

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Направление подготовки/специальность: 11.04.04 Электроника и нанoeлектроника

Наименование образовательной программы: Промышленная электроника и микропроцессорная техника

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная


Рабочая программа дисциплины
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ КЛЮЧИ В СИЛОВЫХ СХЕМАХ

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.Ч.06
Трудоемкость в зачетных единицах:	2 семестр - 3;
Часов (всего) по учебному плану:	108 часов
Лекции	2 семестр - 16 часов;
Практические занятия	2 семестр - 16 часов;
Лабораторные работы	не предусмотрено учебным планом
Консультации	2 семестр - 2 часа;
Самостоятельная работа	2 семестр - 73,5 часа;
в том числе на КП/КР	не предусмотрено учебным планом
Иная контактная работа	проводится в рамках часов аудиторных занятий
включая:	
Контрольная работа	
Промежуточная аттестация:	
Экзамен	2 семестр - 0,5 часа;

Москва 2025

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:


Преподаватель

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Воронин П.А.
	Идентификатор	R8090f709-VoroninPA-bf2fdc05

П.А. Воронин


СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Рашитов П.А.
	Идентификатор	R66e8dfb1-RashitovPA-1953162c

П.А. Рашитов

Заведующий выпускающей
кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Асташев М.Г.
	Идентификатор	R7a29e524-AstashevMG-0583186f

М.Г. Асташев

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: изучение базовых структур мощных полупроводниковых ключей и особенностей их применения в схемах силовой электроники с учетом их взаимного влияния.

Задачи дисциплины

- изучение базовых структур мощных полупроводниковых ключей и их схем замещения;
- овладение методами анализа коммутационных процессов в силовых схемах с учетом динамических свойств полупроводниковых ключей;
- овладение методами управления и защиты мощных полупроводниковых ключей;
- овладение методами повышения устойчивости и защиты полупроводниковых ключей в аварийных режимах.

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
ПК-1 Способен проводить и сопровождать работы по проектированию устройств электроники и наноэлектроники в соответствии с требованиями технического задания	ИД-1 _{ПК-1} Знает современный технологический базис и технические решения и осуществляет выбор на основе технических требований к устройствам электроники и наноэлектроники	<p>знать:</p> <ul style="list-style-type: none">- базовые структуры и основные этапы переходных процессов переключения тиристорных новых технологии;- базовые структуры и основные этапы переходных процессов переключения IGBT при работе на комплексную нагрузку;- базовые структуры и основные этапы переходных процессов переключения биполярных транзисторных ключей при работе на комплексную нагрузку;- базовые структуры и основные этапы переходных процессов переключения ключей на МДП-транзисторах при работе на комплексную нагрузку. <p>уметь:</p> <ul style="list-style-type: none">- рассчитывать электромагнитные процессы в схемах тиристорных новых технологий;- рассчитывать электромагнитные процессы в схемах на МДП-транзисторах;- рассчитывать электромагнитные процессы в схемах биполярных транзисторных ключей;- рассчитывать электромагнитные процессы в схемах на IGBT.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Промышленная электроника и микропроцессорная техника (далее – ОПОП), направления

подготовки 11.04.04 Электроника и микроэлектроника, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать основные типы полупроводниковых ключей и их схемы замещения
- знать методы расчета переходных процессов в линейных электрических цепях
- уметь рассчитывать электромагнитные процессы в схемах с полупроводниковыми приборами
- уметь выбирать полупроводниковые приборы для силовых преобразователей

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы, 108 часов.

№ п/п	Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации	Всего часов на раздел	Семестр	Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы										Содержание самостоятельной работы/ методические указания	
				Контактная работа							СР				
				Лек	Лаб	Пр	Консультация		ИКР		ПА	Работа в семестре	Подготовка к аттестации /контроль		
КПР	ГК	ИККП	ТК												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	Полупроводниковые ключи на основе силовых диодов и мощных биполярных транзисторов	9	2	2	-	2	-	-	-	-	-	5	-	<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Полупроводниковые ключи на основе силовых диодов и мощных биполярных транзисторов"	
1.1	Ключи на силовых диодах и биполярных транзисторах	9		2	-	2	-	-	-	-	-	5	-		
2	Униполярные полупроводниковые ключи с полевым управлением (мощные МДП и индукционные транзисторы)	27		6	-	6	-	-	-	-	-	-	15	-	<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Униполярные полупроводниковые ключи с полевым управлением (мощные МДП и индукционные транзисторы)"
2.1	Ключи на мощных МДП-транзисторах.	27		6	-	6	-	-	-	-	-	-	15	-	
3	Биполярные полупроводниковые ключи с полевым управлением (IGBT и тиристоры с электростатической индукцией)	27		6	-	6	-	-	-	-	-	-	15	-	
3.1	Ключи на биполярных транзисторах с изолированным затвором (IGBT) и ключи на полевых	27	6	-	6	-	-	-	-	-	-	15	-		

	транзисторах со статической индукцией.												
4	Мощные тиристорные ключи, силовые ключи новых технологий	9	2	-	2	-	-	-	-	-	5	-	<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Мощные тиристорные ключи, силовые ключи новых технологий"
4.1	Силовые ключи новых технологий.	9	2	-	2	-	-	-	-	5	-		
	Экзамен	36.0	-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	Всего за семестр	108.0	16	-	16	-	2	-	-	0.5	40	33.5	
	Итого за семестр	108.0	16	-	16	2	-	-	0.5	73.5			

Примечание: Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПр – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ГК- групповые консультации по разделам дисциплины; СР – самостоятельная работа студента; ИКР – иная контактная работа; ТК – текущий контроль; ПА – промежуточная аттестация

3.2 Краткое содержание разделов

1. Полупроводниковые ключи на основе силовых диодов и мощных биполярных транзисторов

1.1. Ключи на силовых диодах и биполярных транзисторах

Структура силового диода и особенности его ВАХ. Режим двойной инжекции, жесткое и мягкое переключение диода. Определение коэффициента мягкости.. Структура силового биполярного транзистора, особенности работы при высоких токах и напряжениях.. Переходные характеристики мощного биполярного транзистора, явления квазинасыщения и квазирассасывания. Пути повышения эффективности биполярного транзисторов..

2. Униполярные полупроводниковые ключи с полевым управлением (мощные МДП и индукционные транзисторы)

2.1. Ключи на мощных МДП-транзисторах.

Базовая структура мощного МДП-транзистора с коротким каналом, эквивалентная схема структуры с учетом паразитных составляющих.. Статические и динамические характеристики мощных МДП-транзисторов, зависимость параметров от режимов и температуры.. Методы управления, согласование выходных цепей аналоговых и цифровых микросхем со входом МДП-ключа. Трансформаторные формирователи импульсов управления (ФИУ) для ключей с изолированным затвором. Интегральные ФИУ (драйверы), способы обеспечения потенциальной развязки.. Работа МДП-ключа с общим истоком в схемах с резистивной и индуктивной нагрузкой, шунтированной встречно-параллельным диодом. Расчет временных параметров и мощности потерь на переключение.. МДП-ключи в мостовых схемах, работа на противофазный диод в схемах с индуктивной нагрузкой, оценка мощности потерь в отдельном плече схемы.. Работа МДП-транзисторов при параллельном включении, оценка неравномерности распределения тока в статическом и динамическом режимах, особенности управления..

3. Биполярные полупроводниковые ключи с полевым управлением (IGBT и тиристоры с электростатической индукцией)

3.1. Ключи на биполярных транзисторах с изолированным затвором (IGBT) и ключи на полевых транзисторах со статической индукцией.

Структуры биполярно-полевых ключей с модулируемой проводимостью, эквивалентные схемы, основные параметры и характеристики.. Работа IGBT в схеме с индуктивной нагрузкой, влияние режимов и температуры, критические факторы переключения.. Работа IGBT в режимах токовой перегрузки, методы повышения устойчивости ключа, особенности управления и алгоритмы защиты.. Структуры ключей с электростатическим управлением. Полевой и биполярно-полевой режимы переключения, основные характеристики.. Индукционный транзистор с модулируемой проводимостью (индукционный тиристор), особенности выключения..

4. Мощные тиристорные ключи, силовые ключи новых технологий

4.1. Силовые ключи новых технологий.

Основные тенденции развития силовых полупроводниковых ключей. Пути повышения эффективности ключевых приборов (на примерах транзисторных ключей с усиленной инжекцией и накоплением заряда и тиристорных ключей с коммутацией тока в цепь управления)..

3.3. Темы практических занятий

1. Расчет статических и динамических потерь мощности в тиристорных ключах при работе на двигательную нагрузку;
2. Расчет переходных процессов переключения тиристора с электростатическим управлением;
3. Расчет переходных процессов переключения IGBT на индуктивную нагрузку, шунтированную диодом;
4. Расчет переходных процессов переключения мощного МДП транзистора в мостовой схеме;
5. Расчет переходных процессов переключения мощного МДП транзистора на индуктивную нагрузку, шунтированную диодом;
6. Расчет переходных процессов переключения мощного МДП транзистора на резистивную нагрузку;
7. Расчет переходных процессов переключения силового биполярного транзистора с учетом интервалов квазинасыщения и квазирассасывания;
8. Расчет переходных процессов переключения силового диода, коэффициент мягкости диода.

3.4. Темы лабораторных работ

не предусмотрено

3.5 Консультации

Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)

1. Силовые диоды и силовые биполярные транзисторы: параметры, расчет процессов.
2. Мощные МДП-транзисторы. Параметры, расчет процессов.
3. IGBT - современные технологии, области применения, перспективы. Параметры, расчет.
4. Современные мощные тиристоры с электростатической индукцией. Параметры, расчет.
5. Современные мощные тиристоры. Параметры, расчет.

3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ

Курсовой проект/ работа не предусмотрены

3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

Запланированные результаты обучения по дисциплине (в соответствии с разделом 1)	Коды индикаторов	Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1)				Оценочное средство (тип и наименование)
		1	2	3	4	
Знать:						
базовые структуры и основные этапы переходных процессов переключения ключей на МДП-транзисторах при работе на комплексную нагрузку	ИД-1ПК-1		+			Контрольная работа/Мощные МДП-транзисторы с индуктивной нагрузкой Контрольная работа/Мощные МДП-транзисторы с резистивной нагрузкой Контрольная работа/Полупроводниковые ключи в мостовых схемах
базовые структуры и основные этапы переходных процессов переключения биполярных транзисторных ключей при работе на комплексную нагрузку	ИД-1ПК-1	+				Контрольная работа/Мощные диоды и биполярные транзисторы
базовые структуры и основные этапы переходных процессов переключения IGBT при работе на комплексную нагрузку	ИД-1ПК-1			+		Контрольная работа/Мощные МДП-транзисторы с индуктивной нагрузкой Контрольная работа/Полупроводниковые ключи в мостовых схемах
базовые структуры и основные этапы переходных процессов переключения тиристоров новых технологии	ИД-1ПК-1				+	Контрольная работа/Полупроводниковые ключи в мостовых схемах
Уметь:						
рассчитывать электромагнитные процессы в схемах на IGBT	ИД-1ПК-1			+		Контрольная работа/Мощные МДП-транзисторы с индуктивной нагрузкой Контрольная работа/Полупроводниковые ключи в мостовых схемах
рассчитывать электромагнитные процессы в схемах биполярных транзисторных ключей	ИД-1ПК-1	+				Контрольная работа/Мощные диоды и биполярные транзисторы
рассчитывать электромагнитные процессы в схемах на МДП-транзисторах	ИД-1ПК-1		+			Контрольная работа/Мощные МДП-транзисторы с индуктивной нагрузкой

						Контрольная работа/Мощные МДП-транзисторы с резистивной нагрузкой
рассчитывать электромагнитные процессы в схемах тиристорных новых технологий	ИД-1ПК-1				+	Контрольная работа/Полупроводниковые ключи в мостовых схемах

4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)

4.1. Текущий контроль успеваемости

2 семестр

Форма реализации: Письменная работа

1. Мощные диоды и биполярные транзисторы (Контрольная работа)
2. Мощные МДП-транзисторы с индуктивной нагрузкой (Контрольная работа)
3. Мощные МДП-транзисторы с резистивной нагрузкой (Контрольная работа)
4. Полупроводниковые ключи в мостовых схемах (Контрольная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Экзамен (Семестр №2)

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и аттестационной составляющих.

В диплом выставляется оценка за 2 семестр.

Примечание: Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 Печатные и электронные издания:

1. Розанов, Ю. К. Силовая электроника : учебник для вузов по направлению "Электроника, электромеханика и электротехнологии" / Ю. К. Розанов, М. В. Рябчицкий, А. А. Кваснюк. – М. : Издательский дом МЭИ, 2007. – 632 с. – ISBN 978-5-383-00169-1.

<http://elibr.mpei.ru/elibr/view.php?id=4173>;

2. Справочник по силовой электронике / Ю. К. Розанов, П. А. Воронин, С. Е. Рывкин, Е. Е. Чаплыгин ; ред. Ю. К. Розанов. – М. : Издательский дом МЭИ, 2014. – 472 с. – ISBN 978-5-383-00872-0.;

3. В. И. Мелешин- "Транзисторная преобразовательная техника", Издательство: "Техносфера", Москва, 2005 - (628 с.)

<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=273791>.

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. СДО "Прометей";
2. Office / Российский пакет офисных программ;
3. Windows / Операционная система семейства Linux;
4. Видеоконференции (Майнд, Сберджаз, ВК и др).

5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>

2. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" - http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red

3. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
4. База данных ВИНТИ online - <http://www.viniti.ru/>
5. База данных журналов издательства Elsevier - <https://www.sciencedirect.com/>
6. Электронные ресурсы издательства Springer - <https://link.springer.com/>
7. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
8. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
9. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
10. ЭБС "Консультант студента" - <http://www.studentlibrary.ru/>
11. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
	Б-305, Учебная аудитория	парта со скамьей, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, кондиционер
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Б-305, Учебная аудитория	парта со скамьей, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, кондиционер
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
	Б-305, Учебная аудитория	парта со скамьей, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, кондиционер
Помещения для самостоятельной работы	НТБ-303, Лекционная аудитория	стол компьютерный, стул, стол письменный, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, кондиционер
Помещения для консультирования	Е-324/2, Преподавательская каф. "Пром.эл"	кресло рабочее, шкаф для документов, шкаф для одежды, стол письменный, тумба, компьютерная сеть с выходом в Интернет, многофункциональный центр, компьютер персональный
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	Е-324/5, Методический кабинет каф. "Пром.эл."	парта, стул, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, доска маркерная передвижная, ноутбук

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Полупроводниковые ключи в силовых схемах

(название дисциплины)

2 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 Мощные диоды и биполярные транзисторы (Контрольная работа)
- КМ-2 Мощные МДП-транзисторы с резистивной нагрузкой (Контрольная работа)
- КМ-3 Мощные МДП-транзисторы с индуктивной нагрузкой (Контрольная работа)
- КМ-4 Полупроводниковые ключи в мостовых схемах (Контрольная работа)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	4	8	12	15
1	Полупроводниковые ключи на основе силовых диодов и мощных биполярных транзисторов					
1.1	Ключи на силовых диодах и биполярных транзисторах		+			
2	Униполярные полупроводниковые ключи с полевым управлением (мощные МДП и индукционные транзисторы)					
2.1	Ключи на мощных МДП-транзисторах.			+	+	+
3	Биполярные полупроводниковые ключи с полевым управлением (IGBT и тиристоры с электростатической индукцией)					
3.1	Ключи на биполярных транзисторах с изолированным затвором (IGBT) и ключи на полевых транзисторах со статической индукцией.				+	+
4	Мощные тиристорные ключи, силовые ключи новых технологий					
4.1	Силовые ключи новых технологий.					+
Вес КМ, %:			25	25	25	25