

Направление подготовки 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника»  
Профиль «Промышленная электроника»  
РПД Б1.В.13 «Силовые узлы устройств промышленной электроники»



**Филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования  
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»  
в г. Смоленске**

**УТВЕРЖДАЮ**

Зам. директора  
по учебно-методической работе  
филиала ФГБОУ ВО  
«НИУ «МЭИ» в г. Смоленске  
В.В. Рожков  
«28» 08 20 19 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Силовые узлы устройств промышленной электроники**  
(НАИМЕНОВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ)

Направление подготовки (специальность): **11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника»**

Профиль: **«Промышленная электроника»**

Уровень высшего образования: **бакалавриат**

Нормативный срок обучения: **4 года 11 месяцев**

Форма обучения: **заочная**

Год набора: **2019**

Смоленск

Программа составлена с учетом ФГОС ВО по направлению подготовки / специальности 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника», утвержденного приказом Минобрнауки России от «19» сентября 2017 г. № 927

**Программу составил:**

доцент кафедры

«Электроники и микропроцессорной техники»

канд. техн. наук

Образцов Сергей Александрович  
ФИО

«26» июня 2019 г.

Программа обсуждена и одобрена на заседании кафедры «Электроники и микропроцессорной техники»

«28» июня 2019 г., протокол № 11

**Заведующий кафедрой «Электроники и микропроцессорной техники»:**

подпись

Якименко Игорь Владимирович  
ФИО

«02» июля 2019 г.

РПД адаптирована для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

**Ответственный в филиале по работе  
с ЛОВЗ и инвалидами**

подпись

Зуева Елена Владимировна  
ФИО

«02» июля 2019 г.

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Целью** является подготовка обучающихся к научно-исследовательской и проектно-конструкторской деятельности по направлению бакалавриата 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника» посредством обеспечения этапов формирования компетенций, предусмотренных ФГОС, в части представленных ниже знаний, умений и навыков.

**Задачи:** изучение понятийного аппарата дисциплины, основных теоретических положений и методов, привитие навыков применения теоретических знаний для решения практических задач.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОП ВО

Дисциплина Б1.В.13 «Силовые узлы устройств промышленной электроники» относится к части программы, формируемой участниками образовательных отношений.

Для изучения данной дисциплины необходимы знания, умения и навыки, формируемые предшествующими дисциплинами: Б1.В.05 «Высокочастотные электронные устройства», Б1.В.09 «Основы микропроцессорной техники».

Перечень последующих дисциплин, для которых необходимы знания, умения и навыки, формируемые данной дисциплиной: Б1.В.14 «Преобразовательная техника», Б1.В.ДВ.04.01 «Сигнальные процессоры», Б1.В.ДВ.04.02 «Программируемые логические интегральные схемы», Б2.В.02(П) «Технологическая (проектно-технологическая) практика», Б2.В.03(Н) «Научно-исследовательская работа», Б3.01 «Подготовка к защите и защита выпускной квалификационной работы».

## 3. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Освоение дисциплины направлено на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО и ОП ВО по данному направлению подготовки:

### Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Компетенция	Индикаторы достижения компетенций	Результаты обучения
<b>ПК-2</b> Способен аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения	<b>ПК-2.1</b> Аргументировано выбирает эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения	<b>Знает:</b> Как аргументировано выбирать эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения <b>Умеет:</b> Аргументировано выбирать эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения <b>Владет:</b> Методами аргументированного выбора эффективной методики экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения
	<b>ПК-2.2</b> Реализует на практике	<b>Знает:</b> Как реализовывать на практике эф-

	<p>эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения</p>	<p>эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения <b>Умеет:</b> Реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения <b>Владет:</b> Методами реализации на практике эффективной методики экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения</p>
--	--	---

Направление подготовки 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника»  
 Профиль «Промышленная электроника»  
 РПД Б1.В.13 «Силовые узлы устройств промышленной электроники»



#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

##### Структура дисциплины:

Индекс	Наименование	Форма контроля							з.е.		-	Итого акад. часов					Курс 4										
		Экзамен	Зачет	Зачет с оц.	КР	Контр.	Реферат	РГР	Экспертное	Факт.		Часов в з.е.	Экспертное	По плану	Контакт. часы	СР	Контроль	Сессия 2									
																		з.е. на курсе	Итого	Лек.	Лаб.	Пр	КРП	СР	Контроль	Формы контр.	
Б1.В.13	Силовые узлы устройств промышленной электроники			4					5	5	36	180	180	12	164	4	5	180	4	8					164	4	0

##### ОБОЗНАЧЕНИЯ:

##### Виды промежуточной аттестации (виды контроля):

Экз — экзамен;

ЗаО — зачет с оценкой;

За — зачет;

##### Виды работ:

Контакт. — контактная работа обучающихся с преподавателем;

Лек. — лекционные занятия;

Лаб. — лабораторные работы;

Пр. — практические занятия;

КРП — курсовая работа (курсовой проект);

РГР — расчетно-графическая работа (реферат);

СР — самостоятельная работа студентов;

з.е. — объем дисциплины в зачетных единицах.

**Содержание дисциплины:**

№	Наименование видов занятий и тематик, содержание	
1	лекционные занятия 2 шт. по 2 часа (4 час.): 1. Особенности дискретных приборов, применяемых в узлах устройств промышленной электроники. 2. Интегральные силовые модули.	
2	лабораторные работы 1 шт. по 4 часа (4 час.): 1. Исследование времени жизни неосновных носителей заряда в полупроводниках.	
3	самостоятельная работа студентов: 3.1. Изучение материалов лекций 1. Силовые полупроводниковые диоды, диоды Шоттки. 2. Силовые МДП-транзисторы: D-МДП, V-МДП, U-МДП, CoolMOS. 3. Биполярные транзисторы с изолированным затвором. 4. Технология производства современных силовых полупроводниковых приборов. 5. Особенности полупроводниковых материалов: Si, SiC, GaN, GaP и др. 6. Особенности управления силовыми полупроводниковыми приборами. 7. Схемотехника интегральных драйверов силовых полупроводниковых приборов.	час. 78
	3.2. Выполнение лабораторных работ (моделирование) 1. Исследование статических характеристик силовых МДП-транзисторов. 2. Исследование статических характеристик силовых IGBT-транзисторов. 3. Исследование динамических характеристик силовых МДП-транзисторов. 4. Исследование динамических характеристик силовых IGBT-транзисторов. 5. Исследование тепловых процессов в силовых узлах промышленной электроники. 6-7. Исследование драйверов силовых полупроводниковых приборов.	86
	<b>Всего:</b>	<b>164</b>
	3.3. Подготовка к зачету	4

**Текущий контроль:** Письменный контрольный опрос по изученному теоретическому материалу и полученным практическим навыкам проводится на практических и лабораторных занятиях.

**5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

№ п/п	Виды учебных занятий	Образовательные технологии
1.	Лекции	Интерактивная лекция (лекция-визуализация). Индивидуальные и групповые консультации по дисциплине.
2.	Лабораторная работа	Технология выполнения лабораторных заданий в малой группе (в бригаде). Допуск к лабораторной работе.
3.	Самостоятельная работа сту-	Информационно-коммуникационные технологии (доступ к

	дентов (внеаудиторная)	ЭИОС филиала, к ЭБС филиала, доступ к информационно-методическим материалам по дисциплине).
4.	Контроль (промежуточная аттестация: зачет или экзамен)	Технология устного опроса.

## 6. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Форма промежуточной аттестации по настоящей дисциплине — зачет.

### Перечень вопросов к зачету

1. Современные тенденции развития силовых полупроводниковых приборов.
2. Основные требования силовой электроники к полупроводниковым приборам.
3. Многоячейковая структура силовых полупроводниковых приборов.
4. Силовые полупроводниковые диоды с р-п переходом. Структура, защитные кольца.
5. Переходные процессы в диодах с р-п переходом при активной и индуктивной нагрузках.
6. Диоды Шоттки. Особенности структуры и ВАХ.
7. Переходные процессы в диодах Шоттки при активной и индуктивной нагрузках.
8. Силовые МДП-транзисторы, преимущества и недостатки применения в схемах силовой электроники.
9. Структура D-МДП транзистора с горизонтальным каналом. Распределение носителей в открытом и запертом состояниях.
10. Структура V-МДП транзисторов с вертикальным каналом. Распределение носителей в открытом и запертом состояниях.
11. Структура U-МДП транзисторов с вертикальным каналом. Распределение носителей в открытом и запертом состояниях.
12. ВАХ и основные параметры силового МДП-транзистора.
13. Пороговое напряжение МДП-транзистора. Влияние материала затвора на пороговое напряжение.
14. Эффект Миллера в МДП-транзисторах. Кулон-затворная характеристика.
15. Переходные процессы в МДП-транзисторах.
16. Биполярные транзисторы с изолированным затвором, преимущества и недостатки применения в схемах силовой электроники.
17. Структура IGBT транзистора. Распределение носителей в открытом и запертом состояниях.
18. ВАХ и основные параметры IGBT транзистора.
19. Переходные процессы в IGBT транзисторах.
20. Интегральные драйверы для управления МДП и IGBT транзисторами.
21. Интеллектуальные силовые модули. Преимущества и недостатки.

В филиале используется система с традиционной шкалой оценок — «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно», «зачтено», «не зачтено» (далее — пятибалльная система).

Применяемые критерии оценивания по дисциплинам (в соответствии с инструктивным письмом НИУ МЭИ от 14 мая 2012 года № И-23):

Оценка по дисциплине	Критерии оценки результатов обучения по дисциплине
«отлично»/ «зачтено (отлично)»/ «зачтено»	<p>Выставляется обучающемуся, обнаружившему всестороннее, систематическое и глубокое знание материалов изученной дисциплины, умение свободно выполнять задания, предусмотренные программой, усвоивший основную и знакомый с дополнительной литературой, рекомендованной рабочей программой дисциплины; проявившему творческие способности в понимании, изложении и использовании материалов изученной дисциплины, безупречно ответившему не только на вопросы билета, но и на дополнительные вопросы в рамках рабочей программы дисциплины, правильно выполнившему практическое задание. Оценка по дисциплине выставляются обучающемуся с учётом результатов текущего контроля.</p> <p>Компетенции, закреплённые за дисциплиной, сформированы на уровне — «эталонный».</p>
«хорошо»/ «зачтено (хорошо)»/ «зачтено»	<p>Выставляется обучающемуся, обнаружившему полное знание материала изученной дисциплины, успешно выполняющему предусмотренные задания, усвоившему основную литературу, рекомендованную рабочей программой дисциплины; показавшему систематический характер знаний по дисциплине, ответившему на все вопросы билета, правильно выполнивший практическое задание, но допустивший при этом принципиальные ошибки. Оценка по дисциплине выставляются обучающемуся с учётом результатов текущего контроля.</p> <p>Компетенции, закреплённые за дисциплиной, сформированы на уровне — «продвинутый».</p>
«удовлетворительно»/ «зачтено (удовлетворительно)»/ «зачтено»	<p>Выставляется обучающемуся, обнаружившему знание материала изученной дисциплины в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии, справляющемуся с выполнением заданий, знакомому с основной литературой, рекомендованной рабочей программой дисциплины; допустившему погрешность в ответе на теоретические вопросы и/или при выполнении практических заданий, но обладающему необходимыми знаниями для их устранения под руководством преподавателя, либо неправильно выполнившему практическое задание, но по указанию преподавателя выполнившему другие практические задания из того же раздела дисциплины.</p> <p>Компетенции, закреплённые за дисциплиной, сформированы на уровне — «пороговый».</p>
«неудовлетворительно»/ не зачтено	<p>Выставляется обучающемуся, обнаружившему серьезные пробелы в знаниях основного материала изученной дисциплины, допустившему принципиальные ошибки в выполнении заданий, не ответившему на все вопросы билета и дополнительные вопросы и неправильно выполнившему практическое задание (неправильное выполнение только практического задания не является однозначной причиной для выставления оценки «неудовлетворительно»). Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение по образовательной программе без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине. Оценка по дисциплине выставляются обучающемуся с учётом результатов текущего контроля.</p> <p>Компетенции на уровне «пороговый», закреплённые за дисциплиной, не сформированы.</p>

## 7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Учебное и учебно-лабораторное оборудование



Учебная аудитория для проведения занятий лекционного и семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, оснащенная:

- специализированной мебелью; доской аудиторной; демонстрационным оборудованием: персональным компьютером (ноутбуком); переносным (стационарным) проектором.

Специализированная учебная аудитория для лабораторных работ «Основы микропроцессорной техники» Б-308, оснащенная:

- специализированной мебелью; доской аудиторной;
- учебно-лабораторными стендами «Силовые полупроводниковые приборы»;
- универсальными цифровыми осциллографами и источниками питания 30 В, 1 А.

Для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине используется помещение для самостоятельной работы обучающихся, оснащенное:

- специализированной мебелью; доской аудиторной; персональным компьютерами с подключением к сети «Интернет» и доступом в ЭИОС филиала.

**Программное обеспечение:** не требуется.

## **8. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ДЛЯ ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ И ИНВАЛИДОВ**

В ходе реализации дисциплины используются следующие дополнительные методы обучения, текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся в зависимости от их индивидуальных особенностей:

### **для слепых и слабовидящих:**

- лекции оформляются в виде электронного документа, доступного с помощью компьютера со специализированным программным обеспечением;
- письменные задания выполняются на компьютере со специализированным программным обеспечением, или могут быть заменены устным ответом;
- обеспечивается индивидуальное равномерное освещение не менее 300 люкс;
- для выполнения задания при необходимости предоставляется увеличивающее устройство; возможно также использование собственных увеличивающих устройств;
- письменные задания оформляются увеличенным шрифтом;
- экзамен и зачёт проводятся в устной форме или выполняются в письменной форме на компьютере.

### **для глухих и слабослышащих:**

- лекции оформляются в виде электронного документа;
- письменные задания выполняются на компьютере в письменной форме;
- экзамен и зачёт проводятся в письменной форме на компьютере; возможно проведение в форме тестирования.

### **для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:**

- лекции оформляются в виде электронного документа, доступного с помощью компьютера со специализированным программным обеспечением;
- письменные задания выполняются на компьютере со специализированным программным обеспечением;
- экзамен и зачёт проводятся в устной форме или выполняются в письменной форме на компьютере;
- используется специальная учебная аудитория для лиц с ЛОВЗ – ауд. 106 главного учебного корпуса по адресу 214013, г. Смоленск, Энергетический пр-д, д.1, здание энергетического института (основной корпус).

При необходимости предусматривается увеличение времени для подготовки ответа.

Процедура проведения промежуточной аттестации для обучающихся устанавливается с учётом их индивидуальных психофизических особенностей. Промежуточная аттестация может проводиться в несколько этапов.

При проведении процедуры оценивания результатов обучения предусматривается использование технических средств, необходимых в связи с индивидуальными особенностями обучающихся. Эти средства могут быть предоставлены филиалом, или могут использоваться собственные технические средства.

Проведение процедуры оценивания результатов обучения допускается с использованием дистанционных образовательных технологий.

Обеспечивается доступ к информационным и библиографическим ресурсам в сети Интернет для каждого обучающегося в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

**для слепых и слабовидящих:**

- в печатной форме увеличенным шрифтом;
- в форме электронного документа;
- в форме аудиофайла.

**для глухих и слабослышащих:**

- в печатной форме;
- в форме электронного документа.

**для обучающихся с нарушениями опорно-двигательного аппарата:**

- в печатной форме;
- в форме электронного документа;
- в форме аудиофайла.

## **9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Основная литература.**

1. Воронин П.А. Силовые полупроводниковые ключи: семейства, характеристики, применение. — М.: ДМК-Пресс, Додэка-XXI, 2015. — 380 с.
2. Фролков О.А. Методические указания к лабораторным работам по курсу «Полупроводниковые приборы и интеллектуальные силовые модули». Смоленск: издательство СФ МЭИ, 2004. — 16 с.

### **Дополнительная литература.**

1. Окснер Э.С. Мощные полевые транзисторы и их применение. Москва, издательство Радио и связь, 1985.
2. Гува А. Я. Контактный теплообмен силовых полупроводниковых приборов. Новосибирск, ГУП СИПКП "Наука", 2005.

### **Список авторских методических разработок.**

1. Комплект лекций по дисциплине «Силовые узлы устройств промышленной электроники» в формате мультимедийных презентаций, расположен на сайте кафедры: [https://drive.google.com/drive/folders/1nwTE\\_rdgYhfbZkoC5Lo-9CoYMSKAXP6B](https://drive.google.com/drive/folders/1nwTE_rdgYhfbZkoC5Lo-9CoYMSKAXP6B).
2. Задание на лабораторные работы по дисциплине «Силовые узлы устройств промышленной электроники» расположен на сайте кафедры: [https://drive.google.com/drive/folders/1nwTE\\_rdgYhfbZkoC5Lo-9CoYMSKAXP6B](https://drive.google.com/drive/folders/1nwTE_rdgYhfbZkoC5Lo-9CoYMSKAXP6B).

### ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

Номер измене- ния	Номера страниц				Всего страниц в документе	Наименование и № документа, вводящего изменения	Подпись, Ф.И.О. внесшего изме- нения в данный экземпляр	Дата внесения изме- нения в данный экземпляр	Дата введения изменения
	изме- ненных	замене- нных	новых	аннулиро- ванных					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10