

**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: Электроэнергетические системы и сети, их режимы, устойчивость, надежность и качество электрической энергии

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины**  
**ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ И ВСТАВКИ ПОСТОЯННОГО ТОКА**


<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.10
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	3 семестр - 2;
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	72 часа
<b>Лекции</b>	3 семестр - 32 часа;
<b>Практические занятия</b>	3 семестр - 16 часов;
<b>Лабораторные работы</b>	не предусмотрено учебным планом
<b>Консультации</b>	проводится в рамках часов аудиторных занятий
<b>Самостоятельная работа</b>	3 семестр - 24 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 часов;

**Москва 2021**

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**

Преподаватель

(должность)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Насыров Р.Р.
	Идентификатор	R48fa5e5e-NasyrovRR-34f285d8

(подпись)


Р.Р. Насыров

(расшифровка подписи)

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель образовательной программы

(должность, ученая степень, ученое звание)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Кузнецов О.Н.
	Идентификатор	Rf1ad9303-KuznetsovON-34bc149f

(подпись)

О.Н. Кузнецов

(расшифровка подписи)

Заведующий выпускающей кафедры

(должность, ученая степень, ученое звание)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Шаров Ю.В.
	Идентификатор	R324da3b6-SharovYurV-0bb905b7

(подпись)

Ю.В. Шаров

(расшифровка подписи)

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** Изучение схемотехники и режимов работы ППТ и ВПТ

### Задачи дисциплины

- освоение технологических процессов при преобразовании и передаче электроэнергии с помощью ППТ и ВПТ;
- приобретение навыков принятия и обоснования конкретных технических решения при проектировании и эксплуатации ППТ и ВПТ.

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 научно-исследовательской деятельности в сфере электроэнергетики	ИД-1 <sub>ПК-1</sub> Знает современные методы и средства исследования и управления режимами электроэнергетических систем и сетей	знать: - системы управления и регулирования передач и вставок постоянного тока.  уметь: - строить векторные диаграммы преобразователей.
ПК-2 Способен участвовать в реализации технологических процессов объектов профессиональной деятельности	ИД-3 <sub>ПК-2</sub> Владеет методами моделирования, расчёта, оптимизации и управления электроэнергетическими системами и сетями	знать: - режимы работы преобразователей.  уметь: - строить внешние характеристики передач и вставок постоянного тока.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Электроэнергетические системы и сети, их режимы, устойчивость, надежность и качество электрической энергии (далее – ОПОП), направления подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать схемы преобразователей тока и напряжения
- знать системы управления и регулирования
- знать аналитические соотношения мощностей, напряжений и токов
- уметь строить внешние характеристики электрических машин постоянного тока
- уметь строить вольтамперные характеристики полупроводниковых элементов
- уметь рассчитывать цепи постоянного тока

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 2 зачетных единицы, 72 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	Электропередачи и вставки постоянного тока. История развития, область применения, основные элементы конструкции	8	3	6	-	-	-	-	-	-	-	2	-	<b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Контрольная работа «Мощностные режимы» <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 328÷351	
1.1	Электропередачи и вставки постоянного тока. История развития, область применения, основные элементы конструкции	8		6	-	-	-	-	-	-	-	-	2		-
2	Характеристики режимов работы преобразователя	14		8	-	5	-	-	-	-	-	-	1	-	<b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Контрольная работа «Мощностные режимы» <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 365÷395
2.1	Характеристики режимов работы преобразователя	14		8	-	5	-	-	-	-	-	-	1	-	
3	Совместная работа выпрямителя и инвертора	14		8	-	5	-	-	-	-	-	-	1	-	<b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Контрольная работа «Режимные параметры моста преобразователя» <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 397÷430 [2], 424-432
3.1	Совместная работа выпрямителя и инвертора	14		8	-	5	-	-	-	-	-	-	1	-	
4	Гармоники и	11		6	-	4	-	-	-	-	-	-	1	-	<b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b>

	компенсация реактивной мощности												Контрольная работа «Мощностные режимы» <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 431÷453
4.1	Гармоники и компенсация реактивной мощности	11	6	-	4	-	-	-	-	-	1	-	
5	Воздушные и кабельные линии, преобразовательная подстанция	7.3	4	-	2	-	-	-	-	-	1.3	-	<b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Контрольная работа «Режимные параметры тиристора» <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 464÷474
5.1	Воздушные и кабельные линии, преобразовательная подстанция	7.3	4	-	2	-	-	-	-	-	1.3	-	
	Зачет с оценкой	17.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17.7	
	Всего за семестр	72.0	32	-	16	-	-	-	-	-	6.3	17.7	
	Итого за семестр	72.0	32	-	16	-	-	-	-	-	24.0		

**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. Электропередачи и вставки постоянного тока. История развития, область применения, основные элементы конструкции

1.1. Электропередачи и вставки постоянного тока. История развития, область применения, основные элементы конструкции

Область применения ППТ и ВПТ, достоинства и недостатки. История развития ППТ. Схемы выполнения ППТ и ВПТ, отличия этих схем друг от друга, объяснение этих отличий. Схема преобразовательного моста и принцип его действия. Вольтамперная характеристика тиристора, ее идеализация, условия открытия и закрытия тиристора. Различие между тиристором и силовым транзистором. Математическое описание схемы преобразователя, система эквивалентных ЭДС, нелинейность уравнений. Основные допущения, принимаемые при анализе электромагнитных процессов в преобразователе и их обоснование. Кусочно-припасовочный метод решения систем нелинейных дифференциальных уравнений и его применение для анализа электромагнитных процессов в преобразователе.

#### 2. Характеристики режимов работы преобразователя

2.1. Характеристики режимов работы преобразователя

Режим холостого хода преобразователя ( режим «0»), и режим прерывистых токов (режим «1-0»), условия их возникновения и их особенности. Режим малых токов (режим «2»), условия его существования, его математическое описание. Основные характеристики режима «2»: выпрямленное напряжение и его зависимость от угла управления вентилями, величина и форма тока фазы трансформатора, сдвиг первой гармоники тока относительно напряжения своей фазы, напряжение на вентиле за период частоты сети, внешняя характеристика и схема замещения преобразователя на стороне постоянного тока. Режим «2-3» как основной режим выпрямителя. Основная система уравнений и ее решение. Процесс коммутации, уравнения токов коммутирующих вентилях, зависимость величины угла коммутации от параметров режима и параметров схемы замещения преобразователя, граница режима. Условия перехода преобразователя в режим «3» и затем в режим «3-4». Основные характеристики режима «2-3». Уравнение внешней характеристики выпрямителя, семейство внешних характеристик при различных значениях угла  $\alpha$ , среднее и мгновенные значения выпрямленного напряжения и зависимость последнего от угла  $\alpha$ , форма и величина тока фазы трансформатора, напряжение, воздействующее на вентиль, за период частоты сети, схема замещения преобразователя на стороне постоянного тока.

#### 3. Совместная работа выпрямителя и инвертора

3.1. Совместная работа выпрямителя и инвертора

Переход выпрямителя в инверторный режим. Физика процесса, условие перехода, основные параметры, характеризующие режим инвертора, возможность использования полученной ранее системы уравнений для анализа режима инвертирования. Основные уравнения, характеризующие режим инвертора. Зависимость величины угла закрытия вентилях от тока нагрузки и напряжения приемной системы. Опрокидывание инвертора и причины его вызывающие. Скачок фазы при несимметричных КЗ в приемной системе. Регулятор угла закрытия вентилях, возможные пути ее выполнения. Уравнение внешней характеристики нерегулируемого инвертора ( $\beta = \text{const}$ ), существующее ограничение по току. Уравнение внешней характеристики регулируемого инвертора ( $\delta = \text{const}$ ). Схема замещения всей электропередачи, включающая выпрямитель, инвертор, линию. Приведение характеристик выпрямителя и инвертора к одной точке схемы замещения. Совместная работа нерегулируемых выпрямителя и инвертора. ( $\alpha = \text{const}$ ,  $\beta = \text{const}$ ), уравнение тока

электропередачи, возможные способы изменения передаваемой мощности, существующие ограничения. Совместная работа выпрямителя и инвертора при  $\alpha = \text{const}$  и  $\delta = \text{const}$  и при различных соотношениях наклонов внешних характеристик преобразователей, условие устойчивости электропередачи. Совмещенные внешние характеристики выпрямителя и инвертора, оснащенных этими регулирующими устройствами. Два возможных способа ведения режима: режим ведется РТ и режим ведется РМТ. Особенности этих способов. Структурная схема системы автоматического регулирования ППТ, подсистемы первичного и вторичного регулирования.

#### 4. Гармоники и компенсация реактивной мощности

##### 4.1. Гармоники и компенсация реактивной мощности

Энергетические характеристики преобразователя, мгновенное значение мощности на входе преобразователя. Доказательство того, что активная мощность передается в цепь постоянного тока только первой гармоникой тока. Составляющие полной мощности на входе преобразователя, угол сдвига первой гармоники тока по отношению к напряжению. Величина реактивной мощности, потребляемой преобразователем из сети, и ее зависимость от параметров режима последнего. Причины, по которым преобразователь с обычными тиристорами может работать только в режиме потребления реактивной мощности. Новые типы силовых полупроводниковых приборов - полностью управляемые тиристоры и силовые транзисторы. Новый тип преобразователей, основанный на применении этих приборов и основные характеристики таких преобразователей. Высшие гармоники в токе преобразователя. Спектральный состав тока фазы, величины токов высших гармоник. Спектральный состав тока фазы сетевых обмоток трансформаторов при различных группах соединения последних. Влияние токов высших гармоник на прилегающую сеть переменного тока. Методы компенсации токов высших гармоник: повышение фазности преобразования, применение фильтров. Компенсация реактивной мощности, потребляемой преобразователями из сети: СТК, фильтры, КБ.

#### 5. Воздушные и кабельные линии, преобразовательная подстанция

##### 5.1. Воздушные и кабельные линии, преобразовательная подстанция

Конструкция воздушных линий постоянного тока, способы прокладки. Типы опор, конструкция полюса, особенности работы линейной изоляции, конструктивные решения. Кабельные линии постоянного тока, способы прокладки. Особенности работы кабельной изоляции на постоянном и переменном напряжении, температурная инверсия электрического поля кабеля. Конструкция высоковольтного тиристорного вентиля, тиристорные ячейки, модули. Схема тиристорной ячейки, назначение ее отдельных элементов. Система охлаждения вентиля, опорная и подвесная изоляция вентиля. Возможные способы промежуточного отбора мощности от электропередач постоянного тока. Проблема изменения режима промежуточного преобразователя (выпрямитель - инвертор). Пути создания выключателя постоянного тока. Условия работы преобразовательного трансформатора в схеме 12-ти фазного преобразователя. Особенности конструкции преобразовательных трансформаторов. Назначение и конструкция линейных реакторов. Потери мощности в преобразователях и линиях постоянного тока.

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

1. Расчет установившегося режима ППТ и ВПТ;
2. Определение параметров схемы замещения моста;
3. Расчет характеристик выпрямителя, режим 0-2;
4. Анализ процессов коммутации, режим 2-3;

5. Анализ параметров инвертора;
6. Анализ совместной работы выпрямителя и инвертора.

**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	4	5	
<b>Знать:</b>							
системы управления и регулирования передач и вставок постоянного тока	ИД-1ПК-1	+		+	+		Контрольная работа/Режимные параметры моста преобразователя Контрольная работа/Режимные параметры тиристора
режимы работы преобразователей	ИД-3ПК-2		+	+	+	+	Контрольная работа/Итоговая Контрольная работа/Мощностные режимы
<b>Уметь:</b>							
строить векторные диаграммы преобразователей	ИД-1ПК-1		+	+			Контрольная работа/Режимные параметры моста преобразователя
строить внешние характеристики передач и вставок постоянного тока	ИД-3ПК-2		+	+			Контрольная работа/Мощностные режимы

## **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: Письменная работа

1. Итоговая (Контрольная работа)
2. Мощностные режимы (Контрольная работа)
3. Режимные параметры моста преобразователя (Контрольная работа)
4. Режимные параметры тиристора (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 зачетной составляющих. В приложение к диплому выносятся оценка за 3 семестр.

В диплом выставляется оценка за 3 семестр.

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

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

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

1. Рыжов, Ю. П. Дальние электропередачи сверхвысокого напряжения : учебник для вузов по специальности "Электроэнергетические системы и сети" направления "Электроэнергетика" / Ю. П. Рыжов . – М. : Издательский дом МЭИ, 2007 . – 488 с. - ISBN 978-5-383-00158-5 . [http://elib.mpei.ru/action.php?kt\\_path\\_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=5290](http://elib.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=5290);
2. Рыжов Ю.П.- "Дальние электропередачи сверхвысокого напряжения", Издательство: "МЭИ", Москва, 2007 - (488 с.) <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383001585.html>.

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

1. Office / Российский пакет офисных программ;
2. 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 ВИНТИ online - <http://www.viniti.ru/>
5. База данных журналов издательства Elsevier - <https://www.sciencedirect.com/>

6. Электронные ресурсы издательства Springer - <https://link.springer.com/>  
 7. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>  
 8. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>  
 9. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>

#### 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	Д-2/10, Учебная аудитория	парта, стол преподавателя, стул, шкаф для документов, вешалка для одежды, доска меловая, телевизор, архивные документы, дипломные и курсовые работы студентов, мел, маркер, стилус
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Д-2/10, Учебная аудитория	парта, стол преподавателя, стул, шкаф для документов, вешалка для одежды, доска меловая, телевизор, архивные документы, дипломные и курсовые работы студентов, мел, маркер, стилус
Помещения для самостоятельной работы	Д-2/12(1), Кабинет сотрудников каф. "ЭЭС"	кресло рабочее, рабочее место сотрудника, стол для работы с документами, стул, шкаф для документов, шкаф для одежды, стол письменный, тумба, колонки звуковые, многофункциональный центр, компьютер персональный, принтер, документы, журналы, книги, учебники, пособия, канцелярский принадлежности, зеркала
Помещения для консультирования	Д-2/12(2), Кабинет сотрудников каф. "ЭЭС"	кресло рабочее, стол для работы с документами, стул, шкаф для документов, вешалка для одежды, тумба, стол для совещаний, принтер, кондиционер, журналы, книги, учебники, пособия, канцелярский принадлежности
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	Д-12, Кладовая	стеллаж, стол, стул

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

### Электропередачи и вставки постоянного тока

(название дисциплины)

#### 3 семестр

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

- КМ-1 Мощностные режимы (Контрольная работа)
- КМ-2 Режимные параметры моста преобразователя (Контрольная работа)
- КМ-3 Режимные параметры тиристора (Контрольная работа)
- КМ-4 Итоговая (Контрольная работа)

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

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	6	8	12	15
1	Электропередачи и вставки постоянного тока. История развития, область применения, основные элементы конструкции					
1.1	Электропередачи и вставки постоянного тока. История развития, область применения, основные элементы конструкции			+	+	
2	Характеристики режимов работы преобразователя					
2.1	Характеристики режимов работы преобразователя		+	+		+
3	Совместная работа выпрямителя и инвертора					
3.1	Совместная работа выпрямителя и инвертора		+	+	+	+
4	Гармоники и компенсация реактивной мощности					
4.1	Гармоники и компенсация реактивной мощности		+	+	+	+
5	Воздушные и кабельные линии, преобразовательная подстанция					
5.1	Воздушные и кабельные линии, преобразовательная подстанция		+			+
Вес КМ, %:			15	20	25	40