МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»
(ТУСУР)

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по УР
_____Сенченко П.В.
«13» _____12_____ 2023 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ КЛЮЧИ В СИЛОВЫХ СХЕМАХ

Уровень образования: **высшее образование - магистратура**
Направление подготовки / специальность: **11.04.04 Электроника и наноэлектроника**
Направленность (профиль) / специализация: **Промышленная электроника и микропроцессорная техника**
Форма обучения: **очная**
Факультет: **Факультет электронной техники (ФЭТ)**
Кафедра: **Кафедра промышленной электроники (ПрЭ)**
Курс: **1**
Семестр: **1**
Учебный план набора 2024 года

Объем дисциплины и виды учебной деятельности

Виды учебной деятельности	1 семестр	Всего	Единицы
Лекционные занятия	18	18	часов
Практические занятия	8	8	часов
Лабораторные занятия	16	16	часов
Самостоятельная работа	66	66	часов
Общая трудоемкость (включая промежуточную аттестацию)	108	108	часов
	3	3	з.е.

Формы промежуточной аттестация	Семестр
Зачет	1

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Сенченко П.В.
Должность: Проректор по УР
Дата подписания: 13.12.2023
Уникальный программный ключ:
a1119608-cdff-4455-b54e-5235117c185c

Томск

Согласована на портале № 80181

1. Общие положения

1.1. Цели дисциплины

1. Целью изучения дисциплины «Полупроводниковые ключи в силовых схемах» является ознакомление с областью науки и техники, ориентированной на создание и разработку систем силовой электроники, а также применение полученных знаний при расчете, проектировании, исследовании и эксплуатации устройств силовой электроники с использованием новой элементной базы - силовых полупроводниковых ключей (СПК) и драйверов для управления ими.

1.2. Задачи дисциплины

1. Задача изучения дисциплины состоит в приобретении, расширении и углублении студентом знаний, умений, навыков и компетенций, необходимых для успешного решения профессиональных задач в следующих видах деятельности: научно-исследовательской, проектно-конструкторской, научно-педагогической.

2. При осуществлении научно-исследовательской деятельности студент должен уметь анализировать научно-техническую литературу и конкретные силовые схемы реобразователей, производить их математическое описание, строить их адекватные модели; разрабатывать новые силовые цепи преобразователей; производить экспериментальные исследования СПК на их моделях и физических образцах.

3. При осуществлении проектно-конструкторской деятельности студент должен уметь производить расчеты силовых цепей преобразователей, формулировать требования к их конструктивному исполнению, осуществлять их монтаж и запуск в экспериментальных и производственных условиях.

4. При осуществлении научно-педагогической деятельности студент должен уметь проводить лекционные, практические и лабораторные занятия по ППКСС; уметь донести до аудитории теорию СПК, практические схемы, их расчеты, оценки, характеристики; уметь практически работать с современными СПК; уметь осуществлять контроль качества усвоения учебного материала.

2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Блок дисциплин: Б1. Дисциплины (модули).

Часть блока дисциплин: Часть, формируемая участниками образовательных отношений.

Модуль дисциплин: Модуль профессиональной подготовки (major).

Индекс дисциплины: Б1.В.01.03.

Реализуется с применением электронного обучения, дистанционных образовательных технологий.

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО и основной образовательной программой (таблица 3.1):

Таблица 3.1 – Компетенции и индикаторы их достижения

Компетенция	Индикаторы достижения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине
Универсальные компетенции		
-	-	-
Общепрофессиональные компетенции		
-	-	-
Профессиональные компетенции		

Согласована на портале № 80181

ПК-2. Способен делать научно-обоснованные выводы по результатам теоретических и экспериментальных исследований, давать рекомендации по совершенствованию устройств и систем, готовить научные публикации и заявки на изобретен	ПК-2.1. Знает основные методы проведения теоретических и экспериментальных исследований	Студент должен знать основные методы проведения теоретических и экспериментальных исследований полупроводниковых ключей (тиристоров и транзисторов) в силовых схемах и устройствах силовой электроники
	ПК-2.2. Умеет делать научнообоснованные выводы по результатам теоретических и экспериментальных исследований, давать рекомендации по совершенствованию устройств и систем, готовить научные публикации и заявки на изобретения	Студент должен уметь анализировать результаты теоретических и экспериментальных исследований устройств силовой электроники и делать обоснованные выводы по оценке качества работы полупроводниковых ключей и готавить публикации, предлагать вариатнты по модернизации и совершенствованию устройств силовой электроники, в том числе новые патентоспособные, оформлять заявки на изобретения
	ПК-2.3. Владеет навыками подготовки научных публикаций и заявок на изобретения	Студент должен владеть навыками написания и оформления научных публикаций и заявок на изобретения по результатам разработки и исследования устройств силовой электроники с применением полупроводниковых ключей (тиристоров, транзисторов)

Согласована на портале № 80181

ПК-5. Готов осваивать принципы планирования и методы автоматизации эксперимента на основе информационно-измерительных комплексов как средства повышения точности и снижения затрат на его проведение, овладевать навыками измерений в реальном времени	ПК-5.1. Знает принципы планирования и методы автоматизации эксперимента на основе информационно-измерительных комплексов как средства повышения точности и снижения затрат на его проведение	Студент должен знать, что планирование и автоматизация эксперимента с применением современных информационно-измерительных комплексов способны повысить точность измерения статических и динамических параметров силовых полупроводниковых приборов и преобразователей на их основе, а также снизить затраты на измерение при его многократности
	ПК-5.2. Умеет применять принципы планирования и методы автоматизации эксперимента на основе информационно-измерительных комплексов как средства повышения точности и снижения затрат на его проведение	Студент должен уметь корректно планировать, а при необходимости, и автоматизировать эксперименты по измерению параметров и характеристик силовых полупроводниковых приборов и преобразователей на их основе с помощью современных информационноизмерительных комплексов, обеспечив при этом заданную точность измерения при допустимых затратах на проведение эксперимента
	ПК-5.3. Владеет навыками измерений в реальном времени	Студент должен владеть навыками по измерению основных параметров и характеристик силовых полупроводниковых приборов и преобразователей на их основе с помощью современных информационноизмерительных комплексов в режиме реального времени

4. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем и на самостоятельную работу обучающихся

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единиц, 108 академических часов.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам учебной деятельности представлено в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Трудоемкость дисциплины по видам учебной деятельности

Виды учебной деятельности	Всего часов	Семестры
		1 семестр
Контактная аудиторная работа обучающихся с преподавателем, всего	42	42
Лекционные занятия	18	18
Практические занятия	8	8
Лабораторные занятия	16	16
Самостоятельная работа обучающихся, в т.ч. контактная внеаудиторная работа обучающихся с преподавателем, всего	66	66
Подготовка к зачету	24	24
Подготовка к тестированию	18	18
Подготовка к лабораторной работе, написание отчета	24	24
Общая трудоемкость (в часах)	108	108
Общая трудоемкость (в з.е.)	3	3

Согласована на портале № 80181

5. Структура и содержание дисциплины

5.1. Разделы (темы) дисциплины и виды учебной деятельности

Структура дисциплины по разделам (темам) и видам учебной деятельности приведена в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Разделы (темы) дисциплины и виды учебной деятельности

Названия разделов (тем) дисциплины	Лек. зан., ч	Прак. зан., ч	Лаб. раб.	Сам. раб., ч	Всего часов (без экзамена)	Формируемые компетенции
1 семестр						
1 Введение в теорию коммутации силовых цепей	2	1	4	11	18	ПК-2, ПК-5
2 Силовые полупроводниковые ключи, их базовые структуры и история развития	4	-	4	12	20	ПК-2, ПК-5
3 Основные характеристики и параметры силовых полупроводниковых ключей	4	2	-	7	13	ПК-2, ПК-5
4 Схемы управления силовыми полупроводниковыми ключами	4	2	4	12	22	ПК-2, ПК-5
5 Методы и схемы защиты силовых полупроводниковых ключей	2	2	-	7	11	ПК-2, ПК-5
6 Применение силовых полупроводниковых ключей в устройствах силовой электроники	2	1	4	17	24	ПК-2, ПК-5
Итого за семестр	18	8	16	66	108	
Итого	18	8	16	66	108	

5.2. Содержание разделов (тем) дисциплины

Содержание разделов (тем) дисциплины (в т.ч. по лекциям) приведено в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Содержание разделов (тем) дисциплины (в т.ч. по лекциям)

Названия разделов (тем) дисциплины	Содержание разделов (тем) дисциплины (в т.ч. по лекциям)	Трудоемкость (лекционные занятия), ч	Формируемые компетенции
1 семестр			

Согласована на портале № 80181

1 Введение в теорию коммутации силовых цепей	Определение понятия коммутация. Идеальный ключ. Коммутация цепи с индуктивностью (коммутация тока). Коммутация цепи с емкостью (коммутация напряжения). Активное и пассивное включение (выключение). Жесткое (HS - Hard Switching) переключение, мягкое (Soft Switching) переключение при нулевом токе (ZCS - Zero Current Switching) и при нулевом напряжения (ZVS - Zero Voltage Switching) резонансное (RS - Resonant Switching) и нейтральное (NS - Neutral Switching) переключение. Силовые электронные ключи, их возможные комбинации и основные типы. Способы и схемы коммутации силовых электронных ключей.	2	ПК-2, ПК-5
	Итого	2	
2 Силовые полупроводниковые ключи, их базовые структуры и история развития	Краткая историческая справка о СПК и перспективах их развития. Основы классификации структур СПК. Транзисторы: силовые биполярные транзисторы; мощные МДП-транзисторы; биполярные транзисторы с изолированным затвором (БТИЗ транзисторы, IGBT-транзисторы); статические индукционные транзисторы (СИТ-транзисторы). Тиристоры: однооперационные тиристоры; запираемые тиристоры; индукционные тиристоры; полевые тиристоры	4	ПК-2, ПК-5
	Итого	4	

Согласована на портале № 80181

3 Основные характеристики и параметры силовых полупроводниковых ключей	Выбор СПК как элемента схемы. Основные группы справочных данных по СПК: характеристики СПК и их связь с режимами работы схемы; влияние температуры на параметры и характеристики СПК. Предельные характеристики СПК и области безопасной работы (ОБР). Тепловые характеристики СПК: потери в СПК; тепловые сопротивления СПК; допустимые режимы работы СПК.	4	ПК-2, ПК-5
	Итого	4	
4 Схемы управления силовыми полупроводниковыми ключами	Формирователи управляющих импульсов в структуре управления преобразователями параметров электрической энергии. Основные типы формирователей импульсов (ФИУ). ФИУ с совместной передачей энергии и информации управляющего сигнала (трансформаторные ФИУ для биполярных транзисторов, для МДП транзисторов и тиристоров). ФИУ с раздельной передачей энергии и информации управляющего сигнала (потенциальная развязка информационного сигнала, драйверы силовых транзисторов, подключение драйверов к входным цепям силовых транзисторов, драйверы тиристоров).Источники питания драйверов.	4	ПК-2, ПК-5
	Итого	4	
5 Методы и схемы защиты силовых полупроводниковых ключей	Основные виды перегрузок по напряжению и току. Собственные помехи ключевых преобразователей и методы защиты от них.Защитные цепи СПК (цепи формирования траектории рабочей точки (ЦФТРТ) транзисторов, защитные цепи тиристорных ключей, защитные цепи силовых модулей). Защита СПК от режимов КЗ. СПК с интегрированной системой защиты.	2	ПК-2, ПК-5
	Итого	2	

Согласована на портале № 80181

6 Применение силовых полупроводниковых ключей в устройствах силовой электроники	Основные области применения СПК. Типовые схемы СПК (СПК на биполярных транзисторах, СПК на мощных МДП – транзисторах, СПК на JGBT – транзисторах, СПК на СИТ – транзисторах и тиристорах).Применение СПК в схемах электронных балластов, в схемах импульсных источников питания, в схемах резонансных инверторов для индукционного нагрева и в преобразователях для управления электродвигателями.	2	ПК-2, ПК-5
	Итого	2	
Итого за семестр		18	
Итого		18	

5.3. Практические занятия (семинары)

Наименование практических занятий (семинаров) приведено в таблице 5.3.

Таблица 5.3. – Наименование практических занятий (семинаров)

Названия разделов (тем) дисциплины	Наименование практических занятий (семинаров)	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции
1 семестр			
1 Введение в теорию коммутации силовых цепей	Примеры построения и расчета преобразователей с квазирезонансным переключением в нуль тока (ZCR) и в нуль напряжения (ZVR).	1	ПК-5
	Итого	1	
3 Основные характеристики и параметры силовых полупроводниковых ключей	Примеры построения и расчета формирователей импульсов управления (ФИУ) для различных СПК.Основные проблемы построения ФИУ (драйверов).Трансформаторные и интегральные ФИУ (драйверы).	2	ПК-5
	Итого	2	
4 Схемы управления силовыми полупроводниковыми ключами	Примеры построения и расчета формирователей импульсов управления (ФИУ) для различных СПК.Основные проблемы построения ФИУ (драйверов).Трансформаторные и интегральные ФИУ (драйверы).	2	ПК-5
	Итого	2	

Согласована на портале № 80181

5 Методы и схемы защиты силовых полупроводниковых ключей	Примеры построения и расчета схем защиты полупроводниковых ключей. Защита от перенапряжений.	2	ПК-5
	Итого	2	
6 Применение силовых полупроводниковых ключей в устройствах силовой электроники	Примеры построения и расчета формирователей импульсов управления (ФИУ) для различных СПК.Основные проблемы построения ФИУ (драйверов).Трансформаторные и интегральные ФИУ (драйверы).	1	ПК-5
	Итого	1	
Итого за семестр		8	
Итого		8	

5.4. Лабораторные занятия

Наименование лабораторных работ приведено в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Наименование лабораторных работ

Названия разделов (тем) дисциплины	Наименование лабораторных работ	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции
1 семестр			
1 Введение в теорию коммутации силовых цепей	Исследование электромагнитных процессов в инверторной стойке на основе IGBT транзисторов	4	ПК-5
	Итого	4	
2 Силовые полупроводниковые ключи, их базовые структуры и история развития	Исследование электромагнитных процессов в инверторной стойке на основе MOSFET транзисторов	4	ПК-5
	Итого	4	
4 Схемы управления силовыми полупроводниковыми ключами	Исследование драйверов управления силовыми IGBT и MOSFET транзисторами	4	ПК-5
	Итого	4	
6 Применение силовых полупроводниковых ключей в устройствах силовой электроники	Исследование автономных транзисторных инверторов с жесткой коммутацией	4	ПК-5
	Итого	4	
Итого за семестр		16	
Итого		16	

5.5. Курсовой проект / курсовая работа

Не предусмотрено учебным планом

5.6. Самостоятельная работа

Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции представлены в таблице 5.6.

Согласована на портале № 80181

Таблица 5.6. – Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции

Названия разделов (тем) дисциплины	Виды самостоятельной работы	Трудоемкость, ч	Формируемые компетенции	Формы контроля
1 семестр				
1 Введение в теорию коммутации силовых цепей	Подготовка к зачету	4	ПК-2, ПК-5	Зачёт
	Подготовка к тестированию	3	ПК-2, ПК-5	Тестирование
	Подготовка к лабораторной работе, написание отчета	4	ПК-5	Лабораторная работа
	Итого	11		
2 Силовые полупроводниковые ключи, их базовые структуры и история развития	Подготовка к зачету	4	ПК-2, ПК-5	Зачёт
	Подготовка к тестированию	3	ПК-2, ПК-5	Тестирование
	Подготовка к лабораторной работе, написание отчета	5	ПК-5	Лабораторная работа
	Итого	12		
3 Основные характеристики и параметры силовых полупроводниковых ключей	Подготовка к зачету	4	ПК-2, ПК-5	Зачёт
	Подготовка к тестированию	3	ПК-2, ПК-5	Тестирование
	Итого	7		
4 Схемы управления силовыми полупроводниковыми ключами	Подготовка к зачету	4	ПК-2, ПК-5	Зачёт
	Подготовка к тестированию	3	ПК-2, ПК-5	Тестирование
	Подготовка к лабораторной работе, написание отчета	5	ПК-5	Лабораторная работа
	Итого	12		
5 Методы и схемы защиты силовых полупроводниковых ключей	Подготовка к зачету	4	ПК-2, ПК-5	Зачёт
	Подготовка к тестированию	3	ПК-2, ПК-5	Тестирование
	Итого	7		
6 Применение силовых полупроводниковых ключей в устройствах силовой электроники	Подготовка к зачету	4	ПК-2, ПК-5	Зачёт
	Подготовка к тестированию	3	ПК-2, ПК-5	Тестирование
	Подготовка к лабораторной работе, написание отчета	10	ПК-5	Лабораторная работа
	Итого	17		
Итого за семестр		66		
Итого		66		

5.7. Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов учебной деятельности

Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов учебной деятельности представлено в таблице 5.7.

Согласована на портале № 80181

Таблица 5.7 – Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий

Формируемые компетенции	Виды учебной деятельности				Формы контроля
	Лек. зан.	Прак. зан.	Лаб. раб.	Сам. раб.	
ПК-2	+			+	Зачёт, Тестирование
ПК-5	+	+	+	+	Зачёт, Лабораторная работа, Тестирование

6. Рейтинговая система для оценки успеваемости обучающихся

6.1. Балльные оценки для форм контроля

Балльные оценки для форм контроля представлены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Балльные оценки

Формы контроля	Максимальный балл на 1-ую КТ с начала семестра	Максимальный балл за период между 1КТ и 2КТ	Максимальный балл за период между 2КТ и на конец семестра	Всего за семестр
1 семестр				
Зачёт	10	10	10	30
Лабораторная работа	10	15	15	40
Тестирование	10	10	10	30
Итого максимум за период	30	35	35	100
Нарастающим итогом	30	65	100	100

6.2. Пересчет баллов в оценки за текущий контроль

Пересчет баллов в оценки за текущий контроль представлен в таблице 6.2.

Таблица 6.2 – Пересчет баллов в оценки за текущий контроль

Баллы на дату текущего контроля	Оценка
≥ 90% от максимальной суммы баллов на дату ТК	5
От 70% до 89% от максимальной суммы баллов на дату ТК	4
От 60% до 69% от максимальной суммы баллов на дату ТК	3
< 60% от максимальной суммы баллов на дату ТК	2

6.3. Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку

Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку представлен в таблице 6.3.

Таблица 6.3 – Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку

Оценка	Итоговая сумма баллов, учитывает успешно сданный экзамен	Оценка (ECTS)
5 (отлично) (зачтено)	90 – 100	A (отлично)
4 (хорошо) (зачтено)	85 – 89	B (очень хорошо)
	75 – 84	C (хорошо)
	70 – 74	D (удовлетворительно)
3 (удовлетворительно) (зачтено)	65 – 69	
	60 – 64	E (посредственно)
2 (неудовлетворительно) (не зачтено)	Ниже 60 баллов	F (неудовлетворительно)

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Согласована на портале № 80181

7.1. Основная литература

1. Воронин, П. А. Силовые полупроводниковые ключи: семейства, характеристики, применение / П. А. Воронин. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : ДМК Пресс, 2010. — 381 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/60967 .

7.2. Дополнительная литература

1. Мелешин В.И. Транзисторная преобразовательная техника / Мелешин В.И. Москва: Техносфера, 2006. – 632с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 50 экз.).
2. Силовая полупроводниковая элементная база. Технология производства. Конструктивные решения : учебное пособие / В. Я. Фролов, А. М. Сурма, К. Н. Васерина, А. А. Черников. — Санкт-Петербург : Лань, 2019. — 228 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/115497 .

7.3. Учебно-методические пособия

7.3.1. Обязательные учебно-методические пособия

1. Семенов, Б. Ю.. Силовая электроника для любителей и профессионалов / Б. Ю. Семенов. - М. : Солон-Р, 2001. - 327[9] с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 20 экз.).
2. Герман-Галкин, С. Г. Виртуальные лаборатории полупроводниковых систем в среде Matlab-Simulink : учебно-методическое пособие / С. Г. Герман-Галкин. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 448 с. [Электронный ресурс]: — Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/36998.

7.3.2. Учебно-методические пособия для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Учебно-методические материалы для самостоятельной и аудиторной работы обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предоставляются в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации.

Для лиц с нарушениями зрения:
– в форме электронного документа;
– в печатной форме увеличенным шрифтом.

Для лиц с нарушениями слуха:
– в форме электронного документа;
– в печатной форме.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:
– в форме электронного документа;
– в печатной форме.

7.4. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1. При изучении дисциплины рекомендуется обращаться к современным базам данных, информационно-справочным и поисковым системам, к которым у ТУСУРа открыт доступ: https://lib.tusur.ru/ru/resursy/bazy-dannyh.

8. Материально-техническое и программное обеспечение дисциплины

8.1. Материально-техническое и программное обеспечение для лекционных занятий

Для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации используется учебная аудитория с достаточным количеством посадочных мест для учебной группы, оборудованная доской и стандартной учебной мебелью. Имеются мультимедийное оборудование и учебно-наглядные пособия, обеспечивающие тематические иллюстрации по лекционным разделам дисциплины.

8.2. Материально-техническое и программное обеспечение для практических занятий

Лаборатория импульсных систем и преобразовательной техники / Лаборатория ГПО: учебная аудитория для проведения занятий практического типа, учебная аудитория для проведения занятий лабораторного типа, учебная аудитория для проведения занятий семинарского

Согласована на портале № 80181

типа, помещение для курсового проектирования (выполнения курсовых работ); 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 320 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- Персональные компьютеры (15 шт.);
- Цифровой осциллограф DSO 3062A (10 шт.);
- Осциллограф АСК 1021 (6 шт.);
- Интерактивная доска – «Smart-board» DViT;
- Учебный лабораторный комплекс «Силовая электроника»;
- Лабораторные стенды: "Для исследования однофазных выпрямителей и фильтров" (3 шт.), "Для исследования звена повышенной частоты" (3 шт.), "Для исследования инвертора напряжения" (13 шт.), "Для исследования инвертора тока" (3 шт.), "Для исследования НПН" (13 шт.), "Для исследования источников питания" (13 шт.), "Для исследования трехфазных выпрямителей" (3 шт.), "Для исследования УЭЭ с импульсной модуляцией" (13 шт.);
- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

Программное обеспечение:

- ASIMEC;
- LTspice 4;
- Mathworks Matlab;
- Windows XP;

8.3. Материально-техническое и программное обеспечение для лабораторных работ

Лаборатория импульсных систем и преобразовательной техники / Лаборатория ГПО: учебная аудитория для проведения занятий практического типа, учебная аудитория для проведения занятий лабораторного типа, учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа, помещение для курсового проектирования (выполнения курсовых работ); 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 320 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- Персональные компьютеры (15 шт.);
- Цифровой осциллограф DSO 3062A (10 шт.);
- Осциллограф АСК 1021 (6 шт.);
- Интерактивная доска – «Smart-board» DViT;
- Учебный лабораторный комплекс «Силовая электроника»;
- Лабораторные стенды: "Для исследования однофазных выпрямителей и фильтров" (3 шт.), "Для исследования звена повышенной частоты" (3 шт.), "Для исследования инвертора напряжения" (13 шт.), "Для исследования инвертора тока" (3 шт.), "Для исследования НПН" (13 шт.), "Для исследования источников питания" (13 шт.), "Для исследования трехфазных выпрямителей" (3 шт.), "Для исследования УЭЭ с импульсной модуляцией" (13 шт.);
- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

Программное обеспечение:

- ASIMEC;
- LTspice 4;
- Mathworks Matlab;
- PTC Mathcad 13, 14;
- Windows XP;

8.4. Материально-техническое и программное обеспечение для самостоятельной работы

Для самостоятельной работы используются учебные аудитории (компьютерные классы), расположенные по адресам:

- 634050, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, д. 40, 233 ауд.;
- 634045, Томская область, г. Томск, ул. Красноармейская, д. 146, 209 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 47, 126 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 207 ауд.

Описание имеющегося оборудования:

Согласована на портале № 80181

- учебная мебель;
- компьютеры;
- компьютеры подключены к сети «Интернет» и обеспечивают доступ в электронную информационно-образовательную среду ТУСУРа.

Перечень программного обеспечения:
- Microsoft Windows;
- OpenOffice;
- Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows;
- 7-Zip;
- Google Chrome.

8.5. Материально-техническое обеспечение дисциплины для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Освоение дисциплины лицами с ограниченными возможностями здоровья и инвалидами осуществляется с использованием средств обучения общего и специального назначения.

При занятиях с обучающимися с **нарушениями слуха** предусмотрено использование звукоусиливающей аппаратуры, мультимедийных средств и других технических средств приема/передачи учебной информации в доступных формах, мобильной системы преподавания для обучающихся с инвалидностью, портативной индукционной системы. Учебная аудитория, в которой занимаются обучающиеся с нарушением слуха, оборудована компьютерной техникой, аудиотехникой, видеотехникой, электронной доской, мультимедийной системой.

При занятиях с обучающимися с **нарушениями зрения** предусмотрено использование в лекционных и учебных аудиториях возможности просмотра удаленных объектов (например, текста на доске или слайда на экране) при помощи видеоувеличителей для комфортного просмотра.

При занятиях с обучающимися с **нарушениями опорно-двигательного аппарата** используются альтернативные устройства ввода информации и другие технические средства приема/передачи учебной информации в доступных формах, мобильной системы обучения для людей с инвалидностью.

9. Оценочные материалы и методические рекомендации по организации изучения дисциплины

9.1. Содержание оценочных материалов для текущего контроля и промежуточной аттестации

Для оценки степени сформированности и уровня освоения закрепленных за дисциплиной компетенций используются оценочные материалы, представленные в таблице 9.1.

Таблица 9.1 – Формы контроля и оценочные материалы

Названия разделов (тем) дисциплины	Формируемые компетенции	Формы контроля	Оценочные материалы (ОМ)
1 Введение в теорию коммутации силовых цепей	ПК-2, ПК-5	Зачёт	Перечень вопросов для зачета
		Лабораторная работа	Темы лабораторных работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
2 Силовые полупроводниковые ключи, их базовые структуры и история развития	ПК-2, ПК-5	Зачёт	Перечень вопросов для зачета
		Лабораторная работа	Темы лабораторных работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий

Согласована на портале № 80181

3 Основные характеристики и параметры силовых полупроводниковых ключей	ПК-2, ПК-5	Зачёт	Перечень вопросов для зачета
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
4 Схемы управления силовыми полупроводниковыми ключами	ПК-2, ПК-5	Зачёт	Перечень вопросов для зачета
		Лабораторная работа	Темы лабораторных работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
5 Методы и схемы защиты силовых полупроводниковых ключей	ПК-2, ПК-5	Зачёт	Перечень вопросов для зачета
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий
6 Применение силовых полупроводниковых ключей в устройствах силовой электроники	ПК-2, ПК-5	Зачёт	Перечень вопросов для зачета
		Лабораторная работа	Темы лабораторных работ
		Тестирование	Примерный перечень тестовых заданий

Шкала оценки сформированности отдельных планируемых результатов обучения по дисциплине приведена в таблице 9.2.

Таблица 9.2 – Шкала оценки сформированности планируемых результатов обучения по дисциплине

Оценка	Баллы за ОМ	Формулировка требований к степени сформированности планируемых результатов обучения		
		знать	уметь	владеть
2 (неудовлетворительно)	< 60% от максимальной суммы баллов	отсутствие знаний или фрагментарные знания	отсутствие умений или частично освоенное умение	отсутствие навыков или фрагментарные применение навыков
3 (удовлетворительно)	от 60% до 69% от максимальной суммы баллов	общие, но не структурированные знания	в целом успешно, но не систематически осуществляемое умение	в целом успешное, но не систематическое применение навыков
4 (хорошо)	от 70% до 89% от максимальной суммы баллов	сформированные, но содержащие отдельные проблемы знания	в целом успешное, но содержащие отдельные пробелы умение	в целом успешное, но содержащие отдельные пробелы применение навыков
5 (отлично)	≥ 90% от максимальной суммы баллов	сформированные систематические знания	сформированное умение	успешное и систематическое применение навыков

Согласована на портале № 80181

Шкала комплексной оценки сформированности компетенций приведена в таблице 9.3.

Таблица 9.3 – Шкала комплексной оценки сформированности компетенций

Оценка	Формулировка требований к степени компетенции
2 (неудовлетворительно)	Не имеет необходимых представлений о проверяемом материале или Знать на уровне **ориентирования**, представлений. Обучающийся знает основные признаки или термины изучаемого элемента содержания, их отнесенность к определенной науке, отрасли или объектам, узнает в текстах, изображениях или схемах и знает, к каким источникам нужно обращаться для более детального его усвоения.
3 (удовлетворительно)	Знать и уметь на **репродуктивном** уровне. Обучающихся знает изученный элемент содержания репродуктивно: произвольно воспроизводит свои знания устно, письменно или в демонстрируемых действиях.
4 (хорошо)	Знать, уметь, владеть на **аналитическом** уровне. Зная на репродуктивном уровне, указывать на особенности и взаимосвязи изученных объектов, на их достоинства, ограничения, историю и перспективы развития и особенности для разных объектов усвоения.
5 (отлично)	Знать, уметь, владеть на **системном** уровне. Обучающийся знает изученный элемент содержания системно, произвольно и доказательно воспроизводит свои знания устно, письменно или в демонстрируемых действиях, учитывая и указывая связи и зависимости между этим элементом и другими элементами содержания дисциплины, его значимость в содержании дисциплины.

9.1.1. Примерный перечень тестовых заданий

1. Как называется в англоязычной литературе переключение полупроводникового ключа при нуле тока? Варианты ответов:
   1 ZVS.
   2 ZCS.
   3 HS.
   4 NS.
2. Как называется в англоязычной литературе переключение полупроводникового ключа при нуле напряжения? Варианты ответов:
   1. ZVS.
   2. ZCS.
   3 HS.
   4 NS.
3. Как называется в англоязычной литературе переключение полупроводникового ключа при нуле тока и нуле напряжения? Варианты ответов:
   1. ZVS.
   2. ZCS.
   3 HS.
   4 NS.
4. Как называется в англоязычной литературе переключение полупроводникового ключа при токе и напряжении, сравнимыми с его рабочими значениями? Варианты ответов:
   1. ZVS.
   2. ZCS.
   3 HS.
   4 NS .
5. Расставить номера следующих полупроводниковых ключей в порядке возрастания их (приборов) рабочего напряжения. Тиристоры-1; Силовые биполярные транзисторы с изолированным затвором-2; Силовые полевые транзисторы-3. Варианты ответов:
   1. 3-2-1.

Согласована на портале № 80181

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

6. Как называется интервал времени между моментом снятия управляющего сигнала с полупроводникового управляемого ключа, выполненного на основе МДП транзистора, и моментом начала роста напряжения на стоке транзистора? Варианты ответов:
   1. Временем задержки включения.
   2. Временем задержки выключения.
   3. Временем нарастания тока.
   4. Временем нарастания напряжения.
7. Чему равно время включения транзисторного ключа при активной нагрузке? Варианты ответов:
   1. Времени задержки включения.
   2. Времени нарастания тока.
   3. Разности времени нарастания тока и времени задержки включения.
   4. Сумме времени нарастания тока и времени задержки включения.
8. По какой из приведенных формул можно оценить мощность статических потерь в транзисторном ключе на MOSFET? Варианты ответов:
   1. ΔP=ΔUo*Ikcp.
   2. ΔP=(Ik)2 *Rост.
   3. ΔP=Uп* Ikm*(ton+toff)*fk/2.
   4. ΔP=Uп* Ikm*(ton+toff)*fk/6,

   где: ΔP- потери мощности в транзисторе; ΔUo- падение напряжения на включенном транзисторе; Ikcp – среднее значение тока транзистора на периоде переключения; Ik – эффективное значение тока транзистора на периоде переключения; Rост. – остаточное активное сопротивление транзистора; Uп – напряжение питания транзисторного ключа; Ikm – мгновенное значение тока переключения транзистора; (ton+toff) – время включения и выключения транзистора; fk – частота переключения транзистора.
9. Как называется специализированная микросхема для силовой электроники, на которой реализуется система управления импульсным преобразователем электрической энергии? Варианты ответов:
   1. Драйвером.
   2. Микроконтроллером.
   3. ШИМ-контроллером.
   4. БИС.
10. Как называется специализированная микросхема для силовой электроники, на которой реализуется усиление управляющего сигнала системы управления импульсным преобразователем электрической энергии по мощности, гальваническая развязка управляющего сигнала от потенциала системы управления и управление силовым транзистором?
    Варианты ответов:
    1. Драйвером.
    2. Микроконтроллером.
    3. ШИМ-контроллером.
    4. БИС.

9.1.2. Перечень вопросов для зачета

1. Нарисовать временные диаграммы включения и выключения биполярного транзистора при его работе на активную нагрузку и дать определение характерным временным интервалам.
2. Нарисовать временные диаграммы включения и выключения биполярного транзистора с изолированным затвором при его работе на активно-индуктивную нагрузку и дать определение характерным временным интервалам.
3. Принцип действия и основные характеристики однооперационного тиристора.
4. Приведите выражения для расчета статических и коммутационных потерь в полевом транзисторе.

Согласована на портале № 80181

5. Поясните метод электро-тепловой аналогии и приведите схему для расчета установившейся температуры кристалла полупроводникового прибора.

9.1.3. Темы лабораторных работ

1. Исследование электромагнитных процессов в инверторной стойке на основе IGBT транзисторов
2. Исследование электромагнитных процессов в инверторной стойке на основе MOSFET транзисторов
3. Исследование драйверов управления силовыми IGBT и MOSFET транзисторами
4. Исследование автономных транзисторных инверторов с жесткой коммутацией

9.2. Методические рекомендации

Учебный материал излагается в форме, предполагающей самостоятельное мышление студентов, самообразование. При этом самостоятельная работа студентов играет решающую роль в ходе всего учебного процесса.

Начать изучение дисциплины необходимо со знакомства с рабочей программой, списком учебно-методического и программного обеспечения. Самостоятельная работа студента включает работу с учебными материалами, выполнение контрольных мероприятий, предусмотренных учебным планом.

В процессе изучения дисциплины для лучшего освоения материала необходимо регулярно обращаться к рекомендуемой литературе и источникам, указанным в учебных материалах; пользоваться через кабинет студента на сайте Университета образовательными ресурсами электронно-библиотечной системы, а также общедоступными интернет-порталами, содержащими научно-популярные и специализированные материалы, посвященные различным аспектам учебной дисциплины.

При самостоятельном изучении тем следуйте рекомендациям:

– чтение или просмотр материала осуществляйте со скоростью, достаточной для индивидуального понимания и освоения материала, выделяя основные идеи; на основании изученного составить тезисы. Освоив материал, попытаться соотнести теорию с примерами из практики;

– если в тексте встречаются незнакомые или малознакомые термины, следует выяснить их значение для понимания дальнейшего материала;

– осмысливайте прочитанное и изученное, отвечайте на предложенные вопросы.

Студенты могут получать индивидуальные консультации, в т.ч. с использованием средств телекоммуникации.

По дисциплине могут проводиться дополнительные занятия, в т.ч. в форме вебинаров. Расписание вебинаров и записи вебинаров публикуются в электронном курсе / электронном журнале по дисциплине.

9.3. Требования к оценочным материалам для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предусмотрены дополнительные оценочные материалы, перечень которых указан в таблице 9.4.

Таблица 9.4 – Дополнительные материалы оценивания для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Категории обучающихся	Виды дополнительных оценочных материалов	Формы контроля и оценки результатов обучения
С нарушениями слуха	Тесты, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету, контрольные работы	Преимущественно письменная проверка
С нарушениями зрения	Собеседование по вопросам к зачету, опрос по терминам	Преимущественно устная проверка (индивидуально)

Согласована на портале № 80181

С нарушениями опорно-двигательного аппарата	Решение дистанционных тестов, контрольные работы, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету	Преимущественно дистанционными методами
С ограничениями по общемедицинским показаниям	Тесты, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету, контрольные работы, устные ответы	Преимущественно проверка методами, определяющимися исходя из состояния обучающегося на момент проверки

9.4. Методические рекомендации по оценочным материалам для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предусматривается доступная форма предоставления заданий оценочных средств, а именно:

– в печатной форме;
– в печатной форме с увеличенным шрифтом;
– в форме электронного документа;
– методом чтения ассистентом задания вслух;
– предоставление задания с использованием сурдоперевода.

Лицам с ограниченными возможностями здоровья и инвалидам увеличивается время на подготовку ответов на контрольные вопросы. Для таких обучающихся предусматривается доступная форма предоставления ответов на задания, а именно:

– письменно на бумаге;
– набор ответов на компьютере;
– набор ответов с использованием услуг ассистента;
– представление ответов устно.

Процедура оценивания результатов обучения лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов по дисциплине предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

Для лиц с нарушениями зрения:
– в форме электронного документа;
– в печатной форме увеличенным шрифтом.

Для лиц с нарушениями слуха:
– в форме электронного документа;
– в печатной форме.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:
– в форме электронного документа;
– в печатной форме.

При необходимости для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов процедура оценивания результатов обучения может проводиться в несколько этапов.

Согласована на портале № 80181

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ПрЭ
протокол № 24 от « 8 » 11 2023 г.

СОГЛАСОВАНО:

Должность	Инициалы, фамилия	Подпись
Заведующий выпускающей каф. ПрЭ	С.Г. Михальченко	Согласовано, 706957f1-d2eb-4f94-b533-6139893cfd5a
Заведующий обеспечивающей каф. ПрЭ	С.Г. Михальченко	Согласовано, 706957f1-d2eb-4f94-b533-6139893cfd5a
Начальник учебного управления	И.А. Лариошина	Согласовано, c3195437-a02f-4972-a7c6-ab6ee1f21e73

ЭКСПЕРТЫ:

Профессор, каф. ПрЭ	Н.С. Легостаев	Согласовано, 6332ca5f-c16e-4579-bbc4-ee49773dfd8d
Доцент, каф. ПрЭ	Д.О. Пахмурин	Согласовано, ce9e048a-2a49-44a0-b2ab-bc9421935400

РАЗРАБОТАНО:

Профессор, каф. ПрЭ	В.Д. Семенов	Разработано, 8126bc7a-45e6-4f5a-9757-a9215eb0e2d3

Согласована на портале № 80181