

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

---

Направление подготовки/специальность: 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Наименование образовательной программы: Электрические и электронные аппараты

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины**  
**КОММУТАЦИОННЫЕ И ДУГОВЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ**  
**АППАРАТАХ**

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.Ч.08.08
Трудоемкость в зачетных единицах:	8 семестр - 4;
Часов (всего) по учебному плану:	144 часа
Лекции	8 семестр - 14 часов;
Практические занятия	8 семестр - 14 часов;
Лабораторные работы	8 семестр - 12 часов;
Консультации	8 семестр - 2 часа;
Самостоятельная работа	8 семестр - 101,5 часа;
в том числе на КП/КР	не предусмотрено учебным планом
Иная контактная работа	проводится в рамках часов аудиторных занятий
включая: Контрольная работа Лабораторная работа	
Промежуточная аттестация:	
Экзамен	8 семестр - 0,5 часа;

**Москва 2023**

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**

Преподаватель

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Церковский Ю.Б.
	Идентификатор	R1eef284e-TserkovskyYB-eb5d8f9

Ю.Б.  
Церковский

**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:** изучить теоретические основы коммутационных и дуговых процессов в электрических аппаратах

### Задачи дисциплины

- освоить фундаментальные теоретические основы физических явлений, связанных с функционированием электрических аппаратов;
- приобрести навыки принятия и обоснования конкретных технических решений при расчете дугогасительных устройств.

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-6 Способен использовать методы математического анализа и компьютерного моделирования для изучения принципов функционирования и исследования характеристик и особенностей работы электрических и электронных аппаратов различного функционального назначения	ИД-4 <sub>ПК-6</sub> Демонстрирует знание коммутационных и дуговых процессов в электрических аппаратах, проводит исследование электрических аппаратов	знать: - физические процессы при коммутации в электрических аппаратах; - особенности конструкции дугогасительных устройств и способы воздействия на дугу в электрических аппаратах; - процессы успешной коммутации электрических цепей; - природу столба дуги и приэлектродных областей.  уметь: - составлять математические модели процессов коммутации в электрических аппаратах; - разбираться в системах дугогашения и магнитного дутья в аппаратах постоянного и переменного тока; - учитывать факторы, определяющие величины восстанавливающейся прочности и восстанавливающегося напряжения.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Электрические и электронные аппараты (далее – ОПОП), направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника, уровень образования: высшее образование - бакалавриат.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать курс "Электрические и электронные аппараты"
- знать курс "Теоретические основы электротехники"
- уметь выполнять расчет переходных процессов в электрических цепях

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	Общие закономерности при коммутации электрических цепей	20	8	3	-	3	-	-	-	-	-	14	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "1.Общие закономерности при коммутации электрических цепей" и подготовка к текущему контролю
1.1	Общие закономерности при коммутации электрических цепей	20		3	-	3	-	-	-	-	-	14	-	
2	Закономерности дуговых процессов в аппаратах при коммутации цепей	26		3	-	3	-	-	-	-	-	20	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Закономерности дуговых процессов в аппаратах при коммутации цепей" и подготовка к текущему контролю
2.1	Закономерности дуговых процессов в аппаратах при коммутации цепей	26		3	-	3	-	-	-	-	-	20	-	
3	Физические явления при процессе гашения дуги в различных дугогасительных устройствах	36		4	8	4	-	-	-	-	-	20	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Физические явления при процессе гашения дуги в различных дугогасительных устройствах" и подготовка к текущему контролю
3.1	Физические явления при процессе гашения дуги в различных дугогасительных устройствах	36		4	8	4	-	-	-	-	-	20	-	
4	Восстанавливающееся напряжение на	26		4	4	4	-	-	-	-	-	14	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение

	коммутирующем элементе и восстанавливаемая электрическая прочность												дополнительного материала по разделу "Восстанавливающееся напряжение на коммутирующем элементе и восстанавливаемая электрическая прочность" и подготовка к текущему контролю
4.1	Восстанавливающееся напряжение на коммутирующем элементе и восстанавливаемая электрическая прочность	26	4	4	4	-	-	-	-	-	14	-	
	Экзамен	36.0	-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	<b>Всего за семестр</b>	<b>144.0</b>	<b>14</b>	<b>12</b>	<b>14</b>	<b>-</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0.5</b>	<b>68</b>	<b>33.5</b>	
	<b>Итого за семестр</b>	<b>144.0</b>	<b>14</b>	<b>12</b>	<b>14</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0.5</b>	<b>101.5</b>			

**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. Общие закономерности при коммутации электрических цепей

#### 1.1. Общие закономерности при коммутации электрических цепей

Процессы при включении электрических цепей. Электродинамические явления при включении на токи короткого замыкания. Процессы при отключении тока короткого замыкания в трёхфазных цепях. Особенности восстановления напряжения при отключении удалённых коротких замыканий..

### 2. Закономерности дуговых процессов в аппаратах при коммутации цепей

#### 2.1. Закономерности дуговых процессов в аппаратах при коммутации цепей

Процессы на катоде и в прикатодной области. Термо- и автоэлектронная эмиссии с катода. Длина свободного пробега электрона, величина катодного падения напряжения и факторы, влияющие на него. Зоны в прикатодной области дуги. Баланс ионов в дуге. Процессы ионизации и деионизации. Термическая ионизация в столбе дуги и диффузия с поверхности дуги. Распределение температуры в столбе дуги. Условие гашения дуги постоянного и переменного тока. Статические характеристики дуги..

### 3. Физические явления при процессе гашения дуги в различных дугогасительных устройствах

#### 3.1. Физические явления при процессе гашения дуги в различных дугогасительных устройствах

Физические процессы гашения дуги в дугогасительных устройствах аппаратов высокого напряжения: воздушных, элегазовых, масляных и вакуумных. Явление среза тока и факторы, ослабляющие его действие. Физические процессы гашения дуги в дугогасительных устройствах аппаратов низкого напряжения, дугогасительные системы с применением магнитного дутья, дугогасительная решётка и ферромагнитная скоба. Перспективные дугогасительные системы..

### 4. Восстанавливающееся напряжение на коммутирующем элементе и восстанавливающаяся электрическая прочность

#### 4.1. Восстанавливающееся напряжение на коммутирующем элементе и восстанавливающаяся электрическая прочность

Восстанавливающееся напряжение в одночастотном контуре. Уравнение восстанавливающегося переходного процесса и его решение, факторы, оказывающие влияние на его параметры. Восстанавливающееся напряжение в двухчастотном контуре. Восстанавливающаяся прочность коммутационного промежутка и факторы, определяющие величину: параметры токоведущего контура, материал контактных накладок, области отключаемых токов, тип дугогасительного устройства..

## **3.3. Темы практических занятий**

1. Вольтамперная характеристика электрической дуги постоянного тока;
2. Условие гашения дуги постоянного тока;
3. Вольтамперная характеристика электрической дуги переменного тока;
4. Условие гашения дуги переменного тока;
5. Восстанавливающаяся прочность межконтактного промежутка;
6. Расчет дугогасительных систем электрических аппаратов;
7. Восстанавливающееся напряжение на коммутирующем элементе;

8. Процессы ионизации и деионизации в столбе дуги;
9. Движение электрической дуги в магнитном поле;
10. Механизм переноса тока в контактной зоне дуги.

### **3.4. Темы лабораторных работ**

1. Исследование явления восстановления напряжения на полюсах автоматического выключателя;
2. Исследование дугогасительных систем контакторов постоянного и переменного тока;
3. Исследование автоматических выключателей.

### **3.5 Консультации**

#### Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Общие закономерности при коммутации электрических цепей"
2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Закономерности дуговых процессов в аппаратах при коммутации цепей"
3. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Физические явления при процессе гашения дуги в различных дугогасительных устройствах"
4. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Восстанавливающееся напряжение на коммутирующем элементе и восстанавливающаяся электрическая прочность"

### **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>						
природу столба дуги и приэлектродных областей	ИД-4ПК-6		+			Контрольная работа/Процессы ионизации и деионизации в столбе дуги, условия гашения дуги (КР-1, 4 неделя)
процессы успешной коммутации электрических цепей	ИД-4ПК-6	+				Лабораторная работа/Исследование дугогасительных систем контакторов переменного и постоянного тока (ЛР №11) Контрольная работа/Процессы ионизации и деионизации в столбе дуги, условия гашения дуги (КР-1, 4 неделя)
особенности конструкции дугогасительных устройств и способы воздействия на дугу в электрических аппаратах	ИД-4ПК-6			+		Контрольная работа/Движение электрической дуги в магнитном поле (КР-2, 12 неделя) Лабораторная работа/Исследование автоматических выключателей (ЛР №64) Лабораторная работа/Исследование дугогасительных систем контакторов переменного и постоянного тока (ЛР №11)
физические процессы при коммутации в электрических аппаратах	ИД-4ПК-6				+	Контрольная работа/Движение электрической дуги в магнитном поле (КР-2, 12 неделя) Лабораторная работа/Исследование явления восстановления напряжения на полюсах автоматического выключателя (ЛР №15)
<b>Уметь:</b>						
учитывать факторы, определяющие величины восстанавливающейся прочности и	ИД-4ПК-6				+	Контрольная работа/Движение электрической дуги в магнитном поле (КР-2, 12 неделя)



восстанавливающегося напряжения					Лабораторная работа/Исследование явления восстановления напряжения на полюсах автоматического выключателя (ЛР №15)
разбираться в системах дугогашения и магнитного дутья в аппаратах постоянного и переменного тока	ИД-4ПК-6			+	Контрольная работа/Движение электрической дуги в магнитном поле (КР-2, 12 неделя) Лабораторная работа/Исследование автоматических выключателей (ЛР №64) Лабораторная работа/Исследование дугогасительных систем контакторов переменного и постоянного тока (ЛР №11)
составлять математические модели процессов коммутации в электрических аппаратах	ИД-4ПК-6	+	+		Контрольная работа/Процессы ионизации и деионизации в столбе дуги, условия гашения дуги (КР-1, 4 неделя)

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

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

**8 семестр**

Форма реализации: Защита задания

1. Исследование автоматических выключателей (ЛР №64) (Лабораторная работа)
2. Исследование дугогасительных систем контакторов переменного и постоянного тока (ЛР №11) (Лабораторная работа)
3. Исследование явления восстановления напряжения на полюсах автоматического выключателя (ЛР №15) (Лабораторная работа)

Форма реализации: Письменная работа

1. Движение электрической дуги в магнитном поле (КР-2, 12 неделя) (Контрольная работа)
2. Процессы ионизации и деионизации в столбе дуги, условия гашения дуги (КР-1, 4 неделя) (Контрольная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

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

*Экзамен (Семестр №8)*

В приложение к диплому выносятся оценка за освоение дисциплины за 8 семестр, полученная на основании семестровой составляющей и экзаменационной составляющей.

В диплом выставляется оценка за 8 семестр.

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

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

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

1. Акимов Е. Г., Белкин Г. С., Годжелло А. Г., Дегтярь В. Г.- "Основы теории электрических аппаратов", (5-е изд., перераб. и доп.), Издательство: "Лань", Санкт-Петербург, 2015 - (592 с.) [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=61364](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=61364);
2. Белкин, Г. С. Коммутационные процессы в электрических аппаратах / Г. С. Белкин . – М. : Знак, 2003 . – 244 с. - ISBN 5-87789-021-2 ..

### **5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:**

1. СДО "Прометей";
2. Office / Российский пакет офисных программ;
3. Windows / Операционная система семейства Linux;
4. Майнд Видеоконференции.

### **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. База данных IEL издательства IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.) - <https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp?reload=true>
7. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
8. База открытых данных Росфинмониторинга - <http://www.fedsfm.ru/opendata>
9. Информационно-справочная система «Кодекс/Техэксперт» - <Http://proinfosoft.ru;http://docs.cntd.ru/>

## 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	ЭЭА-1, Лекционная аудитория каф. "ЭМЭЭА"	парта, стол преподавателя, стул, мультимедийный проектор, экран, доска маркерная, наборы демонстрационного оборудования
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	ЭЭА-11, Аудитория	шкаф для документов, шкаф для хранения инвентаря, компьютерная сеть с выходом в Интернет, оборудование для экспериментов, техническая аппаратура, компьютер персональный, инвентарь учебный, книги, учебники, пособия
Учебные аудитории для проведения лабораторных занятий	ЭЭА-20, Лаборатория коммутационных процессов	стол, стул, шкаф для хранения инвентаря, лабораторный стенд, оборудование для экспериментов, паяльное оборудование, инвентарь учебный, учебно-наглядное пособие
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	ЭЭА-11, Аудитория	шкаф для документов, шкаф для хранения инвентаря, компьютерная сеть с выходом в Интернет, оборудование для экспериментов, техническая аппаратура, компьютер персональный, инвентарь учебный, книги, учебники, пособия
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	ЭЭА-12, Аудитория	рабочее место сотрудника, стул, шкаф для документов, шкаф для одежды, стол письменный, компьютерная сеть с выходом в Интернет, ноутбук, компьютер персональный, книги, учебники, пособия
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	ЭЭА-2б, Архив	стол, стул, документы

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

### Коммутационные и дуговые процессы в электрических аппаратах

(название дисциплины)

#### 8 семестр

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

- КМ-1 Процессы ионизации и деионизации в столбе дуги, условия гашения дуги (КР-1, 4 неделя) (Контрольная работа)
- КМ-2 Движение электрической дуги в магнитном поле (КР-2, 12 неделя) (Контрольная работа)
- КМ-3 Исследование дугогасительных систем контакторов переменного и постоянного тока (ЛР №11) (Лабораторная работа)
- КМ-5 Исследование явления восстановления напряжения на полюсах автоматического выключателя (ЛР №15) (Лабораторная работа)
- КМ-6 Исследование автоматических выключателей (ЛР №64) (Лабораторная работа)

#### Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-5	КМ-6
		Неделя КМ:	4	8	12	12	14
1	Общие закономерности при коммутации электрических цепей						
1.1	Общие закономерности при коммутации электрических цепей		+		+		
2	Закономерности дуговых процессов в аппаратах при коммутации цепей						
2.1	Закономерности дуговых процессов в аппаратах при коммутации цепей		+				
3	Физические явления при процессе гашения дуги в различных дугогасительных устройствах						
3.1	Физические явления при процессе гашения дуги в различных дугогасительных устройствах			+	+		+
4	Восстанавливающееся напряжение на коммутирующем элементе и восстанавливающаяся электрическая прочность						
4.1	Восстанавливающееся напряжение на коммутирующем элементе и восстанавливающаяся электрическая прочность			+		+	
Вес КМ, %:			20	20	20	20	20