

ИНСТИТУТ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ  
КАФЕДРА ПРИКЛАДНОЙ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ

ОДОБРЕНО

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**КОММУТАЦИОННАЯ АППАРАТУРА СИСТЕМ ИМПУЛЬСНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ**

Направление подготовки  
(специальность)

[1] 12.04.01 Приборостроение

Семестр	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практической подготовки/В СРС, час.	КСР, час.	Форма(ы) контроля, экз./зач./КСР/КП
1	3	108	16	0	0	56	0	Э
Итого	3	108	16	0	0	56	0	

## **АННОТАЦИЯ**

Курс посвящен изучению проблем, связанных с разработкой и применением различных коммутационных систем в высоковольтной силовоточной импульсной аппаратуре. Рассматриваются физические механизмы электрического пробоя твердых, жидких, газообразных диэлектрических сред, вакуумных промежутков. Обсуждаются особенности конструктивного исполнения и принципов построения управления мощных электроразрядных приборов различных типов, возможности применения в импульсных системах полупроводниковых коммутаторов. Раскрывается современный уровень развития коммутационной техники, используемой в экспериментальной практике, приводятся основные конструктивные решения и примеры построения систем коммутации. Изучение данного курса закладывает основу, необходимую для успешной работы специалиста над разработкой одного из основных узлов импульсных установок - системы коммутации, которая во многом определяет надежную работу установки в целом и ее основные характеристики.

### **1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Целью курса является знакомство студентов с современными высоковольтными силовоточными коммутирующими приборами, используемыми в экспериментальном и технологическом оборудовании различного назначения. В том числе целью данного курса является формирование у студентов знаний о возможностях применения, принципах функционирования, особенностях конструкции измерительных средств, методах их расчета и проектирования.

В результате освоения данной дисциплины студенты должны знать конструктивные решения и примеры построения систем коммутации мощных импульсных электрофизических установок. По окончании учебного курса студенты должны уметь анализировать условия работы коммутирующих систем и делать обоснованный выбор их составных элементов. Студенты должны владеть методами расчетов и моделирования процессов в системах формирования импульсных токов и напряжений при решении задач по разработке систем коммутации и их применения на практике в области прикладной ядерной физики.

Изучение данного курса закладывает основу, необходимую для успешной работы специалиста над разработкой одного из основных узлов импульсных установок - системы коммутации, которая во многом определяет надежную работу установки в целом и ее основные характеристики.

### **2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО**

Для изучения дисциплины необходимы компетенции, сформированные у обучающихся в результате освоения физико-математических дисциплин. Дисциплина является предшествующей для успешного прохождения производственных практик и написания ВКР.

### **3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ**

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
--------------------------------	--

Профессиональные компетенции в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

Задача профессиональной деятельности (ЗПД)	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
проектно-конструкторский			
Разработка ядерно-физических, электрофизических и киберфизических систем и устройств	Измерительные системы для сбора и анализа информации, ядерно-физические, электрофизические и киберфизические приборы и устройства	ПК-3.3 [1] - Способен разрабатывать ядерные, электрофизические и киберфизические измерительные приборы и системы  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 29.015	З-ПК-3.3[1] - Знать средства и способы коммуникации измерительных систем. Знать методы регистрации физических процессов, устройство измерительных систем и средства разработки и проектирования приборов и узлов ядерно-физической и электрофизической аппаратуры; У-ПК-3.3[1] - Уметь разрабатывать измерительные системы и правильно коммутировать их. Уметь работать с современной измерительной техникой; В-ПК-3.3[1] - Владеть аппаратными средствами для разработки ядерно-физических, электрофизических и киберфизических измерительных систем
научно-исследовательский			
Разработка оптимальных функциональных и	Функциональные и структурные схемы приборов и систем,	ПК-5 [1] - Способен к разработке функциональных и	З-ПК-5[1] - Знать: принципы разработки функциональных и

структурных схем	технические требования	структурных схем приборов и систем с определением их физических принципов действия, структур и установлением технических требований на отдельные блоки и элементы  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 29.015	структурных схем приборов и систем с определением их физических принципов действия, структур и установлением технических требований на отдельные блоки и элементы ; У-ПК-5[1] - Уметь: читать функциональные и структурные схемы приборов и систем; В-ПК-5[1] - Владеть: техническими средствами для разработки функциональных и структурных схем приборов и систем
------------------	------------------------	---	---

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы учебной дисциплины, их объем, сроки изучения и формы контроля:

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практ. (семинары) / Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>1 Семестр</i>						
1	Первый раздел	1-8	8/0/0		25	УО-8	З-ПК-3.3, У-ПК-3.3, З-ПК-5
2	Второй раздел	9-16	8/0/0		25	УО-16	В-ПК-3.3, З-ПК-5, У-ПК-5
	<i>Итого за 1 Семестр</i>		16/0/0		50		
	<b>Контрольные</b>				50	Э	З-ПК-

	<b>мероприятия за 1 Семестр</b>						3.3, У- ПК- 3.3, В- ПК- 3.3, З-ПК- 5, У- ПК-5, В- ПК-5
--	---------------------------------	--	--	--	--	--	--

\* – сокращенное наименование формы контроля

\*\* – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

<b>Обозначение</b>	<b>Полное наименование</b>
УО	Устный опрос
Э	Экзамен

### КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

<b>Недели</b>	<b>Темы занятий / Содержание</b>	<b>Лек., час.</b>	<b>Пр./сем., час.</b>	<b>Лаб., час.</b>
	<i>1 Семестр</i>	16	0	0
<b>1-8</b>	<b>Первый раздел</b>	8	0	0
1	<b>Применение коммутирующей аппаратуры в мощной импульсной аппаратуре.</b> Введение. Структура мощных импульсных установок. Принцип временного сжатия энергии. Основные требования к коммутаторам. Классификация коммутирующей аппаратуры. Области использования различных типов коммутаторов	Всего аудиторных часов		
		1	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
2 - 3	<b>Механизмы пробоя диэлектрических сред.</b> Физические процессы, связанные с пробоем диэлектриков. Особенности пробоя твердых, жидких и газообразных диэлектрических сред. Вакуумный пробой	Всего аудиторных часов		
		2	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
4	<b>Особенности коммутации высоковольтных силовых импульсов</b> Понятие коммутации. Модель спада напряжения на междуэлектродном промежутке. Временные параметры процесса коммутации. Типы управляемых и неуправляемых газовых разрядников. Частотный режим работы газообразных разрядников	Всего аудиторных часов		
		1	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
5 - 6	<b>Коммутаторы генераторов импульсного напряжения</b> Особенности, конструктивное исполнение и основные	Всего аудиторных часов		
		2	0	0

	характеристики разрядников генераторов импульсного напряжения. Газовые искровые разрядники, разрядники со сжатым газом	Онлайн	0	0	0
7	<b>Коммутаторы промежуточных накопителей энергии</b> Коммутаторы формирующих линий. Многоканальная работа коммутаторов. Конструкции высоковольтных разрядников. Различные типы и конструктивные особенности коммутаторов	Всего аудиторных часов	1	0	0
		Онлайн	0	0	0
8	<b>Коммутирующая аппаратура генераторов импульсного тока</b> Классификация коммутаторов. Газовые, вакуумные разрядники. Разрядники с твердым диэлектриком. Игнитронные разрядники. Импульсная коммутация больших мощностей полупроводниковыми приборами. Тиристоры	Всего аудиторных часов	1	0	0
		Онлайн	0	0	0
9-16	<b>Второй раздел</b>		8	0	0
9 - 10	<b>Полностью управляемые газоразрядные коммутаторы</b> Принципы построения коммутаторов на основе несамостоятельного разряда. Электровакуумные лампы	Всего аудиторных часов	2	0	0
		Онлайн	0	0	0
11	<b>Размыкатели тока индуктивных накопителей энергии</b> Многоступенчатые схемы коммутации. Механические, взрывные размыкатели. Размыкатели на основе электровзрыва проводников	Всего аудиторных часов	1	0	0
		Онлайн	0	0	0
12	<b>Ключи с магнитным управлением</b> Свойства магнитных элементов в импульсных магнитных полях. Схемы генераторов импульсных напряжений.	Всего аудиторных часов	1	0	0
		Онлайн	0	0	0
13 - 14	<b>Транзисторные ключевые элементы</b> MOSFET и IGBT транзисторы; высоковольтные IGBT транзисторы; драйверы управления транзисторами; -однотактные/двухтактные схемы генераторов.	Всего аудиторных часов	2	0	0
		Онлайн	0	0	0
15 - 16	<b>Конструкции электроразрядных коммутаторов и их коммутационные характеристики.</b> Малогабаритные управляемые вакуумные разрядники (ВИР). Мощные управляемые вакуумные разрядники (РВУ). Управляемые газовые разрядники (РГУ, РУ), сильноточные разрядники низкого давления с холодным катодом (псевдоискровые разрядники ТПИ и ТДИ)	Всего аудиторных часов	2	0	0
		Онлайн	0	0	0

Сокращенные наименования онлайн опций:

Обозначение	Полное наименование
ЭК	Электронный курс
ПМ	Полнотекстовый материал
ПЛ	Полнотекстовые лекции
ВМ	Видео-материалы
АМ	Аудио-материалы
Прз	Презентации
Т	Тесты

ЭСМ	Электронные справочные материалы
ИС	Интерактивный сайт

## ТЕМЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Недели	Темы занятий / Содержание
	<i>1 Семестр</i>
1	<b>Применение коммутирующей аппаратуры в мощной импульсной аппаратуре.</b> Введение. Структура мощных импульсных установок. Принцип временного сжатия энергии. Основные требования к коммутаторам. Классификация коммутирующей аппаратуры. Области использования различных типов коммутаторов
2 - 3	<b>Механизмы пробоя диэлектрических сред.</b> Физические процессы, связанные с пробоем диэлектриков. Особенности пробоя твердых, жидких и газообразных диэлектрических сред. Вакуумный пробой
4	<b>Особенности коммутации высоковольтных сильноточных импульсов</b> Понятие коммутации. Модель спада напряжения на междуэлектродном промежутке. Временные параметры процесса коммутации. Типы управляемых и неуправляемых газовых разрядников. Частотный режим работы газообразных разрядников
5 - 6	<b>Коммутаторы генераторов импульсного напряжения</b> Особенности, конструктивное исполнение и основные характеристики разрядников генераторов импульсного напряжения. Газовые искровые разрядники, разрядники со сжатым газом
7	<b>Коммутаторы промежуточных накопителей энергии</b> Коммутаторы формирующих линий. Многоканальная работа коммутаторов. Конструкции высоковольтных разрядников. Различные типы и конструктивные особенности коммутаторов
8	<b>Коммутирующая аппаратура генераторов импульсного тока</b> Классификация коммутаторов. Газовые, вакуумные разрядники. Разрядники с твердым диэлектриком. Игнитронные разрядники. Импульсная коммутация больших мощностей полупроводниковыми приборами. Тиристоры
9 - 10	<b>Полностью управляемые газоразрядные коммутаторы</b> Принципы построения коммутаторов на основе несамостоятельного разряда. Электровакуумные лампы
11	<b>Размыкатели тока индуктивных накопителей энергии</b> Многоступенчатые схемы коммутации. Механические, взрывные размыкатели. Размыкатели на основе электровзрыва проводников
12	<b>Ключи с магнитным управлением</b> Свойства магнитных элементов в импульсных магнитных полях. Схемы генераторов импульсных напряжений.

13 - 14	<b>Транзисторные ключевые элементы</b> MOSFET и IGBT транзисторы; высоковольтные IGBT транзисторы; драйверы управления транзисторами; -однотактные/двухтактные схемы генераторов.
15 - 16	<b>Конструкции электроразрядных коммутаторов и их коммутационные характеристики.</b> Малогобаритные управляемые вакуумные разрядники (ВИР). Мощные управляемые вакуумные разрядники (РВУ). Управляемые газовые разрядники (РГУ, РУ), сильноточные разрядники низкого давления с холодным катодом (псевдоискровые разрядники ТПИ и ТДИ)

## 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

1. Информационно-коммуникационные технологии.
2. Работа в малой группе.
3. Опережающая самостоятельная работа.

## 6. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

Компетенция	Индикаторы освоения	Аттестационное мероприятие (КП 1)
ПК-3.3	З-ПК-3.3	Э, УО-8
	У-ПК-3.3	Э, УО-8
	В-ПК-3.3	Э, УО-16
ПК-5	З-ПК-5	Э, УО-8, УО-16
	У-ПК-5	Э, УО-16
	В-ПК-5	Э

## Шкалы оценки образовательных достижений

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	Оценка по 4-ех балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоению учебной дисциплины
90-100	5 – «отлично»	А	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал,

			исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы.
85-89	4 – «хорошо»	B	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
75-84		C	
70-74		D	
65-69	3 – «удовлетворительно»	E	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
60-64			
Ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	F	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

## 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

### ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ А 92 Основы теории цепей : Учебник для вузов, Санкт-Петербург: Лань, 2022
2. ЭИ М31 Прикладная ядерная физика. Коммутирующие приборы мощных импульсных генераторов : учеб. пособие, Москва: Буки Веди, 2018
3. ЭИ П 64 Теоретические основы электротехники: краткий курс : , Санкт-Петербург: Лань, 2022

### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ М87 Мощные электроимпульсные системы Ч. 1 Сильноточные диоды и системы диагностики, , : МИФИ, 2008
2. ЭИ М87 Мощные электроимпульсные системы Ч. 2 Формирование и передача импульсной электромагнитной энергии экстремально высокой мощности, , Москва: МИФИ, 2008

3. 621.37 МЗ1 Физика и техника мощных импульсных систем. Импульсные коммутирующие приборы : , С. П. Масленников, М.: МИФИ, 2003

**ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:**

Специальное программное обеспечение не требуется

**LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:**

<https://online.mephi.ru/>

<http://library.mephi.ru/>

## **8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

## **9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ**

### **1. Общие положения**

1.1. При реализации программы дисциплины используются образовательные технологии в форме лекций и самостоятельной работы с использованием Internet-ресурсов, методических разработок, учебной, научно-популярной и научной литературы.

1.2. Приступая к изучению дисциплины студенту необходимо ознакомиться с целями и задачами дисциплины, содержанием рабочей программы дисциплины, рекомендуемыми литературными источниками, методическими разработками по данной дисциплине, имеющимися на образовательном портале и сайте кафедры.

### **2. Рекомендации по подготовке к лекционным занятиям.**

2.1. Изучение дисциплины требует систематического и последовательного накопления знаний, следовательно, пропуски отдельных тем не позволяют глубоко освоить предмет. Поэтому студентам, пропустившим занятия, необходимо самостоятельно проработать тему.

2.2. Для понимания материала учебной дисциплины и качественного его усвоения рекомендуется вести конспект лекций. Конспектирование представляет собой сжатое и свободное изложение наиболее важных, кардинальных вопросов темы, излагаемой в лекции.

2.3. Перед очередной лекцией следует просмотреть по конспекту материал предыдущей лекции и проработать учебный материал лекции по учебнику и учебным пособиям для успешного освоения материала.

2.4. Возникающие вопросы и непонятные моменты можно записывать в конспект, чтобы спросить о них у преподавателя на лекции.

### **3. Самостоятельная работа обучающихся**

3.1. Самостоятельная работа предполагает формирование и усвоение теоретического материала на базе изучения и систематизации материалов учебников, официальных государственных документов, законов, нормативно-справочных материалов с использованием информационно-поисковых систем, компьютерной сети Интернет.

3.2. Обучающимся следует руководствоваться графиком самостоятельной работы, определенным рабочим планом дисциплины и выполнять все плановые задания, выдаваемые преподавателем для самостоятельной работы, и представлять их в установленный срок.

#### 4. Рекомендации по подготовке и сдаче аттестации по дисциплине.

4.1. Аттестация по дисциплине основана на балльно-рейтинговой системе, которая включает текущий контроль успеваемости, рубежный контроль в семестре и промежуточную аттестацию по итогам освоения дисциплины.

4.2. Текущий контроль подразумевает проверку готовности студентов к занятиям, для чего могут быть использованы различные проверочные задания. Прохождение контрольных рубежей проводится в середине и в конце семестра и может осуществляться в виде контрольных работ, письменных опросов и т.д. Этап промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины в целом подразумевает сдачу экзамена и самостоятельную подготовку к нему. При подготовке к промежуточной аттестации необходимо по рекомендованным литературным источникам проработать теоретический материал и внимательно изучить материал лекций, соответствующий вопросам, выносимым на аттестацию.

### **10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ**

#### 1. Общие положения

1.1. При реализации программы дисциплины используются образовательные технологии в форме лекций и самостоятельной работы с использованием Internet-ресурсов, методических разработок, учебной, научно-популярной и научной литературы.

#### 1.2. На первом занятии преподаватель:

- знакомит студентов с целями и задачами преподаваемой дисциплины, определяет ее место в образовательной программе, обозначает междисциплинарные связи;
- уточняет наполнение лекций в соответствии с рабочей программой дисциплины, с учетом контингента и уровня подготовки студентов;
- рекомендует основную и дополнительную литературу для успешного освоения дисциплины;
- доводит до сведения студентов систему оценки знаний.

#### 2. Рекомендации по подготовке и преподаванию дисциплины

##### 2.1. Рекомендации по подготовке и проведению лекций.

2.1.1. Цель лекции - организация целенаправленной познавательной деятельности студентов по овладению программным материалом учебной дисциплины. При этом лекционный материал рекомендуется постоянно актуализировать (вносить замечания, дополнения, пояснения и т.д.).

2.1.2. К типичным структурным элементам лекции относятся: вступление, основная часть, заключение. В начале лекции преподаватель называет тему лекции, основные вопросы, выносимые на лекцию, указывает основную и дополнительную литературу, главы и параграфы в ней, где изложен материал лекции. После каждого раздела делаются обобщающие выводы и даются указания по самостоятельной работе над материалом лекции.

2.1.3. Рекомендуется максимально использовать наглядные пособия и технические средства обучения. Для этого разрабатываются презентации. Каждый слайд должен содержать основные положения и сопровождаться дополнительными примерами и пояснениями преподавателя.

##### 2.2. Рекомендации по организации руководства самостоятельной работой студентов

2.2.1. Самостоятельная работа предполагает формирование и усвоение теоретического материала на базе изучения и систематизации материалов учебников, официальных

государственных документов, законов, нормативно-справочных материалов с использованием информационно-поисковых систем, компьютерной сети Интернет.

2.2.2. В ходе руководства самостоятельной работой студентов преподаватель приобщает их к научному творчеству, поиску и решению актуальных современных проблем.

2.3. Рекомендации по осуществлению контроля знаний обучаемых

2.3.1. По дисциплине действует балльно-рейтинговая система, которая включает текущий контроль успеваемости и промежуточную аттестацию по итогам освоения дисциплины

2.3.2. По дисциплине предусмотрены следующие виды аттестации: текущий контроль, рубежный контроль и промежуточная аттестация.

2.3.3. Текущий контроль подразумевает проверку готовности студентов к лекционным занятиям, могут быть использованы различные проверочные задания.

2.3.4. Прохождение контрольных рубежей по итогам освоения дисциплины проводится в середине и в конце семестра.

2.3.5. Этап промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины в целом подразумевает приём экзамена и самостоятельную подготовку к нему.

Автор(ы):

Масленников Сергей Павлович, д.т.н.