виде пластины из окисленного алюминиевого сплава, установленной вертикально. Исходные данные для расчета:

- мощность, рассеиваемая полупроводниковым прибором $P = 12$ Вт;
- температура окружающей среды $T_c = +30^\circ\text{C}$;

- максимальная температура перехода $T_{п} = +200^{\circ}\text{C}$;
- тепловое сопротивление корпус-радиатор $R_{к-р} = 0,2 \text{ К/Вт}$;
- тепловое сопротивления переход-корпус $R_{п-к} = 2 \text{ К/Вт}$;
- минимальная длина пластины $x = 40 \text{ мм}$.

Для текущего контроля ТК2:

Проверяемая компетенция: ПК-1. Способен строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования (ПК-1.1. Анализирует и рассчитывает физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения; ПК-1.3. Применяет на практике физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения, а также стандартные программы, средства компьютерного моделирования).

Тест

<i>Вопрос</i>	<i>Варианты ответа</i>
<i>Эффективное значение барьерной емкости диода, усредненное по диапазону обратных напряжений, ...</i>	<i>уменьшается с ростом диапазона напряжений</i>
	<i>увеличивается с ростом диапазона напряжений</i>
	<i>не зависит от диапазона напряжений</i>
<i>При включении диода падение напряжения на нем...</i>	<i>сразу устанавливается на значении $U_{пр}$</i>
	<i>сначала превышает установившееся значение</i>
	<i>плавно нарастает</i>
<i>При работе биполярного транзистора в ключевом режиме мощность потерь в нем...</i>	<i>не зависит от частоты переключения</i>
	<i>падает с ростом частоты переключения</i>
	<i>растет с ростом частоты переключения</i>
<i>Режим непрерывных токов характерен для схемы ключа с...</i>	<i>большой индуктивностью нагрузки</i>
	<i>малой индуктивностью нагрузки</i>
	<i>малой емкостью нагрузки</i>
	<i>большой емкостью нагрузки</i>
<i>Время включения биполярного транзистора...</i>	<i>увеличивается с ростом степени (коэффициента) насыщения</i>
	<i>увеличивается с ростом отпирающего напряжения</i>
	<i>не зависит от отпирающего напряжения</i>
	<i>уменьшается с ростом степени (коэффициента) насыщения</i>
	<i>уменьшается с ростом отпирающего напряжения</i>
	<i>не зависит от степени (коэффициента) насыщения</i>

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.

Лабораторная работа 2 «Анализ работы полупроводникового диода и биполярного транзистора в импульсном режиме на активную и индуктивную нагрузки».

Перечень заданий и вопросов для защиты лабораторной работы:

1. Что такое «время рассасывания» диода? Как на него влияют параметры внешней цепи?
2. С чем связано время восстановления обратного сопротивления диода? Как на него влияют параметры внешней цепи?
3. В чем заключается опасность индуктивной нагрузки для переключающегося диода?
4. Назовите и охарактеризуйте основные процессы, происходящие в ключе на биполярном транзисторе при его включении и выключении.
5. В чем заключается опасность индуктивной нагрузки для переключающегося транзистора?

Перечень требований к отчету

Лабораторная работа выполняется на компьютере в программной среде Micro-Cap 12 согласно методическим указаниям о выполнении лабораторной работы.

Отчёт по лабораторной работе оформляется индивидуально каждым студентом, выполнившим необходимые эксперименты (независимо от того, выполнялся ли эксперимент индивидуально или в составе группы студентов). Страницы отчёта следует пронумеровать (титульный лист не нумеруется, далее идет страница 2 и т.д.).

Титульный лист отчёта должен содержать фразу: «Отчёт по лабораторной работе «Название работы» по дисциплине «Название дисциплины», чуть ниже: Выполнил студент группы (номер группы) (Фамилия, инициалы)». Внизу листа следует указать текущий год.

Отчёт должен содержать следующие основные разделы:

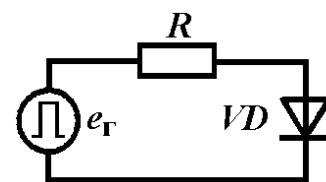
1. Цель работы.
2. Теоретическая часть.
3. Анализируемые схемы.
4. Результаты (таблицы экспериментальных данных, графики, скриншоты программ).
5. Выводы (основные приобретённые знания о предмете исследования).

Практическое задание

Примеры практических заданий:

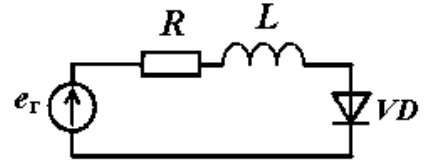
Задача 1

Определить время включения и время выключения диода, если отпирающее напряжение $E_{r1} = 100$ В, запирающее $E_{r2} = -100$ В, сопротивление внешней цепи $R = 10$ Ом, время жизни носителей в базе диода $\tau_{эфф} = 2$ нс, значение барьерной емкости при $U_d = 0$ составляет 400 пФ, Контактная разность потенциалов р-n-перехода равна 0,6 В, р-n-переход считать плавным.



Задача 2

Определить частоту колебаний и максимальную амплитуду обратного напряжения, возникающего на диоде при его переключении в схеме с RL-нагрузкой ($R = 10 \text{ Ом}$, $L = 2 \text{ мГн}$), если известно, что диод переключается перепадом напряжения e_r с 50 В до -50 В . Известно, что при обратном напряжении -20 В значение барьерной емкости $C_b = 0,6 \text{ нФ}$. Контактная разность потенциалов p-n-перехода равна $0,7 \text{ В}$, p-n-переход считать плавным.



Задача 3

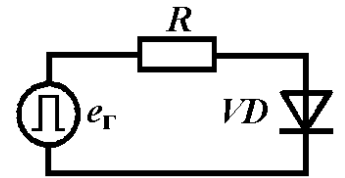
Рассчитать амплитуду отпирающего напряжения E_r , необходимого для обеспечения степени насыщения биполярного транзистора $S = 3$, если известно, что $E_{п} = 25 \text{ В}$, $R_{н} = 15 \text{ Ом}$, $R_{г} = 20 \text{ Ом}$, $U_{бэ,нас} = 0,8 \text{ В}$, $\beta = 10$.

Расчетно-графическая работа 2

Примеры заданий контрольной работы по вариантам:

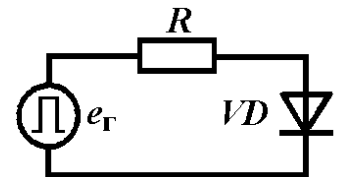
Вариант 1

Определите мощность потерь в диоде, если он переключается из проводящего состояния в непроводящее (и наоборот) перепадом напряжений с $E_{r1} = 50 \text{ В}$ до $E_{r2} = -50 \text{ В}$ (и наоборот). Частота переключения диода $f = 20 \text{ кГц}$, скважность импульсов напряжения e_r $Q = 2$, сопротивление внешней цепи $R = 10 \text{ Ом}$, падение напряжения на диоде в прямом направлении в импульсном режиме $U_{пр.и} = 1 \text{ В}$, сопротивление утечки диода 100 кОм , время жизни носителей в базе диода $\tau_{эфф} = 10 \text{ нс}$, значение барьерной емкости p-n-перехода диода при обратном напряжении 20 В $C_b = 10 \text{ пФ}$. Контактная разность потенциалов p-n-перехода равна $0,6 \text{ В}$, p-n-переход считать плавным.



Вариант 2

Определите мощность потерь в диоде, если он переключается из проводящего состояния в непроводящее (и наоборот) перепадом напряжений с $E_{r1} = 100 \text{ В}$ до $E_{r2} = -50 \text{ В}$ (и наоборот). Частота переключения диода $f = 10 \text{ кГц}$, скважность импульсов напряжения e_r $Q = 2$, сопротивление внешней цепи $R = 10 \text{ Ом}$, падение напряжения на диоде в прямом направлении в импульсном режиме $U_{пр.и} = 1 \text{ В}$, сопротивление утечки диода 100 кОм , время жизни носителей в базе диода $\tau_{эфф} = 15 \text{ нс}$, значение барьерной емкости p-n-перехода диода при обратном напряжении 100 В $C_b = 10 \text{ пФ}$. Контактная разность потенциалов p-n-перехода равна $0,6 \text{ В}$, p-n-переход считать плавным.

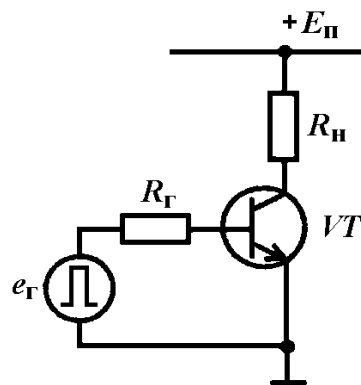


Расчетно-графическая работа 3

Примеры заданий контрольной работы по вариантам:

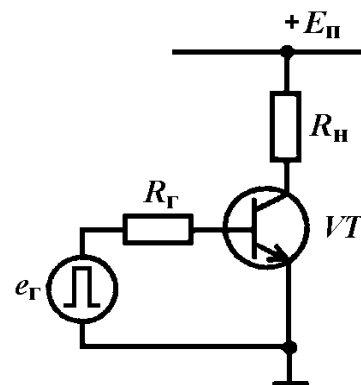
Вариант 1

Рассчитать мощность потерь в транзисторе, работающем в ключевом режиме, если $E_{\Pi} = 50 \text{ В}$, $R_{\text{H}} = 20 \text{ Ом}$, $\beta = 20$, отпирающее напряжение $E_{\text{r1}} = 4 \text{ В}$, запирающее напряжение $E_{\text{r2}} = -2 \text{ В}$, $R_{\text{r}} = 10 \text{ Ом}$, модуль коэффициента передачи тока на частоте $f_1 = 1 \text{ МГц}$ $|\beta(f_1)| = 5$, барьерная емкость коллекторного перехода при нулевом напряжении $C_{\text{к}} = 2 \text{ нФ}$, контактная разность потенциалов перехода $0,7 \text{ В}$, переход резкий. Падение напряжения на насыщенном транзисторе $U_{\text{кэ.нас}} = 0,2 \text{ В}$, входное напряжение в состоянии насыщения $U_{\text{бэ.нас}} = 0,9 \text{ В}$. Временем задержки включения пренебречь. Транзистор переключается с частотой $f = 10 \text{ кГц}$, скважность управляющих импульсов $e_{\text{r}} Q = 2$.



Вариант 2

Рассчитать мощность потерь в транзисторе, работающем в ключевом режиме, если $E_{\Pi} = 35 \text{ В}$, $R_{\text{H}} = 10 \text{ Ом}$, $\beta = 70$, отпирающее напряжение $E_{\text{r1}} = 5 \text{ В}$, запирающее напряжение $E_{\text{r2}} = -3 \text{ В}$, $R_{\text{r}} = 40 \text{ Ом}$, модуль коэффициента передачи тока на частоте $f_1 = 2 \text{ МГц}$ $|\beta(f_1)| = 10$, барьерная емкость коллекторного перехода при нулевом напряжении $C_{\text{к}} = 500 \text{ пФ}$, контактная разность потенциалов перехода $0,6 \text{ В}$, переход плавный. Падение напряжения на насыщенном транзисторе $U_{\text{кэ.нас}} = 1 \text{ В}$, входное напряжение в состоянии насыщения $U_{\text{бэ.нас}} = 1,2 \text{ В}$. Временем задержки включения пренебречь. Транзистор переключается с частотой $f = 10 \text{ кГц}$, скважность управляющих импульсов $e_{\text{r}} Q = 2$.



Для текущего контроля ТКЗ:

Проверяемая компетенция: ПК-1. Способен строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования (ПК-1.1. Анализирует и рассчитывает физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения; ПК-1.3. Применяет на практике физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения, а также стандартные программы, средства компьютерного моделирования).

Тест

Вопрос	Варианты ответа
Включение мощного МДП-транзистора с индуцированным каналом n-типа произойдет, если	на затвор подано напряжение $+15 \text{ В}$
	на затвор подано напряжение -15 В
	на затвор подано напряжение $+2 \text{ В}$
	на затвор подано напряжение -2 В

	<i>выходное напряжение транзистора быстро растет</i>
<i>Для подавления эффекта du/dt в МДП-транзисторе применяют...</i>	<i>отрицательное смещение в цепи затвора при запираании</i>
	<i>пассивное запираение</i>
	<i>защитный диод</i>
	<i>уменьшение сопротивления в цепи затвора</i>
<i>Принцип действия IGBT можно описать выражением...</i>	$I_k = I_6 \beta_1 \beta_2$
	$I_k = U_{зз} S (\beta + 1)$
	$I_k = U_{зш} S + \beta I_6$
	$I_k = U_{зз} S (\beta + 1) \beta$
<i>При увеличении тока управления тиристора напряжение включения...</i>	<i>не изменяется</i>
	<i>увеличивается</i>
	<i>уменьшается</i>
<i>Тиристор с управлением по аноду отпирается, если...</i>	<i>происходит инурование тока в структуре тиристора</i>
	<i>анодное напряжение тиристора быстро падает</i>
	<i>из управляющего электрода вытекает достаточно большой ток управления</i>
	<i>в управляющий электрод втекает достаточно большой ток управления</i>
	<i>анодное напряжение тиристора быстро растет</i>

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.

Лабораторная работа 3 «Анализ работы МОП-транзистора и IGBT в импульсном режиме на активную и индуктивную нагрузки».

Перечень заданий и вопросов для защиты лабораторной работы:

1. Нарисуйте выходные вольт-амперные характеристики МОП-транзистора, покажите на них области работы транзистора и охарактеризуйте каждую из них.

2. Объясните характер изменения внутреннего сопротивления МОП-транзистора с изменением напряжения затвор-исток.

3. Как определяется крутизна проходной вольт-амперной характеристики МДП-транзистора и IGBT?

4. Назовите межэлектродные емкости МОП-транзистора и емкости, характеризующие его как многополюсник. Как они связаны между собой? Как они зависят от напряжения сток-исток?

5. Нарисовать структуру биполярного транзистора с изолированным затвором (IGBT) и объяснить принцип его работы.

6. Назовите и охарактеризуйте основные процессы, происходящие в ключе на МОП-транзисторе при его включении и выключении.

7. Назовите и охарактеризуйте основные процессы, происходящие в ключе на IGBT при его включении и выключении.

Перечень требований к отчету

Лабораторная работа выполняется на компьютере в программной среде Micro-Cap 12 согласно методическим указаниям о выполнении лабораторной

работы.

Отчёт по лабораторной работе оформляется индивидуально каждым студентом, выполнившим необходимые эксперименты (независимо от того, выполнялся ли эксперимент индивидуально или в составе группы студентов). Страницы отчёта следует пронумеровать (титульный лист не нумеруется, далее идет страница 2 и т.д.).

Титульный лист отчёта должен содержать фразу: «Отчёт по лабораторной работе «Название работы» по дисциплине «Название дисциплины», чуть ниже: Выполнил студент группы (номер группы) (Фамилия, инициалы)». Внизу листа следует указать текущий год.

Отчёт должен содержать следующие основные разделы:

1. Цель работы.
2. Теоретическая часть.
3. Анализируемые схемы.
4. Результаты (таблицы экспериментальных данных, графики, скриншоты программ).
5. Выводы (основные приобретённые знания о предмете исследования).

Лабораторная работа 4 «Анализ работы тиристорных схем».

Перечень заданий и вопросов для защиты лабораторной работы:

1. Нарисуйте схему замещения тиристора и запишите соотношение, связывающее анодный ток с током управления.
2. Зарисуйте выходные вольт-амперные характеристики тиристора. Какое влияние оказывает амплитуда управляющего тока на напряжение включения тиристора?
3. Что такое эффект du/dt в тиристоре, как можно уменьшить его влияние?
4. Как влияет индуктивная нагрузка на переходные процессы в тиристоре при синусоидальном и импульсном питающем напряжении?

Перечень требований к отчету

Лабораторная работа выполняется на компьютере в программной среде Micro-Cap 12 согласно методическим указаниям о выполнении лабораторной работы.

Отчёт по лабораторной работе оформляется индивидуально каждым студентом, выполнившим необходимые эксперименты (независимо от того, выполнялся ли эксперимент индивидуально или в составе группы студентов). Страницы отчёта следует пронумеровать (титульный лист не нумеруется, далее идет страница 2 и т.д.).

Титульный лист отчёта должен содержать фразу: «Отчёт по лабораторной работе «Название работы» по дисциплине «Название дисциплины», чуть ниже: Выполнил студент группы (номер группы) (Фамилия, инициалы)». Внизу листа следует указать текущий год.

Отчёт должен содержать следующие основные разделы:

1. Цель работы.
2. Теоретическая часть.

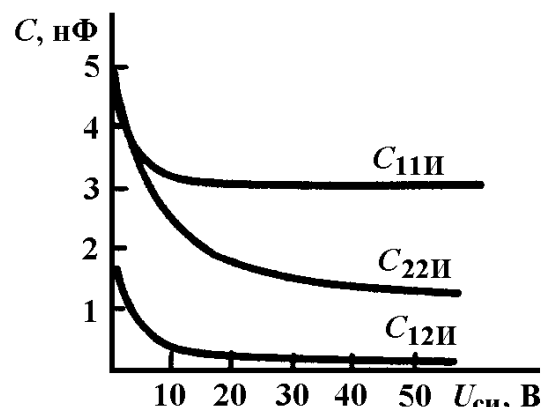
3. Анализируемые схемы.
4. Результаты (таблицы экспериментальных данных, графики, скриншоты программ).
5. Выводы (основные приобретенные знания о предмете исследования).

Практическое задание

Примеры практических заданий:

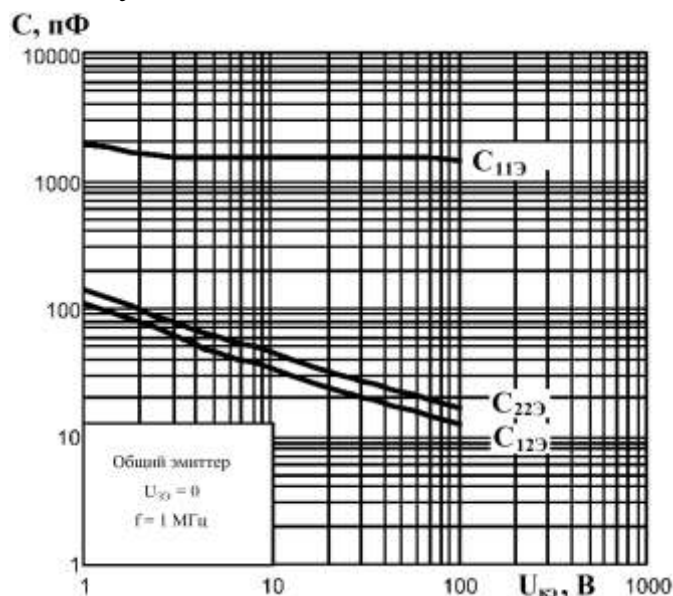
Задача 1

Определить полное время включения и выключения МОП-транзистора, если известно, что $R_r = 20 \text{ Ом}$, $E_r = \pm 15 \text{ В}$, $R_n = 15 \text{ Ом}$, $S = 0,2 \text{ А/В}$, $E_n = 50 \text{ В}$, внутреннее сопротивление транзистора в открытом состоянии $r_{си.отк} = 2 \text{ Ом}$, $U_{зи.пор} = 5 \text{ В}$, $U_{зи.нас} = 10 \text{ В}$. Зависимости паразитных емкостей транзистора от напряжения приведены на рисунке. Как изменятся времена включения и выключения, если транзистор будет управляться от источника однополярных импульсов E_r ?



Задача 2

Определить полное время включения, а также время задержки выключения IGBT, если известно, что $R_r = 10 \text{ Ом}$, $E_r = 12 \text{ В}$ (однополярные импульсы), $R_n = 8 \text{ Ом}$, $E_n = 100 \text{ В}$, $S_{экр} = 3 \text{ А/В}$, $U_{зз.пор} = 5 \text{ В}$, $U_{кэ.нас} = 1,3 \text{ В}$. Зависимости паразитных емкостей транзистора от его выходного напряжения приведены на рисунке.



Задача 3

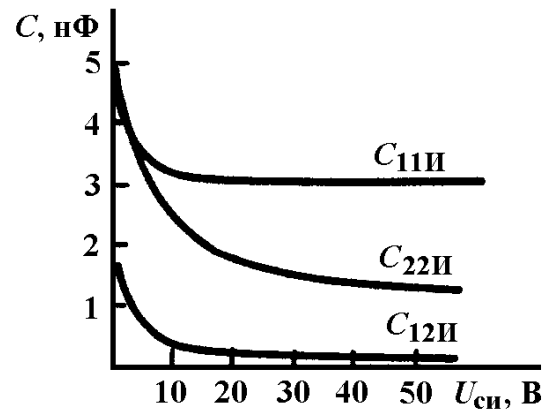
Определить мощность потерь в тиристоре на этапе включения при его включении током управления $I_y = 1 \text{ А}$ на анодное напряжение 600 В , если постоянная времени регенерации тиристора $\tau_{рег} = 2 \text{ мкс}$; постоянная времени процесса установления $\tau_{уст} = 10 \text{ мкс}$; значение анодного тока в конце этапа регенерации $I_{a0} = 40 \text{ А}$, сопротивление нагрузки 10 Ом . Период переключения тиристора 1 кГц .

Расчетно-графическая работа 4

Примеры заданий контрольной работы по вариантам:

Вариант 1

Определить, откроется ли МОП-транзистор вследствие эффекта du/dt , если время нарастания напряжения $u_{си}$ при выключении составляет 20 нс. $E_{п} = 80$ В, $R_{г} = 5$ Ом, падение напряжения на открытом транзисторе $U_{си.нас} = 2$ В, пороговое напряжение отпираания транзистора $U_{зи.пор} = 2$ В, зависимости емкостей транзистора от напряжения приведены на рисунке.



Вариант 2

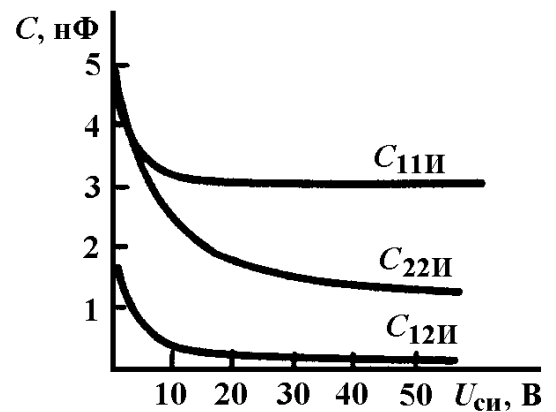
Определить, откроется ли МОП-транзистор вследствие эффекта du/dt , если время нарастания напряжения $u_{си}$ при выключении составляет 10 нс. $E_{п} = 60$ В, $R_{г} = 10$ Ом, падение напряжения на открытом транзисторе $U_{си.нас} = 1$ В, пороговое напряжение отпираания транзистора $U_{зи.пор} = 3$ В, зависимости емкостей транзистора от напряжения приведены на рисунке.

Расчетно-графическая работа 5

Примеры заданий контрольной работы по вариантам:

Вариант 1

Рассчитать мощность потерь в МОП-транзисторе, работающем в ключевом режиме, если $R_{г} = 5$ Ом, амплитуда отпирающего напряжения $E_{г1} = 15$ В, амплитуда запирающего напряжения $E_{г2} = -15$ В, $E_{п} = 50$ В, $R_{н} = 10$ Ом, крутизна проходной вольт-амперной характеристики транзистора $S = 10$ А/В, внутреннее сопротивление транзистора в открытом состоянии $r_{си.отк} = 0,1$ Ом, пороговое напряжение отпираания транзистора $U_{зи.пор} = 2$ В. Транзистор переключается с частотой $f = 20$ кГц, скважность следования управляющих импульсов $e_{г} Q = 2$. Зависимости внутренних емкостей транзистора от напряжения приведены на рисунке.



Вариант 2

Рассчитать мощность потерь в МДП-транзисторе, работающем в ключевом режиме, если $R_{г} = 10$ Ом, амплитуда отпирающего напряжения $E_{г1} = 15$ В, амплитуда запирающего напряжения $E_{г2} = -10$ В, $E_{п} = 30$ В, $R_{н} = 5$ Ом, крутизна проходной вольт-амперной характеристики транзистора $S = 5$ А/В, внутреннее сопротивление транзистора в открытом состоянии $r_{си.отк} = 0,3$ Ом, пороговое напряжение отпираания транзистора $U_{зи.пор} = 2$ В. Транзистор переключается с частотой $f = 25$ кГц, скважность следования управляющих импульсов $e_{г} Q = 2$. Зависимости внутренних емкостей транзистора от напряжения приведены на рисунке.

Для промежуточной аттестации:

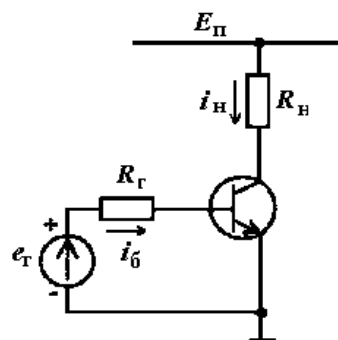
Теоретические вопросы

1. Область безопасных режимов полупроводниковых приборов в непрерывном и импульсном режимах.
2. Способы защиты полупроводниковых приборов при их работе на комплексную нагрузку.
3. Переходные процессы в диодном ключе с RL-нагрузкой: временные диаграммы, формулы для расчета времени.
4. Работа ключа на биполярном транзисторе в схеме с дросселем в режиме прерывистых токов: временные диаграммы, формулы для расчета времен.
5. Структура и принцип действия тиристора.
6. Переходные процессы при включении тиристора током управления.

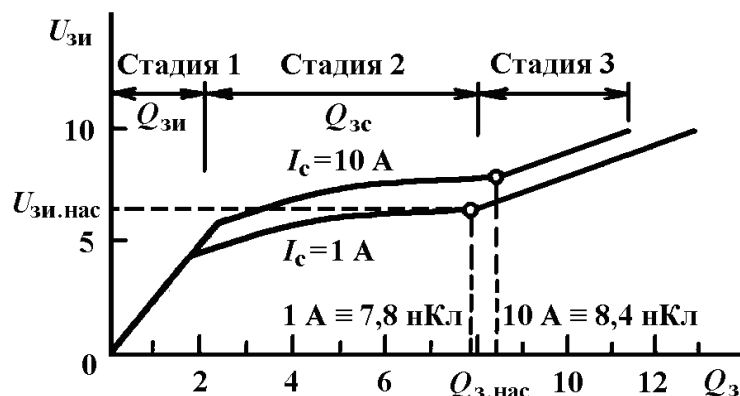
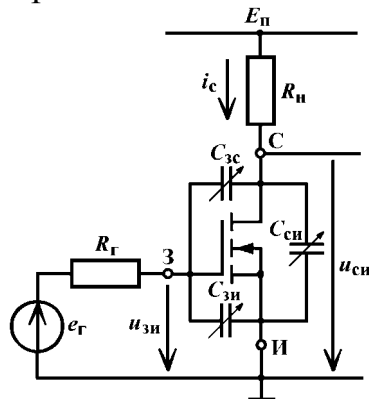
Практические задания

Задача 1. Определить время выключения диода, если известно, что он переключается перепадом напряжения e_r с 50 до -20 В. Сопротивление $R = 10$ Ом. При обратном напряжении 10 В значение барьерной емкости $C_b = 1$ нФ. Контактная разность потенциалов p-n-перехода равна 0,6 В, p-n-переход считать резким.

Задача 2. Определить время выключения биполярного транзистора в приведенной схеме при пассивном запирающем транзистора ($E_{r2} = 0$), если $E_{п} = 50$ В, $R_{н} = 20$ Ом, $\beta = 20$, запирающее напряжение $E_{r1} = 4$ В, $R_r = 5$ Ом, граничная частота транзистора $f_{\beta} = 5$ МГц, $U_{бэ.нас} = 0,6$ В, барьерная емкость коллекторного перехода при нулевом напряжении $C_k = 3$ нФ, контактная разность потенциалов коллекторного перехода составляет 0,7 В, переход плавный.



Задача 3. Рассчитать время включения и время выключения МОП-транзистора в приведенной схеме, если он включается на ток нагрузки 1 А и 10 А. Сопротивление в цепи управления затвором $R_r = 15$ Ом. При расчете времен переключения использовать кривую полного заряда затвора.



Задача 4. Определить, подвержен ли тиристор эффекту du/dt , если он зашунтирован защитной RCD-цепью с конденсатором емкостью 300 мкФ и

резистором 100 Ом, величина $(du_a/dt)_{\max} = 2$ В/мкс, амплитуда напряжения питания 500 В, сопротивление в цепи нагрузки 20 Ом.

Задача 5. Определить минимальную амплитуду импульсного тока управления тиристора для его включения при анодном напряжении, если длительность импульса тока управления составляет 10 мкс, статический (постоянный) ток управления для отпирания при данном анодном напряжении составляет 2 мА, эффективное время жизни неосновных носителей заряда в р-базе тиристора $\tau_{\beta 2} = 2$ мкс.