

Направление подготовки 11.04.04 «Электроника и нанoeлектроника»  
Программа магистратуры «Промышленная электроника и микропроцессорная техника»  
РПД Б1.О.03 «Силовая электроника»



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

УТВЕРЖДАЮ  
Заместитель директора  
Филиала ФГОБУ ВО «НИУ «МЭИ»  
в г. Смоленске  
по учебно-методической работе  
  
В.В. Рожков  
02 2025 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ  
Силовая электроника**

(НАИМЕНОВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ)

Направление подготовки (специальность): 11.04.04 «Электроника и нанoeлектроника»

Программа магистратуры: «Промышленная электроника и микропроцессорная техника»

Уровень высшего образования: магистратура

Нормативный срок обучения: 2 года 3 месяца

Форма обучения: очно-заочная

Год набора: 2025

Смоленск

Направление подготовки 11.04.04 «Электроника и нанoeлектроника»  
Программа магистратуры «Промышленная электроника и микропроцессорная техника»  
РПД Б1.О.03 «Силовая электроника»



Программа составлена с учетом ОС ВО – магистратура по направлению подготовки 11.04.04 Электроника и нанoeлектроника, утвержденного ректором ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» Н.Д. Роголевым 20.12.2023.

**Программу составил:**

Заведующий кафедрой  
«Электроники и микропроцессорной техники»  
д-р техн. наук, профессор

  
подпись

Якименко Игорь Владимирович  
ФИО

«23» января 2025 г.

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

«23» января 2025 г., протокол № 6

**Зам. заведующего кафедрой «Электроники и микропроцессорной техники»:**

  
подпись

Смолин Владимир Алексеевич  
ФИО

«06» февраля 2025 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

«06» февраля 2025 г.

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Целью** является подготовка обучающихся к научно-исследовательской и проектно-конструкторской деятельности по направлению магистратуры 11.04.04 «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 «Силовая электроника» относится к обязательной части программы.

## 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
ОПК-2 Способен применять современные методы исследования, представлять и аргументировано защищать результаты выполненной работы	ОПК-2.1 Применяет современные методы исследования	<i>Знает:</i> Как применять современные методы исследования <i>Умеет:</i> Применять современные методы исследования <i>Владеет:</i> Современными методами исследования
	ОПК-2.2 Представляет и аргументировано защищает результаты выполненной работы	<i>Знает:</i> Как представлять и аргументировано защищать результаты выполненной работы <i>Умеет:</i> Представлять и аргументировано защищать результаты выполненной работы <i>Владеет:</i> Методами представления и аргументированной защиты результатов выполненной работы
УК-2. Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла	УК-2.1 Формулирует на основе поставленной проблемы проектную задачу и способ ее решения через реализацию проектного управления	<i>Знает:</i> как формулировать на основе поставленной проблемы проектную задачу и способ ее решения через реализацию проектного управления. <i>Умеет:</i> формулировать на основе поставленной проблемы проектную задачу и способ ее решения через реализацию проектного управления. <i>Владеет:</i> методами формулирования на основе поставленной проблемы проектной задачи и способа ее решения через реализацию проектного управления.
	УК-2.2 Разрабатывает концепцию проекта в рамках обозначенной проблемы.	<i>Знает:</i> как разрабатывать концепцию проекта в рамках обозначенной проблемы: формулирует цель, задачи,

	<p>формулирует цель, задачи, обосновывает актуальность, значимость, ожидаемые результаты и возможные сферы их применения</p>	<p>обосновывать актуальность, значимость, ожидаемые результаты и возможные сферы их применения.                  Умеет: разрабатывать концепцию проекта в рамках обозначенной проблемы: формулирует цель, задачи, обосновывает актуальность, значимость, ожидаемые результаты и возможные сферы их применения.                  Владеет: методами разработки концепции проекта в рамках обозначенной проблемы: формулирует цель, задачи, обоснования актуальности, значимости, ожидаемых результатов и возможных сфер их применения.</p>
	<p>УК-2.3 Разрабатывает план реализации проекта с учетом возможных рисков реализации и возможностей их устранения, планирует необходимые ресурсы</p>	<p>Знает: как разрабатывать план реализации проекта с учетом возможных рисков реализации и возможностей их устранения, планировать необходимые ресурсы.                  Умеет: разрабатывать план реализации проекта с учетом возможных рисков реализации и возможностей их устранения, планировать необходимые ресурсы.                  Владеет: методами разработки плана реализации проекта с учетом возможных рисков реализации и возможностей их устранения, планирования необходимые ресурсы.</p>
	<p>УК-2.4 Осуществляет мониторинг хода реализации проекта, корректирует отклонения, вносит дополнительные изменения в план реализации проекта, уточняет зоны ответственности участников проекта</p>	<p>Знает: как осуществлять мониторинг хода реализации проекта, корректировать отклонения, вносить дополнительные изменения в план реализации проекта, уточнять зоны ответственности участников проекта.                  Умеет: осуществлять мониторинг хода реализации проекта, корректировать отклонения, вносить дополнительные изменения в план реализации проекта, уточнять зоны ответственности участников проекта.                  Владеет: методами осуществления мониторинга хода реализации проекта, корректировки отклонения, внесения дополнительных изменений в план реализации проекта, уточнения зоны ответственности участников проекта.</p>



Содержание дисциплины:

№	Наименование видов занятий и тематик, содержание
1	лекционные занятия 4 шт. по 2 часа (8 час.): <b>Тема 1. Системы управления устройствами преобразования энергии.</b> 1.1 Релейные системы управления. Скользящие режимы управления. 1.2 Многоконтурные системы управления. Цифровые системы управления. <b>Тема 2. Активные выпрямители.</b> 2.1 Однофазные активные выпрямители. 2.2 Трехфазные активные выпрямители. 2.3 Системы управления активными выпрямителями
2	лабораторные работы 2 шт. по 4 часа (8 час.): 2.1 Исследование импульсного регулятора с релейной СУ. 2.2 Исследование двухтактного преобразователя со средней точкой первичной обмотки.
3	расчетно-графическая работа отсутствует.
4	консультации по выполнению курсового проекта (4 час.).
5	самостоятельная работа студентов: час. 5.1. Изучение материалов лекций 92 5.2. Подготовка к практическим занятиям - 5.3. Подготовка к лабораторным работам 39 5.4. Курсовое проектирование 92 <b>Всего: 223</b> 5.5. Подготовка к экзамену 36

**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.	Практические занятия	Технология обучения на основе решения задач и выполнения упражнений.
3.	Лабораторная работа	Технология выполнения лабораторных заданий индивидуально. Технология выполнения лабораторных заданий в малой группе (в бригаде). Допуск к лабораторной работе.
4.	Консультации по курсовой работе (курсовому проекту)	Индивидуальные и групповые консультации.
5.	Самостоятельная работа студентов (внеаудиторная)	Информационно-коммуникационные технологии (доступ к ЭИОС филиала, к ЭБС филиала, доступ к информационно-методическим материалам по дисциплине).

6.	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 – экзамен.

### Перечень вопросов к экзамену

1. Релейные системы управления.
2. Скользящие режимы управления.
3. Многоконтурные системы управления.
4. Цифровые системы управления.
5. Однофазные активные выпрямители.
6. Трехфазные активные выпрямители.
7. Системы управления активными выпрямителями.
8. Последовательный резонансный преобразователь.
9. Параллельный резонансный преобразователь.
10. Микросхемы для построения источников питания на основе резонансных преобразователей.
11. Процесс коммутации полевых транзисторов. Область безопасной работы ключа.
12. Демпфирующие цепи с потерями.
13. Демпфирующие цепи без потерь.
14. Влияние импульсных преобразователей на питающую сеть.
15. Помехоподавляющие фильтры, экраны.
16. Кондуктивные помехи.
17. Особенности проектирования печатных плат сетевых источников питания.

### Типовые задачи

#### Тема 1. Системы управления устройствами преобразования энергии.

1.1 Определить минимально допустимую частоту дискретизации встроенного аналого-цифрового преобразователя микроконтроллера STM32F303K8, реализующего цифровую систему управления понижающим импульсным регулятором. Частота коммутации понижающего регулятора – 20 кГц, тип системы управления – по выходному напряжению.

#### Тема 2. Активные выпрямители.

2.1 Построить векторные диаграммы фазных токов и напряжений активного выпрямителя при опережающем и отстающем фазовом сдвиге.

2.2 Построить спектр входного тока активного выпрямителя при различных частотах коммутации.

#### Тема 3. Резонансные преобразователи.

3.1 Построить траектории перемагничивания сердечника резонансного преобразователя.

#### Тема 4. Демпфирующие цепи.

4.1 Рассчитать номинальные значения емкости и резистора RCD-цепи, демпфирующей индуктивный выброс на первичной обмотке трансформатора обратноходового преобразователя.

Данные для расчета:

- мощность преобразователя: 50 Вт,
- входное и выходное напряжение: 280 и 12 В соответственно,
- индуктивность рассеяния, приведенная к первичной стороне: 10 мкГн,
- максимальное напряжение ограничения: 250 В,
- частота коммутации: 100 кГц.

**Тема 5. Электромагнитная совместимость импульсных преобразователей.**

5.1 Рассчитать превышение температуры медной полосковой дорожки относительно окружающей среды при протекании тока с действующим значением 8 А и частотой 50 Гц. Толщина печатной платы 1.5 мм, толщина металлизации 35 мкм, ширина медной дорожки 25 мм.

5.2 Рассчитать индуктивность, емкость и добротность пассивного LC-фильтра второго порядка, выполняющего фильтрацию высших гармоник тока от преобразователя в однофазную питающую сеть. Частота сети 50 Гц, частота коммутации преобразователя 100 кГц, тип преобразователя – ККМ на основе повышающе-понижающего регулятора с диодным мостом. Ток дросселя ККМ – непрерывный.

**ЗАДАНИЕ НА КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ**

«Проектирование импульсного преобразователя  
 с улучшенной электромагнитной совместимостью с питающей сетью»

№	Силовой контур и система управления ККМ	Силовой контур вторичного преобразователя и его выходное напряжение	Входное (~) и выходное (=) напряжение ККМ, В	Диапазон мощности на выходе, Вт	Частота коммутации, кГц
1	повышающий в РПТ, СУ по выходному напряжению	Мост, 80 В	100-120 200	200-300	80
2	повышающе-понижающий в РПТ, СУ по выходному напряжению	Полумост, 60 В	100-200 150	100-200	60
3	повышающий в РНТ, СУ по среднему току	Мост, 100 В	85-265 390	300-400	50
4	повышающе-понижающий в РНТ, СУ по пиковому току	Со средней точкой, 30 В	25-35 30	20-30	50
5	повышающий в РНТ, релейная СУ	Мост, 24 В	10-15 28	25-35	45
6	повышающий в РПТ, СУ по выходному напряжению	Косой мост, 36 В	100-240 380	10-20	85
7	повышающе-понижающий в РНТ, релейная СУ	Мост, 25 В	12-16 27	20-30	50
8	повышающий в РНТ, релейная СУ	Полумост, 19 В	10-12 19	15-20	60
9	повышающе-понижающий в РПТ, СУ по выходному напряжению	Со средней точкой, 24 В	12-24 25	25-45	70
10	повышающе-понижающий в РПТ, СУ по выходному напряжению	Со средней точкой, 24 В	15-28 24	12-24	70
11	повышающе-понижающий	Косой мост, 14 В	13-17	15-25	80

	в РНТ, релейная СУ		24		
12	повышающий в РНТ, релейная СУ	Полумост, 21 В	9-11 18	16-25	65

Расчетно-пояснительная записка курсового проекта должна содержать:

1. Описание работы системы управления ККМ на функциональном уровне.
2. Синтез СУ ККМ.
3. Расчет параметров трансформатора вторичного преобразователя.
4. Моделирование вторичного преобразователя с замкнутой и разомкнутой системой управления.
5. Обоснование выбора всех микросхем, ключей, датчиков тока и напряжения.
6. Принципиальная схема, спецификация.
7. Печатная плата.

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»	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. Компетенции, закреплённые за дисциплиной, сформированы на уровне — «эталонный».
«хорошо»/ «зачтено (хорошо)»/ «зачтено»	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 непринципиальные ошибки. Оценка по дисциплине выставляются обучающемуся с учётом результатов текущего контроля. Компетенции, закреплённые за дисциплиной, сформированы на уровне — «продвинутый».
«удовлетворительно»/ «зачтено (удовлетворительно)»/ «зачтено»	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,

Оценка по дисциплине	Критерии оценки результатов обучения по дисциплине
	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. Компетенции, закреплённые за дисциплиной, сформированы на уровне — «пороговый».
«неудовлетворительно» / не зачтено	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 выставляется обучающемуся с учётом результатов текущего контроля. Компетенции на уровне «пороговый», закреплённые за дисциплиной, не сформированы.

## 7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Учебное и учебно-лабораторное оборудование

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

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

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

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

Учебная аудитория для лабораторных работ, выполняемых в компьютерном классе, оснащенная:

- специализированной мебелью; доской аудиторной; персональными компьютерами.

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

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

## **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. *Розанов, Ю.К.* Силовая электроника: учебник для вузов / Ю.К. Розанов, М.В. Рябчинский, А.А. Кваснюк. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007.
2. *Воронин, П. А.* Силовые полупроводниковые ключи: семейства, характеристики, применение / П. А. Воронин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2005.
3. Электрические и электронные аппараты: учебник и практикум для академического бакалавриата / под ред. П. А. Курбатова. – М.: Издательство Юрайт, 2016.
4. Справочник по силовой электронике / Ю.К. Розанов, П.А. Воронин, С.Е. Рывкин, Е.Е. Чаплыгин; под ред. Ю.К. Розанова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2014.
5. *Мелешин В.И., Овчинников Д.А.* Управление транзисторными преобразователями электроэнергии. – М.: Техносфера, 2011.

### **Дополнительная литература.**

1. *Анучин, А.С.* Системы управления электроприводов: учебник для вузов / А. С. Анучин. – М.: Издательский дом МЭИ, 2015.
2. *Бурман, А. П.* Управление потоками электроэнергии и повышение эффективности электроэнергетических систем: учеб. пособие / А. П. Бурман, Ю. К. Розанов, Ю. Г. Шакарян. – М.: Издательский дом МЭИ, 2012.
3. *Зиновьев, Г.С.* Основы силовой электроники. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003.
4. *Черных, И. В.* Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. – М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008.
5. *Герман-Галкин, С. Г.* Виртуальные лаборатории полупроводниковых систем в среде Matlab-Simulink: учебник. – СПб.: Издательство «Лань», 2013.

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

Материалы по дисциплине «Силовая электроника» расположены на сайте кафедры:  
<http://www.eimt.ru/magistratura/se>

### 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- ных	новых	аннулиро- ванных					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10