

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: Электромеханическое преобразование энергии и методы его исследования

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

Рабочая программа дисциплины
СИЛОВЫЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.Ч.10.01.01
Трудоемкость в зачетных единицах:	1 семестр - 4;
Часов (всего) по учебному плану:	144 часа
Лекции	1 семестр - 32 часа;
Практические занятия	1 семестр - 32 часа;
Лабораторные работы	не предусмотрено учебным планом
Консультации	1 семестр - 2 часа;
Самостоятельная работа	1 семестр - 77,5 часа;
в том числе на КП/КР	не предусмотрено учебным планом
Иная контактная работа	проводится в рамках часов аудиторных занятий
включая: Коллоквиум Реферат	
Промежуточная аттестация:	
Экзамен	1 семестр - 0,5 часа;

Москва 2021

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

(должность)

	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)

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 принципов функционирования устройств управления потоками энергии на основе силовых полупроводниковых регуляторов посредством изучения и разработки их компьютерных моделей.

Задачи дисциплины

- Освоить принципы работы силовых электронных аппаратов для различных применений;
- Приобрести навыки разработки компьютерных моделей полупроводниковых силовых устройств с системами управления;
- Приобрести навыки отладки и проверки работы компьютерных моделей силовой части и системы управления;
- Приобрести навыки анализа полученных характеристик устройств;
- Приобрести навыки выбора оптимальных параметров силовой части полупроводниковых силовых устройств и систем управления.

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 ставить задачи и планировать исследования и разработки, выбирать методы экспериментальной и проектной деятельности, интерпретировать и представлять результаты научных исследований и разработок	ИД-2 _{ПК-1} Критически анализирует свойства современных средств в области электромеханических преобразователей энергии и возможности методов их исследования и разработки	знать: - Современное состояние развития полупроводниковой базы, нетрадиционных источников энергии, применение сетевых регуляторов для возобновляемой энергетики и в умных сетях. уметь: - Разрабатывать и исследовать компьютерные модели полупроводниковых регуляторов из постоянного тока в постоянный.; - Разрабатывать и исследовать компьютерные модели полупроводниковых выпрямителей.
ПК-2 Способен оптимально выбирать наиболее эффективные из известных и проектировать новые технические решения в области профессиональной деятельности в рамках сформулированной задачи	ИД-1 _{ПК-2} Выбирает критерии оптимальности показателей качества объекта проектирования	знать: - Принцип работы и применения полупроводниковых силовых регуляторов. уметь: - Разрабатывать и исследовать компьютерные модели инверторов и однофазных сетевых регуляторов; - Разрабатывать и исследовать компьютерные модели устройств компенсации реактивной мощности.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Электромеханическое преобразование энергии и методы его исследования (далее – ОПОП),

направления подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать принципы работы базовых схем силовой электроники
- знать принципы расчетов теории электрических цепей
- уметь разрабатывать модели электрических цепей в Matlab/Simulink
- уметь применять методы расчетов электрических цепей

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	Регуляторы постоянного тока	15	1	6	-	4	-	-	-	-	-	5	-	<p><u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Регуляторы постоянного тока" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Регуляторы постоянного тока"</p> <p><u>Подготовка домашнего задания:</u> Подготовка отчета по практическому занятию по теме «Регуляторы постоянного тока»</p>		
1.1	Современные полупроводниковые силовые ключи	3		2	-	-	-	-	-	-	-	1	-			
1.2	Стабилизаторы непрерывного действия	6		2	-	2	-	-	-	-	-	2	-			
1.3	Импульсные регуляторы постоянного тока	6		2	-	2	-	-	-	-	-	2	-			
2	Выпрямители	12		4	-	4	-	-	-	-	-	4	-		<p><u>Подготовка домашнего задания:</u> Подготовка отчета по практическому занятию по теме «Корректоры коэффициента мощности в однофазных сетях»</p> <p><u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Выпрямители" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Выпрямители"</p>	
2.1	Диодные и тиристорные выпрямители	6		2	-	2	-	-	-	-	-	2	-			
2.2	Корректор коэффициента мощности	6		2	-	2	-	-	-	-	-	2	-			
3	Повышение качества электроэнергии	30		1	10	-	12	-	-	-	-	-	8		-	<p><u>Подготовка домашнего задания:</u> Подготовка отчета по практическому занятию по теме «Компенсация реактивной мощности»</p>
3.1	Показатели качества электроэнергии	7			2	-	4	-	-	-	-	-	1		-	

3.2	Способы повышения качества электроэнергии	3	2	-	-	-	-	-	-	-	1	-	<u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Повышение качества электроэнергии" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Повышение качества электроэнергии"
3.3	Компенсация реактивной мощности на основе конденсаторов	6	2	-	2	-	-	-	-	-	2	-	
3.4	Компенсация реактивной мощности на встречно-параллельных тиристорах	6	2	-	2	-	-	-	-	-	2	-	
3.5	Теория мощности	8	2	-	4	-	-	-	-	-	2	-	
4	Инверторы напряжения с широтно-импульсной модуляцией	19	6	-	6	-	-	-	-	-	7	-	<u>Подготовка домашнего задания:</u> Подготовка отчета по лабораторной по теме «Оценка потерь мощности в трехфазных инверторах» <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Инверторы напряжения с широтно-импульсной модуляцией" <u>Подготовка домашнего задания:</u> Подготовка отчета по практическому занятию по теме «Однофазный инвертор и сетевой регулятор. Часть 1»
4.1	Однофазные инверторы напряжения	6	2	-	2	-	-	-	-	-	2	-	
4.2	Трехфазный инвертор напряжения	3	2	-	-	-	-	-	-	-	1	-	
4.3	Многоуровневый инвертор напряжения	10	2	-	4	-	-	-	-	-	4	-	
5	Четырехквadrантный регулятор и активный фильтр	32	6	-	6	-	-	-	-	-	20	-	
5.1	Четырехквadrантный регулятор	18	4	-	4	-	-	-	-	-	10	-	<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Четырехквadrантный регулятор и активный фильтр" <u>Подготовка домашнего задания:</u> Подготовка отчета по практическому занятию по теме «Однофазный инвертор и сетевой регулятор. Часть 2»
5.2	Активный фильтр	14	2	-	2	-	-	-	-	-	10	-	
	Экзамен	36.0	-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	Всего за семестр	144.0	32	-	32	-	2	-	-	0.5	44	33.5	
	Итого за семестр	144.0	32	-	32	2	-	-	0.5	77.5			

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. Регуляторы постоянного тока

1.1. Современные полупроводниковые силовые ключи

Силовые диоды и тиристоры. Силовые кремниевые транзисторы: MOSFET, IGBT. Управляемые тиристоры: IGCT. Карбид кремниевые и нитрид галлиевые силовые транзисторы.

1.2. Стабилизаторы непрерывного действия

Принцип работы. Реализация разомкнутой системы управления стабилизатора и системы управления с обратной связью.

1.3. Импульсные регуляторы постоянного тока

Базовые схемы регуляторов постоянного напряжения (понижающий, повышающий, инвертирующий). Преобразователь Чука.. Регуляторы постоянного тока с трансформаторной развязкой. Однотактный обратногоходовой преобразователь. Однотактный прямоходовой преобразователь. Двухтактные преобразователи постоянного напряжения. Многоквadrантные преобразователи постоянного тока..

2. Выпрямители

2.1. Диодные и тиристорные выпрямители

Диодные выпрямители. Диодные выпрямители с выходным фильтром. Тиристорные выпрямители. Трехфазные выпрямители. Качество потребляемого тока и качество выходного напряжения..

2.2. Корректор коэффициента мощности

Принцип работы корректора коэффициента мощности. Система управления корректора коэффициента мощности.

3. Повышение качества электроэнергии

3.1. Показатели качества электроэнергии

Понятие идеальной электрической сети и нагрузки. Стандарты качества электроэнергии. Нормы качества электроэнергии. Мощность и неактивные составляющие..

3.2. Способы повышения качества электроэнергии

Компенсация реактивной мощности. Пассивные фильтры. Симметрирование токов и напряжений.

3.3. Компенсация реактивной мощности на основе конденсаторов

Расчет емкости конденсаторов. Вопрос коммутации конденсаторов..

3.4. Компенсация реактивной мощности на встречно-параллельных тиристорах

Принцип работы. Работа встречно-параллельных тиристоров на индуктивную нагрузку. Эквивалентная индуктивность. Расчет параметров компенсатора. Компенсация реактивной мощности.

3.5. Теория мощности

Классическая теория мощности в однофазных сетях. Комплексная мощность. Коэффициент мощности.. Теория мощности при несинусоидальных условиях. Определение мощности по Будеани и по Фрайзу. Теория мощности в трехфазных цепях.. Теория мгновенной мощности. Преобразование Кларк. Преобразование Парка-Горева.

4. Инверторы напряжения с широтно-импульсной модуляцией

4.1. Однофазные инверторы напряжения

Принцип работы инвертора напряжения без широтно-импульсной модуляции. Импульсная модуляция в преобразователях переменного/постоянного тока. Несущий и опорный сигналы. Коэффициент модуляции. Однофазный полумостовой инвертор напряжения. Регулирование основной гармоники выходного напряжения изменением коэффициента модуляции. Традиционные методы ШИМ в автономных инверторах. Однополярная и двуполярная модуляции в однофазных инверторах. Модифицированные методы синусоидальной ШИМ.

4.2. Трехфазный инвертор напряжения

Принцип работы трехфазного инвертора. Способы управления. Широтно-импульсная модуляция.. Оценка потерь мощности.

4.3. Многоуровневый инвертор напряжения

Многоуровневый преобразователь с диодной блокировкой. Многоуровневый преобразователь с ячейко-гнездовой структурой конденсаторов. Многоуровневый преобразователь на H-каскадах.

5. Четырехквadrантный регулятор и активный фильтр

5.1. Четырехквadrантный регулятор

Принцип работы и структура четырехквadrантного регулятора. Топографическая диаграмма. Режимы работы регулятора: инвертирование, выпрямление, регулирование реактивной мощностью.

5.2. Активный фильтр

Принцип работы. Система управления однофазного активного фильтра..

3.3. Темы практических занятий

1. Компенсация реактивной мощностью с помощью конденсаторов;
2. Регулирование реактивной мощностью статическим тиристорным компенсатором;
3. Моделирование и исследование корректора коэффициента мощности;
4. Исследование однофазного диодного и тиристорного выпрямителей;
5. Применение сетевых регуляторов в умных сетях;
6. Импульсные регуляторы напряжения;
7. Многоуровневый инвертор напряжения;
8. Теория мощностей. Методы расчетов мощностей.;
9. Оценка тепловых потерь полупроводниковых преобразователей;
10. Однофазный четырехквadrантный регулятор;
11. Регулирование напряжения, использованием активной зоны транзистора;
12. Однофазный мостовой инвертор напряжения.

3.4. Темы лабораторных работ не предусмотрено

3.5 Консультации

Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Регуляторы постоянного тока"
2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Выпрямители"
3. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Повышение качества электроэнергии"
4. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Инверторы напряжения с широтно-импульсной модуляцией"
5. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Четырехквadrантный регулятор и активный фильтр"

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	5	
Знать:							
Современное состояние развития полупроводниковой базы, нетрадиционных источников энергии, применение сетевых регуляторов для возобновляемой энергетики и в умных сетях	ИД-2пк-1				+	+	Реферат/Реферат
Принцип работы и применения полупроводниковых силовых регуляторов	ИД-1пк-2			+	+	+	Коллоквиум/Лабораторные работы
Уметь:							
Разрабатывать и исследовать компьютерные модели полупроводниковых выпрямителей	ИД-2пк-1		+				Коллоквиум/Выпрямители
Разрабатывать и исследовать компьютерные модели полупроводниковых регуляторов из постоянного тока в постоянный.	ИД-2пк-1	+					Коллоквиум/Регуляторы ПТ
Разрабатывать и исследовать компьютерные модели устройств компенсации реактивной мощности	ИД-1пк-2			+			Коллоквиум/Регуляторы и фильтры
Разрабатывать и исследовать компьютерные модели инверторов и однофазных сетевых регуляторов	ИД-1пк-2				+	+	Коллоквиум/Инверторы Коллоквиум/Регуляторы и фильтры

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: Выступление (доклад)

1. Реферат (Реферат)

Форма реализации: Защита задания

1. Лабораторные работы (Коллоквиум)

Форма реализации: Устная форма

1. Выпрямители (Коллоквиум)
2. Инверторы (Коллоквиум)
3. Регуляторы и фильтры (Коллоквиум)
4. Регуляторы ПТ (Коллоквиум)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Экзамен (Семестр №1)

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 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. 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://elib.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=4247;
2. Розанов Ю.К. , Бурман А.П. , Шакарян Ю.Г. - "Управление потоками электроэнергии и повышение эффективности электроэнергетических систем", Издательство: "Издательский дом МЭИ", Москва, 2012 - (384 с.)
http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=72311;
3. 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 .;
4. Управление качеством электроэнергии : учебное пособие для вузов по направлению 140200 "Электроэнергетика" / И. И. Карташев, и др. ; ред. Ю. В. Шаров . – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Издательский дом МЭИ, 2017 . – 347 с. - ISBN 978-5-383-01074-7 ..

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. Office / Российский пакет офисных программ;
2. Windows / Операционная система семейства Linux;
3. Matlab;
4. SimInTech.

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

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
3. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
4. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
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	Е-215, Лекционная аудитория	
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Е-215, Лекционная аудитория	
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Е-215, Лекционная аудитория	
Помещения для самостоятельной работы	НТБ-303, 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-206.1, Преподавательская	парта со скамьей, стеллаж для хранения книг, стол преподавателя, стул, доска меловая
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	Т-122, Кладовая	стеллаж, шкаф, шкаф для документов

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ**Силовые электронные аппараты**

(название дисциплины)

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

- КМ-1 Регуляторы ПТ (Коллоквиум)
- КМ-2 Выпрямители (Коллоквиум)
- КМ-3 Инверторы (Коллоквиум)
- КМ-4 Регуляторы и фильтры (Коллоквиум)
- КМ-5 Реферат (Реферат)
- КМ-7 Лабораторные работы (Коллоквиум)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5	КМ-7
		Неделя КМ:	4	6	16	8	14	16
1	Регуляторы постоянного тока							
1.1	Современные полупроводниковые силовые ключи		+					
1.2	Стабилизаторы непрерывного действия		+					
1.3	Импульсные регуляторы постоянного тока		+					
2	Выпрямители							
2.1	Диодные и тиристорные выпрямители			+				
2.2	Корректор коэффициента мощности			+				
3	Повышение качества электроэнергии							
3.1	Показатели качества электроэнергии					+		+
3.2	Способы повышения качества электроэнергии					+		
3.3	Компенсация реактивной мощности на основе конденсаторов					+		
3.4	Компенсация реактивной мощности на встречно-параллельных тиристорах					+		
3.5	Теория мощности							+
4	Инверторы напряжения с широтно-импульсной модуляцией							

4.1	Однофазные инверторы напряжения			+	+		
4.2	Трехфазный инвертор напряжения			+	+		+
4.3	Многоуровневый инвертор напряжения					+	+
5	Четырехквadrантный регулятор и активный фильтр						
5.1	Четырехквadrантный регулятор			+	+	+	+
5.2	Активный фильтр						+
Вес КМ, %:		15	15	15	10	25	20