

**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**  
**МЕХАТРОННЫЕ МОДУЛИ**

<b>Блок:</b>	<b>Блок 1 «Дисциплины (модули)»</b>
<b>Часть образовательной программы:</b>	<b>Часть, формируемая участниками образовательных отношений</b>
<b>№ дисциплины по учебному плану:</b>	<b>Б1.Ч.09.01.02</b>
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	<b>1 семестр - 4;</b>
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	<b>144 часа</b>
<b>Лекции</b>	<b>1 семестр - 16 часов;</b>
<b>Практические занятия</b>	<b>1 семестр - 32 часа;</b>
<b>Лабораторные работы</b>	<b>1 семестр - 16 часов;</b>
<b>Консультации</b>	<b>1 семестр - 2 часа;</b>
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>1 семестр - 77,5 часа;</b>
<b>в том числе на КП/КР</b>	<b>не предусмотрено учебным планом</b>
<b>Иная контактная работа</b>	<b>проводится в рамках часов аудиторных занятий</b>
<b>включая:</b>	
<b>Коллоквиум</b>	
<b>Контрольная работа</b>	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Экзамен</b>	<b>1 семестр - 0,5 часа;</b>

**Москва 2024**

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**

Преподаватель

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Крюков К.В.
	Идентификатор	Rb30e87a2-KriukovKV-9a471f61

К.В. Крюков

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель  
образовательной программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Кузнецова Е.А.
	Идентификатор	Re7bf1ad9-KuznetsovaYA-c9331b9

Е.А. Кузнецова

Заведующий выпускающей  
кафедрой

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

М.Г. Киселев

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** Изучение принципов создания и особенностей электромеханических систем, содержащих силовые электронные устройства.

### Задачи дисциплины

- изучение способов регулирования двигателей постоянного тока с электронными компонентами;
- освоение регулировочных возможностей синхронных и асинхронных двигателей при питании от частотного преобразователя;
- освоение принципов векторного управления асинхронными двигателями;
- изучение конструкций электрических машин, работа которых без электронных компонентов была бы невозможной;
- изучение бесщеточных систем возбуждения синхронных машин.

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-1 <sub>ПК-1</sub> Формулирует задачу исследования на основе критического анализа научно-технической информации в области электрических аппаратов	знать: - Способы регулирования двигателей постоянного тока с полупроводниковыми преобразователями.  уметь: - Применять методы математического анализа и моделирования для исследования электромеханических систем с полупроводниковыми преобразователями и асинхронными двигателями.
ПК-2 Способен по результатам исследований выбирать и проектировать новые эффективные технические решения в области профессиональной деятельности	ИД-4 <sub>ПК-2</sub> Применяет стандартные средства автоматизированного проектирования электротехнических устройств и прикладные программы для проектирования элементов электрических и электронных аппаратов	знать: - Особенности работы двигателей переменного тока при несинусоидальном питании.  уметь: - Применять методы математического анализа и моделирования для исследования электромеханических систем с полупроводниковыми преобразователями и синхронными машинами.

## 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.

Базируется на уровне высшего образования (бакалавриат, специалитет).

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 4 зачетных единицы, 144 часа.

№ 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	Электронные устройства для регулирования скорости вращения двигателей постоянного тока	27	1	4	4	8	-	-	-	-	-	11	-	<p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b>  Самостоятельное изучение материалов: [1] стр.112-147. 1. Ю.К. Розанов, Соколова Е.М. Электронные устройства электромеханических систем. // Учебное пособие для студ. высш. уч. заведений - М.: Академия, 2004 - 272 с.  <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b>  [1], 112-147  [4], 140-215</p>
1.1	Регулирование скорости двигателей постоянного тока	27		4	4	8	-	-	-	-	-	11	-	
2	Электронные преобразователи для регулирования асинхронных двигателей	27		4	4	8	-	-	-	-	-	11	-	
2.1	Регулирование асинхронных двигателей	27		4	4	8	-	-	-	-	-	11	-	

												<b><u>источников:</u></b> [1], 156-186 [2], 18-35 [3], 176-200 [4], 222-278	
3	Работа двигателей переменного тока при несинусоидальном питании	27	4	4	8	-	-	-	-	-	11	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Самостоятельное изучение материалов: [1] стр. 232-243
3.1	Работа двигателей переменного тока при несинусоидальном питании	27	4	4	8	-	-	-	-	-	11	-	<b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 232-243
4	Электронные устройства в синхронных машинах	27	4	4	8	-	-	-	-	-	11	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Самостоятельное изучение материалов: [1] стр. 193-204; [2] стр. 44-55. 1. Ю.К. Розанов, Соколова Е.М. Электронные устройства электромеханических систем. // Учебное пособие для студ. высш. уч. заведений - М.: Академия, 2004- 272 с. 2. Е.М. Соколова, Ю.А. Мощинский Ю.А. Электронные устройства в системах электромеханики - М.: Издательство МЭИ, 2017-64 с.
4.1	Электронные устройства в синхронных машинах и бесконтактные электрические машины постоянного тока.	27	4	4	8	-	-	-	-	-	11	-	<b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 193-204 [2], 44-55 [4], 325-354
	Экзамен	36.0	-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	Всего за семестр	144.0	16	16	32	-	2	-	-	0.5	44	33.5	
	Итого за семестр	144.0	16	16	32	2	-	-	-	0.5	77.5		

**Примечание:** Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПП – 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. Электронные устройства для регулирования скорости вращения двигателей постоянного тока

##### 1.1. Регулирование скорости двигателей постоянного тока

Система генератор-двигатель. Система тиристорный преобразователь напряжения - двигатель постоянного тока.. Режимы выпрямления и инвертирования. Особенности передачи энергии.. Работа в четырех квадрантах механической характеристики.. Схема однофазного преобразователя с двигателем постоянного тока независимого возбуждения.. Трехфазный управляемый преобразователь с двигателем постоянного тока независимого возбуждения.. Принципы импульсного управления. Одноквадрантные, двухквадрантные, четырехквадрантные схемы.. Особенности работы трансформаторов в схемах выпрямления..

#### 2. Электронные преобразователи для регулирования асинхронных двигателей

##### 2.1. Регулирование асинхронных двигателей

Частотное регулирование. Основной закон частотного регулирования. Преобразователи с непосредственной связью и звеном постоянного тока. Механические характеристики для различных моментов сопротивления.. Векторное управление. Схема замещения двигателя при векторном управлении.. Моделирование асинхронного двигателя в различных координатных осях. Полная схема векторного управления асинхронным двигателем.. Схема тиристорный регулятор напряжения - асинхронный двигатель. Потери мощности при векторном регулировании.. Импульсное регулирование асинхронных двигателей. Каскадные схемы для регулирования асинхронных двигателей. Физика работы каскадных схем. Асинхронный вентильный каскад..

#### 3. Работа двигателей переменного тока при несинусоидальном питании

##### 3.1. Работа двигателей переменного тока при несинусоидальном питании

Особенности работы двигателя переменного тока при несинусоидальной форме кривой напряжения. Схема замещения. Гармоники токов. Гармоники магнитодвижущих сил в воздушном зазоре машины. Гармонические составляющие момента двигателя.. Потери в обмотках статора и ротора при несинусоидальном питании. Потери в стали двигателя от высших гармоник.. Особенности проектирования частотно-управляемых асинхронных двигателей. Особенности конструкции синхронных двигателей при питании от преобразователя частоты.

#### 4. Электронные устройства в синхронных машинах

4.1. Электронные устройства в синхронных машинах и бесконтактные электрические машины постоянного тока.

Бесконтактные системы возбуждения синхронных машин. Сравнения асинхронного и синхронного возбудителей. Преобразователи частоты для регулирования скорости вращения синхронных машин.. Преобразователи частоты для регулирования скорости вращения синхронных машин.. Вентильный двигатель. Особенности работы вентильного двигателя, характеристики. Датчики положения ротора. Области применения вентильных двигателей.. Вентильные генераторы. Особенности работы, характеристики.. Вентильно-индукторные двигатели. Особенности работы, характеристики.. Шаговые двигатели. Особенности работы, характеристики..

### **3.3. Темы практических занятий**

1. Силовые полупроводниковые приборы в электромеханических системах. Электродвигатели постоянного тока с широтно-импульсными преобразователями;
2. Математическое описание асинхронной машины в различных системах координат;
3. Схемы замещения частотно-регулируемых асинхронных двигателей. Определение параметров схемы по каталожным данным двигателя. Учет высших гармоник;
4. Классификация законов управления асинхронными двигателями. Энергетические показатели при различных законах управления и их сравнение;
5. Автономные инверторы. Синусоидальная широтно-импульсная модуляция для управления инверторами. Основные характеристики инверторов. Векторное управление асинхронными двигателями;
6. Математическое описание и передаточные функции электродвигателей постоянного тока.

### **3.4. Темы лабораторных работ**

1. Микропроцессорные системы управления электродвигателями;
2. Электродвигатели постоянного тока с широтно-импульсными преобразователями;
3. Электропривод с шаговыми двигателями.;
4. Электропривод с вентильной машиной. Датчики положения ротора.

### **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	4	
<b>Знать:</b>						
Способы регулирования двигателей постоянного тока с полупроводниковыми преобразователями	ИД-1 <sub>ПК-1</sub>	+				Коллоквиум/Электронные устройства для регулирования скорости вращения двигателей постоянного тока
Особенности работы двигателей переменного тока при несинусоидальном питании	ИД-4 <sub>ПК-2</sub>			+		Коллоквиум/Работа двигателей переменного тока при несинусоидальном питании
<b>Уметь:</b>						
Применять методы математического анализа и моделирования для исследования электромеханических систем с полупроводниковыми преобразователями и асинхронными двигателями	ИД-1 <sub>ПК-1</sub>		+			Контрольная работа/Электронные преобразователи для регулирования асинхронных двигателей
Применять методы математического анализа и моделирования для исследования электромеханических систем с полупроводниковыми преобразователями и синхронными машинами	ИД-4 <sub>ПК-2</sub>				+	Контрольная работа/Электронные устройства в синхронных машинах

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

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

###### **1 семестр**

Форма реализации: Компьютерное задание

1. Электронные преобразователи для регулирования асинхронных двигателей (Контрольная работа)
2. Электронные устройства в синхронных машинах (Контрольная работа)

Форма реализации: Устная форма

1. Работа двигателей переменного тока при несинусоидальном питании (Коллоквиум)
2. Электронные устройства для регулирования скорости вращения двигателей постоянного тока (Коллоквиум)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

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

*Экзамен (Семестр №1)*

Оценка за курс выставляется на основе балло промежуточной аттестации

В диплом выставляется оценка за 1 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. Электронные устройства электромеханических систем : Учебное пособие для вузов по направлениям 551300, 654500 "Электромеханика, электротехника и электротехнологии" / Ю. К. Розанов, Е. М. Соколова . – М. : Академия, 2004 . – 272 с. – (Высшее профессиональное образование) . - ISBN 5-7695-1365-9 .;
2. Соколова, Е. М. Электронные устройства в системах электромеханики : учебное пособие по курсу "Электронные устройства электромеханических систем" / Е. М. Соколова, Ю. А. Мошинский, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" . – М. : Изд-во МЭИ, 2017 . – 64 с. - ISBN 978-5-7046-1779-2 .  
<http://elibr.mpei.ru/elibr/view.php?id=9410>;
3. Соколовский, Г. Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием : учебник для вузов по специальности 140604 "Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов" направления 140600 "Электротехника, электромеханика и электротехнологии" / Г. Г. Соколовский . – 2-е изд., испр . – М. : АКАДЕМИЯ, 2007 . – 272 с. – (Высшее профессиональное образование) . - ISBN 978-5-7695-4505-4 .;
4. Герман-Галкин С. Г.- "Виртуальные лаборатории полупроводниковых систем в среде Matlab-Simulink", Издательство: "Лань", Санкт-Петербург, 2021 - (448 с.)  
<https://e.lanbook.com/book/169382>.

## 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. SimInTech (студенческая версия);
6. Arduino IDE.

## 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 Web of Science - <http://webofscience.com/>
5. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
6. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
7. База данных IEL издательства IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.) - <https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp?reload=true>
8. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
9. Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование» - <https://openedu.ru>

## 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	ЭЭА-11а, Учебная лаборатория	стол, стул, компьютерная сеть с выходом в Интернет, доска маркерная передвижная, набор инструментов для профилактического обслуживания оборудования, оборудование для экспериментов, компьютер персональный, паяльное оборудование
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	ЭЭА-11а, Учебная лаборатория	стол, стул, компьютерная сеть с выходом в Интернет, доска маркерная передвижная, набор инструментов для профилактического обслуживания оборудования, оборудование для экспериментов, компьютер персональный, паяльное оборудование
Учебные аудитории для проведения лабораторных занятий	ЭЭА-11а, Учебная лаборатория	стол, стул, компьютерная сеть с выходом в Интернет, доска маркерная передвижная, набор инструментов для профилактического обслуживания оборудования, оборудование для экспериментов, компьютер персональный, паяльное оборудование
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	ЭЭА-11а, Учебная лаборатория	стол, стул, компьютерная сеть с выходом в Интернет, доска маркерная передвижная, набор инструментов для профилактического обслуживания оборудования, оборудование для экспериментов, компьютер персональный, паяльное оборудование
Помещения для	ЭЭА-7,	стол преподавателя, стол учебный, стул, шкаф

самостоятельной работы	Типограф	для документов, мультимедийный проектор, экран, доска маркерная, лабораторный стенд, компьютер персональный, инвентарь учебный, дипломные и курсовые работы студентов
Помещения для консультирования	ЭЭА-13, Аудитория	стол преподавателя, стол учебный, стул, экран, доска маркерная, наборы демонстрационного оборудования
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	ЭЭА-2б, Архив	стол, стул, документы

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

### Мехатронные модули

(название дисциплины)

#### 1 семестр

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

- КМ-1 Электронные устройства для регулирования скорости вращения двигателей постоянного тока (Коллоквиум)
- КМ-2 Электронные преобразователи для регулирования асинхронных двигателей (Контрольная работа)
- КМ-3 Работа двигателей переменного тока при несинусоидальном питании (Коллоквиум)
- КМ-4 Электронные устройства в синхронных машинах (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	16
1	Электронные устройства для регулирования скорости вращения двигателей постоянного тока					
1.1	Регулирование скорости двигателей постоянного тока		+			
2	Электронные преобразователи для регулирования асинхронных двигателей					
2.1	Регулирование асинхронных двигателей			+		
3	Работа двигателей переменного тока при несинусоидальном питании					
3.1	Работа двигателей переменного тока при несинусоидальном питании				+	
4	Электронные устройства в синхронных машинах					
4.1	Электронные устройства в синхронных машинах и бесконтактные электрические машины постоянного тока.					+
Вес КМ, %:			25	25	25	25