

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»**

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»

по научной работе

Драгунов В.К.

---

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 г.

**ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ  
ПО СПЕЦИАЛЬНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ ПРИ ПОСТУПЛЕНИИ В  
АСПИРАНТУРУ**

Группа научных специальностей – 2.4. Энергетика и электротехника

Научная специальность – 2.4.3. Электроэнергетика

Москва, 2022

## Программа специальной дисциплины по кафедре ТЭВН

1. Электрофизические процессы в газах, жидких и твердых диэлектриках.

Движение заряженных частиц в электрическом поле. Их энергия и скорость дрейфа, подвижность. Диффузия, амбиполярная диффузия. Столкновения частиц, их вероятность, сечение столкновения, средняя длина свободного пробега. Упругие и неупругие столкновения частиц.

Процессы диссоциации молекул. Процессы возбуждения и ионизации атомов и молекул. Различные виды ионизации в газах. Образование и развал отрицательных ионов. Процессы ионной и электронной рекомбинации. Процессы на катоде: авто- и фото- и термоэлектронная эмиссия.

Поведение ионизованного газа в электрических и магнитных полях. Понятие плазмы. Дебаевский радиус. Равновесная и неравновесная плазма.

Поляризация диэлектриков в постоянном и переменном электрическом поле, виды поляризации. Механизмы появления свободных электрических зарядов в диэлектриках. Виды электропроводности жидких диэлектриков. Проводимость твердых диэлектриков. Диэлектрические потери, тангенс угла диэлектрических потерь, влияние температуры.

2. Теория и практика электрических разрядов в условиях, характерных для техники высоких напряжений.

Развитие электрического разряда в газах. Лавина электронов. Условие самостоятельности разряда. Понятия начального напряжения возникновения разряда и пробивного напряжения. Закон Пашена и закон подобия электрических разрядов. Разряд в сильно неоднородном электрическом поле. Влияние полярности на начальные напряжения. Лавинная, стримерная и лидерная формы разряда. Условия лавинно-стримерного и стример-лидерного перехода, влияние полярности на пробивные напряжения. Развитие разряда при импульсных напряжениях. Время формирования разряда, понятие вольт-секундной характеристики. Вольт-секундные характеристики воздушных промежутков при грозовых и коммутационных импульсах.

Коронный разряд при различных видах действующего напряжения. Начальная напряжённость коронного разряда. Униполярный и биполярный коронные разряды. Распределение напряженности электрического поля и плотности объёмного заряда в промежутке при униполярном коронном разряде. Вольт-амперная характеристика коронного разряда. Потери на корону при переменном напряжении на проводах линии электропередачи. Электромагнитные и акустические помехи. Разряд в газе вдоль поверхности твердого диэлектрика. Влияние структуры электрического поля, материала и толщины слоя твердого диэлектрика на начальные и пробивные напряжения поверхностного разряда.

Стримерный и скользящий разряды по поверхности диэлектрика. Разряд по загрязнённой и увлажнённой поверхности диэлектрика.

Механизмы пробоя жидких диэлектриков. Пробой жидкости и предразрядные процессы, влияние примесей, материала электродов, температуры и давления. Развитие импульсного разряда в жидкости. Формы пробоя твёрдых диэлектриков. Влияние формы и размеров электродов, вида и длительности воздействующего напряжения. Тепловой пробой твёрдых диэлектриков.

### 3. Физика молнии и молниезащита

Электричество атмосферы, глобальная электрическая цепь. Электрические характеристики «ясной погоды» и различных типов облаков. Механизмы электризации частиц в облаках. Теория грозы.

Виды молнии. Физическая картина формирования разряда молнии. Электрические характеристики разрядов молнии. Статистический характер параметров молнии. Характеристики грозовой деятельности. Опасные воздействия молнии на поражаемые объекты. Общая характеристика электромагнитных, газодинамических, тепловых и электродинамических воздействий молнии. Молниеотводы. Основные элементы конструкции молниеотводов и требования к ним. Защитное действие молниеотводов. Методика определения зон защиты молниеотводов по экспериментальному, электрогеометрическому и вероятностному методу. Зоны защиты стержневых и тросовых молниеотводов.

Заземление молниеотводов. Естественные и искусственные заземлители. Стационарное и импульсное сопротивление заземлителей. Молниезащита воздушных линий электропередачи (ВЛ). Грозовые отключения ВЛ, защищаемых тросовыми молниеотводами. Кривая опасных параметров. Грозовые отключения ВЛ без тросовых молниеотводов. Грозовые отключения ВЛ при индуцированных перенапряжениях. Применение защитных аппаратов на ВЛ для повышения эффективности молниезащиты. Молниезащита электрических подстанций. Защита от прямых ударов молнии. Защита подстанции от импульсов грозовых перенапряжений, набегающих с линии. Защищенный подход к подстанции. Методика оценки эффективности молниезащиты подстанции. Молниезащита зданий, промышленных сооружений и коммуникаций. Классификация зданий и сооружений по степени опасности поражения молнией. Особенности молниезащиты взрывоопасных и пожароопасных объектов. Молниезащита летательных аппаратов. Особенности поражения молнией летательных аппаратов и их молниезащиты. Персональная защита от молнии.

### 4. Внутренние перенапряжения в электрических системах и их ограничение.

Перенапряжения при дуговых замыканиях на землю в сетях 6-35 кВ с изолированной нейтралью. Компенсация емкостных токов замыкания на землю в сетях 6-35 кВ.

Феррорезонансные перенапряжения. Феррорезонансные перенапряжения в сетях с электромагнитными трансформаторами напряжения.

Перенапряжения при работе вакуумных выключателей. Механизмы возникновения перенапряжений. Перенапряжения при коротких замыканиях на линии и при их отключении. Перенапряжения на ВЛ при автоматическом повторном включении. Установившиеся перенапряжения в электрических сетях высокого напряжения. Влияние емкостного эффекта, насыщения стали трансформаторов, коронного разряда и подключённых реакторов на напряжение промышленной частоты. Перенапряжения при несимметричных коротких замыканиях на воздушных линиях. Ограничители перенапряжений (ОПН). Конструкция ограничителей. Энергоемкость ОПН.

## 5. Изоляция установок высокого напряжения

Основные требования к электрической изоляции, условия работы.

Внешняя изоляция установок и оборудования высокого напряжения. Характерные изоляционные промежутки в атмосферном воздухе. Особенности внешней изоляции. Разрядные напряжения чисто воздушных промежутков при разных видах воздействующего напряжения.

Линейная изоляция. Конструкции и материалы изоляторов. Выбор типа и числа изоляторов и воздушных изоляционных промежутков ВЛ и открытых распределительных устройств. Вольт-секундные характеристики. Внутренняя изоляция установок и оборудования высокого напряжения. Требования, предъявляемые к изоляции и изоляционным материалам. Основные виды внутренней изоляции. Электрическая прочность внутренней изоляции. Понятие о кратковременной и длительной электрической прочности. Основные факторы, влияющие на кратковременную электрическую прочность внутренней изоляции. Старение изоляции. Механизмы старения. Частичные разряды и их характеристики. Длительная электрическая прочность внутренней изоляции: закономерности старения изоляции, основные технические средства ограничения темпов электрического старения. Основы конструирования внутренней изоляции. Характерные формы электрических полей в изоляционных конструкциях и методы их регулирования. Краевой эффект. Применение комбинированных диэлектриков с различной диэлектрической проницаемостью. Полупроводящие покрытия, применение экранов.

Структура изоляции силовых трансформаторов: главная и продольная изоляция. Маслобарьерная изоляция силовых трансформаторов. Кратковременная и длительная электрическая прочность внутренней изоляции трансформаторов и конденсаторной изоляции. Кабельные линии: области применения, виды изоляции силовых кабелей высокого напряжения. Конструкция изоляции кабелей высокого напряжения с градированием изоляции и без градирования. Изоляция кабельных муфт. Проходные изоляторы: конструкции, изоляционные материалы. Элегазовые изоляционные конструкции: выключатели и измерительные трансформаторы с элегазовой изоляцией, КРУЭ. Разрядные характеристики промежутков с элегазовой изоляцией при различных формах воздействующего напряжения и давления.

#### 6. Испытания и диагностика изоляции в условиях эксплуатации

Задачи диагностики и контроля технического состояния изоляции оборудования и установок высокого напряжения. Координация изоляции устройств высокого напряжения.

Общие правила проведения испытаний изоляции высоким напряжением промышленной частоты, грозовыми и коммутационными импульсами, постоянным (выпрямленным) напряжением. Особенности воздействия на изоляцию разных видов испытательного напряжения.

Контроль состояния изоляции установок высокого напряжения по характеристикам частичных разрядов (ЧР). Основы электрического и акустического методов регистрации и измерения характеристик ЧР. Связь тангенса угла диэлектрических потерь с основными электрическими характеристиками однородной и неоднородной изоляции. Факторы, влияющие на результаты измерений  $\tan\delta$ . Измерение тангенса угла диэлектрических потерь. Использование явления абсорбции для оценки состояния изоляции оборудования высокого напряжения. Основные внешние проявления абсорбционных процессов при постоянном и переменном напряжениях, использование их для диагностики. Измерение сопротивления изоляции. Ёмкостные методы контроля влажности изоляции. Контроль состояния маслонаполненного оборудования путём испытания проб масла. Измерение физико-химических характеристик масла, нормы, выявляемые дефекты. Хроматографический анализ газов, растворённых в масле. Акустический и тепловизионный контроль состояния изоляции оборудования высокого напряжения. Ультразвуковая дефектоскопия.

#### 7. Испытательные и электрофизические установки высокого напряжения

Испытания высоким напряжением и сильными токами. Цели и объекты испытаний, общая схема испытательных комплексов, нормированные

испытательные высокие напряжения и импульсные токи. Испытательные установки высокого напряжения промышленной частоты. Испытательные трансформаторы высокого напряжения, каскадные схемы испытательных трансформаторов и резонансные схемы для испытаний переменным высоким напряжением. Установки высокого напряжения постоянного тока. Схемы с выпрямителями, каскадный выпрямитель. Электростатический генератор Ван-де-Граафа, роторный генератор. Генераторы импульсных напряжений (ГИН). Основные схемы одноступенчатых и многоступенчатых ГИН, их элементы и параметры. Типы накопителей энергии для испытательных и электрофизических установок и их характеристики. Емкостные накопители энергии. Разрядный контур емкостного накопителя энергии и его схема замещения. Индуктивные накопители энергии. Работа индуктивного накопителя энергии на омическую, индуктивную и емкостную нагрузку. Механические накопители энергии. Основные типы ударных генераторов и их характеристики. Накопители энергии с распределенными параметрами. Основные типы формирующих линий и их свойства. Основные схемы ГИН на основе длинных линий без умножения и с умножением напряжения. Генератор Блюмляйна. Измерение высоких напряжений. Измерительные шаровые разрядники, электростатические вольтметры. Делители напряжения. Требования к делителям, общая схема замещения, типы, частотные характеристики, реакция на прямоугольный импульс. Омические делители напряжения. Емкостные делители напряжения. Смешанные делители напряжения. Измерение сильных токов. Измерение сильных импульсных и периодических токов с помощью шунтов. Измерение сильных токов с помощью воздушного трансформатора тока и устройства на основе эффекта Холла. Измерения напряженности электрического поля. Измерения напряженности магнитного поля. Электрофизические установки высокого напряжения. Ускорители макротел. Рельсотроны, индукционные ускорители. Формирование и ускорение электронных пучков.

#### 8. Высоковольтные электротехнологические процессы, устройства и аппараты

Направления применения высоких напряжений и сильных токов в технологических процессах. Характеристика аэрозольных систем. Зарядка частиц. Силы, действующие на частицы в электрических полях. Движение заряженных частиц. Сопротивление среды движению частиц. Числа Рейнольдса и Стокса. Осаждение частиц из ламинарного и турбулентного потока.

Процессы на осадительном электроде. Силы адгезии частиц к электроду. Поведение отдельно взятой частицы в электрическом поле в поле коронного разряда. Характеристики порошкового слоя. Зарядка и разрядка слоя на

электроде. Обратная корона с порошкового слоя. Время возникновения обратной короны. Сила, действующая на слой в электрическом поле и при коронном разряде в промежутке. Влияние слоя на вольт-амперную характеристику коронного разряда. Коллективные процессы в аэрозольных системах. Электростатическое рассеяние монодисперсного аэрозоля. Влияние концентрации частиц на характеристики коронного разряда. Движение частиц по силовым линиям электрического поля. Движение частиц поперек силовых линий. Электротехнологические процессы и аппараты, основанные на применении сильных электрических полей. Очистка газов от аэрозольных частиц электрофильтрами. Конструкция электрофильтров. Степень очистки газов в электрофильтрах. Особенности определения эффективности осаждения в электрофильтрах. Способы борьбы с обратной короной в электрофильтрах. Электросепарация. Классификация электросепараторов. Сепарация по электропроводности. Трибоэлектростатическая сепарация. Пироэлектрическая сепарация. Диэлектрическая сепарация. Нанесение покрытий в электрическом поле. Электроокраска.

Электропневмораспылители. Нанесение порошковых покрытий. Электропечать. Технологии обезвоживания нефтепродуктов. Высоковольтные плазмохимические технологии. Основы плазмохимических преобразований. Генераторы озона и озонные технологии. Электросинтез озона. Технологии конверсии газов в плазме газового разряда. Модификация поверхности материалов в плазме газового разряда. Процессы статической электризации и методы борьбы с проявлениями статического электричества. Нейтрализаторы зарядов статического электричества. Высоковольтные технологии импульсного воздействия на материалы. Электрогидравлические технологии. Электроэрозионная обработка материалов. Магнитно-импульсная обработка материалов.

#### 9. Методы расчета электрических и магнитных полей в технике высоких напряжений

Основные уравнения и граничные условия, описывающие электростатическое поле. Методы эквивалентных зарядов и интегральных уравнений для случаев однородной и неоднородной сред. Применение метода эквивалентных зарядов для расчёта электрических полей вблизи воздушных линий электропередачи. Применение метода интегральных уравнений для расчёта электрических полей устройств высокого напряжения. Принципы расчёта электрических полей методом конечных элементов. Метод конечных разностей для расчета электрических полей в однородных средах. Понятие самосогласованного электрического поля с объёмным зарядом и особенности его

расчёта. Постановка задачи расчета магнитного поля промышленной частоты вблизи объектов электроэнергетики. Магнитные поля систем проводников с током. Магнитные поля в пролете воздушных линий электропередачи.

#### 10. Электромагнитная совместимость

Источники электромагнитных воздействий на объектах электроэнергетики. Чувствительные к электромагнитным воздействиям оборудование и системы на объектах электроэнергетики. Каналы передачи помех. Кондуктивные и полевые помехи. Нормативная база обеспечения электромагнитной совместимости на объектах электроэнергетики. Закон об электромагнитной совместимости. Допустимые уровни электромагнитных помех на объектах электроэнергетики.

Биологические проблемы обеспечения электромагнитной совместимости на объектах электроэнергетики. Допустимые электрические и магнитные поля для населения и персонала на рабочих местах. Методы и средства определения электромагнитной обстановки на объектах электроэнергетики. Методы и средства защиты от электромагнитных воздействий вторичного оборудования и систем связи.

#### Основная литература:

1. Бортник И.М., Белогловский А.А, Верещагин И.П., Вершинин Ю.Н., Калинин А.В., Кучинский Г.С., Ларионов В.П., Монастырский АЕ., Орлов А.В., Пинталь Ю.С., Сергеев Ю.Г., Соколова М.В., Темников А.Г. Электрофизические основы техники высоких напряжений. Учебник для вузов / Под ред. Верещагина И.П. - М: Издательский дом МЭИ, 2010. - 704 с.

2. А.Ф. Дьяков, Б.К. Максимов, Р.К. Борисов, И.П. Кужекин, А.Г. Темников, А.В. Жуков. Электромагнитная совместимость и молниезащита в электроэнергетике. Учебник для вузов, 2-е издание, исправл. и дополн. - М.: Издательский дом МЭИ, 2011. - 544 с.

3. Высоковольтные электротехнологии. Учеб. пособие / О.А. Аношин, А.А. Белогловский, И.П. Верещагин и др.; Под ред. И.П. Верещагина. - М.: Изд-во МЭИ, 2000.

4. Физико-математические основы техники высоких напряжений. Учеб. пособие для вузов / В.В. Базуткин, К.П. Кадомская, Е.С. Колечицкий и др.; Под ред. К.П. Кадомской. - М.: Энергоатомиздат, 1995.

5. Базелян Э.М., Райзер Ю.П. Физика молнии и молниезащиты. - М.: Физматлит, 2001.

6. Техника высоких напряжений. Учебник для вузов / И.Н. Богатенков, Ю.Н.Бочаров, Н.И. Гумерова и др. Под ред. Г.С. Кучинского. - СПб.: Энергоатомиздат. Санкт-Петербургское отд-ние, 2003.

7. Расчет электрических полей устройств высокого напряжения: учебное

пособие / И.П.Белоедова, Ю.В.Елисеев, Е.С.Колечицкий и др. - М.: Издательский дом МЭИ, 2008.

8. Е. Куффель, В. Цаенгль, Дж. Куффель. Техника и электрофизика высоких напряжений. Пер. с англ.: Учебно-справочное руководство - Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2011. - 520 с.

9. А.Г. Темников, И.П. Верещагин, С.А. Кривов, Г.З. Мирзабекян, В.В. Панюшкин. Сборник задач по высоковольтным электротехнологиям: Учебное пособие / Под ред. Темникова А.Г., - М.: Издательство МЭИ, 2004. - 64 с.

10. А.Г.Овсянников, Р.К. Борисов. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике: учебное пособие. - Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2010.

11. Базуткин В.В., Ларионов В.П., Пинталь Ю.С. Техника высоких напряжений. Изоляция и перенапряжения в электрических системах: Учеб. для вузов / Под ред. В.П. Ларионова. 3-е изд., перераб. и дополн. - М.: Энергоатомиздат, 1986.

12. Кучинский Г.С., Кизеветтер В.Е., Пинталь Ю.С. Изоляция установок высокого напряжения. Учеб. для вузов / М.: Энергоатомиздат, 1987.

13. Авруцкий В.А., Кужекин П.П., Чернов Е.Н. Испытательные и электрофизические установки. Техника эксперимента. Учеб. пособие / Под ред. И.П. Кужекина. - М.: МЭИ, 1983.

14. Основы электрогазодинамики дисперсных систем. Учебное пособие для вузов / И.П.Верещагин, В.И.Левитов, Г.З.Мирзабекян, М.П. Пашин. - М.: Энергия, 1974.

15. А. Шваб. Измерения на высоком напряжении. Измерительные приборы и способы измерений. Изд. 2-е. Пер. с нем. И.П. Кужекина. - М.: Энергоатомиздат.

16. Колечицкий Е.С., Романов В.А., Карташев В.Г. Защита биосферы от влияния электромагнитных полей: - М.: Издательский дом МЭИ, 2009.

17. М.В. Соколова, С.А. Кривов. Электрофизические процессы в газовой изоляции. Учебное пособие - М.: Издательский дом МЭИ, 2008.

#### **Дополнительная литература:**

1. Дьяков А.Ф., Максимов Б.К., Борисов Р.К. и др. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике и электротехнике. / под ред. Дьякова А.Ф.. - М.: Энергоатомиздат, 2003. - 768 с.

2. Райзер Ю.П. Физика газового разряда. - М.: Издательство Интеллект, 2009.

3. Веревкин В.Н., Смелков Г.И., Черкасов В.Н. Электростатическая искробезопасность и молниезащита. - М.: МИЭЭ, 2006.

4. Александров Г.Н. Установки сверхвысокого напряжения и охрана

окружающей среды: Учеб. пособие для вузов. - Л.: Энергоатомиздат, 1989.

5. Верещагин И.П. Коронный разряд в аппаратах электронно-ионной технологии. - М.: Энергоатомиздат, 1985.

6. Колечицкий Е.С. Расчёт электрических полей устройств высокого напряжения. - М.:

## **Программа специальной дисциплины по кафедрам РВиАЭ, ЭС, ЭЭС**

### **1. Электрическая часть электростанций**

Особенности технологического процесса функционирования электрических станций различного типа. Вопросы экологии при эксплуатации электростанций.

Графики нагрузки электрических станций и их регулирование. Влияние роста единичной мощности генераторов, силовых трансформаторов, электродвигателей и электростанций в целом на построение схем электрических соединений электростанций и требования к электрическим аппаратам и проводникам.

Особенности структуры главных схем и схем собственных нужд электростанций различного типа. Термическое и динамическое воздействие токов короткого замыкания. Методы и средства ограничения токов короткого замыкания. Координация уровней токов короткого замыкания. Эксплуатационные характеристики аппаратов, методика их выбора. Эксплуатационные характеристики и конструктивные особенности токоведущих элементов и контактных соединений, методика их выбора.

Заземляющие устройства электроустановок.

Системы управления, контроля и сигнализации на электростанциях и подстанциях. Установки оперативного тока. Принципы выполнения и основные характеристики автоматизированных систем управления (АСУ). Принципы создания автоматизированных диагностических систем.

### **2. Режимы работы основного электрооборудования электростанций**

Режимы работы синхронных генераторов, синхронных компенсаторов, синхронных двигателей и их систем возбуждения. Методика анализа режимов работы синхронных машин.

Режимы работы асинхронных и синхронных электродвигателей собственных нужд электростанций в нормальных и аномальных условиях. Режимы работы силовых трансформаторов и автотрансформаторов на электростанциях и подстанциях.

### 3. Проектирование электростанций

Основы проектирования электростанций. Состав и основные характеристики систем автоматизированного проектирования (САПР) электрических установок.

Проектирование главной электрической схемы. Проектирование электроустановок собственных нужд. Проектирование системы управления.

Конструкция распределительных устройств. Основные характеристики комплектных распределительных устройств (КРУ). Компоновка электрических станций и подстанций.

Методы оценки технико-экономических показателей и надежности схем электрических соединений электроустановок.

### 4. Электроэнергетические системы и сети

Основные сведения об истории развития энергетики. Особенности развития энергетики в условиях рыночной экономики. Энергетика как большая система.

Модели оптимального развития энергосистем. Системный подход.

Общий критерий оптимального развития. Виды представления информации. Иерархическое построение энергосистем. Основные типы задач развития энергосистем. Методы прогнозирования их развития.

Особенности оптимизации структуры энергосистемы при ее проектировании и развитии (структура и размещение электростанций, структура электрических сетей).

Методы оптимизации развития и функционирования энергосистем: линейное и нелинейное математическое программирование, транспортный и симплексный алгоритмы, динамическое программирование, метод границ и ветвей, градиентный метод, метод штрафных функций, критериальный анализ технико-экономических задач энергетики.

Электрические станции, электрические сети, потребители электроэнергии как элементы энергосистем. Методы определения расчетных электрических нагрузок промышленных предприятий, городов и сельского хозяйства.

Сведения об условиях работы и конструктивном исполнении линий электрических сетей. Основные сведения о проектировании конструктивной части воздушных линий.

Режимы заземления нейтралей в сетях различного напряжения.

Характеристики и параметры элементов электрической сети.

Элементы теории передачи энергии по линиям электрической сети. Расчеты установившихся режимов электрических сетей, требования к режимам. Регулирование режимов электрических сетей.

Основы технико-экономических расчетов электрических сетей. Качество электрической энергии. Регулирование напряжения в электроэнергетических системах, районных электрических сетях и системах электроснабжения.

Проектирования электрических сетей, выбор их основных параметров при проектировании.

Особенности расчетов электрических режимов протяженных электропередач переменного и постоянного тока. Электрические параметры протяженных линий электропередачи. Расчет режимов дальней электропередачи. Пути, методы и средства увеличения пропускной способности и экономичности работы дальних электропередач. Особые режимы электропередачи переменного и постоянного тока.

## 5. Электроснабжение городов и промышленных предприятий

Общая характеристика систем электроснабжения. Общее и различия в структурах систем электроснабжения городов и промышленных предприятий. Теоретические основы формирования расчетной нагрузки элементов сети. Разница в подходах к формированию расчетной нагрузки в городской сети и сети промышленного предприятия.

Компенсация реактивных нагрузок. Обоснование различий в решении проблемы компенсации реактивных нагрузок в городах и на промышленных

предприятиях. Теоретические основы принципа размещения компенсирующих устройств в распределительных сетях промышленных предприятий.

Режим нейтрали в сетях до 1 кВ и выше 1 кВ. Причины нормирования однофазных токов замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью.

Требования к электрическим схемам распределительных сетей. Характеристика схем различных типов с точки зрения загрузки оборудования. Влияние изолированного заземления нейтрали на надежность электроснабжения для различных типов схем. Обоснование необходимости глубоких вводов в городах и на промышленных предприятиях. Комплекс требований к сооружению подстанций глубокого ввода. Особенности конструктивного исполнения подстанций. Встроенные подстанции, обоснование необходимости их применения и требования к конструкции.

Потери электроэнергии в распределительных сетях, структура потерь. Применение различных методов расчета потерь в зависимости от исходных данных. Методы и средства снижения потерь электроэнергии.

Качество электроэнергии в системах электроснабжения. Причины искажений токов и напряжений в распределительных сетях и влияние этих искажений на работу электроприемников. Методы расчета нормируемых ГОСТом показателей качества электроэнергии. Методы и средства введения показателей качества электроэнергии в допустимые ГОСТ пределы.

#### 6. Переходные процессы в электроэнергетических системах

Причины, вызывающие переходные процессы в электроэнергетических системах (ЭЭС). Физическая природа переходных процессов в ЭЭС. Основные характеристики элементов ЭЭС и их математические модели, используемые при исследовании переходных процессов.

Виды возмущений, вызывающих переходные процессы в ЭЭС. Их отражение в схемах замещения ЭЭС, в том числе короткие замыкания (КЗ), сложные виды повреждений. Составление схем замещения для расчетов, применяемые допущения.

Практические методы расчета токов КЗ. Особенности расчета токов КЗ в электроустановках переменного и постоянного тока напряжением до 1000 В.

Общие уравнения, описывающие переходные процессы в электрических машинах. Преобразования координат.

Переходные процессы при КЗ в сетях, содержащих длинные линии, установки продольной компенсации, линейные, и нелинейные регулирующие элементы.

Современная теория устойчивости. Понятие о первом и втором (прямом) методах Ляпунова. Практические критерии статической устойчивости. Упрощенные критерии динамической и результирующей устойчивости в простейшей ЭЭС. Протекание процесса во времени при больших и малых возмущениях.

Исследование статической устойчивости простейшей нерегулируемой ЭЭС методом малых колебаний. Статическая устойчивость системы с регулируемым возбуждением.

Переходные процессы в узлах нагрузки при малых и больших возмущениях.

Характеристики многомашинной ЭЭС. Устойчивость нормальных режимов сложных систем. Изменение частоты и мощности в ЭЭС.

Динамическая устойчивость ЭЭС. Переходные процессы и устойчивость систем, объединенных слабыми связями. Асинхронные режимы, ресинхронизация и результирующая устойчивость.

Методические и нормативные указания по анализу переходных процессов и устойчивости ЭЭС. Мероприятия по улучшению устойчивости и качества переходных процессов в ЭЭС.

7. Релейная защита и автоматическое управление электроэнергетических систем

Повреждения и ненормальные режимы работы энергетических систем.

Задачи и алгоритмы управления энергетической системой и ее элементами. Программно-технические комплексы автоматических и автоматизированных систем управления. Иерархические структуры систем управления. Терминалы

релейной защиты и противоаварийной автоматики. Ближнее и дальнее резервирование. Работа при разных видах повреждений. Локальные и распределенные системы противоаварийной автоматики.

Комплексы сбора, передачи и отображения оперативной и аварийной информации. Первичные и вторичные измерительные преобразователи электрических величин. Цепи вторичной коммутации энергетических объектов. Каналы межобъектовой связи. Способы обеспечения помехоустойчивости, корректирующие коды. Протоколы передачи информации.

Способы и средства определения электромагнитной обстановки и обеспечения электромагнитной совместимости средств управления на электроэнергетических объектах. Критерии оценки и способы обеспечения надежности функционирования систем релейной защиты и средств противоаварийной автоматики. Системы оперативного тока.

Релейная защита синхронных генераторов, трансформаторов, двигателей, шин, воздушных и кабельных линий электропередачи с различными способами заземления нейтрали. Принципы построения и взаимодействие комплектов защиты.

Системы релейной защиты и противоаварийной автоматики с каналами связи.

Автоматические переключения в электроэнергетических системах (ввод резерва, повторное включение, частотная разгрузка, балансирующие отключения).

Автоматическое регулирование напряжения и распределение реактивной мощности. Регуляторы возбуждения и коэффициент трансформации.

Автоматическое регулирование частоты и распределение активной мощности. Регуляторы частоты вращения.

Методы и средства определения мест повреждений в сетях воздушных и кабельных линий электропередачи.

Системы сигнализации, регистрации и цифрового осциллографирования.

Моделирование функционирования и испытания устройств и систем управления.

8. Применение теории вероятностей, теории подобия и вычислительной техники к анализу режимов работы электростанций, сетей и систем

Случайные события и случайные величины в электроэнергетике, их применение в расчетах надежности схем электрических соединений. Применение математической статистики и методов обработки статистических данных по показателям надежности элементов, параметрам режимов, электрическим нагрузкам.

Понятия интегральных характеристик режимов и методы их расчета в сложных электроэнергетических системах. Интегральные критерии качества электроэнергии, их применение в практике эксплуатации электроэнергетических систем.

Случайные процессы при моделировании режимов и состояний в электроэнергетике. Понятие о простейшем стационарном процессе, моделирование процессов отказов и восстановлении элементов и схем в электроэнергетике.

Элементы теории массового обслуживания, метод статистических испытаний «Монте-Карло», их применение для решения энергетических задач.

Общий обзор проблемы моделирования, основы теории подобия. Полное и неполное подобие. Точность подобия. Практические критерии подобия различных явлений, изучаемых в технике. Подобие электрических цепей.

Кибернетическое моделирование. Приближенное моделирование. Методы обработки результатов экспериментов, планирование экспериментов.

Физическое и аналоговое моделирование процессов в электроэнергетических системах. Расчетные модели, аналоговые модели, физические или динамические модели электроэнергетических систем.

Расчеты режимов работы электростанций, сетей и систем с применением ЭВМ. Области применения и возможности ЭВМ при анализе режимов работы ЭЭС.

Основные алгоритмы расчетов режимов работы и устойчивости ЭЭС с применением ЭВМ. Применение алгоритмических языков.

9. АСУ и оптимизация режимов работы электроэнергетических систем  
Основные задачи АСУ энергосистем. Структуры систем автоматического управления ЭЭС и ее элементов.

Противоаварийное управление, его задачи и способы реализации. Основные задачи и способы диспетчерского управления.

Методы оптимизации режимов работы ЭЭС. Связь проблемы регулирования частоты с проблемой оптимального распределения нагрузок между электростанциями.

Проблемы межсистемных и межгосударственных связей в больших ЭЭС.

#### **Основная литература:**

1. Васильев А.А., Крючков И.П., Няшкова Е.Ф. Электрическая часть станций и подстанции / Под ред. А.А. Васильева. - М.: Энергоатомиздат, 1990.
2. Околович Н.М. Проектирование электрических станций. - М.: Энергоатомиздат, 1982.
3. Электрические системы. Электрические сети / Под ред. В.А. Веникова и В.А. Строева. - М.: Высш. шк., 1998.
4. Идельчик В.И. Электрические системы и сети. - М.: Энергоатомиздат, 1984.
5. Веников В.А., Рыжов Ю.П. Дальние электропередачи переменного и постоянного тока. - М.: Энергоатомиздат, 1985.
6. Ульянов С.А. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах. - М.: Энергия, 1970.
7. Веников В.А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах. - М.: Высш. шк., 1978.
8. Федосеев А.М. Релейная защита электроэнергетических систем. - М.: Энергоатомиздат, 1984.
- Овчаренко Н.И. Элементы автоматических устройств энергосистем. М.: Энергоатомиздат, 1995.
9. Алексеев О.П., Казанский В.Е., Козис В.Л. / Автоматика электроэнергетических систем. - М.: Энергоиздат, 1981.
10. Дьяков А.Ф., Овчаренко Н.И. Микропроцессорная релейная защита и автоматика электроэнергетических систем / Под ред. А.Ф. Дьякова. - М.: Изд-во МЭИ, 2000.

11. Веников А.В. Теория подобия и моделирования. М.: Высш. шк., 1976.
12. Электрические сети и системы. Математические задачи электроэнергетики. /Под ред. В.А. Веникова. - М.: Высш. шк., 1981.
13. Фокин Ю.А. Вероятностно-статистические методы в расчетах надежности систем электроснабжения. - М.: Энергоатомиздат, 1985.
14. Методы оптимизации режимов энергосистем / Под ред. В.М. Горнштейна. - М.: Энергоиздат, 1981.
15. Арзамасцев Д.А., Бартоломей П.И., Холян А.М. АСУ и оптимизация режимов энергосистем. - М.: Высш. шк., 1983.

#### **Дополнительная литература:**

- Неклепаев Б.Н. Электрическая часть электростанций и подстанций. М.: Энергоатомиздат, 1986.
1. Сыромятников И.А. Режимы работы асинхронных и синхронных двигателей / Под ред. Л.Г. Мамиконянца. М.: Энергоатомиздат, 1984.
  2. Эксплуатация турбогенераторов с непосредственным охлаждением. Под ред. Л.С. Линдорфа, Л.Г. Мамиконянца. - М.: Энергия, 1972.
  3. Лосев СБ., Чернин А.Б. Вычисление электрических величин в несимметричных режимах электрических систем. М.: Энергоатомиздат, 1983.
  4. Электроэнергетические системы в примерах и иллюстрациях. /Под ред. В.А. Веникова. - М.: Энергоатомиздат, 1983.
  5. Веников В.А., Идельчик В.И., Лисеев М.С. Регулирование напряжения в электроэнергетических системах. - М.: Энергоатомиздат, 1985.
  6. Дальние электропередачи в примерах / Г.К. Зарудский, Е.В. Путятин и др. - М.: Изд-во МЭИ, 1994.
  7. Баринов В.А., Совалов С.А. Режимы энергосистем: методы анализа и управления. - М.: Энергоатомиздат, 1990.
  8. Крючков И.П. Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах. - М.: Изд-во МЭИ, 2000.
  9. Ю.Жданов П.С. Вопросы устойчивости электрических систем. - М.: Энергия. 1979.
  10. Экспериментальные исследования режимов энергосистем / Под ред. С.А. Совалова. - М.: Энергоатомиздат, 1985.
  11. Портной М.Г., Рабинович Р.С. Управление энергосистемами для обеспечения устойчивости. М.: Энергия, 1975.
  12. Дьяков А.Ф., Платонов В.В. Основы проектирования релейной защиты электроэнергетических систем. - М.: Изд-во МЭИ, 2000.
  13. Алексеев О.П., Козис В.Л., Кривенков В.В. Автоматизация электроэнергетических систем. - М.: Энергоатомиздат, 1994.

14. Казанский В.Е. Измерительные преобразователи тока в релейной защите. - М.: Энергоатомиздат, 1988.

15. Чернобровое Н.В., Семенов В.А. Релейная защита энергетических систем. М.: Энергоатомиздат, 1998.

1. Щербачев О.В., Зейлигер А.Н., Кадомская К.П. Применение цифровых вычислительных машин в электроэнергетике / Под ред. О.В. Щербачева. Л.: Энергия, 1980.

## **Программа специальной дисциплины по кафедре ТОЭ**

### **1. Линейные электрические цепи синусоидального тока**

Синусоидальные ЭДС, напряжения и токи. Источники синусоидальных ЭДС и токов. Действующие и средние значения периодических ЭДС, напряжений и токов. Изображение синусоидальных функций времени комплексными числами. Векторные и топологические диаграммы. Синусоидальный ток в цепи с последовательным соединением участков  $R$ ,  $L$  и  $C$ . Комплексные сопротивления и проводимости. Законы Ома и Кирхгофа в комплексной форме. Комплексный метод анализа электрической цепи, мгновенная, активная, реактивная, комплексная и полная мощности. Расчет мощности по комплексам напряжения и тока. Понятие о компенсации реактивной мощности. Эквивалентные параметры сложной цепи переменного тока, рассматриваемой в целом как двухполюсник. Схемы замещения двухполюсника при заданной частоте. Треугольники токов, напряжений, сопротивлений, проводимостей и мощностей. Схемы замещения и параметры конденсатора и катушки. ЭДС само- и взаимной индукции. Индуктивно-связанные элементы электрической цепи. Расчет цепи при наличии индуктивно-связанных элементов, магнитная развязка. Трансформатор с линейными характеристиками. Идеальный трансформатор. Баланс мощностей в цепи синусоидального тока. Явление резонанса в цепях при последовательном и параллельном соединении элементов  $R$ ,  $L$  и  $C$ . 4. Линейные электрические цепи несинусоидального тока.

### **2. Линейные электрические цепи несинусоидального тока.**

Несинусоидальные периодические ЭДС, токи и напряжения, разложение описывающих их функций в ряды Фурье. Понятие гармоник. Комплексное представление ряда Фурье. Максимальные, действующие и средние значения, коэффициенты формы, амплитуды, искажения несинусоидальных ЭДС, токов и напряжений. Расчет цепей с несинусоидальными периодическими ЭДС,

напряжениями и токами. Мощности в цепях несинусоидального тока.

### **3. Трехфазные цепи**

Многофазные цепи и системы и их классификация. Фазные и линейные токи и напряжения. Трехфазные источники энергии и нагрузки, вращающееся магнитное поле и принцип действия асинхронного и синхронного двигателей. Расчеты и векторные диаграммы трехфазных цепей в симметричных и несимметричных режимах. Эквивалентные схемы трехфазных линий. Мощности в трехфазных цепях.

### **4. Высшие гармоники и симметричные составляющие ЭДС, токов и напряжений трехфазных цепей**

Высшие гармоники и действующие значения фазных и линейных токов и напряжений. Разложение несимметричных систем трехфазных ЭДС, токов и напряжений на симметричные составляющие. Сопротивления симметричной цепи для токов различных последовательностей. Расчет трехфазной цепи методом симметричных составляющих.

### **5. Переходные процессы в линейных цепях**

Понятие о переходном процессе и коммутациях в цепях. Законы коммутации. Классический метод расчета переходных процессов. Собственные частоты и постоянная времени цепи. Свободные и принужденные, переходящие и установившиеся составляющие переходных токов и напряжений. Переходные процессы в цепях с одним накопителем энергии. Переходные процессы в последовательной RLC-цепи при ее подключении под постоянное и синусоидальное напряжение. Особенности переходных процессов в RLC-цепях с жесткими уравнениями. Переходные процессы при мгновенном изменении параметров участков цепи. Операторный метод расчета электрической цепи.

#### **Основная литература:**

1. Теоретические основы электротехники /К.С.Демирчян, Л.Р.Нейман, Н.В.Коровкин. Т.1-2, - СПб, 2009.
2. Л.Р.Нейман, К.С.Демирчян. Теоретические основы электротехники. Т.1,2 Л.: Энергоиздат, 1981.

3. Основы теории цепей. /Г.В.Зевеке, П.А.Ионкин, А.В.Нетушил, С.В.Страхов. - М.: Высшая школа, 1989.
4. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. - М.: Гардарики, 2008.
5. Сборник задач по теоретическим основам электротехники в 2-х томах / Под редакцией П.А.Бутырина. - М.: издательство МЭИ, 2012.
6. Сиберт У.М. Цепи, сигналы, системы: В 2-х ч. Ч. 1. - М.: Мир - 1988 -336 с.
7. Сиберт У.М. Цепи, сигналы, системы: В 2-х ч. Ч. 2. - М.: Мир - 1988 -360 с.
8. Шакиров М.А. Теоретические основы электротехники. Новые идеи и принципы. Схемоанализ и диакоптика. - СПб.: Издательство СПбГТУ, 2001.
9. Giorgio Rizzoni Fundamentals of Electrical Engineering - NY.: McGraw-Hill Higher Education, 2008

#### **Дополнительная литература:**

1. Демирчян К.С., Бутырин П.А. Моделирование и машинный расчет электрических цепей. - М.: Высшая школа, 1988.
2. Нелинейные системы. Частотные и матричные неравенства/А.Х. Гелига, Г.А. Леонова, А.Л. Фрадкова - М.: Физматлит, 2010, - 608 с.
3. Massimiliano Di Ventra Electrical Transport in Nanoscale Systems - L.: Oxford university press, 2008.
4. Барыбин А.А. Электродинамика волноведущих структур. Теория возбуждения и связи волн - М.: Физматлит, 2007, - 512 с.
5. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии - М.: Физматлит, 2009, - 286 с.

«Согласовано»  
Директор ИЭЭ  
к.т.н., доцент

Тульский В.Н.