

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе



Драгунов В.К.

« 16 »

июня

2015 г.

Программа аспирантуры

Направление 13.06.01 Электро- и теплотехника

Направленность (специальность) 05.14.12 Техника высоких напряжений

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
специальной дисциплины

«Техника высоких напряжений»

Индекс дисциплины по учебному плану: Б1.В.ОД.2

Всего: 252 часа

Семестр 5, 144 часа, в том числе 6 часов – контактная работа,
138 часа – самостоятельная работа,

Семестр 6, 108 часов, в том числе 6 часов – контактная работа,
66 часов – самостоятельная работа,
36 часов – контроль

Программа составлена на основе федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (уровень подготовки кадров высшей квалификации) по направлению подготовки

13.06.01 Электро- и теплотехника,

код и название направления

утвержденного приказом Минобрнауки России от 30 июля 2014 г. № 878, и паспорта специальности, указанной в номенклатуре специальностей научных работников

05.14.12 Техника высоких напряжений,

шифр и название специальности

утвержденной приказом Минобрнауки России от 25 февраля 2009 г. № 59.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью изучения дисциплины является изучение системы современных научных знаний, объединяющих экспериментальные и теоретические исследования по формированию электрических разрядов в газах, жидкостях и твердых диэлектриках, по электрофизическим процессам в изоляции установок высокого напряжения и в высоковольтных электротехнологических устройствах и аппаратах, по воздействию электрических разрядов, сильных электрических и магнитных полей на дисперсные системы, твердые и жидкие материалы, по физике молнии и молниезащиты, по формированию грозовых и внутренних перенапряжений в электрических системах, по координации изоляции и методам защиты от перенапряжений, по обеспечению электромагнитной совместимости в электроэнергетике, по разработке электрофизических и испытательных установок.

Задачами дисциплины являются:

- изучение передовых научных достижений в исследованиях электрофизических процессов в газах, жидких и твердых диэлектриках;
- изучение теории и практики электрических разрядов в условиях, характерных для техники высоких напряжений;

- изучение передовых научных достижений в области физики молнии и молниезащиты;
- изучение современных научных представлений о внутренних перенапряжениях в электрических системах и освоение методов и их ограничения;
- изучение и освоение передовых методов выбора, расчета и конструирования изоляции электроустановок высокого напряжения;
- изучение перспективных методов испытания и диагностики изоляции в условиях эксплуатации;
- формирование представлений о современных испытательных и электрофизических установках высокого напряжения;
- изучение высоковольтных электротехнологических процессов, устройств и аппаратов;
- освоение современных методов расчета электрических и магнитных полей в технике высоких напряжений;
- изучение научных основ современных и перспективных методов оценки и обеспечения электромагнитной совместимости в условиях, характерных для техники высоких напряжений.

В процессе освоения дисциплины **формируются следующие компетенции:**

- Способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1).
- Способность проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области истории и философии науки (УК-2).

– Готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач (УК-3).

– Готовность использовать современные методы и технологии научной коммуникации на государственном и иностранном языках (УК-5).

– Способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития (УК-6).

– Владение методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности (ОПК-1).

– Способность к разработке новых методов исследования и их применению в самостоятельной научно-исследовательской деятельности в области профессиональной деятельности (ОПК-3).

– Готовность к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования (ОПК-5).

– Способность к экспериментальным и теоретическим исследованиям электрических разрядов и электрофизических процессов в различных средах, а также в изоляции установок, устройств и аппаратов высокого напряжения (ПК-1).

– Способность к разработке физических основ проектирования и конструирования, эксплуатации и методов диагностики изоляционных конструкций высокого напряжения (ПК-2).

– Способность к экспериментальным и теоретическим исследованиям в области физики молнии и молниезащиты (ПК-5).

– Способность к разработке методов и средств координации изоляции и защиты от перенапряжений, к обеспечению электромагнитной совместимости на объектах электроэнергетики, промышленности, связи, транспорта и других отраслей (ПК-6).

– Способность к экспериментальным и теоретическим исследованиям формирования перенапряжений в электрических системах и разработке методов их расчета (ПК-8).

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАЗОВАНИЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты образования:

знать:

- электрофизические процессы в газах, жидких и твердых диэлектриках (ПК-1);
- условия возникновения электрических разрядов в газовой, жидкой и твердой изоляции (ПК-1);
- условия возникновения и развития молнии, статистические характеристики грозовой активности (ПК-5);
- механизмы возникновения внутренних перенапряжений в электрических сетях (ПК-6);
- научные основы проектирования современных видов изоляции высокого напряжения (ПК-2);
- методы испытания и диагностики изоляции электрооборудования высокого напряжения (ПК-7);
- конструкции и характеристики испытательных и электрофизических установок высокого напряжения (ПК-3);
- научные основы современных методов применения высоких напряжений и сильных токов в технологических процессах (ПК-4);
- характеристики электромагнитной обстановки на объектах электроэнергетики (ПК-6);

уметь:

- выбирать эффективные способы защиты от грозовых и внутренних перенапряжений (ПК-6);
- определять мероприятия по молниезащите электроустановок высокого напряжения (ПК-5);
- рассчитывать необходимые параметры испытательных установок для испытаний изоляции электрооборудования высокого напряжения (ПК-2);

– применять методы диагностики изоляции электрооборудования высокого напряжения (ПК-7);

– применять методы обеспечения электромагнитной совместимости на объектах электроэнергетических систем (ПК-6);

владеть:

– навыками анализа и регулирования электрических и магнитных полей в конструкциях электроустановок высокого напряжения (ПК-2);

– методами расчета электрической прочности изоляционных промежутков электроустановок высокого напряжения (ПК-2);

– методами расчета внутренних и грозовых перенапряжений в электрических сетях (ПК-6);

– навыками оценки электромагнитной обстановки в электроустановках высокого напряжения (ПК-6).

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ

Электрофизические процессы в газах, жидких и твердых диэлектриках

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

Физика молнии и молниезащита

Внутренние перенапряжения в электрических системах и их ограничение

Изоляция электроустановок высокого напряжения: методы выбора, расчета и конструирования изоляции электроустановок высокого напряжения

Испытания и диагностика изоляции в условиях эксплуатации

Испытательные и электрофизические установки высокого напряжения

Высоковольтные электротехнологические процессы, устройства и аппараты

Методы расчета электрических и магнитных полей в технике высоких напряжений

Электромагнитная совместимость в условиях, характерных для техники высоких напряжений

ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБРАЗОВАНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины:

5 семестр – дифференцированный зачет / кандидатский экзамен.

6 семестр – кандидатский экзамен.

Вопросы для самоконтроля и проведения зачета / кандидатского экзамена

Вопросы, включенные в билеты для проведения зачета и экзамена

1. Элементарные процессы в газах. Столкновения частиц. Понятие вероятности столкновения. Сечение столкновения, средняя длина свободного пробега. Упругие и неупругие столкновения частиц.

2. Движение заряженных частиц в электрическом поле. Энергия движущихся частиц. Скорость дрейфа заряженной частицы. Подвижность. Диффузия, амбиполярная диффузия. Процессы диссоциации.

3. Процессы возбуждения и ионизация атомов и молекул. Первый коэффициент ионизации Таунсенда. Образование и развал отрицательных ионов. Старение ионов.

4. Различные виды ионизации в газах: ударная ионизация, ассоциативная ионизация, фотоионизация, термоионизация.

5. Процессы ионной и электронной рекомбинации.

6. Процессы на катоде. Автоэлектронная и фотоэлектронная эмиссия, термоэмиссия. Второй коэффициент ионизации Таунсенда.

7. Поведение ионизованного газа в электрических и магнитных полях. Основы физики плазмы. Квазинейтральность. Дебаевский радиус. Равновесная и неравновесная плазма. Электропроводность плазмы в электрическом, магнитном и скрещенном электромагнитном поле. Особенности частично ионизованной низкотемпературной плазмы высокого давления. Частично ионизованная плазма с конденсированной дисперсной фазой.

8. Поляризация диэлектриков в постоянном и переменном электрическом поле, виды поляризации. Поляризационные потери энергии.

9. Механизмы появления свободных электрических зарядов в диэлектриках. Проводимость диэлектриков.

10. Виды электропроводности жидких диэлектриков. Ионная и катафоретическая проводимости жидких диэлектриков в слабом электрическом поле. Электропроводность в сильных полях. Подвижность носителей зарядов. Диссоциация, эмиссия электронов. Ток проводимости. Особенности протекания тока в жидких диэлектриках, включая тонкие слои жидких диэлектриков в комбинированной изоляции.

11. Проводимость твёрдых диэлектриков. Ионная и электронная проводимость. Процессы эмиссии носителей зарядов.

12. Диэлектрические потери, тангенс угла диэлектрических потерь, влияние температуры.

13. Условия возникновения электрического разряда в устройствах, используемых в технике высоких напряжений.

14. Развитие электрического разряда в газах. Лавина электронов. Условие самостоятельности разряда. Понятие начального напряжения возникновения разряда и пробивного напряжения. Разряд в однородном поле. Закон Пашена и закон подобия электрических разрядов.

15. Разряд в сильно неоднородном электрическом поле. Влияние полярности на начальные напряжения. Лавинная, стримерная и лидерная формы разряда. Условия лавинно-стримерного стример-лидерного перехода, влияние полярности. Основные характеристики стримерных и лидерных каналов. Физико-математические модели лавинной и стримерной стадий электрического разряда в воздухе: системы дифференциальных уравнений в частных производных, начальные и граничные условия.

16. Особенности развития разряда в длинных воздушных промежутках. Зависимость электрической прочности воздушных промежутков (пробивного напряжения) от типа воздействующего напряжения, длины промежутка, степени неоднородности электрического поля, параметров окружающей среды. Влияние формы и площади поверхности электродов. Разброс значений пробивных напряжений.

17. Коронный разряд при различных видах воздействующего напряжения. Начальная напряжённость коронного разряда. Униполярный и биполярный коронные разряды. Распределение напряженности электрического поля в промежутке при униполярном коронном разряде. Физико-математические модели униполярного коронного разряда в воздухе. Распределения концентрации заряженных частиц и напряжённости электрического поля в чехле и зоне дрейфа униполярного коронного разряда, их зависимость от параметров коронирующего электрода и приложенного напряжения.

18. Вольт-амперная характеристика коронного разряда. Влияние полярности коронирующего электрода на характеристики коронного разряда. Потери на корону при переменном напряжении. Методики расчёта потерь энергии при короне на проводах линии электропередачи. Электромагнитные и акустические помехи.

19. Развитие разряда при импульсных напряжениях. Формы импульсов напряжения, характерные для техники высоких напряжений. Время формирования разряда. Вольт-секундные характеристики. Вольт-секундные характеристики воздушных промежутков при грозовых и коммутационных импульсах. Особенности разряда при воздействии импульсов напряжения наносекундной длительности.

20. Разряд при повышенном и пониженном давлениях газа. Разряды в газах при повышенных давлениях в промежутках с однородными и неоднородными полями. Влияние полярности и электроотрицательности газа (элегаз и его смеси с другими газами). Влияние состояния поверхности электродов (шероховатости), площади поверхности электродов, проводящих частиц. Механизм вакуумного пробоя. Влияние состояния поверхности и расстояния между электродами.

21. Разряд в газе вдоль поверхности твёрдого диэлектрика. Влияние расположения диэлектрика в разрядном промежутке. Влияние материала диэлектрика и формы электрического поля. Влияние толщины слоя твердого диэлектрика и его свойств на начальные и пробивные напряжения поверхностного разряда в электрическом поле с преобладающей нормальной составляющей. Поверхностный разряд при воздействии переменного напряжения. Мощность разряда, вольт-кулоновая характеристика.

22. Стримерный и скользящий разряды по поверхности диэлектрика. Влияние структуры поверхности твердого диэлектрика на характеристики поверхностного разряда. Разряд по загрязнённой и увлажнённой поверхности диэлектрика.

23. Барьерный разряд. Влияние толщины и свойств твердого диэлектрика на разряд в газовой части промежутка. Влияние длины газовой части промежутка на форму барьерного разряда. Вольт-амперная и вольт-кулоновая характеристики барьерного разряда.

24. Механизмы пробоя жидких диэлектриков. Предразрядные процессы и пробой жидкости. Влияние примесей, материала электродов, температуры и давления. Развитие импульсного разряда в жидкости. Скользящий разряд по поверхности твёрдых диэлектриков в жидкости.

25. Формы пробоя твёрдых диэлектриков. Влияние формы и размеров электродов, вида и длительности воздействующего напряжения. Тепловой пробой твёрдых диэлектриков.

26. Электричество атмосферы. Глобальная электрическая цепь. Электрические характеристики «ясной погоды». Электрические характеристики различных типов облаков. Механизмы электризации частиц в облаках. Теория грозы. Методы активного воздействия на электрически активные облака.

27. Виды молнии. Классификация линейных молний. Физическая картина формирования разряда молнии. Методы исследования молнии. Методы определения места удара молнии и его параметров. Электрические характеристики разрядов молнии. Статистический характер параметров молнии.

28. Характеристики грозовой деятельности. Поражаемость молнией наземных объектов и летательных аппаратов. Опасные воздействия молнии на поражаемые объекты. Общая характеристика электромагнитных, газодинамических, тепловых и электродинамических воздействий молнии.

29. 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.

30. Заземление молниеотводов. Естественные и искусственные заземлители. Стационарное и импульсное сопротивление заземлителей. Роль и

характеристики удельного сопротивления грунта. Импульсные коэффициенты сосредоточенных и протяженных заземлителей. Коэффициент использования заземлителя.

31. Молниезащита воздушных линий электропередачи. Основные принципы и методы расчета молниезащиты воздушных линий (ВЛ) электропередачи и показатели их грозоупорности. Грозовые отключения ВЛ, защищаемых тросовыми молниеотводами. Кривая опасных параметров. Грозовые отключения ВЛ без тросовых молниеотводов на металлических, железобетонных и деревянных опорах. Грозовые отключения ВЛ при индуктированных перенапряжениях. Применение защитных аппаратов на ВЛ для повышения эффективности молниезащиты. Повышение грозоупорности ВЛ с помощью подвесных ОПН.

32. Молниезащита электрических станций и подстанций. Защита от прямых ударов молнии. Места установки молниеотводов на электрических станциях и подстанциях и зоны их защиты. Защита подстанции от импульсов грозовых перенапряжений, набегających с линии. Использование защитных аппаратов. Защищенный подход к подстанции. Методика оценки эффективности молниезащиты подстанции.

33. Волновые процессы в обмотках трансформаторов, автотрансформаторов и реакторов. Молниезащита трансформаторов и вращающихся машин. Особенности молниезащиты ветровых электростанций.

34. Молниезащита зданий, промышленных сооружений и коммуникаций. Классификация зданий и сооружений по степени опасности поражения молнией. Молниезащита объектов I, II и III категории. Особенности молниезащиты взрывоопасных и пожароопасных объектов. Молниезащита сельскохозяйственных объектов. Допустимые расстояния между элементами молниеотвода и защищаемыми объектами.

35. Нормативные документы по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций.

36. Молниезащита транспортных средств. Защита контактной сети и электрооборудования подвижного состава электрифицированных железных дорог. Молниезащита морских и речных судов. Молниезащита магистрального трубопроводного транспорта.

37. Молниезащита летательных аппаратов. Особенности поражения молнией летательных аппаратов. Особенности молниезащиты носовых обтекателей самолетов и конструкционных элементов, выполненных из композиционных материалов. Особенности обеспечения электромагнитной совместимости летательных аппаратов.

38. Персональная защита от молнии. Безопасность служебного персонала и населения.

39. 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.

40. Феррорезонансные перенапряжения. Феррорезонансные перенапряжения в сетях с электромагнитными трансформаторами напряжения. Конструкции трансформаторов 6–35 кВ и 110–500 кВ.

41. Токи и напряжения в экранах кабелей однофазного исполнения. Способы снижения токов и напряжений в экранах.

42. Перенапряжения при работе вакуумных выключателей. Механизмы возникновения перенапряжений. Параметры расчетной модели вакуумного выключателя для расчета коммутационных перенапряжений.

43. Перенапряжения при коротких замыканиях на линии и при их отключении. Перенапряжения на ВЛ при ТАПВ и ОАПВ. Способы снижения бестоковой паузы ОАПВ.

44. 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.

45. Ограничители перенапряжений. Конструкция ограничителей. Энергоемкость ОПН.

46. Методика выбора ОПН в сетях 6–35 кВ и 110 – 750 кВ.

47. Основные требования к электрической изоляции, условия работы. Техничко-экономический подход к выбору основных параметров изоляции на основе минимума приведённых затрат. Статистические характеристики изоляции. Распределение Гаусса и Вейбулла. Методы получения и обработки экспериментальных данных по электрической прочности изоляции. Выбор закона распределения, определение оценок и доверительных границ для параметров распределения электрической прочности. Определение необходимого объема экспериментальных данных для получения оценок заданной точности.

48. Внешняя изоляция установок и оборудования высокого напряжения. Характерные изоляционные промежутки в атмосферном воздухе. Особенности внешней изоляции. Основные факторы, влияющие на электрическую прочность. Разрядные напряжения чисто воздушных промежутков при разных видах воздействующего напряжения.

49. Линейная изоляция. Конструкции и материалы изоляторов. Выбор типа и числа изоляторов и воздушных изоляционных промежутков линий электропередач и открытых распределительных устройств. Вольт-секундные характеристики. Методики расчёта минимальных пробивных напряжений воздушных промежутков при коммутационных импульсах.

50. Внутренняя изоляция установок и оборудования высокого напряжения. Требования, предъявляемые к изоляции и изоляционным материалам. Основные виды внутренней изоляции: газовая, масляная, маслобарьерная, бумажно-пропитанная, литая эпоксидная, на основе смолы, полимерная. Технология изготовления литой эпоксидной изоляции и RIP-изоляции высоковольтных вводов.

51. Электрическая прочность внутренней изоляции. Зависимости электрической прочности от длительности воздействия напряжения. Понятие о

кратковременной и длительной электрической прочности. Основные факторы, влияющие на кратковременную электрическую прочность внутренней изоляции. Допустимая кратковременная электрическая прочность внутренней изоляции и её связь с 50% пробивным напряжением.

52. Старение изоляции. Механизмы старения. Частичные разряды и их характеристики. Длительная электрическая прочность внутренней изоляции: закономерности старения изоляции, основные технические средства ограничения темпов электрического старения. Методика выбора допустимых рабочих напряжений и допустимых рабочих напряжённостей во внутренней изоляции. Основы теплового расчёта изоляционных конструкций.

53. 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.

54. Структура изоляции силовых трансформаторов: главная и продольная изоляция. Кратковременная и длительно допустимая электрическая прочность внутренней изоляции трансформаторов. Маслобарьерная изоляция силовых трансформаторов, выбор 1-ого масляного промежутка. Изоляция трансформаторов тока и напряжения.

55. Изоляция электрических машин высокого напряжения: главная и продольная изоляция статорных обмоток, изоляция выхода из паза.

56. Кратковременная и длительная электрическая прочность конденсаторной изоляции.

57. Кабельные линии: области применения, виды изоляции силовых кабелей высокого напряжения. Конструкция изоляции кабелей высокого напряжения с градированием изоляции и без градирования (на примерах кабеля с резиновой изоляцией и маслонаполненных кабелей высокого давления с бумажно-масляной изоляцией в стальной трубе). Изоляция кабельных муфт.

58. Проходные изоляторы: конструкции, изоляционные материалы. Методика расчёта БМИ изоляции проходного изолятора (ввода) с конденсаторными обкладками.

59. Элегазовые изоляционные конструкции: выключатели и измерительные трансформаторы с элегазовой изоляцией, КРУЭ. Разрядные характеристики промежутков, характерных для закрытых распределительных устройств с элегазовой изоляцией при различных формах воздействующего напряжения и давления. Влияние качества обработки электродов, наличия твёрдых частиц. Выбор изоляционных расстояний с учётом электрической прочности распорок.

60. Задачи диагностики и контроля технического состояния изоляции оборудования и установок высокого напряжения. Контроль периодический с отключением оборудования (off line) и под напряжением (on line), непрерывный мониторинг, комплексное обследование оборудования. Влияние периодичности контроля на его эффективность.

61. Координация изоляции устройств высокого напряжения.

62. Контроль состояния изоляции с помощью испытательного напряжения, которое значительно превышает рабочее. Выбор значений испытательных напряжений промышленной частоты на заводе-изготовителе, после монтажа на месте работы, в эксплуатации. Оценка результатов испытаний. Общие правила проведения испытаний изоляции высоким напряжением промышленной частоты, грозовыми и коммутационными импульсами. Испытания изоляции приложением высокого постоянного (выпрямленного) напряжения: области применения, особенности воздействия на изоляцию разных видов испытательного напряжения.

63. Контроль состояния изоляции установок высокого напряжения по характеристикам частичных разрядов (ЧР). Основы электрического и акустического методов регистрации и измерения характеристик ЧР, локация ЧР. Методы ограничения помех при испытаниях в лаборатории и в условиях эксплуатации.

64. Связь тангенса угла диэлектрических потерь с основными электрическими характеристиками однородной и неоднородной изоляции. Факторы, влияющие на результаты измерений $\tan\delta$. Методы устранения ошибок. Измерение тангенса угла диэлектрических потерь с помощью мостов переменного тока и с использованием элементов цифровой измерительной техники.

65. 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, устройство современных мегомметров. Ёмкостные методы контроля влажности изоляции.

66. Контроль состояния маслонаполненного оборудования путём испытания проб масла. Измерение физико-химических характеристик масла, нормы, выявляемые дефекты. Хроматографический анализ газов, растворённых в масле: основы метода, диагностические газы, методика определения состояния изоляции по результатам измерений.

67. Акустический и тепловизионный контроль состояния изоляции оборудования высокого напряжения. Ультразвуковая дефектоскопия.

68. Особенности диагностики изоляции отдельных видов оборудования: крупных вращающихся машин, силовых и измерительных трансформаторов, шунтирующих реакторов, кабельных и воздушных линий. Дефектоскопия линейной изоляции.

69. Современные системы автоматического непрерывного контроля технического состояния мощных силовых трансформаторов высокого напряжения. Области и масштабы применения. Экономическая эффективность мониторинга.

70. Особенности линий электропередачи как объекта диагностики. Методы локализации повреждений в кабельных линиях. Аэросканирование и

спутниковое сканирование воздушных линий электропередачи. Методы определения мест повреждения линий электропередачи.

71. Испытания высоким напряжением. Цели и объекты испытаний, общая схема испытательного комплекса, нормированные испытательные высокие напряжения, основные методы испытаний.

72. Испытательные установки высокого напряжения промышленной частоты. Испытательные трансформаторы высокого напряжения, каскадные схемы испытательных трансформаторов и резонансные схемы для испытаний переменным высоким напряжением.

73. Установки высокого напряжения постоянного тока. Схемы с выпрямителями, каскадный выпрямитель. Электростатический генератор Ван-де-Граафа, роторный генератор.

74. Генераторы импульсных напряжений. Основные схемы одноступенчатых и многоступенчатых ГИН, их элементы и параметры. Схема замещения ГИН. Основные конструкции ГИН. Получение коммутационных импульсов напряжения от ГИН.

75. Испытания сильными токами. Цели и объекты испытаний. Общая схема испытательного комплекса, нормированные испытательные импульсные токи.

76. Типы накопителей энергии для испытательных и электрофизических установок и их характеристики.

77. Емкостные накопители энергии. Состав, основные характеристики, схемы зарядки. Разрядный контур емкостного накопителя энергии и его схема замещения. Режимы разряда и особенности многоконтурных схем емкостных накопителей энергии. Режим «кроубар», требования к кроубарному коммутатору. Работа емкостного накопителя энергии с согласующим импульсным трансформатором.

78. Индуктивные накопители энергии. Состав, основные характеристики. Способы увеличения разрядного тока. Применение сверхпроводимости в индуктивных накопителях. Проблемы коммутации тока и особенности

аварийных режимов. Работа индуктивного накопителя энергии на омическую, индуктивную и емкостную нагрузку.

79. Механические накопители энергии. Основные типы ударных генераторов и их характеристики.

80. Принцип работы и особенности взрывомагнитных генераторов импульсных токов. Гибридные генераторы.

81. Накопители энергии с распределенными параметрами. Основные типы формирующих линий и их свойства. Основные схемы ГИН на основе длинных линий без умножения напряжения. Генератор Блюмляйна. Причины искажений импульсов в генераторах с длинными линиями. Основные схемы ГИН на основе длинных линий с умножением напряжения. Генераторы с неоднородными линиями. Спиральный генератор. Генератор Фитча.

82. Элементы испытательных и электрофизических установок высокого напряжения. Управляемые коммутаторы.

83. Измерение высоких напряжений. Измерительные шаровые разрядники, электростатические вольтметры. Измерение высоких напряжений прибором с добавочным резистором или конденсатором, измерение максимальных значений переменных и импульсных напряжений. Делители напряжения. Требования к делителям, общая схема замещения, типы, частотные характеристики, реакция на прямоугольный импульс. Омические делители напряжения. Емкостные делители напряжения. Смешанные делители напряжения. Передача сигнала от делителей напряжения к регистраторам. Влияние измерительного кабеля.

84. Измерение сильных токов. Измерение сильных импульсных и периодических токов с помощью шунтов. Основные параметры и конструкции шунтов. Погрешности при измерениях токов с помощью шунтов. Измерение сильных токов с помощью воздушного трансформатора тока (пояса Роговского) и устройства на основе эффекта Холла.

85. Измерения напряженности электрического поля. Разновидности флюксметров. Измерения напряженности магнитного поля. Фотоэлектронные

умножители. Принцип работы, характеристики. Электронно-оптические преобразователи. Нетрадиционные способы измерения напряжения и тока.

86. Электромагнитные помехи при измерениях в лабораториях высоких напряжений и способы их устранения.

87. Регистрация сигналов. Современные цифровые регистраторы и их возможности.

88. Электрофизические установки высокого напряжения. Ускорители макротел. Рельсотроны, индукционные ускорители. Мощные ускорители элементарных частиц (протонов, электронов). Формирование и ускорение электронных пучков. Источники питания исследовательских термоядерных установок. Генераторы рентгеновских, сверхвысокочастотных и сверхширокополосных импульсов. Источники питания мощных лазеров.

89. Направления применения высоких напряжений и сильных токов в технологических процессах. Роль электротехнологий в промышленном производстве и их место среди традиционных технологических процессов.

90. Технологические процессы, основанные на силовом воздействии электрических полей на материалы. Характеристика аэрозольных систем. Зарядка аэрозольных частиц (ионная зарядка, индукционная зарядка частиц, статическая электризация.). Силы, действующие на частицы в электрических полях. Движение заряженных частиц. Сопротивление среды движению частиц. Числа Рейнольдса и Стокса. Электрическая и механическая подвижности частиц, их зависимость от размера частиц. Осаждение частиц. Эффективность осаждения частиц из ламинарного и турбулентного потока.

91. Процессы на осадительном электроде. Силы адгезии частиц к электроду. Поведение отдельно взятой частицы в электрическом поле и при коронном разряде в промежутке. Определение характеристик порошкового слоя. Поведение слоя частиц на электроде в электрическом поле коронного разряда. 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.

92. 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. Характеристики полидисперсного аэрозоля.

93. 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.

94. Электросепарация. Классификация электросепараторов. Сепарация по электропроводности. Трибоэлектростатическая сепарация. Пироэлектрическая сепарация. Диэлектрическая сепарация.

95. Нанесение покрытий в электрическом поле. Электроокраска. Электропневмораспылители. Нанесение порошковых покрытий. Электропечать. Электрофотография. Электрокаплеструйная печать.

96. Обезвоживание нефтепродуктов. Физические основы обезвоживания нефтепродуктов. Конструкция промышленных технологических установок для обессоливания и обезвоживания нефти и нефтепродуктов. Технологии обезвоживания нефтепродуктов.

97. Высоковольтные плазмохимические технологии, процессы и аппараты. Плазмохимические технологии. Основы плазмохимических преобразований. Генераторы озона и озонные технологии. Электросинтез озона. Технологии конверсии газов в плазме газового разряда. Очистка топочных газов от оксидов азота и серы. Модификация поверхности материалов в плазме газового разряда.

98. Процессы статической электризации и методы борьбы с проявлениями статического электричества. Нейтрализация зарядов

статического электричества. Статическое электричество при перекачке нефтепродуктов по трубопроводам. Методы измерения основных параметров, характеризующих статическую электризацию. Способы защиты от разрядов статического электричества. Применение нейтрализаторов зарядов статического электричества.

99. Высоковольтные электротехнологические процессы и аппараты импульсного воздействия на материалы. Технологии импульсного воздействия на материал. Электрогидравлические технологии. Электроэрозионная обработка материалов. Магнитно-импульсная обработка материалов.

100. Аэрозольные электрогазодинамические устройства и аппараты. Конденсационные ЭГД-генераторы заряженного аэрозоля. Струи заряженного аэрозоля. ЭГД-генераторы. ЭГД-компрессоры.

101. Постановка задач математического моделирования физических процессов в устройствах высокого напряжения на основе анализа электрических полей и регулирования полей при проектировании энергетических и электротехнологических установок. Основные уравнения и граничные условия, описывающие электростатическое поле. Постановка задачи расчета электрического поля промышленной частоты вблизи объектов электроэнергетики и в электротехнологических установках.

102. Методы эквивалентных зарядов и интегральных уравнений для случаев однородной и неоднородной сред. Численное решение интегрального уравнения. Применение метода эквивалентных зарядов для расчёта электрических полей вблизи воздушных линий электропередачи. Применение метода интегральных уравнений для расчёта электрических полей устройств высокого напряжения. Проблема обусловленности систем линейных алгебраических уравнений при расчете электрических полей методами эквивалентных зарядов и интегральных уравнений. Методы регуляризации плохо обусловленных систем.

103. Принципы расчёта электрических полей методом конечных элементов.

104. Метод конечных разностей для расчета электрических полей в однородных средах. Конечно-разностная аппроксимация уравнения Пуассона. Решение трёхточечных разностных уравнений методом прогонки. Итерационные методы решения пятиточечных разностных уравнений: общая итерационная схема, явные и неявные схемы итераций (методы Якоби и Зейделя), явный итерационный метод с оптимальным набором параметров (чебышевский метод), неявный метод верхней релаксации, локально-одномерный метод, метод переменных направлений. Применение итерационных методов решения уравнения Пуассона для расчёта самосогласованного электрического поля в электрическом разряде в воздухе.

105. Понятие самосогласованного электрического поля с объёмным зарядом на примере математического описания распространения лавины электронов в воздухе: система дифференциальных уравнений в частных производных, начальные и граничные условия. Способы конечно-разностной аппроксимации производной, порядок её точности и предъявляемые к ней требования. Примеры разностных аппроксимаций уравнений Пуассона и неразрывности потока заряженных частиц. Явная и неявная схемы первого порядка точности для уравнения неразрывности. Проблема его решения при высоких градиентах концентрации заряженных частиц, понятие численной диффузии. Конечно-объёмные схемы второго порядка точности для уравнения неразрывности.

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

107. Электромагнитная обстановка на объектах электроэнергетики. Источники электромагнитных воздействий на объектах электроэнергетики. Чувствительные к электромагнитным воздействиям оборудование и системы на объектах электроэнергетики. Каналы передачи помех. Кондуктивные и полевые помехи. Особенности распространения помех на объектах электроэнергетики.

108. Биологические проблемы обеспечения электромагнитной совместимости на объектах электроэнергетики.

109. Нормативная база обеспечения электромагнитной совместимости на объектах электроэнергетики. Закон об электромагнитной совместимости. Нормативные документы по обеспечению электромагнитной совместимости при проектировании, строительстве и эксплуатации энергетических объектов. Помехоустойчивость оборудования и систем. Допустимые уровни электромагнитных помех на объектах электроэнергетики. Допустимые электрические и магнитные поля для населения и персонала на рабочих местах.

110. Методы и средства защиты от электромагнитных воздействий вторичного оборудования и систем связи. Способы и средства защиты от помех, ограничение уровня помех. Компонировка энергетического объекта с учетом требований по электромагнитной совместимости. Выполнение заземляющих устройств, молниезащиты и кабельной канализации на объектах электроэнергетики. Устройства ограничения перенапряжений. Экранирование вторичного оборудования и систем на объектах электроэнергетики.

111. Методы и средства определения электромагнитной обстановки на объектах электроэнергетики. Методики расчетно-экспериментального определения наибольших уровней электромагнитных воздействий. Компьютерные программы для расчета уровней электромагнитных воздействий. Измерительные комплексы и технические средства для имитации электромагнитных воздействий. Анализ результатов измерений электромагнитной обстановки.

Критерии оценки за освоение дисциплины определены в Инструктивном письме И-23 от 14 мая 2012 г.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

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. Дьяков А.Ф., Кужекин И.П., Максимов Б.К., Темников А.Г. Электромагнитная совместимость и молниезащита в электроэнергетике. Учебник для вузов / Под ред. Дьякова А.Ф.. – М: Издательский дом МЭИ, 2009. – 455 с.

3. Электрические сети сверх- и ультравысокого напряжения ЕЭС России. Теоретические и практические основы: в 3 т. Том 1. Электропередачи переменного тока / под общей редакцией чл.-корр. РАН А.Ф. Дьякова // Москва: НТФ «Энергопрогресс» Корпорации «ЕЭЭК», 2012. – 696 с.

4. Электрические сети сверх- и ультравысокого напряжения ЕЭС России. Теоретические и практические основы: в 3 т. Том 2. Электрические подстанции переменного тока. Средства и интеллектуальные системы управления / под общей редакцией чл.-корр. РАН А.Ф. Дьякова // Москва: НТФ «Энергопрогресс» Корпорации «ЕЭЭК», 2012. – 668 с.

5. Электрические сети сверх- и ультравысокого напряжения ЕЭС России. Теоретические и практические основы: в 3 т. Том 3. Электропередачи переменного тока специального исполнения. Электропередачи и вставки постоянного тока / под общей редакцией чл.-корр. РАН А.Ф. Дьякова // Москва: НТФ «Энергопрогресс» Корпорации «ЕЭЭК», 2012. – 368 с.

6. 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.

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.

Дополнительная литература:

9. 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.

10. 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.

11. Базелян Э.М., Райзер Ю.П. Физика молнии и молниезащиты. – М.: Физматлит, 2001.

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

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

14. Райзер Ю.П. Физика газового разряда. – М.: Издательство Интеллект, 2009.

15. 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.

16. 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.

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

18. 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.
19. Лабораторные работы по технике высоких напряжений. Учеб. пособие / М.А. Аронов, В.В. Базуткин, и др. 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1989.
20. Основы электрогазодинамики дисперсных систем. Учебное пособие для вузов / И.П.Верещагин, В.И.Левитов, Г.З.Мирзабекян, М.П. Пашин. - М.: Энергия, 1974.
21. А. Шваб. Измерения на высоком напряжении. Измерительные приборы и способы измерений. Изд. 2-е. Пер. с нем. И.П. Кужекина. – М.: Энергоатомиздат.
22. Александров Г.Н. Установки сверхвысокого напряжения и охрана окружающей среды: Учеб. пособие для вузов. – Л.: Энергоатомиздат, 1989.
23. Верещагин И.П. Коронный разряд в аппаратах электронно-ионной технологии. – М.: Энергоатомиздат, 1985.
24. Самарский А.А. Введение в численные методы: учебное пособие для вузов. - М.: Лань, 2005.
25. Техника высоких напряжений: Теоретические и практические основы применения / М. Бейер, В. Бек, К. Меллер и др. Под ред. В.П. Ларионова; Пер. с нем. М.: Энергоатомиздат, 1988.
26. Ограничители перенапряжений в электроустановках 6 – 750 кВ / М.А. Аронов, О.А. Аношин, О.И. Кондратов и др. М.: Знак, 2001.
27. Физические основы электрической сепарации / А.И. Ангелов, И.П. Верещагин, В.С. Ершов и др. Под ред. В.И. Ревнивцева. – М: Недра, 1983.
28. Методы преобразования энергии. Ермилов И.В., Кужекин И.П., Соколова М.В. – М.: Изд-во МЭИ, 1988.