



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

«УТВЕРЖДАЮ»
Декан ЭФФ

_____ Г.С. Евтушенко
« ____ » _____ 2008 г.

ТЕХНИКА И ФИЗИКА ВЫСОКИХ НАПРЯЖЕНИЙ

Рабочая программа для направления 140200 – «Электроэнергетика»

Электрофизический факультет (ЭФФ)

Обеспечивающая кафедра: техника и электрофизика высоких напряжений

Курс: V
Семестр: 9
Учебный план набора 2010 года

Распределение учебного времени

Лекции	36 часов (ауд.)
Лабораторные занятия	18 часов (ауд.)

Всего аудиторных занятий **54 часа**

Самостоятельная работа (внеаудиторная) 72 часа

Общая трудоемкость **126 часов**

Экзамен в 9 семестре

Томск 2008



ПРЕДИСЛОВИЕ

1. Рабочая программа составлена на основе ОС ТПУ по направлению 140200 «Электроэнергетика»

РАССМОТРЕНА и ОДОБРЕНА на заседании обеспечивающей кафедры техники и электрофизики высоких напряжений 27 марта 2008 г., протокол № 10.

2. Разработчики:
доцент кафедры ТЭВН С.А. Лопаткин
3. Зав. обеспечивающей кафедрой ТЭВН
профессор В.В. Лопатин
4. Рабочая программа СОГЛАСОВАНА с факультетом, СООТВЕТСТВУЕТ
действующему плану.

Зав. выпускающей кафедрой В.В. Лопатин

Председатель методической
комиссии



АННОТАЦИЯ

ТЕХНИКА И ФИЗИКА ВЫСОКИХ НАПРЯЖЕНИЙ

Направление 140200

Кафедра ТЭВН ЭФФ

Доцент Лопаткин Сергей Анатольевич

Тел. (3822) 42-40-10

Цель: рабочая программа учебной дисциплины «Техника и физика высоких напряжений» предназначена для подготовки магистров по направлению 140200 «Электроэнергетика». Учебная дисциплина «Техника и физика высоких напряжений» является одной из важнейших частей магистерской подготовки по магистерской программе «Техника и физика высоких напряжений».

Содержание: рабочая программа включает рассмотрение 4-х основных разделов:

- Электрический разряд в газовых, жидких и твердых диэлектриках (физика и теория, факторы, влияющие на разрядное напряжение, коронный разряд, разряд по поверхности, пробой вакуума).
- Высоковольтная изоляция (устройство и расчет воздушных ЛЭП, кабелей, трансформаторов, конденсаторов, электрических машин. Координация изоляции в элементах энергосистемы. Профилактика изоляции).
- Высоковольтное испытательное оборудование и измерения а высоком напряжении.
- Перенапряжения в электрических системах и методы защиты оборудования (внутренние перенапряжения, дуговые, коммутационные, молния и грозозащита).

Излагается порядок чтения лекций, проведения лабораторных работ, использования рейтинговой системы оценки знаний студентов при текущем и итоговом контроле, приведена рекомендуемая литература.

Курс 5 (9 семестр – экзамен)

Всего 126 ч., в т.ч.: ЛК – 36 ч, ЛР – 18 ч.



1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели преподавания дисциплины

Техника и физика высоких напряжений (ТиФВН) является одной из основных дисциплин при подготовке магистров по магистерской программе «Техника и физика высоких напряжений», необходимых для понимания процессов, происходящих в газообразных, жидких и твердых диэлектриках в электрическом поле. Она призвана обеспечить экономически оправданные и технически выполнимые приемы и методы проектирования и эксплуатации высоковольтного испытательного и технологического оборудования, изоляции линий электропередачи и подстанций.

Научным фундаментом курса (ТиФВН) являются теоретические и экспериментальные данные по электрическим явлениям в газообразных, жидких и твердых изоляционных средах. Именно на знании физических процессов, сопровождающих нарушение электрической прочности диэлектриков, базируется возможность создания, с одной стороны, надежной изоляции электрических систем, а с другой – технологического оборудования, использующего явление электрического разряда. Кроме этого, надежность изоляции обуславливается грамотной эксплуатацией, ограничением всех видов воздействий на нее и своевременно проведенными испытаниями. Понимание этих проблем является необходимым качеством квалифицированного магистра направления «Электроэнергетика».

Основой для освоения курса ТиФВН является знание основ физики, математики, теории вероятности и теоретических основ электротехники.

После изучения курса техники высоких напряжений студент должен:

иметь представление:

- о связи курса с другими дисциплинами;
- о роли курса в практической деятельности специалиста;
- о роли высокого напряжения в выработке, передаче, потреблении электрической энергии, в технологии, в экологических проблемах

знать:

- виды электрической изоляции оборудования высокого напряжения, воздушных ЛЭП, электрооборудования станций и подстанций;
- методы профилактических испытаний высоковольтного оборудования;
- методы и устройства защиты изоляции высоковольтного оборудования от перенапряжений.

уметь:

- выполнять расчеты электрической прочности изоляционных устройств;
- выполнять расчеты по оценке уровня и показателя защищаемых объектов;
- выполнять измерения на высоком напряжении и анализировать полученные данные.

иметь опыт:

- работы с высоковольтным оборудованием различного назначения;



- проведения различного вида измерений на высоком напряжении;
- организации технического обслуживания и безопасности работ на установках высокого напряжения.

1.2. Задачи изложения и изучения дисциплины

Овладение студентами теоретическими и прикладными знаниями осуществляется как при изучении лекционного курса, так и при выполнении лабораторных работ.

Контроль работы студентов над курсом техники высоких напряжений осуществляется наряду с экзаменом путем проведения теоретического опроса на каждой лабораторной работе и последующей защите отчета по ней. При контроле оценки знаний используется рейтинговая система оценки знаний, разработанная на кафедре ТЭВН на базе университетской рейтинговой системы.

2. СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ДИСЦИПЛИНЫ

(лекции – 36 часов)

2.1. Основные положения курса – 0,5 часа

Основные направления и задачи ТиФВН в энергетике, электротехнологии, физике. Общая характеристика содержания курса ТиФВН. Основные промышленные и научно-технические центры развития ТиФВН в России и за границей. Работы советских ученых в области ТиФВН. Основные проблемы развития электроэнергетики. Влияние энергосистем СВН и УВН на окружающую среду. Томская высоковольтная школа.

2.2. Разряды в диэлектриках – 13,5 часов

Роль газовых диэлектриков в изоляции электрических установок и аппаратов высокого напряжения. Общая характеристика газового разряда. Ионизационные процессы в газах. Возникновение электронных лавин, Условие самостоятельности разряда. Теория Таунсенда и стримерная теория газового разряда. Разрядное напряжение в однородном поле. Закон Пашена.

Искровой разряд при постоянном и переменном напряжении в неоднородном поле. Влияние полярности электродов, объемных зарядов. Роль барьеров.

Развитие разряда во времени. Время запаздывания разряда и зависимость времени запаздывания разряда от напряжения, материала электродов, состояния их поверхности и размеров промежутка. Волна аperiодического импульса и ее параметры. Пробой воздушной изоляции на импульсах. Коэффициент импульса, минимальное и пятидесятипроцентное напряжение разряда. Вольтсекундные характеристики и их значение при координации изоляции.



Корона как форма самостоятельного разряда. Значение коронного разряда в высоковольтной технике. Физика коронного разряда при постоянном и переменном напряжениях. Потери на корону. Практические способы расчета потерь энергии на корону. Факторы, влияющие на развитие короны.

Поверхностный разряд в равномерном и неравномерном поле. Способы повышения разрядных напряжений в практических конструкциях (применение экранов, ребер, выравнивание распределения напряжения при помощи полупроводящих покрытий).

Понятие о пробое жидких диэлектриков. Пробой химически чистых и технических изоляционных жидкостей.

Механизмы пробоя твердых диэлектриков. Тепловой и электрический пробой твердых диэлектриков. Электрическое старение.

2.3. Высоковольтная изоляция – 8 часов

Требования, предъявляемые к изоляции, условия ее работы в электрических аппаратах и конструкциях.

Классификация видов изоляции энергетических систем и краткая их характеристика. Изоляция высоковольтных ЛЭП. Линейные, опорные и проходные изоляторы. Изоляция конденсаторов, трансформаторов, вращающихся машин и кабелей.

Задачи и цели профилактики изоляции. Явления в многослойных диэлектриках и физические основы методов профилактики. Методы контроля изоляции и профилактических испытаний. Аппаратура, используемая при профилактических испытаниях. Профилактика изоляции высоковольтных конструкций.

2.4. Высоковольтное испытательное оборудование и измерения – 8 часов

Методы получения высоких постоянных и переменных напряжений их краткая характеристика. Испытательные трансформаторы.

Генераторы импульсных напряжений и токов. Методы измерения высоких напряжений и импульсных токов и их краткая характеристика.

Измерение высоких постоянных, переменных и импульсных напряжений шаровыми разрядниками. Измерение высоких напряжений электростатическими вольтметрами.

Измерение импульсных токов ферромагнитными регистраторами.

Применение делителей напряжения и электронных осциллографов для измерения высоких напряжений.

2.5. Перенапряжения и защита от перенапряжений – 6 часов



Классификация перенапряжений. Общая характеристика внешних и внутренних перенапряжений, их кратность, длительность. Проблема координации изоляции.

Грозозащита линий электропередачи. Разряд молнии. Физика индуктированных перенапряжений и перенапряжений прямого удара молнии. Параметры молнии. Молниеотводы и их зоны защиты. Определение числа грозовых отключений линии. Кривая опасных параметров и принцип расчета вероятности перекрытия изоляции линии.

Грозозащита подстанций от ПУМ и проходящих волн. Типовая схема грозозащиты подстанции от набегающих волн.

Защитные разрядники. Типы разрядников, их назначение и основные требования к ним. Принципы защиты. Искровой защитный промежуток, принцип действия, конструкция, достоинства и недостатки. Трубчатые разрядники. Принцип действия, устройство. Достоинства и недостатки. Пределы отключаемых токов. Вентильные разрядники. Принцип действия. Конструкции. Характеристики искровых промежутков и рабочих сопротивлений. Вентильные разрядники с магнитным гашением дуги. Принцип действия и параметры. Ограничители перенапряжений. Принцип действия и конструкция. Условия работы.

Волновые процессы в линиях и схемах. Преломление и отражение волн в узловых точках. Коэффициенты отражения и преломления.

Волновые процессы в обмотках трансформаторов и машин. Схема замещения. Общая картина переходного процесса в обмотке. Начальное распределение потенциалов при заземленной и изолированной нейтрали. Конечное распределение потенциалов и распределение максимальных потенциалов по обмотке при изолированной и заземленной нейтрали.

Особенности волновых процессов в трехфазных трансформаторах и трансформаторах особого исполнения. Переход волн между обмотками. Волновые процессы в обмотках электрических машин.

3. СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОГО РАЗДЕЛА ДИСЦИПЛИНЫ

3.1. Тематика лабораторных работ (18 часов)

- | | | | |
|----|--|--------|------------|
| 1. | Вводное занятие, правила ТБ при работе в лаборатории | 2 часа | с/р |
| 2. | Разряд в слабонеоднородном поле | 2 часа | 2 часа с/р |
| 3. | Разряды в воздухе при переменном напряжении промышленной частоты | 2 часа | 3 часа с/р |
| 4. | Исследование электрической прочности воздушных промежутков в неоднородном поле | 2 часа | 3 часа с/р |
| 5. | Характеристика короны на проводах при переменном напряжении | 2 часа | 2 часа с/р |
| 6. | Электрические разряды по поверхности твердого диэлектрика | 2 часа | 2 часа с/р |



- | | | |
|--|--------|------------|
| 7. Распределение напряжения по гирлянде подвесных изоляторов | 2 часа | 2 часа с/р |
| 8. Испытания электрозащитных средств | 2 часа | 2 часа с/р |
| 9. Генератор импульсных напряжений по схеме Аркадьева-Маркса | 2 часа | 3 часа с/р |
| 10. Перенапряжения при несимметричном отключении фаз | 2 часа | 3 часа с/р |

4. ПРОГРАММА САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ ПОЗНАВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ (48 часов)

Самостоятельная (внеаудиторная) работа студентов. Состоит в проработке лекционного материала, материала теоретического курса, вынесенного на самостоятельное изучение, подготовка к лабораторным и контрольным работам, выполнение индивидуальных заданий.

3.1	Подготовка к лабораторным работам и составление отчета		24 часа
3.2	Физические процессы в ионизированных газах	Реферат	6 часов
3.3.	Изоляция трансформаторов и электрических машин	Собеседование	4 часа
3.4	Каскадный генератор постоянного тока	Реферат	5 часов
3.5	Импульсный трансформатор	Реферат	5 часов
3.6	Зоны защиты стержневых молниеотводов	Реферат	4 часа

5. ТЕКУЩИЙ И ИТОГОВЫЙ КОНТРОЛЬ

Целью текущего контроля знаний студентов является проверка ритмичности работы студентов, оценка усвоения теоретического и практического материала, умений и навыков.

Текущий контроль обеспечивается:

5.1. Индивидуальные задания

Цель контроля: Проверка умений и навыков самостоятельного решения конкретных задач по данному разделу техники высоких напряжений, проверка логического обоснования решения, умений применения теоретических знаний при решении задач.

Способ оценки знаний и умений: Каждое индивидуальное задание оценивается по рейтинговой системе в 50 баллов.

5.2. Защита лабораторных работ

Цель контроля: Проверка навыков овладения методами проведения физического эксперимента и обработки результатов.



Способы проверки навыков: Проверка отчетов по лабораторным работам, ответы на контрольные вопросы. Защита лабораторных работ осуществляется путем собеседования с преподавателем по проблеме лабораторной работы и обработке результатов измерений.

5.3. Экзамен

Цель контроля: проверка знаний и умений по данному разделу курса.

Способы оценки знаний и умений: Оценка знаний и умений производится по пятибалльной системе.

5.4. Вопросы выходного контроля

1. Классификация конфигурации электрических полей.
2. Линейная изоляция: классификация изоляторов и их конструктивные отличия.
3. Внутренние (коммутационные) перенапряжения и стадии переходного процесса.
4. Барьерный эффект при в газе для отрицательной полярности острия.
5. Требования к высоковольтной изоляции.
6. Классификация перенапряжений и их кратность.
7. Виды разрядов в газах.
8. Вводы и их конструктивные особенности.
9. Грозозащита ЛЭП и подстанций.
10. Образование лавины электронов.
11. Изоляция конденсаторов.
12. Зоны защиты молниеотвода.
13. Условие самостоятельности разряда в газах.
14. Строение изоляции высоковольтных трансформаторов.
15. Зона защиты двух стержневых молниеотводов.
16. Барьерный эффект при разряде в газе для положительной полярности острия.
17. Изоляция высоковольтных кабелей.
18. Грозозащита ЛЭП.
19. Закон Пашена.
20. Изоляция электрических машин.
21. Классификация внутренних перенапряжений.
22. Коронный разряд и его особенности.
23. Измерение высоких напряжений шаровым разрядником.
24. Защита подстанций от набегающих волн: трубчатый и вентильный разрядники. Их особенности и недостатки.
25. Измерение высоких напряжений. Электростатический вольтметр.
26. Временная структура формирования разряда.
27. Волновые процессы в однообмоточном трансформаторе с заземленной нейтралью.
28. Пробой жидких диэлектриков.



29. Волновые процессы в 3-х обмоточном трансформаторе. Обмотки соединены в звезду с изолированной нейтралью.
30. Каскад трансформаторов.
31. Вольтсекундные характеристики изоляции и их значение.
32. Измерение высоких напряжений. Делители напряжения.
33. Конструкция вентильного разрядника.
34. Пробой твердой изоляции.
35. Задачи профилактики. Метод измерения увлажнения изоляции.
36. Волновые процессы в 3-х обмоточном трансформаторе. Обмотки соединены в треугольник
37. Ударная ионизация.
38. Схемы удвоения выпрямленного напряжения.
39. Грозозащита подстанций.
40. Лавина электронов.
41. Подвесные изоляторы.
42. Защитные разрядники. Защитный промежуток и трубчатый разрядник: их конструкция достоинства и недостатки.
43. Структура развития разряда во времени.
44. Процесс развития частичных разрядов и рост дендритов в твердом диэлектрике.
45. Волновые процессы в обмотках трансформаторов. Схема замещения и режимы распределения напряжения вдоль обмотки.
46. Защита подстанций от набегающих волн. Грозозащитный подход, устройство, назначение.
47. Несамостоятельный и самостоятельный разряд.
48. Проходные изоляторы и вводы: их отличие и особенности.
49. Генератор импульсных напряжений (ГИН).
50. Образование заряженных частиц в газе.
51. Факторы, воздействующие на электрическую изоляцию высоковольтных устройств при эксплуатации.
52. Измерение шаровым разрядником постоянного, переменного и импульсного напряжения.
51. Разряд вдоль сухой и чистой поверхности в поле с преобладающей нормальной составляющей.
52. Классификация кабелей.
53. Внутренние перенапряжения и их классификация и особенности.
54. Развитие разряда в газе при отрицательной полярности острия.
55. Измерение сопротивления изоляции. Суть метода.
56. Электростатические вольтметры.
57. Поправка на относительную плотность воздуха: смысл и математическое выражение.
58. Структура и краткая характеристика изоляции вращающихся машин.
59. Анализ коэффициентов преломления и отражения.



- 60.Разряд вдоль сухой и чистой поверхности в поле с преобладающей тангенциальной составляющей.
- 61.Суть метода испытания изоляции повышенным напряжением.
- 62.Волновые процессы в линиях. Определение коэффициентов преломления и отражения.
- 63.Развитие разряда в газе при положительной полярности острия.
- 64.Метод «емкость-частота».
- 67.Суть метода измерения $\operatorname{tg} \delta$ и C .
- 68.Грозовые перенапряжения.
- 70.Методы обнаружения частичных разрядов.
- 71.Волновые процессы в обмотках трансформаторов. Начальное и установившееся распределения напряжения.
- 72.Фотоионизация.
- 73.Строение изоляции кабеля.

5.5. Образец экзаменационного билета

Министерство образования РФ **ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1**
Томский политехнический по дисциплине **ТЕХНИКА ВЫСОКИХ**
университет **НАПРЯЖЕНИЙ**
Факультет ЭФФ
курс пятый

1. Классификация конфигурации электрических полей.
2. Линейная изоляция: классификация изоляторов и их конструктивные отличия.
3. Внутренние (коммутационные) перенапряжения и стадии переходного процесса.

Составил _____ Лопаткин С.А.

Утверждаю: Зав. кафедрой _____ Лопатин В.В.

6. УЧЕБНО – МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1. Перечень используемых физических установок

1. Установка 201-1: лаб. №№ 2, 3, 4, 5, 7.
2. Установка 201-2: лаб. №№ 2, 3, 4, 6, 7.



3. Установка 301-1: лаб. № 9.
4. Установка 304-1: лаб. № 8.
5. Установка 304-2: лаб. № 10.

6.2. Перечень рекомендуемой литературы

ОСНОВНАЯ

1. Техника и физика высоких напряжений: учебник / И. М. Богатенков, Ю. Н. Бочаров, Н. И. Гумерова и др.; Под ред. Г. С. Кучинского. — СПб. : Энергоатомиздат, 2003. — 608 с. : ISBN 5-283-04757-1
2. Базуткин В.В., Ларионов В.П., Пинталь Ю.С. Техника и физика высоких напряжений/Под ред. В.П. Ларионова – 3-е изд., перераб. и доп. – М.; Энергоатомиздат, 1986. – 463 с.
3. Техника и физика высоких напряжений/ П.В. Борисоглебский, Л.Ф. Дмоховская, В.П. Ларионов и др./Под ред. Д.В. Разевига – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергия, 1976. – 488 с.
4. Техника и физика высоких напряжений/ Под ред. М.В. Костенко. М.: Энергия, 1973. – 528 с.
5. Техника и физика высоких напряжений: учебное пособие / В. Ф. Важов [и др.] ; Томский политехнический университет. — Томск : Изд-во ТПУ, 2006. — 104 с.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ

6. Техника и физика высоких напряжений: курс лекций / В. Ф. Важов, В. А. Лавринович, С. А. Лопаткин; Томский политехнический университет. — Томск : Изд-во ТПУ, 2006. — 124 с.
7. Техника и физика высоких напряжений: теоретические и практические основы применения / М. Бейер [и др.] ; под ред. В. П. Ларионова. — М. : Энергоатомиздат, 1989. — 555 с. — ISBN 5283024601.

6.3. Электронные образовательные ресурсы

8. Методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу ТиФВН:
http://www.elti.tpu.ru/lib/ESVT_TVNU.pdf

Составил доцент каф. ТЭВН

Лопаткин С.А.

Зав. кафедрой ТЭВН

профессор Лопатин В.В.