

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

---

Направление подготовки/специальность: 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Наименование образовательной программы: Электрические аппараты управления и распределения энергии

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины**  
**СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СИЛОВЫМИ ЭЛЕКТРОННЫМИ**  
**АППАРАТАМИ**


<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.09.03.01
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	3 семестр - 3;
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	108 часов
<b>Лекции</b>	3 семестр - 16 часов;
<b>Практические занятия</b>	3 семестр - 32 часа;
<b>Лабораторные работы</b>	не предусмотрено учебным планом
<b>Консультации</b>	проводится в рамках часов аудиторных занятий
<b>Самостоятельная работа</b>	3 семестр - 59,7 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>Зачет с оценкой</b>	3 семестр - 0,3 часа;

**Москва 2022**

## ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Лепанов М.Г.
	Идентификатор	Rab965209-LepanovMG-ec7ee096

(подпись)


М.Г. Лепанов

(расшифровка  
подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной программы

(должность, ученая степень, ученое звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Курбатов П.А.
	Идентификатор	R1a0c0ffa-KurbatovPA-23b01cca


(подпись)

П.А. Курбатов

(расшифровка  
подписи)

Заведующий выпускающей  
кафедры

(должность, ученая степень, ученое звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Киселев М.Г.
	Идентификатор	R572ca413-KiselevMG-f37ee096

(подпись)

М.Г. Киселев

(расшифровка  
подписи)

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** изучение методов управления силовыми электронными устройствами, алгоритмов управления для четырехквadrантных регуляторов, активных выпрямителей и устройств повышения качества электрической энергии, а также приобретение навыков создания компьютерных имитационных моделей силовых электронных аппаратов на основе преобразователей с импульсным управлением.

### Задачи дисциплины

- изучение принципов, структур и способов управления силовыми электронными устройствами, методов импульсной модуляции;
- приобретение навыков составления математического описания (математических моделей) силовых электронных аппаратов на основе преобразователей с импульсным управлением;
- изучение схемотехнических решений и принципов работы четырехквadrантных регуляторов, активных выпрямителей и устройств повышения качества электроэнергии;
- освоение алгоритмов управления силовыми электронными устройствами повышения качества электроэнергии;
- приобретение навыков создания и отладки компьютерных имитационных моделей устройств, содержащих полупроводниковые преобразователи электроэнергии с импульсным управлением;
- приобретение навыков анализа работы и исследования характеристик силовых электронных устройств с использованием имитационного моделирования.

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 участвовать в планировании, организации и выполнении исследований и анализировать полученные результаты	ИД-4 <sub>ПК-1</sub> Применяет современные средства математического моделирования электрических и электронных аппаратов, а также средства управления качеством на стадии проектирования, производства и эксплуатации электрических и электронных аппаратов	знать: - схемотехнические решения и принципы построения алгоритмов управления устройств повышения качества электроэнергии; - принципы функционирования, расчета и выбора основных элементов четырехквadrантных регуляторов и активных выпрямителей.  уметь: - создавать и отлаживать компьютерные модели силовых электронных аппаратов с использованием программы для имитационного моделирования; - выполнять расчет и анализ работы, исследовать характеристики силовых электронных регуляторов мощности посредством компьютерного моделирования.
ПК-3 Способен участвовать в научно-исследовательской работе в области профессиональной	ИД-2 <sub>ПК-3</sub> Применяет современный набор инструментов управления качеством электрических и электронных аппаратов,	знать: - способы анализа электрических процессов в трехфазных системах; - методы импульсной модуляции, используемые в силовых электронных устройствах.

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
деятельности	включая статистические методы	<p>уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- применять математическое описание трехфазных электрических цепей для анализа токов, напряжений и мощностей;</li> <li>- составлять математические модели силовых электронных аппаратов и реализовывать методы управления преобразовательными устройствами.</li> </ul>

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Электрические аппараты управления и распределения энергии (далее – ОПОП), направления подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать особенности функционирования силовых электронных аппаратов
- знать инструментальные средства и основные элементы стандартных библиотек программы MatLab/Simulink для анализа электрических процессов в силовых электронных устройствах
- уметь формулировать цели и задачи исследования силовых электронных аппаратов
- уметь использовать программный инструментарий для анализа процессов в силовых электронных устройствах
- уметь использовать теоретические знания для оценки корректной работы компьютерных моделей устройств силовой электроники

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	Методы управления силовыми электронными устройствами	24	3	6	-	8	-	-	-	-	-	10	-	<p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение основного и дополнительного материала в соответствии с содержанием раздела "Методы управления силовыми электронными устройствами" на основе лекций и учебников.</p> <p><b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Анализ материалов практических занятий для подготовки к контрольным работам «Анализ работы схем с силовыми электронными ключами», «Исследование методов модуляции в преобразователях напряжения» и «Вычисление активных и неактивных составляющих тока».</p> <p><b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Повторение теоретического материала по математическому моделированию электронных устройств, импульсному управлению преобразователями, анализу электрических процессов.</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], стр. 15-22, 122-137,147-177 [3], п.2</p>
1.1	Математическое описание (математические модели) электронных аппаратов	6		2	-	2	-	-	-	-	-	2	-	
1.2	Методы импульсной модуляции в транзисторных преобразователях	9		2	-	3	-	-	-	-	-	4	-	
1.3	Преобразование координат и теория мгновенной мощности	9		2	-	3	-	-	-	-	-	4	-	
2	Четырехквadrантные регуляторы и активные	36		4	-	10	-	-	-	-	-	22	-	



	о регулятора качества электроэнергии												электроэнергии" на основе лекций и учебников.
	Зачет с оценкой	0.3	-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	-	
	<b>Всего за семестр</b>	<b>108.0</b>	<b>16</b>	<b>-</b>	<b>32</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0.3</b>	<b>59.7</b>	<b>-</b>	
	<b>Итого за семестр</b>	<b>108.0</b>	<b>16</b>	<b>-</b>	<b>32</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0.3</b>	<b>59.7</b>	<b>-</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. Методы управления силовыми электронными устройствами

1.1. Математическое описание (математические модели) электронных аппаратов  
Принципы, структуры и способы управления. Переключающие функции.

1.2. Методы импульсной модуляции в транзисторных преобразователях  
Широтно-импульсная модуляция, модифицированные методы ШИМ. Векторная модуляция. Релейное управление.

1.3. Преобразование координат и теория мгновенной мощности  
Двухфазная стационарная система координат. Синхронные вращающиеся координаты (abc/dq-преобразование). Вычисление мгновенных мощностей (pq-теория Акаги).

### 2. Четырехквadrантные регуляторы и активные выпрямители

2.1. Регулирование активной и реактивной мощности

Схемотехнические решения и принципы работы силовых электронных регуляторов. Определение напряжения и емкости конденсаторов, расчет индуктивности выходных дросселей регулятора на базе преобразователя напряжения. Вычисление составляющих тока посредством dq-координат. Алгоритм синхронизации.

2.2. Компьютерное моделирование четырехквadrантного преобразователя и активного выпрямителя

Моделирование регулятора мощности с разомкнутой системой управления. Исследование принципов регулирования выходного тока и напряжения на стороне постоянного тока преобразователя. Реализация алгоритмов управления на основе преобразования координат. Исследование режимов работы четырехквadrантного регулятора с замкнутой системой управления. Реализация гистерезисного управления током регулятора мощности и активного выпрямителя.

### 3. Устройства повышения качества электроэнергии

3.1. Улучшение качества электроэнергии посредством компенсации неактивной мощности. Алгоритмы управления регулятором качества электроэнергии

Реализация функции компенсации реактивной мощности. Принцип симметрирования токов в трехфазных сетях. Активная фильтрация высших гармоник тока.

3.2. Имитационное моделирование и исследование характеристик многофункционального регулятора качества электроэнергии

Исследование режимов компенсации реактивной мощности и симметрирования токов. Моделирование работы устройства в режимах фильтрации высших гармоник.

## **3.3. Темы практических занятий**

1. Исследование методов модуляции в силовых электронных преобразователях напряжения и тока.;

2. Использование преобразования координат и теории мгновенной мощности для вычисления активных и неактивных составляющих тока.;

3. Компьютерное моделирование и исследование работы четырехквadrантных преобразователей в режимах выпрямления и инвертирования.;

4. Компьютерное моделирование и исследование характеристик активного выпрямителя.;
5. Расчет и моделирование статического компенсатора реактивной мощности и устройства симметрирования токов.;
6. Имитационное моделирование параллельного активного фильтра.;
7. Исследование и моделирование многофункционального регулятора качества электроэнергии..

**3.4. Темы лабораторных работ**  
не предусмотрено

**3.5 Консультации**

**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	
<b>Знать:</b>					
принципы функционирования, расчета и выбора основных элементов четырехквadrантных регуляторов и активных выпрямителей	ИД-4ПК-1		+		Контрольная работа/КР №4 «Исследование трехфазного четырехквadrантного регулятора» Контрольная работа/КР №5 «Исследование трехфазного активного выпрямителя»
схемотехнические решения и принципы построения алгоритмов управления устройств повышения качества электроэнергии	ИД-4ПК-1			+	Контрольная работа/КР №6 «Моделирование силового электронного устройства повышения качества электроэнергии»
методы импульсной модуляции, используемые в силовых электронных устройствах	ИД-2ПК-3	+			Контрольная работа/КР №2 «Исследование методов модуляции в преобразователях напряжения»
способы анализа электрических процессов в трехфазных системах	ИД-2ПК-3	+			Контрольная работа/КР №3 «Вычисление активных и неактивных составляющих тока»
<b>Уметь:</b>					
выполнять расчет и анализ работы, исследовать характеристики силовых электронных регуляторов мощности посредством компьютерного моделирования	ИД-4ПК-1		+		Контрольная работа/КР №4 «Исследование трехфазного четырехквadrантного регулятора» Контрольная работа/КР №5 «Исследование трехфазного активного выпрямителя»
создавать и отлаживать компьютерные модели силовых электронных аппаратов с использованием программы для имитационного моделирования	ИД-4ПК-1			+	Контрольная работа/КР №6 «Моделирование силового электронного устройства повышения качества электроэнергии»
составлять математические модели силовых электронных аппаратов и реализовывать методы управления преобразовательными устройствами	ИД-2ПК-3	+			Контрольная работа/КР №1 «Анализ работы схем с силовыми электронными ключами» Контрольная работа/КР №2 «Исследование методов модуляции в преобразователях

					напряжения»
применять математическое описание трехфазных электрических цепей для анализа токов, напряжений и мощностей	ИД-2ПК-3	+			Контрольная работа/КР №3 «Вычисление активных и неактивных составляющих тока»

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

### **4.1. Текущий контроль успеваемости**

#### **3 семестр**

Форма реализации: Компьютерное задание

1. КР №2 «Исследование методов модуляции в преобразователях напряжения» (Контрольная работа)
2. КР №3 «Вычисление активных и неактивных составляющих тока» (Контрольная работа)
3. КР №4 «Исследование трехфазного четырехквadrантного регулятора» (Контрольная работа)
4. КР №5 «Исследование трехфазного активного выпрямителя» (Контрольная работа)
5. КР №6 «Моделирование силового электронного устройства повышения качества электроэнергии» (Контрольная работа)

Форма реализации: Смешанная форма

1. КР №1 «Анализ работы схем с силовыми электронными ключами» (Контрольная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

### **4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине**

*Зачет с оценкой (Семестр №3)*

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

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

## **5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **5.1 Печатные и электронные издания:**

1. 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 .;
2. Бурман, А. П. Управление потоками электроэнергии и повышение эффективности электроэнергетических систем : учебное пособие для вузов по направлениям "Электроэнергетика", "Электротехника, электромеханика и электротехнологии" / А. П. Бурман, Ю. К. Розанов, Ю. Г. Шакарян . – М. : Изд-во МЭИ, 2012 . – 336 с. - ISBN 978-5-383-00738-9 .  
[http://elibr.mpei.ru/action.php?kt\\_path\\_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=4247;](http://elibr.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=4247;)
3. Фролов В. Я., Смородинов В. В.- "Устройства силовой электроники и преобразовательной техники с разомкнутыми и замкнутыми системами управления в среде Matlab — Simulink", (2-е изд., стер.), Издательство: "Лань", Санкт-Петербург, 2018 - (332 с.)  
[https://e.lanbook.com/book/106890.](https://e.lanbook.com/book/106890)

## 5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. Office;
2. Windows;
3. Matlab.

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

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
3. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
4. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
5. 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
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	ЭЭА-7, Типограф	стол преподавателя, стол учебный, стул, шкаф для документов, мультимедийный проектор, экран, доска маркерная, лабораторный стенд, компьютер персональный, инвентарь учебный, дипломные и курсовые работы студентов
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	ЭЭА-7, Типограф	стол преподавателя, стол учебный, стул, шкаф для документов, мультимедийный проектор, экран, доска маркерная, лабораторный стенд, компьютер персональный, инвентарь учебный, дипломные и курсовые работы студентов
Помещения для самостоятельной работы	ЭЭА-7, Типограф	стол преподавателя, стол учебный, стул, шкаф для документов, мультимедийный проектор, экран, доска маркерная, лабораторный стенд, компьютер персональный, инвентарь учебный, дипломные и курсовые работы студентов
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	ЭЭА-26, Архив	стол, стул, документы

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

### Системы управления силовыми электронными аппаратами

(название дисциплины)

#### 3 семестр

**Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:**

- КМ-1 КР №1 «Анализ работы схем с силовыми электронными ключами» (Контрольная работа)
- КМ-2 КР №2 «Исследование методов модуляции в преобразователях напряжения» (Контрольная работа)
- КМ-3 КР №3 «Вычисление активных и неактивных составляющих тока» (Контрольная работа)
- КМ-4 КР №4 «Исследование трехфазного четырехквadrантного регулятора» (Контрольная работа)
- КМ-5 КР №5 «Исследование трехфазного активного выпрямителя» (Контрольная работа)
- КМ-6 КР №6 «Моделирование силового электронного устройства повышения качества электроэнергии» (Контрольная работа)

**Вид промежуточной аттестации – Зачет с оценкой.**

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5	КМ-6
		Неделя КМ:	3	5	7	10	13	16
1	Методы управления силовыми электронными устройствами							
1.1	Математическое описание (математические модели) электронных аппаратов		+	+				
1.2	Методы импульсной модуляции в транзисторных преобразователях			+				
1.3	Преобразование координат и теория мгновенной мощности				+			
2	Четырехквadrантные регуляторы и активные выпрямители							
2.1	Регулирование активной и реактивной мощности					+	+	
2.2	Компьютерное моделирование четырехквadrантного преобразователя и активного выпрямителя					+	+	
3	Устройства повышения качества электроэнергии							
3.1	Улучшение качества электроэнергии посредством компенсации неактивной мощности. Алгоритмы управления регулятором качества электроэнергии							+
3.2	Имитационное моделирование и исследование характеристик многофункционального регулятора качества электроэнергии							+
Вес КМ, %:			10	20	15	15	15	25

