

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский государственный технический университет»

“УТВЕРЖДАЮ”

Начальник ОПКВК

В.П. Драгунов



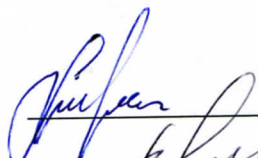
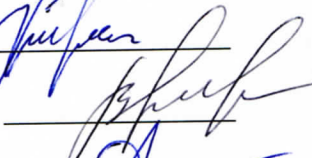
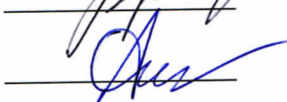
16 февраля 2017 г.

ПРОГРАММА-МИНИМУМ
кандидатского экзамена по специальности
05.14.12 «Техника высоких напряжений»
по техническим наукам

Новосибирск
2017

Программа обсуждена на заседании ученого совета факультета энергетики
протокол № 6 от "16" 02 2017 г.

Программу разработали
заведующий кафедрой ТЭВН,
к.т.н, с.н.с.
д.т.н., профессор
д.т.н., профессор



Лавров Ю.А.

Качесов В.Е.

Овсянников А.Г.

Декан ФЭН,
к.т.н., доцент


Чернов С.С..

Ответственный за основную
образовательную программу

д.т.н., профессор


Качесов В.Е.

ПРОГРАММА-МИНИМУМ
кандидатского экзамена по специальности
05.14.12 «Техника высоких напряжений»
по техническим наукам

Введение

В основу данной программы положены дисциплины направлений «Электроэнергетика» и «Высоковольтные электроэнергетика и электротехника», связанные с особенностями анализа электрофизических процессов в газах, жидкостях и твердых диэлектриках; синтезом и техническим использованием высоковольтных изоляционных изделий; конструирования испытательных установок высокого напряжения; ограничения внутренних перенапряжений и перенапряжений атмосферного происхождения, воздействующих на изоляцию электрооборудования высокого напряжения; электромагнитной совместимости в электроэнергетике; применения высоких напряжений в технологии; эксплуатации и диагностики электрооборудования высокого напряжения.

Программа разработана экспертным советом Высшей аттестационной комиссии Министерства образования Российской Федерации по энергетике, электрификации и энергетическому машиностроению при участии Московского энергетического института (технического университета) и НГТУ.

1. Электрический разряд в газах

Элементарные процессы в газах. Автоэлектронная и фотоэлектронная эмиссия. Движение заряженных частиц в газе при наличии электрического поля. Возбуждение и ионизация атомов и молекул. Сечение столкновения, длина пробега. Термическая ионизация. Фотоионизация. Ударная ионизация. Образование и развал отрицательных ионов. Рекомбинация. Диффузия.

Основы физики плазмы. Квазинейтральность. Дебаевский радиус. Равновесная и неравновесная плазма. Электропроводность плазмы.

Развитие электрического разряда в газах. Лавина электронов. Коэффициент Таунсенда. Условие самостоятельности разряда. Разряд в однородном поле. Законы Пашена и подобия. Разряд в сильно неоднородном поле. Лавинная, стримерная, лидерная формы разряда. Развитие разряда в длинных воздушных промежутках. Зависимость пробивного напряжения от типа воздействующего напряжения, длины промежутка, степени неоднородности электрического поля, параметров окружающей среды. Разброс пробивных напряжений.

Коронный разряд при различных видах воздействующего напряжения. Начальные напряженность и напряжение. Распределение поля при униполярном коронном разряде. Потери на корону при переменном напряжении.

Развитие разряда при импульсных напряжениях. Время разряда. Вольт-секундные характеристики.

Разряд в газе по поверхности твердого диэлектрика. Влияние расположения диэлектрика в промежутке. Стримерный и скользящий разряды по поверхности диэлектрика. Разряд по загрязненной и увлажненной поверхности.

Разряд в газе при повышенном и пониженном давлениях. Высокопрочные и электроотрицательные газы. Механизм пробоя в элегазовой и вакуумной изоляции.

2. Электрический пробой жидких диэлектриков

Электропроводность жидкостей в сильных электрических полях. Ионная и электрофоретическая электропроводность. Подвижность носителей зарядов. Диссоциация в сильном электрическом поле. Двойной электрический слой. Электродинамическая подвижность носителей заряда. Проводимость электролитов.

Явления в разрядных промежутках. Предразрядные процессы в жидкости при постоянном, переменном, и импульсном напряжениях. Распределение поля в промежутке и зажигание разряда. Разрушение электродов и перенос материала электродов. Влияние примесей материала электродов, давления и температуры жидкостей на их электрическую прочность.

Протекание импульсного разряда в жидкостях. Динамика разряда. Параметры лидерного канала. Канальная стадия разряда.

Пробой жидких диэлектриков на переменном напряжении. Пробой жидких диэлектриков, содержащих жидкие и твёрдые примеси. Пробой тщательно очищенных и дегазированных жидкостей диэлектриков.

Электрическая прочность жидких диэлектриков. Зависимость электрической прочности жидких диэлектриков от внешних факторов и параметров импульса напряжения. Зависимость электрической прочности от геометрии разрядного промежутка. Напряжение перекрытия твёрдых диэлектриков в жидкости.

3. Электрический пробой твердых диэлектриков

Теория теплового пробоя. Протекание теплового пробоя во времени. Экспериментальные данные о тепловом пробое.

Теории электрического пробоя твёрдых диэлектриков. Экспериментальные данные об электрическом пробое твёрдых органических диэлектриков. Пробой в однородном поле. Зависимость напряжения пробоя от толщины диэлектрика, его температуры. Время развития электрического пробоя твёрдых диэлектриков.

Электрический пробой твёрдых диэлектриков в неоднородном поле. Зависимость пробоя от неоднородности, краевых эффектов, толщины диэлектрика и времени.

Скользкий разряд по поверхности твердых диэлектриков в жидкостях.

Пробой макроскопически неоднородных твёрдых диэлектриков. Частичные разряды в газовых включениях. Влияние неоднородностей. Старение изоляции.

4. Волновые процессы в воздушных и кабельных линиях электропередачи

Распространение волн в однопроводной и многопроводной линиях. Обобщённые волны. Преломление и отражение волн. Обобщённое правило эквивалентной волны для многопроводных линий. Искажение волн из-за поверхностного эффекта в проводах ВЛ и земле, в металлических элементах кабеля (жиле и экране). Влияние коронирования проводов ВЛ на волновые процессы.

5. Внутренние перенапряжения в электрических сетях и их ограничения

Основные виды коммутационных перенапряжений и средства защиты от них.

Режимы заземления нейтрали. Сети с изолированной нейтралью; нейтралью, заземлённой через дугогасящий реактор (ДГР), высокоомный (низкоомный) резистор

или с эффективным заземлением нейтрали. Внутренние перенапряжения в электрических сетях при различных способах заземления нейтрали.

Процессы при неустойчивом горении дуги в режиме однофазного дугового замыкания, феррорезонансные процессы, обусловленные насыщением магнитопроводов трансформаторов напряжения. Антирезонансные трансформаторы напряжения.

Перенапряжения при отключении холостых трансформаторов. Перенапряжения при коммутациях вакуумных и элегазовых выключателей.

Квазистационарные перенапряжения в сетях с эффективным заземлением нейтрали. Вынужденные составляющие напряжения. Влияние емкостного эффекта, насыщения стали трансформаторов и подключенных реакторов на напряжение промышленной частоты. Перенапряжения при несимметричных коротких замыканиях.

Особенности защиты от перенапряжений в электропередачах с продольной и поперечной компенсацией и в настроенных электропередачах.

Перенапряжения при ликвидации коротких замыканий на воздушной линии (ВЛ) электропередачи: отключение первого по очереди выключателя (в том числе при асинхронном ходе), отключение ненагруженной линии, включение ВЛ в ИКлах трёхфазного или однофазного автоматического повторного включения (ТАПВ или ОАПВ). Перенапряжения при отключении холостых трансформаторов.

Ограничение внутренних перенапряжений: схемно-режимные мероприятия, меры релейной защиты и системной автоматики, программированное и управляемое включение и отключение ВЛ, аппаратные меры защиты (нелинейные ограничители перенапряжений, шунтирующие сопротивления в выключателях).

Статистические характеристики коммутационных перенапряжений. Характерные формы импульсов перенапряжений, воздействующих на изоляцию ВЛ и изоляцию подстанционного оборудования.

Переходные восстанавливающиеся перенапряжения (ПВН) на контактах линейных выключателей. Собственные переходные восстанавливающиеся напряжения (СПВН). Меры по снижению начальной скорости СПВН. Процессы ПВН на контактах выключателей при неудалённых коротких замыканиях (КЗ). Нормируемые ГОСТ СПВН.

Переходные восстанавливающиеся напряжения на контактах генераторных выключателей блоков электрических станций. Аналитическая методика расчёта. Эквивалентные схемы замещения при КЗ в разных точках блока (на стороне высшего и низшего напряжения трансформатора, на участке сети между генератором и генераторным выключателем). Характеристики процессов при отключении генераторного выключателя в схемах ТЭС и ГЭС. Меры ограничения частот собственных колебаний ПВН.

6. Перенапряжения атмосферного происхождения и защита от них

Электричество атмосферы. Электрические характеристики различных типов облаков. Механизмы электризации частиц в облаках. Теория грозы.

Характеристики грозовой деятельности. Избирательная грозопоражаемость. Интенсивность грозовой деятельности и её характеристики. Параметры разрядов молнии и их статические характеристики. Волновое сопротивление канала молнии.

Грозовые перенапряжения на изоляции воздушных линий электропередачи. Индуктированные перенапряжения и перенапряжения при прямых ударах молнии. Методика оценки грозоупорности воздушных линий при прямых ударах молнии. Удар мол-

нии в линию без тросов. Удар молнии в линию, оснащенную тросами. Линии на металлических и деревянных опорах, особенности грозозащиты. Грозозащита высоких воздушных переходов.

Повышение грозоупорности ВЛ с использованием защитных аппаратов, установленных на опорах ВЛ, их эффективность и особенности эксплуатации. Применение длинноискровых разрядников и разрядников с мультикамерными системами для повышения грозоупорности ВЛ среднего и высокого напряжения.

Основные принципы молниезащиты воздушных линий электропередачи.

Грозозащита открытых распределительных устройств (подстанций) от прямых ударов молнии и от волн, набегающих с воздушных линий. Установка молниеотводов на подстанциях. Зоны защиты молниеотводов. Защитный подход. Методика оценки грозоупорности подстанций. Средства защиты и допустимое число отключений в год. Нелинейные ограничители перенапряжений (ОПН), устанавливаемые на подстанциях и их зоны защиты. Основные отличия в параметрах ОПН, установленных на подстанциях и опорах ВЛ. Показатель грозоупорности подстанций. Особенности грозозащиты подстанций с кабельными перемычками.

Грозозащита генераторов, эксплуатируемых в блоках электрических станций. Грозозащита вращающихся машин, непосредственно связанных с ВЛ. Схемы грозозащиты вращающихся машин и их сравнительная эффективность.

Защита кабельных линий от перенапряжений атмосферного происхождения.

Волновые процессы в обмотках трансформаторов, автотрансформаторов и реакторов, их молниезащита.

7. Изоляционные конструкции высокого напряжения

Технико-экономическая координация изоляции электрооборудования высокого напряжения.

Изоляция воздушных линий электропередачи. Разрядные характеристики линейных изоляторов и гирлянд при напряжении промышленной частоты, коммутационных и грозовых импульсах напряжения. Выбор типа и числа изоляторов в гирлянде. Особенности эксплуатации линейной изоляции на основе полимерных стержневых изоляторов и изолирующих траверс.

Воздушные промежутки в изоляции линий, регулирование электрических полей, применение расщепленных проводов. Разрядные характеристики типовых воздушных промежутков с учетом влияющих факторов. Методика выбора воздушных промежутков.

Внешняя изоляция распределительных устройств. Методика выбора и способы повышения надежности работы изоляции.

Разрядные характеристики промежутков, характерных для закрытых распределительных устройств с элегазовой изоляцией при различных формах воздействующего напряжения и давления. Влияние качества обработки электродов, наличия твердых частиц. Выбор изоляционных расстояний с учетом электрической прочности распорок.

Электрическая прочность внутренней изоляции. Кратковременная электрическая прочность внутренней изоляции. Длительная электрическая прочность внутренней изоляции. Основные факторы, определяющие старение изоляции в процессе эксплуатации. Электрическое старение, частичные разряды в изоляции. Начальные и критиче-

ские частичные разряды в бумажно-масляной изоляции. Особенности частичных разрядов в твердой изоляции на основе полимерных материалов (пластмасс).

Тепловое старение и окисление изоляции. Зависимость скорости теплового старения от температуры. Зависимость электрической прочности изоляции от увлажнения.

Ресурс изоляции. Обобщенные зависимости срока службы от напряженности и температуры, влияние интенсивности частичных разрядов. Методика выбора рабочей напряженности изоляционных конструкций высокого напряжения..

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.

Основы теплового расчета изоляционных конструкций. Тепловой пробой.

Кратковременная и длительная электрическая прочность основных видов внутренней изоляции (бумажно-масляной, маслобарьерной, твердой, элегазовой, вакуумной).

Изоляция силовых трансформаторов: структура изоляции, условия эксплуатации, основные элементы конструкции. Кратковременная электрическая прочность маслобарьерной изоляции. Частичные разряды в силовых трансформаторах. Допустимые рабочие и испытательные напряженности в маслобарьерной изоляции. Расчеты главной и продольной изоляции. Изоляция вводов. Трансформаторы с твердой изоляцией.

Изоляция силовых кабелей высокого напряжения и кабельной арматуры (кабели с бумажно-пропитанной изоляцией, маслонаполненные кабели, кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена).

Газоизолированные линии, особенности их конструкции и эксплуатации.

Элегазовые изоляционные конструкции электрооборудования энергосистем: комплектных распределительных устройств, измерительных трансформаторов, выключателей. Особенности их конструкции, преимущества и недостатки.

Изоляция силовых конденсаторов промышленной частоты и импульсных конденсаторов. Кратковременная и длительная электрическая прочность конденсаторной изоляции.

Изоляция вращающихся машин. Кратковременная и длительная электрическая прочность. Допустимые рабочие и испытательные напряженности электрического поля.

Изоляция высоковольтных вводов (бумажно-масляная, RIP-изоляция). Конструкция и расчет проходных изоляторов.

Изоляция трансформаторов тока и напряжения.

8. Эксплуатация, координация изоляции, диагностика технического состояния изоляции и испытания электрооборудования высокого напряжения

Методы испытания изоляционных конструкций повышенным напряжением промышленной частоты и импульсами.

Измерения тангенса угла диэлектрических потерь. Методы измерения. Характерные зависимости от напряжения.

Методы измерения характеристик частичных разрядов. Измерения характеристик частичных разрядов при рабочем напряжении в условиях эксплуатации.

Контроль состояния изоляции по сопротивлению и по токам абсорбции. Емкостные методы контроля влажности изоляции.

Неэлектрические методы контроля состояния изоляции. Анализ качества минерального масла. Хроматографический анализ газов. Ультразвуковая дефектоскопия. Тепловизионный контроль.

Дефектоскопия линейной изоляции.

Организация диагностики изоляции во время эксплуатации.

Испытательные установки высокого переменного напряжения. Испытательные трансформаторы. Резонансные способы получения испытательных высоких напряжений промышленной частоты.

Устройства для получения высоких постоянных напряжений. Методы и устройства для получения высоких импульсных напряжений. Методы получения грозовых и коммутационных испытательных импульсов.

Принцип координации уровня изоляции электрооборудования, изоляции ВЛ и КЛ с воздействующими перенапряжениями и характеристиками защитных устройств. Приведение изоляции к «норме».

Выбор уровней и форм испытательных напряжений. Логика формирования требований ГОСТ 1516.1-76, ГОСТ 1516.2-97, ГОСТ 1516.3-96 и рекомендаций МЭК-72 к электрической прочности изоляции электрооборудования.

Испытания электрооборудования высоким напряжением.

Методы испытания изоляции повышенным напряжением. Рекомендации МЭК и требования ГОСТ к проведению испытаний переменным, постоянным и импульсным напряжением.

Методы экспериментального определения статистических характеристик электрической прочности внешней изоляции (ступенчатый, «вверх-вниз», расширенный «вверх-вниз», 100%-го разряда).

Требования к пропускной способности по току нелинейных варисторов ОПН.

Методы и схемы для испытания высоковольтных выключателей на отключающую способность: сетевые испытания, ударные генераторы, контур Горева, синтетические испытательные схемы.

Экспертные системы диагностики фактического технического состояния изоляционной системы электрооборудования высокого напряжения.

9. Техника эксперимента на высоком напряжении

Рекомендации МЭК и требования ГОСТ 17512 к проведению измерений высоких напряжений (ВН) и импульсных токов.

Измерительная система ВН как передающее звено, основные характеристики. Методологическая аттестация рабочих мест измерительных систем. Образцовые измерительные системы.

Методы и устройства измерения высоких постоянных и переменных напряжений. Шаровой разрядник, электростатический вольтметр, трансформаторы напряжения и др.

Устройства для измерения напряженности электрического поля.

Установки для испытания изоляции повышенным напряжением промышленной частоты. Каскадные схемы трансформаторов. Установки резонансного типа.

Испытательные установки постоянного и выпрямленного напряжения. Каскадные генераторы. Электростатические генераторы.

Импульсные испытательные установки. Основные соотношения в разрядных контурах емкостных накопителей энергии. Классические и модифицированные схемы генератора импульсных напряжений (ГИН) для получения грозовых и коммутационных испытательных импульсов. Использование испытательных трансформаторов для получения коммутационных импульсов. Особенности импульсных испытаний изоляции силовых трансформаторов и реакторов.

Измерение ВН при помощи делителей напряжения. Типы делителей, основные проблемы при измерении напряжений различной формы. Способы коррекции частотных характеристик измерительной системы, приёмы согласования с регистрирующей аппаратурой.

Установки для получения импульсных токов (генератор импульсных токов - ГИТ). Измерение импульсных токов. Конструкции и характеристики безиндуктивных шунтов. Трансформатор Роговского.

Применение электрооптических и магнитооптических эффектов для измерения ВН, токов, напряжённости электрического поля.

Проблема электромагнитной совместимости испытательных установок высокого напряжения и регистрирующей аппаратуры. Происхождение электромагнитных помех в измерительном тракте и методы защиты.

10. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике

Влияние электрических и магнитных полей электрооборудования высокого напряжения на вторичные цепи (релейной защиты и автоматики, измерительные и сигнальные тракты).

Влияние электрических и магнитных полей каналов передачи электроэнергии различного конструктивного исполнения, а также электрооборудования высокого напряжения на биосферу (человека и ихтиофауну). Меры по снижению антропогенного влияния электрических и магнитных полей на биосферу.

11. Применение высоких напряжений в технологии

Направления применения высоких напряжений в технологических процессах. Технологические процессы, основанные на силовом действии электрических полей на материалы. Зарядка частиц. Силы, действующие на частицы в электрических полях. Движение заряженных частиц. Коллективные процессы в заряженном аэрозоле. Применение коронного разряда. Очистка газов от частиц в электрофилтрах. Нанесение покрытий в электрическом поле. Электросепарация. Электропечать. Нейтрализация зарядов статического электричества. Обезвоживание нефтепродуктов. Электропечать. Плазмохимические реакции в газовом разряде.

Электрогидродинамические и магнитно-импульсные технологии.

12. Список литературы

Основной список

1. Электрофизические основы техники высоких напряжений: учеб. для вузов/ Бортник И.М. и др.; под общ. ред. Верещагина И.П.- 2-ое изд., перераб. и доп. - М.: Издательский дом МЭИ, 2010. – 704 с.
2. Куффель Е., Цаенгль В., Куффель Дж. Техника и электрофизика высоких напряжений.

- Пер. с англ.: Учебно-справочное руководство.- Долгопрудный: Издательский дом «Интеллект», 2011.- 520 с.
3. Техника высоких напряжений: Учебник для вузов/ Богатенков И.М., Бочаров Ю.Н., Гумерова Н.И., Иманов Г.М. и др.; Под ред. Кучинского Г.С.. – СПб.: Энергоатомиздат. Санкт-Петербургское отделение, 2003. – 608 с.
 4. Кадомская К.П., Лавров Ю.А., Рейхердт А.А. Перенапряжения в электрических сетях различного назначения и защита от них: Учебник.- Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004.- 368 с.
 5. Электрооборудование высокого напряжения нового поколения. Основные характеристики и электромагнитные процессы: монография/ Кадомская К.П., Лавров Ю.А., Лаптев О.И..- Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2008.- 343 с. (Серия «Монографии НГТУ»)
 6. Электромагнитная совместимость воздушных, подземных и подводных линий электропередачи высокого напряжения с биосферой и окружающей средой: монография/ Кадомская К.П., Кандаков С.А., Лавров Ю.А., Шевченко С.С..- Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2007.- 119 с. («Монография НГТУ»).
 7. Евдокунин Г.А., Титенков С.С. Резистивное заземление нейтрали сетей 6-10 кВ.- СПб: Изд-во «Терция», 2009.- 264 с.
 8. Гефле О.С., Лебедев С.М., Похолков Ю.П. Барьерный эффект в диэлектриках.- Томск: Изд-во «ТМЛ-Пресс», 2007.- 172 с.
 9. Коробейников С.М. Электрофизические процессы в газообразных, жидких и твердых диэлектриках. Процессы в жидкостях: учеб. пособие.- Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2010.- 116с
 10. Ушаков В.Я., Клишкин В.Ф., Коробейников С.М., Лопатин В.В. Пробой жидкостей при импульсном напряжении/ Под ред. проф. Якушева В.Я.- Томск: Изд-во НТЛ, 2005.- 488с.
 11. Михеев Г.М. Цифровая диагностика высоковольтного электрооборудования.- М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2008.- 210 с.
 12. Ящура А.И. Система технического обслуживания и ремонта энергетического оборудования. Справочник.- М.: ЭНАС, 2008.- 310 с.
 13. Красник В.В. Эксплуатация подстанций и распределительных устройств. Производственно-практическое издание.- М.: ЭНАС, 2011.- 205 с.
 14. Арбузов Р.С., Овсянников А.Г. Современные методы диагностики воздушных линий электропередачи.- Новосибирск: Наука, 2009.- 136 с.
 15. Овсянников А.Г., Борисов Р.К. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике: учебник.- Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2010.- 196 с.
 16. Пак В.М., Трубочев С.Г. Новые материалы и системы изоляции высоковольтных электрических машин/ Под ред. Пака В.М.- М.: Энергоатомиздат, 2007.- 416 с.
 17. Силовые трансформаторы. Справочная книга/ Под ред. Лизунова С.Д., Лоханина А.К. - М.: Энергоиздат, 2004.- 616 с.
 18. Основы кабельной техники: учебник для студ. Вузов/под ред. Пешкова И.Б..- М.: Издательский центр «Академия», 2006.- 432 с.
 19. Руководство по защите электрических сетей 6-1150 кВ от грозových и внутренних перенапряжений/ Под научной редакцией Тиходеева Н.Н.- 2-ое издание.- СПб: ПЭИПК Минтопэнерго РФ, 1999.- 353 с.
 20. Хаушильд В., Мош В. Статистика для электротехников в приложении к технике высоких напряжений/ Пер. с нем. - Л.: Энергоатомиздат, 1989.- 312 с.
 21. ГОСТ 1516.3-96 Электрооборудование переменного тока на напряжение от 1 до 750 кВ. Требования к электрической прочности изоляции.- М.: ИПК Изд-во стандартов, 1998.- 50с
 22. Хабигер Э. Электромагнитная совместимость. Основы ее обеспечения в технике. /Пер. с нем. Кужекина И.П., под ред. Максимова Б.К.- М.: Энергоатомиздат, 1995.- 292 с.
 23. Кац Е.Л., Меньшов Б.Г., Целебровский Ю.В. Заземляющие устройства электроустановок высокого и низкого напряжений, сер. «Электрические станции и сети» (итоги науки и техники).- М.: ВИНТИ, №15, 1989. – 160 с.
 24. Шваб А. Измерения на высоком напряжении.- М.: Энергоатомиздат, 1983.- 182 с.
 25. Кучинский Г.С. Частичные разряды в высоковольтных конструкциях. Л.: Энергия,

1979.- 224 с.

26. Сви П.М. Методы и средства диагностики оборудования высокого напряжения. М.: Энергоатомиздат.- 1992

27. Современные статьи в научных и научно-информационных периодических изданиях, материалы интернет пользования по вопросам высоковольтной электроэнергетики и электротехники.

Дополнительный список

1. Электрофизические основы техники высоких напряжений: Учеб. пос. для вузов/ Бортник И.М., Верещагин И.П., Вершинин Ю.Н. и др.; Под ред. Верещагина И.П., Ларионова В.П.- М.: Энергоатомиздат, 1993

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

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

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

5. Технология и оборудование для нанесения полимерных покрытий в электрическом поле/ Верещагин И.П., Котлярский Л.Б., Морозов В.С. и др. – М.: Энергоатомиздат, 1990

6. Ограничители перенапряжений в электроустановках 6-750 кВ/ Аронов М.А., Аношин О.А., Кондратов О.И. и др.- М.: Знак, 2001

7. Современные статьи в отечественных и зарубежных научных и научно-информационных периодических изданиях, материалы интернет-портала по вопросам высоковольтной электроэнергетики и электротехники.

12. Правила аттестации

Оценка знаний осуществляется в ходе экзамена, проводимого в устной форме по вопросам, касающимся представляемого реферата по тематике, близкой к теме диссертационных исследований; по 4-м вопросам из соответствующих разделов представленной выше основной и 2-3-х вопросов дополнительной программ.

По результатам ответов на вопросы экзаменуемый может получить следующие оценки:

- «**отлично**», если на все вопросы даны исчерпывающие правильные ответы;
- «**хорошо**», если ответы на вопросы правильные, но недостаточно полные (например, раскрыта суть рассматриваемой проблемы, но не приведены примеры); в то же время на дополнительные вопросы членов комиссии экзаменуемый дал правильные и полные ответы;
- «**удовлетворительно**», если лишь на половину вопросов даны исчерпывающие и правильные ответы;
- «**неудовлетворительно**», если на большую часть вопросов даны неправильные ответы.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ПРОГРАММА
кандидатского экзамена по специальности
05.14.12 «Техника высоких напряжений»
по техническим наукам

Введение

Настоящая программа является логическим дополнением к программе-минимум кандидатского экзамена, в которой дополнительно рассматриваются вопросы по специальности «Техника высоких напряжений», более глубоко затрагивающие проблематику моделирования электромагнитных переходных процессов в элементах электрических систем, расчета и регулирования электрических полей в электроустановках высокого напряжения, а также диагностики технического состояния изоляционной системы высоковольтного электрооборудования.

1. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах и их элементах

1.1 Математическое моделирование электромагнитных переходных процессов (ЭМПП).

Моделирование ЭМПП в сложных цепочечных схемах и в схемах при учете распределённости параметров длинных линий.

Применение модальных каналов при моделировании процессов в многопроводных линиях.

Моделирование ЭМПП в кабельных линиях.

Моделирование ЭМПП в обмотках генераторов и трансформаторов.

1.2 ЭМПП в воздушных линиях.

Распространение волн в многопроводных системах с учетом частотно-зависимых параметров провод и земли и нелинейных характеристик, обусловленных коронированием проводов.

Особенности защиты от перенапряжений одноцепных и двухцепных ВЛ с сильными электростатическими и электромагнитными связями между фазами.

Процессы во время бестоковой паузы ОАПВ (стационарные переходные).

1.3 ЭМПП в кабельных линиях.

Распространение волн по коаксиальной системе кабеля одножильного исполнения при учете активных сопротивлений жилы, экрана и земли, зависящих от частоты.

Влияние соседних кабелей, проложенных в земле, на распространение волн по коаксиальной системе.

Процессы в кабельных линиях, выполненных из трех одножильных кабелей с применением транспозиции жил и экранов.

Параметры и волновые процессы в кабелях трехжильного исполнения.

Особенности распространения прямоугольных импульсов конечной длительности (микро и наносекундных) по каналам коаксиальной системы кабеля одножильного исполнения.

Передача диагностических импульсов по силовым кабелям и принципы обнаружения дефектов (мест нарушения однородности канала) при использовании импульсного метода диагностики.

1.4 ЭМПП, сопровождающие отключение выключателей и разъединителей.

Процессы на контактах линейных выключателей.

Процессы на контактах генераторных выключателей с различными системами дугогашения (воздушных с тиристорными блоками, вакуумных, элегазовых).

Процессы при коммутациях разъединителей.

1.5 ЭМПП в сетях генераторного напряжения блоков электрических станций.

Влияние режима заземления нейтрали генераторов на внутренние перенапряжения в цепях генераторного напряжения.

Перенапряжения при отключении токов короткого замыкания.

Перенапряжения при осуществлении процесса синхронизации крупных блоков.

Особенности развития перенапряжений при дуговых замыканиях на землю.

Грозовые перенапряжения в сети генераторного перенапряжения и защита от них.

1.6 Перенапряжения в сетях собственных нужд (СН) электрических станций.

Режимы заземления нейтрали СН.

Перенапряжения при включении и отключении двигателей и защита от них.

Особенности протекания ЭМПП при коммутации двигателей масляными, элегазовыми и вакуумными выключателями. (Характеристики вакуумной камеры, определяющие степень эскалации перенапряжений. Характеристики привода. Разброс в срабатывании полюсов при включении. Влияние характеристик присоединения с двигателем на эскалацию перенапряжений. Меры, позволяющие ликвидировать эскалацию перенапряжений или ограничить перенапряжения при их эскалации.)

Перенапряжения, зона действия которых охватывает все электрооборудование СН, и защита от них.

Особенности выбора ОПН в сетях СН при оснащении защитным аппаратом каждого присоединения с двигателем.

2. Электрические поля и регулирование распределения напряженности поля

2.1 Уравнения электростатики. Граничные условия. Аналитические методы расчета напряженности поля (разделения переменных, изображений, эквивалентных зарядов, конформных отображений). Численные методы расчета напряженности электростатического поля (конечных разностей, конечных элементов, интегральных уравнений).

2.2 Распределение напряженности электрического поля (ЭП) в простейших изоляционных промежутках (шар-плоскость, стержень-плоскость, кабель с однородной и градирированной изоляцией, одиночный и расщепленный провод над землей, три провода горизонтально расположенных над землей).

2.3 Поля в однородных изотропных средах. Поля в комбинированных изоляционных системах из изотропных материалов.

3. Методы контроля изоляции при эксплуатации электрооборудования высокого напряжения

3.1 Современная нормативная база по контролю технического состояния изоляции электрооборудования высокого напряжения (ЭОВН).

Взаимная связь между документами, структура документов.

3.2 Контроль (диагностика) изоляции маслонаполненного оборудования.

3.2.1 Нормирование характеристик масла. Электрическая прочность, содержание влаги, температурная зависимость диэлектрических потерь, концентрации механических примесей, кислотное число, температуры вспышки и др. Предельные концентрации растворенных в масле газов и фурановых соединений, диагноз повреждений по результатам анализа масла.

3.2.2 Контроль (диагностика) бумажной изоляции: влагосодержание, степень полимеризации.

3.2.3 Основные характеристики частичных разрядов. Схемы и особенности регистрации ЧР в трансформаторном оборудовании.

3.2.4 Физические основы поляризации и абсорбционные характеристики изоляции. Схемы замещения, расчетные зависимости токов поляризации и деполяризации, возвратного напряжения.

3.3 Диагностика изоляции кабелей из сшитого полиэтилена.

3.4 Диагностика изоляции линейных полимерных изоляторов на ВЛ.

3.5 Определение мест повреждений в воздушных и кабельных линиях электропередачи.

3.6 Физические основы термовидения. Тепловизоры и пирометры. Нормы тепловизионного контроля ЭОВН.

4. Список литературы

Основной список

1. Электрофизические основы техники высоких напряжений: учеб. для вузов/И.М.Бортник и др.; под общ. ред.И.П. Верещагина.- 2-ое изд., перераб. и доп. - М.: Издательский дом МЭИ, 2010. – 704 с.

2. Техника высоких напряжений: Учебник для вузов/ И.М. Богатенков, Ю.Н. Бочаров, Н.И. Гумерова, Г.М. Иманов и др.; Под ред. Г.С. Кучинского. – СПб.: Энергоатомиздат. Санкт-Петербургское отд-ние, 2003. – 608 с.

3. Кадомская К.П., Лавров Ю.А., Рейхердт А.А. Перенапряжения в электрических сетях различного назначения и защита от них: Учебник.- Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004.- 368 с.

4. Электрооборудование высокого напряжения нового поколения. Основные характеристики и электромагнитные процессы: монография/ К.П.Кадомская, Ю.А.Лавров, О.И.Лаптев.- Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2008.- 343 с. (Серия «Монографии НГТУ»)

5. Костенко М.В., Перельман Л.С., Шкарин Ю.П. Волновые процессы и электрические помехи в многопроводных линиях высокого напряжения.- М.: Энергия, 1973.-271 с.

6. Заболотников А.П., Кадомская К.П., Тихонов А.А. Математическое моделирование и перенапряжения в сетях 6-35 кВ.- Новосибирск: Изд-во НГТУ, 1993.- 165 с.

7. Кадомская К.П. Электромагнитные процессы в кабельных линиях высокого напряжения: монография.- Новосибирск: Изд-во НГТУ, 1997.-142 с.

8. Голдобин Д.А., Кадомская К.П., Лавров Ю.А. Волновые процессы и перенапряжения в кабельных линиях высокого напряжения: уч. пособие.- Новосибирск: Изд-во НЭТИ, 1987.-76 с.

9. Уиди Б. Кабельные линии высокого напряжения.- М.: Энергоатомиздат, 1983.- 231 с.

10. Костенко М.В., Кадомская К.П., Левинштейн М.Л., Ефремов И.А. Перенапряжения и защита от них в воздушных и кабельных электропередачах высокого напряжения.- Л.: Наука, 1988.- 401 с.

11. Кадомская К.П., Тихонов А.А. Процессы восстановления напряжения на контактах генераторных выключателей: конспект лекций.- Новосибирск: Изд-во НЭТИ, 1989.- 41 с.

12. Кадомская К.П., Тихонов А.А. Процессы восстановления напряжения на контактах линейных выключателей при отключении коротких замыканий: уч. пособие.- Новосибирск:

Изд-во НЭТИ, 1988.- 51 с.

13. Александров Г.Н. Коронный разряд на линиях электропередачи.- М.: Энергия, 1964.- 264 с.

14. Расчет электрических полей устройств высокого напряжения: учебное пособие для вузов/И.П. Белоедова, Ю.В. Елисеев, Е.С. Колечицкий и др.; под ред. Е.С. Колечицкого.- М.: Издательский дом МЭИ, 2008.-248 с.

15. Тозони О.В. Метод вторичных источников в электротехнике.- М.: Энергия, 1976.- 295 с.

16. Методы расчета электростатических полей/ Миролубов Н.Н. и др.-М.: Высшая школа, 1963.- 416 с.

Дополнительный список

Современные нормативные материалы (ПУЭ, ПТЭ, публикации МЭК, Методические пособия по контролю состояния изоляции электрооборудования, Инструкции по эксплуатации электрооборудования заводов-изготовителей), а также статьи в научных и научно-информационных отечественных и зарубежных периодических изданиях, материалы интернет-портала.