

**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**

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

**Москва 2023**

**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 нанoeлектроники в соответствии с требованиями технического задания	ИД-1 <sub>ПК-1</sub> Знает современный технологический базис и технические решения и осуществляет выбор на основе технических требований к устройствам электроники и нанoeлектроники	<p>знать:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- базовые структуры и основные этапы переходных процессов переключения тиристоров новых технологии;</li><li>- базовые структуры и основные этапы переходных процессов переключения IGBT при работе на комплексную нагрузку;</li><li>- базовые структуры и основные этапы переходных процессов переключения биполярных транзисторных ключей при работе на комплексную нагрузку;</li><li>- базовые структуры и основные этапы переходных процессов переключения ключей на МДП-транзисторах при работе на комплексную нагрузку.</li></ul> <p>уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- рассчитывать электромагнитные процессы в схемах тиристоров новых технологий;</li><li>- рассчитывать электромагнитные процессы в схемах на МДП-транзисторах;</li><li>- рассчитывать электромагнитные процессы в схемах биполярных транзисторных ключей;</li><li>- рассчитывать электромагнитные процессы в схемах на IGBT.</li></ul>

## 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	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> 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	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> 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	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> 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	
	<b>Всего за семестр</b>	<b>108.0</b>	<b>16</b>	-	<b>16</b>	-	<b>2</b>	-	-	<b>0.5</b>	<b>40</b>	<b>33.5</b>	
	<b>Итого за семестр</b>	<b>108.0</b>	<b>16</b>	-	<b>16</b>		<b>2</b>		-	<b>0.5</b>		<b>73.5</b>	

**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 квазирастрасывания. 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	
<b>Знать:</b>						
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 тиристорных ключей новых технологий	ИД-1ПК-1				+	Контрольная работа/Полупроводниковые ключи в мостовых схемах
<b>Уметь:</b>						
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](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-201, Компьютерный читальный зал	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