

Утверждаю  
Директор ИФВТ

  
« 04 » сентября 2015 г. А.Н. Яковлев

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ  
ГЕНЕРИРОВАНИЕ И ИЗМЕРЕНИЕ  
ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ И СИЛЬНОТОЧНЫХ СИГНАЛОВ**

**НАПРАВЛЕНИЕ ООП – 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»**

**ПРОФИЛЬ: «Техника и физика высоких напряжений»**

Степень – магистр

Базовый учебный план приема 2015 г.

Год обучения – 1 семестр – 2

Количество кредитов – 6

Код дисциплины: Дисцп. М1.В1

Виды учебной деятельности	Временной ресурс
Лекции, ч	8
Лабораторные занятия, ч	40
Практические занятия, ч	32
<b>Аудиторные занятия, ч</b>	<b>80</b>
Самостоятельная работа, ч	136
<b>Общая трудоемкость</b>	<b>216 час.</b>

Вид промежуточной аттестации – диф.зачет (курсовой проект), экзамен  
Обеспечивающее подразделение – каф. ТЭВН ИФВТ

И.о. заведующий кафедрой ТЭВН  А.С. Юдин

Руководитель ООП  В.М. Завьялов

Преподаватель  Д.В. Жгун

2015

## 1. Цели освоения дисциплины

Целями изучения дисциплины является формирование знаний о способах накопления и преобразования электрической энергии и методах генерирования и измерения высоковольтных и сильноточных сигналов и умений анализировать теоретические основы и вопросы практической реализации импульсных источников питания в энергетике, технике электрофизического эксперимента, электротехнологиях.

В результате освоения данной дисциплины обеспечивается достижение целей **Ц1, Ц3, Ц4** и **Ц5** основной образовательной программы 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»; приобретенные знания, умения и навыки позволят подготовить выпускника:

- к **проектно-конструкторской** деятельности в области электроэнергетики и электротехники способного выбирать современное оборудование, проектировать новые электротехнические объекты, системы и устройства конкурентоспособных на мировом рынке, с использованием современных средств автоматизации проектирования, умеющего оценивать технико-экономическую эффективность принимаемых решений (**Ц1**);
- к **научно-исследовательской** деятельности, в том числе в междисциплинарных областях, связанной с математическим моделированием процессов и объектов, проведением экспериментальных исследований и анализом их результатов, способного решать задачи, связанные с разработкой инновационных методов, повышающих эффективность эксплуатации и проектирования систем и объектов электроэнергетики и электротехники (**Ц3**);
- к **производственной деятельности в сфере эксплуатации, монтажа и наладки, сервисного обслуживания и испытаний, диагностики и мониторинга** электроэнергетического и электротехнического оборудования в соответствии со специализацией подготовки (**Ц4**);
- к **самостоятельному обучению** и освоению новых знаний и умений, непрерывному самосовершенствованию для полной реализации своей профессиональной карьеры, выполнений функций преподавателя при реализации образовательных программ в учебных заведениях (**Ц5**).

## 2. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина относится **вариативной** части **профессионального** цикла профиля магистерской подготовки «Техника и физика высоких напряжений».

Дисциплине предшествует освоение дисциплин (ПРЕРЕКВЕЗИТЫ):

«Техника и физика высоких напряжений»,

«Электромагнитная совместимость высоковольтной техники»

Содержание разделов дисциплины «Генерирование и измерение высоковольтных и сильноточных сигналов» согласовано с содержанием дисциплин, изучаемых параллельно (КОРЕКВЕЗИТЫ): «Поведение материалов в сильных полях», «Физическое материаловедение»

Дисциплина имеет самостоятельное значение и является пререквезитом для изучения дисциплин «Электроразрядные технологии обработки и разрушения материалов» и «Пучково-плазменные технологии обработки материалов».

Для успешного освоения дисциплины слушателю необходимо:

**знать:**

основные определения, понятия и закономерности из разделов курсов «Техника и физика высоких напряжений», «Теоретические основы электротехники», «Общая физика», «Высшая математика»;

**уметь:**

рассчитывать токи и напряжения для RLC-контуров в разных режимах; использовать готовые пакеты программ для обработки результатов исследований;

**иметь опыт:**

работы со справочной литературой и нормативно-технической документацией; практического проведения экспериментов, связанных с измерением высоковольтных и сильноточных сигналов с помощью осциллографа и современных измерительных приборов.

### 3. Результаты освоения дисциплины

В соответствии с требованиями ООП освоение дисциплины направлено на формирование у студентов следующих компетенций (результатов обучения), в т. ч. в соответствии с ФГОС:

Таблица 1

Результаты обучения	Составляющие результатов обучения					
	Код	Знания	Код	Умения	Код	Владение опытом
P4	34.1	основных методов, способов и средств получения, хранения и переработки информации	У4.1	применять компьютерную технику и информационные технологии в своей профессиональной деятельности	В4.1	использования современных технических средства и информационных технологий в профессиональной области
P5	35.1	основных закономерностей развития науки и техники	У5.1	анализировать полученную информацию	В5.1	аргументированного изложения собственной точки зрения
					В5.2	ведения дискуссии и полемики
					В5.3	использования научно-технических методов решения инженерных задач
P6	36.1	современные достижения науки и передовой технологии в области электроэнергетики			В6.1	планирования процесса решения научно-технической задачи
	36.2	актуальные задачи и проблемы электроэнергетики и электротехники				
			У6.3	применять современные методы и средства исследования для решения конкретных задач		
P7			У7.1	анализировать информацию о состоянии изделия, объекта, получаемую с помощью приборов и про-	В7.1	подготовки исходные данных по заданному объекту

Результаты обучения	Составляющие результатов обучения					
	Код	Знания	Код	Умения	Код	Владение опытом
				граммно-технических комплексов		
	37.2	оригинальные методы проектирования для реализации конкурентоспособных инженерных проектов	У7.2	Находить нестандартные решения профессиональных задач	В7.2	
	37.3	экономические, экологические, социальные ограничения			В7.3	навыками оформления, представления и защиты результатов исследований
Р8	38.1	стандарты, ГОСТы и нормативные материалы, регламентирующие работу электроэнергетических и электротехнических объектов и систем			В8.1	работы с технической документацией и стандартами
	38.2	технические ограничения в работе оборудования	У8.2	осуществлять экспертизу технической документации		
			У8.3	решать комплексные проблемы на основе интеграции различных методов и методик с целью достижения определенного результата	В8.3	использования специализированного программного обеспечения для решения профессиональных задач
Р10	310.1	элементной базы электрооборудования и установок их функциональное назначение и устройство применительно к объектам электроэнергетики и электротехники			В10.1	участия в монтажных, наладочных, ремонтных и профилактических видах работ с электроэнергетическим и электротехническим оборудованием
	310.2	состав монтажной, наладочной и ремонтной документации				
	310.3	способов планирования монтажно-наладочных работ по вводу в эксплуатацию электроэнергетического				

Результаты обучения	Составляющие результатов обучения					
	Код	Знания	Код	Умения	Код	Владение опытом
			и электротехнического оборудования			
P11	311.1	состояния и тенденций развития современного отечественного и зарубежных электроэнергетического и электротехнического оборудования	У11.1	выбирать новое оборудование для замены существующего в процессе эксплуатации, оценивать его достоинства и недостатки	B11.1	освоения нового электроэнергетического и электротехнического оборудования
	311.2	методов и способов проведения работ по техническому обслуживанию электроэнергетического и электротехнического оборудования	У11.2	проверять техническое состояние и остаточный ресурс электроэнергетического и электротехнического оборудования		
	311.3	методов и способов оценки технического состояния и остаточного ресурса электроэнергетического и электротехнического оборудования				
P12	312.1	основных требований, норм и правил оформления научно-технических отчетов, проектной, оперативной и другой технической документации в соответствии с отраслевыми стандартами				

В результате освоения дисциплины студентом должны быть достигнуты следующие результаты

Таблица 2

**Планируемые результаты освоения дисциплины**

№ п/п	Результат
РД1	способностью планировать и ставить задачи исследования, выбирать методы экспериментальной работы, интерпретировать и представлять результаты научных исследований
РД2	готовностью проводить экспертизы предлагаемых проектно-конструкторских решений и новых технологических решений

№ п/п	Результат
РД3	способностью формулировать технические задания, разрабатывать и использовать средства автоматизации при проектировании и технологической подготовке производства
РД4	способностью выбирать серийные и проектировать новые объекты профессиональной деятельности
РД5	способностью осуществлять технико-экономическое обоснование проектов
РД6	готовностью эксплуатировать, проводить испытания и ремонт технологического оборудования электроэнергетической и электротехнической промышленности
РД7	способностью определять эффективные производственно-технологические режимы работы объектов электроэнергетики и электротехники
РД8	способностью к монтажу, регулировке, испытаниям, наладке и сдаче в эксплуатацию электроэнергетического и электротехнического оборудования

#### 4. Структура и содержание дисциплины

##### Раздел 1. Введение.

Мощные импульсные источники питания в энергетике, техника электрофизического эксперимента, технологии. Процессы накопления и преобразования энергии. Накопители энергии – источники сильных импульсных токов. Общие характеристики и области применения различных накопителей энергии. Томская школа высоковольтников.

##### Раздел 2 Разрядные схемы накопителей энергии

Процессы накопления (зарядки). Регуляторы напряжения. Испытательные трансформаторы. Схемы выпрямления. Схемы зарядки на инверторах.

##### Лабораторные работы по разделу

1. Анализ схем выпрямления и умножения напряжения.
2. Каскадный генератор постоянного тока.

**Раздел 3 Накопители энергии.** Емкостные и индуктивные накопители. Достижимые плотности накапливаемой энергии. Разрядные цепи и переходные процессы в них. Методы коммутации. Генераторы на основе емкостных накопителей энергии. Импульсные трансформаторы. Магнитные генераторы импульсов.

##### Лабораторные работы по разделу

1. Получение высоких импульсных напряжений по схеме Маркса
2. Трансформатор Тесла
3. Генерирование сильных импульсных токов

##### Раздел 4 Коммутаторы для накопителей энергии

Назначение и классификация разрядников. Газовые разрядники высокого давления с электронным запуском, двухэлектродные разрядники, трехэлектродные разрядники, тригatronные разрядники и разрядники с искажением электрического поля, многоэлектродные разрядники. Газовые искровые коммутаторы с запуском электронным пучком. Лазерный запуск разрядников. Многоканальные газовые разрядники, разрядники с жидкими и твердыми диэлектриками. Тиратроны и игнитронные разрядники. Полупроводниковые коммутаторы.

##### Раздел 5 Схемы генерирования наносекундных импульсов напряжения

Волновые процессы в длинных линиях: отражение преломление волн. Генераторы с импульсной зарядкой длинных линий от схемы умножения напряжений. Каскадный генератор импульсов высокого напряжения. Генераторы с последовательным соединением формирующих линий, разряд одинарной и двойной линий. Генераторы с каскадным включением длин-

ных линий.

### **Лабораторные работы по разделу**

1. Волновые процессы в линиях
2. Схемы генерирования наносекундных импульсов на формирующих линиях.

### **Раздел 6 Измерения импульсов высокого напряжения и тока**

Шаровые разрядники, пик- вольтметры. Малоиндуктивные делители напряжения, требования к ним, их конструкция. Токовые шунты. Пояс Роговского. Подключение осциллографа.

### **Лабораторные работы по разделу**

1. Измерение импульсных токов поясом Роговского
2. Измерение высоких напряжений делителями.

## **6. Организация и учебно – методическое обеспечение самостоятельной работы студентов**

Самостоятельная работа студентов включает текущую и творческую проблемно-ориентированную самостоятельную работу (ТСР).

**6.1 Текущая СРС** направлена на углубление и закрепление знаний студента, развитие практических умений и включает:

- работа с лекционным материалом, поиск и обзор литературы и электронных источников информации по индивидуально заданной проблеме курса;
- опережающая самостоятельная работа;
- изучение тем, вынесенных на самостоятельную проработку;
- подготовка к лабораторным работам, к практическим и семинарским занятиям;
- выполнение курсового проекта по индивидуальной теме;
- подготовка к конференц-неделе, к экзамену.

### **6.2. Творческая самостоятельная работа включает:**

- поиск, анализ, структурирование и презентация информации;
- исследовательская работа и участие в научных студенческих конференциях, семинарах и олимпиадах;
- анализ научных публикаций по заранее определенной преподавателем теме;
- анализ статистических и фактических материалов по заданной теме, проведение расчетов, составление схем и моделей на основе статистических материалов.

### **6.3. Контроль самостоятельной работы**

Оценка результатов самостоятельной работы организуется следующим образом:

- защиты лабораторных работ в соответствии графиком выполнения;
- защиты рефератов по выполненным обзорным работам и проведенным исследованиям;
- защита курсового проекта

## **7. Средства текущей и итоговой оценки качества освоения дисциплины**

Оценка качества освоения дисциплины производится по результатам следующих контролируемых мероприятий:

<b>Контролирующие мероприятия</b>	<b>Результаты обучения по дисциплине</b>
Выполнение и защита лабораторных работ и практических заданий	способностью анализировать естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности;

Контролирующие мероприятия	Результаты обучения по дисциплине
	<p>способностью и готовностью применять современные методы исследования проводить технические испытания и (или) научные эксперименты, оценивать результаты выполненной работы;</p> <p>способностью оформлять, представлять и докладывать результаты выполненной работы</p>
защита индивидуальных заданий	готовностью представлять результаты исследования в виде отчетов, рефератов, научных публикаций и на публичных обсуждениях
защита курсового проекта	
презентации по тематике исследований во время проведения конференц-недели	
результаты участия студентов в научной дискуссии	способностью свободно пользоваться русским и иностранным языками как средством делового общения, способностью к активной социальной мобильности
экзамен	способностью и готовностью использовать углубленные знания в области естественно-научных и гуманитарных дисциплин в профессиональной деятельности
	способностью использовать углубленные теоретические и практические знания, которые находятся на передовом рубеже науки и техники в области профессиональной деятельности

Для оценки качества освоения дисциплины при проведении контролируемых мероприятий предусмотрены следующие средства (Приложение 1)

- вопросы входного контроля;
- контрольные вопросы, задаваемые при выполнении и защитах лабораторных работ;
- контрольные вопросы, задаваемые при проведении практических занятий;
- вопросы для самоконтроля;
- вопросы тестирований;
- вопросы, выносимые на экзамен.

## 8. Рейтинг качества освоения дисциплины

Оценка качества освоения дисциплины в ходе текущей и промежуточной аттестации обучающихся осуществляется в соответствии с «Руководящими материалами по текущему контролю успеваемости, промежуточной и итоговой аттестации студентов Томского политехнического университета», утвержденными приказом ректора № 77/од от 29.11.2011 г.

В соответствии с «Календарным планом изучения дисциплины»:

- текущая аттестация (оценка качества усвоения теоретического материала (ответы на вопросы и др.) и результаты практической деятельности (решение задач, выполнение заданий, решение проблем и др.) производится в течение семестра (оценивается в баллах (максимально 60 баллов), к моменту завершения семестра студент должен набрать не менее 33 баллов);
- промежуточная аттестация (экзамен, зачет) производится в конце семестра (оценивается в баллах (максимально 40 баллов), на экзамене (зачете) студент должен набрать не менее 22 баллов).

Итоговый рейтинг по дисциплине определяется суммированием баллов, полученных в ходе текущей и промежуточной аттестаций. Максимальный итоговый рейтинг соответствует 100 баллам.



В соответствии с «Календарным планом выполнения курсового проекта»:

- текущая аттестация (оценка качества выполнения разделов и др.)
- производится в течение семестра (оценивается в баллах (максимально 40 баллов), к моменту завершения семестра студент должен набрать не менее 22 баллов);
- промежуточная аттестация (защита проекта (работы)) производится в конце семестра (оценивается в баллах (максимально 60 баллов), по результатам защиты студент должен набрать не менее 33 баллов).
- Итоговый рейтинг выполнения курсового проекта (работы) определяется суммированием баллов, полученных в ходе текущей и промежуточной аттестаций. Максимальный итоговый рейтинг соответствует 100 баллам.

## **9. Учебно – методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **Основная литература**

1. Месяц Г.А. Импульсная энергетика и электроника. — М.: Наука, 2004. — 704 с.
2. Техника больших импульсных токов и магнитных полей. /П.Н. Дашук и др. М.: Атомиздат, 1972. – 472 с.
3. H. Bluhm. Pulsed Power System. Principles and Applications. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006, 328p.
4. Блум, Х. Схемотехника и применение мощных импульсных устройств.— М. : Додэка-XXI, 2008 352 с
5. Авруцкий В.А., Кужекин И.П., Чернов Е.М. Испытательные и электрофизические установки. Москва, 1983. – 264 с.
6. Экспериментальные методы в силовоточной электронике: учебное пособие / А. И. Климов; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). — Томск: Изд-во ТПУ, 2013. — 238 с.:

### **Дополнительная**

7. Физика и техника мощных импульсных систем. Сб. статей под ред. Е.П. Велихова. Энергоатомиздат, 1987. – 352 с.
8. Бут Д.А, Алиевский Б.Л. и др. Накопители энергии. М.: Энергоатомиздат, 1991. – 400 с.
9. Быстров Ю.А., Иванов С. А. Ускорители и рентгеновские приборы. М.: Высшая школа, 1976. – 207 с.
10. Магнитные генераторы импульсов. /Л.А. Меерович. М.: Сов. Радио. – 476 с.
11. Месяц Г. А. Генерирование мощных наносекундных импульсов— М. : Советское радио, 1974. — 256 с.
12. Высоковольтная электротехника: учебное пособие / М. Т. Пичугина; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). — Томск: Изд-во ТПУ, 2011. — 120 с.
13. Шваб А. Измерения на высоком напряжении: Измерительные приборы и способы измерения. М. : Энергоатомиздат, 1983. – 264 с

### **Интернет ресурсы**

1. IEEE Power & Energy Society <http://www.ieee-pes.org/>
2. Journal “IEEE Transactions on Power Electronics”  
<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/RecentIssue.jsp?punumber=63>
3. Digests of IEEE Pulsed Power Conferences [http://www.ieee.org/conferences\\_events/index.html](http://www.ieee.org/conferences_events/index.html)
4. Materials of International Congress on Radiation Physics and Chemistry of Condensed Matter, High Current Electronics and Modification of Materials with Particle Beams and Plasma Flows  
<http://portal.tpu.ru/science/konf/congress-2012>
5. Pulsed power [http://en.wikipedia.org/wiki/Pulsed\\_power](http://en.wikipedia.org/wiki/Pulsed_power)

## 10. Материально – техническое обеспечение дисциплины

№ п/п	Наименование (компьютерные классы, учебные лаборатории, оборудование)	Корпус, ауд., количество установок
1.	Генератор импульсных напряжений ГИН-1000 с системой регистрации	11-301.122, 1
2	Генератор импульсных токов ГИТ-50.	11-122-3.122, 1
3	Генератор импульсных токов ГИТ-25	11-302.122, 1
4	Трансформатор Тесла на 600 кВ	11-304.122,1
5	Каскадный генератор постоянного тока на 30 кВ	11-301.122, 1
6	Стенд для моделирования волновых процессов в линиях	11-202.122, 1
7	Генератор наносекундных импульсов на 30 кВ	11-202.122, 1

Программа составлена на основе Стандарта ООП ТПУ в соответствии с требованиями ФГОС по направлению 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника» подготовки магистров; модуль «**Техника и физика высоких напряжений**».

Программа одобрена на заседании кафедры «Техника и электрофизика высоких напряжений» ИФВТ (протокол № 1 от 02.09.2015г.).

Автор: к.т.н., доцент

Д.В. Жгун

Рецензент д.ф.-м.н., профессор каф. ТЭВН

А.И. Пушкарев

**Вопросы к экзамену по дисциплине  
«Генерирование и измерение высоковольтных и силовых сигналов»**

1. Накопители энергии: классификация, общие сведения.
2. Высоковольтные испытательные трансформаторы: конструкция, предъявляемые требования
3. Каскадный генератор постоянного тока. Принцип действия.
4. Разрядные процессы в емкостных накопителях энергии.
5. Импульсные конденсаторы. Изоляция генераторов импульсных токов на основе емкостных накопителей энергии.
6. Классификация коммутаторов. Основные требования к коммутаторам.
7. Разрядники атмосферного и повышенного давления. Принцип работы, характеристики.
8. Импульсные тиратроны. Принцип действия, характеристики, область применения.
9. Силовоточные тиристоры. Принцип действия, характеристики, область применения.
10. Игнитроны. Принцип действия, характеристики, область применения.
11. Вакуумные разрядники. Принцип действия, характеристики, область применения.
12. Высоковольтные многоазорные разрядники. Принцип действия, характеристики, область применения.
13. Генераторы импульсных токов на основе индуктивных накопителей энергии. Общие сведения.
14. Взрывные генераторы. Принцип действия, характеристики, область применения.
15. Трансформатор Тесла. Принцип действия, характеристики, область применения.
16. Электростатические генераторы. Принцип действия, характеристики, область применения.
17. Генераторы импульсных напряжений по схеме Маркса. Схема, принцип действия, регулирование параметров волны напряжения.
18. Генераторы импульсных токов на емкостных накопителях энергии. Схема, принцип действия, требования к конструированию.
19. Магнитные генераторы импульсов. Принцип работы, формирование импульсов в многозвенной схеме.
20. Магнитные материалы, применяемые в сердечниках магнитных генераторов.
21. Волновые процессы в длинных линиях. Отражение и преломление волн в зависимости от вида нагрузки.
22. Принципы генерирования наносекундных импульсов напряжения. Принципиальные схемы.
23. Генераторы с двойной формирующей линией (Блюмлейн).
24. Высоковольтные импульсные трансформаторы. Принцип действия, характеристики, область применения.
25. Устройства для измерения импульсов высокого напряжения: шаровой разрядник, электростатический киловольтметр, пик-вольтметр. Принцип действия, область применения, характеристики.
26. Делители напряжения: классификация, принцип действия, область применения, характеристики.
27. Конструкция делителей для измерения высокого импульсного напряжения.
28. Измерение импульсных токов: шунты. Устройство, основные характеристики.
29. Измерение импульсных токов: пояс Роговского. Устройство, основные характеристики.