

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИДО

С.И. Качин

« ____ » _____ 2013 г.

ТЕХНИКА ВЫСОКИХ НАПРЯЖЕНИЙ

Методические указания и индивидуальные задания
для студентов ИДО, обучающихся по направлению
140400 «Электроэнергетика и электротехника»,
профиль «Электроэнергетические системы и сети»

Составитель
А.В. Мытников

Семестр	8
Кредиты	4
Лекции, часов	8
Лабораторные работы, часов	6
Индивидуальные задания	1
Самостоятельная работа, часов	94
Формы контроля	зачет

Издательство
Томского политехнического университета
2013

Техника высоких напряжений: метод. указ. и индивид. задания для студентов ИДО, обучающихся по напр. 140400 «Электроэнергетика и электротехника» / сост. А.В. Мытников; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 45 с.

Методические указания рассмотрены и рекомендованы к изданию методическим семинаром кафедры электроэнергетических систем 13 сентября 2013 г., протокол № 30.

Зав. кафедрой ЭЭС

доцент, кандидат технических наук _____ Ю.С. Боровиков

Аннотация

Методические указания по дисциплине «Техника высоких напряжений» предназначены для студентов ИДО, обучающихся по направлению 140400 «Электроэнергетика и электротехника». Данная дисциплина изучается один семестр.

Приведено содержание основных тем дисциплины, указан перечень лабораторных работ. Приведены варианты заданий для выполнения индивидуального задания, даны краткие методические указания по его выполнению.

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОСНОВНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ.....	4
РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	5
2. СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО РАЗДЕЛА ДИСЦИПЛИНЫ	6
ТЕМА 1. ВВЕДЕНИЕ	6
ТЕМА 2. ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СРЕДАХ	6
ТЕМА 3. ПОЛУЧЕНИЕ И ИЗМЕРЕНИЕ ВЫСОКИХ НАПРЯЖЕНИЙ.....	7
ТЕМА 4. ИЗОЛЯЦИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ И КОНТРОЛЬ ЕЕ СОСТОЯНИЯ	8
ТЕМА 5. ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ	9
3. СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОГО РАЗДЕЛА ДИСЦИПЛИНЫ.....	10
3.1. ПЕРЕЧЕНЬ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ	10
4. ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ДОМАШНИЕ ЗАДАНИЯ.....	11
4.1. ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ЗАДАНИЯ	11
4.2. ВАРИАНТЫ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ	11
4.3. ВОПРОСЫ И ЗАДАЧИ ПО ТЕМЕ «ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ГАЗАХ, ИЗОЛЯЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВОК, ВЫСОКОВОЛЬТНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ».....	12
ЗАДАЧА 1.....	25
ЗАДАЧА 2.....	29
ЗАДАЧА 3.....	31
ЗАДАЧА 4.....	33
5. ПРОМЕЖУТОЧНЫЙ КОНТРОЛЬ.....	36
5.1. ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ЗАЧЁТУ	36
5.2. ОБРАЗЕЦ БИЛЕТА К ЗАЧЕТУ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ТЕХНИКА ВЫСОКИХ НАПРЯЖЕНИЙ».....	40
6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	41
6.1. ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА	41
6.2. ЛИТЕРАТУРА ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ	41

1. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОСНОВНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Основными целями дисциплины являются формирование у студентов стройной и устойчивой системы знаний: о фундаментальных закономерностях зажигания и развития электрических разрядов в диэлектрических средах; механизмах пробоя диэлектриков при воздействии сильных электрических полей; видах изоляции высоковольтного оборудования и методах контроля ее состояния; способах получения и измерения высоких напряжений; о природе возникновения перенапряжений и способах защиты от них.

Эти знания позволят студентам ИДО успешно решать задачи в профессиональной деятельности, связанной с разработкой, проектированием, обслуживанием и эксплуатацией объектов электроэнергетики и электротехники.

Место дисциплины в общей структуре обучения

Дисциплина относится к «Профессиональному циклу» базовой части модуля «Электроэнергетика»; профили – «Электрические станции», «Электроэнергетические системы и сети», «Электроснабжение промышленных предприятий», «Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем», «Высоковольтные электроэнергетика и электротехника». Указанная дисциплина является одной из профилирующих; имеет как самостоятельное значение, так и является базой для ряда специальных дисциплин.

Для успешного освоения дисциплины слушателю необходимо:

знать

основные определения, понятия и закономерности из всех разделов курса «Общая физика»; законы электротехники; основные силовые элементы электрических систем; электротехнические материалы;

уметь

анализировать волновые уравнения и уравнения, описывающие поведение заряженных частиц в электрических и магнитных полях;

иметь опыт

практических измерений токов и напряжений в простых схемах.

Пререквизитами данной дисциплины являются: «Общая физика», «Высшая математика», «Теоретические основы электротехники», «Электротехнические материалы»;

Кореквизитами данной дисциплины являются: «Электрооборудование станций и подстанций», «Электроэнергетические системы и сети», «Электрические станции», «Электроснабжение промышленных предприятий».

Результаты освоения дисциплины

Обучающиеся должны освоить дисциплину на уровне, позволяющем им свободно ориентироваться в основных фундаментальных процессах рождения и исчезновения заряженных частиц в диэлектрических средах и механизмах пробоя различных диэлектриков; знать виды и принципы классификации изоляции высоковольтного оборудования, методы контроля ее состояния и причины, приводящие к выходу изоляции из строя; способы получения и измерения высоких напряжений; понимать физическую природу возникновения перенапряжений и способы защиты от них.

Уровень освоения дисциплины должен позволять обучающимся с использованием научно-технической литературы решать задачи обеспечения режимов надежной работы изоляции высоковольтного оборудования, средств защиты от перенапряжений всех типов, проведения высоковольтных испытаний.

2. СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО РАЗДЕЛА ДИСЦИПЛИНЫ

Тема 1. Введение

Роль и место техники высоких напряжений в современных системах электроэнергетики и электротехники. Общие сведения об электрофизических процессах в диэлектрических средах. Основные причины возникновения аварийных режимов на объектах электроэнергетики и электротехники, вызванные воздействием сильных электрических полей и электроразрядных процессов.

Тема 2. Электрофизические процессы в диэлектрических средах

Классификация видов электрических полей. Основные виды ионизационных процессов. Виды эмиссии. Явление электроотрицательности. Понятие плазмы. Степень ионизации. Уравнение Саха. Понятие «лавина электронов». Лавинная форма развития разряда. Стример. Стримерная форма развития разряда. Разряд в резконеоднородных полях. Эффект полярности. Закон Пашена. Закономерности возникновения и развития основных видов электрических разрядов в газах: коронный, искровой, дуговой, поверхностный. Особенности коронного разряда. Физическая причина формирования потерь на корону. Диагностика короны. Искровой разряд. Волна ионизации. Поверхностный разряд (перекрытие). Виды и стадии перекрытия. Дуговой разряд. Физические причины больших токов дуги. Трудности прерывания дуги. Физические процессы рождения заряженных частиц в дуговом разряде. Катодные пятна. Лидерная форма разряда. Молния. Понятие о частичных разрядах. Проблемы, связанные с возникновением и развитием частичных разрядов. Время запаздывания разряда. Общая характеристика и теории пробоя жидких диэлектриков. Механизмы пробоя твердых диэлектриков: электрический, тепловой, электрическое старение.

Рекомендуемая литература: [1, гл. 1], [2, гл. 1].

Методические указания

При изучении темы обратить внимание на классификацию и физическую природу основных процессов рождения и исчезновения заряженных частиц и роль указанных процессов в современных устройствах электроэнергетики и электротехники.

Усвоить особенности форм существования электрических разрядов и критерии перехода одной формы в другую.

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Классификация ионизационных процессов. Виды ионизации?
2. Виды эмиссионных процессов?
3. Что называется фотопроцессами?
4. Каков смысл коэффициентов в уравнении самостоятельности электрического разряда в газе?
5. Что такое «стример»?
6. Каков критерий лавинно-стримерного перехода?
7. Каковы особенности разряда в резконеоднородных полях?
8. Что такое «лидер»?
9. Каков критерий стримерно-лидерного перехода?
10. Назовите основные стадии развития молниевоего разряда?
11. В чем состоит эффект полярности?
12. Основные типы проводимости жидких диэлектриков?

Тема 3. Получение и измерение высоких напряжений

Методы и устройства получения высоких переменных, постоянных и импульсных напряжений. Генератор импульсных напряжений Аркадьева-Маркса. Генератор импульсных токов. Способы измерений высоких напряжений: электростатический вольтметр, измерительный шаровой разрядник, делители напряжения. Измерение больших импульсных токов.

Рекомендуемая литература: [1, гл. 2], [2, гл. 10].

Методические указания

При изучении темы обратить внимание на способы и технические пути получения высокого напряжения различного класса.

Усвоить основные методики и технические средства измерения высоких напряжений.

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Как классифицируются трансформаторы в высоковольтной технике?
2. В силу каких причин повышение напряжения трансформатора более 750 кВ оказывается нецелесообразным?
3. Назовите способы получения напряжения постоянного тока.
4. Какие схемы выпрямления существуют?

5. Каким образом можно получить высокое импульсное напряжение?
6. Где и для чего используется высокое импульсное напряжение?
7. Приведите схему и поясните принцип работы генератора Аркадьева – Маркса.

Тема 4. Изоляция высоковольтного оборудования и контроль ее состояния

Классификация изоляции. Виды внутренней изоляции: маслобарьерная, бумажно-маслянная, твердая, жидкая, элегазовая и вакуумная. Формирование ползущего разряда в комбинированной изоляции.

Линейная и аппаратно-станционная изоляция. Изоляция ЛЭП. Гирлянды изоляторов. Опорные и проходные изоляторы. Вводы. Изоляция мощных трансформаторов, конденсаторов, кабелей, электрических машин.

Новые перспективные разработки в области изоляции. Современные технологии контроля состояния изоляции.

Рекомендуемая литература: [1, гл. 3], [2, введение, гл. 6–9].

Методические указания

При изучении темы обратить внимание на классификацию изоляции, а также достоинства и недостатки основных диэлектрических материалов применяемых в устройствах современной электроэнергетики и электротехники.

Усвоить методы контроля состояния изоляции и технологию проведения измерений.

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Перечислите условия работы и требования, предъявляемые к изоляции высоковольтного электрооборудования.
2. Каково назначение и конструктивные особенности изоляции воздушных ЛЭП?
3. Исполнение опорных изоляторов для внутренней и наружной установок.
4. Назовите особенности назначения и конструктивного исполнения проходных изоляторов.
5. Охарактеризуйте высоковольтные вводы: назначение, тип изоляции, конструктивное исполнение. Назовите современные типы высоковольтных вводов.
6. Каковы конструктивные особенности изоляции трансформаторов напряжения?

Тема 5. Перенапряжения в электрических системах

Классификация перенапряжений. Уровни и координация изоляции. Волновые процессы в линиях и трансформаторах. Грозовые перенапряжения. Параметры молнии. Зоны защиты молниеотводов. Квазистационарные, феррорезонансные и коммутационные перенапряжения. Средства защиты от перенапряжений. Режимы нейтрали электрических систем. Влияние режима нейтрали на надежность электроснабжения и на импульсный уровень изоляции.

Резонансные перенапряжения. Перенапряжения на основной частоте в ненагруженной электропередаче. Феррорезонансные перенапряжения при несимметричном отключении фаз в системах с изолированной нейтралью.

Коммутационные перенапряжения. Перенапряжения при включении и отключении ненагруженных линий. Меры ограничения. Перенапряжения при отключении ненагруженных трансформаторов. Перенапряжения при АПВ. Перенапряжения в системах с изолированной нейтралью при дуговых замыканиях одной фазы на землю. Компенсация емкостного тока. Дугогасящие аппараты. Влияние дуугогасящей катушки на скорость восстановления напряжения. Конструкции дуугогасящих аппаратов и их выбор.

Рекомендуемая литература: [1, гл. 4], [2, введение, гл. 12–25].

Методические указания

При изучении темы обратить внимание на физическую природу возникновения перенапряжений. Иметь четкое представление об уровнях и координации изоляции. Понимать принцип работы современных устройств защиты от перенапряжений.

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Классификация перенапряжений и их кратность.
2. В чем состоит принципиальное отличие внешних перенапряжений от внутренних?
3. Почему грозовые перенапряжения наиболее опасны для сетей средних классов напряжения, а коммутационные для сетей высших классов напряжений?
4. Грозозащита ЛЭП и подстанций.
5. Зона защиты двух стержневых молниеотводов.
6. Охарактеризуйте принцип работы ограничителя перенапряжений.

3. СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОГО РАЗДЕЛА ДИСЦИПЛИНЫ

3.1. Перечень лабораторных работ

1. Разряды в воздухе при переменном напряжении – 2 часа.

Цель работы: изучить на практике работу испытательной высоковольтной установки, ознакомиться с реальными электроразрядными процессами в атмосферном воздухе. Получить экспериментальные зависимости разрядного напряжения от конфигурации электрического поля в промежутке. Определить факторы, влияющие на электрическую прочность воздушных промежутков. Уметь дать объяснение исследованным разрядным явлениям.

2. Электрические разряды по поверхности твердого диэлектрика – 2 часа.

Цель работы: ознакомиться с процессами формирования и развития разряда по поверхности твердого диэлектрика. Получить экспериментальные зависимости разрядного напряжения от конфигурации электрического поля в промежутке на различных стадиях перекрытия. Определить факторы, влияющие на электрическую прочность и стадии развития перекрытия. Дать объяснение полученным экспериментальным зависимостям. Сопоставить экспериментальные и расчетные данные и кривые. Объяснить различия на основе полученных представлений о поверхностном разряде.

3. Распределение напряжения по гирлянде подвесных изоляторов – 2 часа.

Цель работы: ознакомиться на практике со способами контроля распределения напряжения по гирлянде подвесных изоляторов. Получить экспериментальные зависимости степени неравномерности напряжения по длине гирлянды для различных ситуаций: гирлянда в нормальном состоянии, гирлянда содержит дефектный изолятор, гирлянда снабжена защитной арматурой. Определить факторы, влияющие на неравномерность распределения напряжения по гирлянде. Иметь представление о путях борьбы с неравномерностью распределения напряжения по элементам гирлянды. Дать объяснение полученным экспериментальным зависимостям. Сопоставить экспериментальные данные и данные, содержащиеся в таблице МЭК. Знать современные тенденции в изоляции ЛЭП.

4. ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ДОМАШНИЕ ЗАДАНИЯ

4.1. Общие методические указания по выполнению индивидуального задания

В данном разделе приведены контрольные вопросы по всем разделам программы. В этих заданиях отражены основные положения курса, следовательно, и зачетных билетов. На каждое задание (вопросы и задача) необходимо составить краткий исчерпывающий письменный ответ.

Номер варианта индивидуального задания соответствует двум последним цифрам номера зачетной книжки. Если образуемое ими число больше **40**, то необходимо вычесть из него 40. Например, если номер зачетной книжки 3-9240/27, то номер варианта равен 27. Если номер зачетной книжки 3-9240/53, то номер варианта равен 13).

К выполнению индивидуального задания следует приступить после изучения всех разделов курса «Техника высоких напряжений». По объему работа не должна превышать 25–30 страниц формата ученической тетради. Индивидуальное домашнее задание должно быть оформлено четко, разборчиво и аккуратно. Решения задач и ответы на вопросы поясняются графиками, схемами и эскизами. При оформлении работы должны быть оставлены поля для заметок преподавателя.

В конце работы указывается использованная литература, дата выполнения работы и ставится подпись студента.

4.2. Варианты индивидуальных заданий

№ варианта	№ вопроса	Вариант к задаче 1	Вариант к задаче 2	Вариант к задаче 3	Вариант к задаче 4
1	14, 53, 62	3	5	10	2
2	9, 43, 69	1	4	6	3
3	104, 18, 75	8	2	5	7
4	111, 25, 80	10	5	3	6
5	11, 54, 60	1	8	6	4
6	29, 53, 82	5	2	8	10
7	21, 2, 90	1	7	3	6
8	105, 30, 63	9	2	6	4
9	5, 106, 95	5	9	8	1

№ варианта	№ вопроса	Вариант к задаче 1	Вариант к задаче 2	Вариант к задаче 3	Вариант к задаче 4
10	112, 20, 71	2	6	10	3
11	31, 12, 97	3	1	7	6
12	13, 52, 67	7	5	4	8
13	26, 113, 83	9	1	3	7
14	51, 8, 76	8	10	2	5
15	110, 35, 98	4	9	1	2
16	107, 30, 59	7	1	4	9
17	19, 55, 88	1	8	2	3
18	111, 39, 77	5	2	9	6
19	50, 22, 91	9	6	3	10
20	36, 115, 65	1	10	7	4
21	23, 4, 87	5	2	1	8
22	38, 3, 73	9	6	3	7
23	108, 37, 96	3	10	7	4
24	15, 44, 89	5	4	1	8
25	108, 42, 61	8	6	5	2
26	6, 27, 84	2	10	7	6
27	40, 100, 92	1	3	5	8
28	49, 1, 70	9	2	4	1
29	33, 99, 81	6	10	3	5
30	45, 12, 66	10	7	1	4
31	16, 48, 78	6	1	8	2
32	108, 32, 94	3	7	2	9
33	56, 6, 72	10	4	8	3
34	28, 58, 85	4	1	5	9
35	7, 46, 64	7	5	2	6
36	101, 34, 93	7	10	6	3
37	103, 17, 74	3	8	1	9
38	24, 57, 86	7	4	9	2
39	41, 102, 79	3	8	5	10
40	47, 10, 68	1	4	9	6

**4.3. Вопросы и задачи по теме
«Электрофизические процессы в газах,
изоляция электрических установок, высоковольтное оборудование»**

1. Электрон движется в равномерном поле с напряженностью 30 кВ/см. Какое расстояние должен пройти электрон без столкновения для: а) ионизации одной молекулы водорода, азота, кислорода; б) освобождения электрона с поверхности катода из меди, стали, алюминия. Указание: для расчета использовать таблицу 2.1, [3, с. 8–22], [9, с. 12–25].

2. Для фотоионизации газового промежутка шарового разрядника применяется облучение промежутка искровым разрядом. Нарисовать схему процесса фотоионизации и вычислить наибольшую длину волны, достаточную для случаев: а) ионизация молекул водорода, азота, кислорода; б) освобождение электрона с поверхности катода из меди, стали, алюминия. Указание: для расчета использовать таблицы 2.1, 2.2, [3, с. 8–22], [9, с. 12–25].

3. Описать развитие разряда в газе в промежутке стержень-плоскость при положительной и отрицательной полярности стержня. Рекомендуемая литература: [3, с. 35–47], [9, с. 62–69].

4. Описать развитие разряда в длинных (километры) воздушных промежутках. Молния – разновидность искрового разряда. Рекомендуемая литература: [3, с. 40–47], [9, с. 208–217].

5. Привести графики зависимости $U(P) = f(p \cdot S)$, пояснить ход кривой Пашена. Привести формулы разрядного напряжения в однородном поле. Рекомендуемая литература: [1, гл. 1], [9, с. 56–62].

6. Пояснить понятие «лавина электронов» в газе. Описать развитие разряда в промежутке с однородным полем. Как определить число электронов в лавине? Рекомендуемая литература: [1, гл. 1].

7. Описать возникновение коронного разряда на проводах ЛЭП при переменном напряжении. Назвать технические мероприятия по уменьшению потерь на корону. Рекомендуемая литература: [1, гл. 1], [3, с. 60–67], [9, с. 159].

8. Дать определение составляющих времени разряда в газе. Какая составляющая является определяющей при разряде в однородном поле? Какие факторы влияют на составляющие времени разряда? Рекомендуемая литература: [1, гл. 1], [3, с. 47–48], [9, с. 69–71].

9. Описать стримерную теорию развития разряда в газе при нормальных и повышенных давлениях. Назвать виды разрядов в газах, их отличительные параметры. Рекомендуемая литература: [1, гл. 1], [3, с. 29–32], [9, с. 29].

10. Дать определение вольтсекундной характеристике, описать методику построения их. Привести вольтсекундные характеристики для газа в слабонеоднородном поле и в резконеоднородном поле. Показать роль вольтсекундных характеристик в ТВН. Рекомендуемая литература:

[1, гл. 1], [3, с. 78–88].

11. Пояснить понятие самостоятельного разряда в однородном поле. Привести его математическое выражение. Какими способами осуществляется вторичная ионизация? Рекомендуемая литература: [3, с. 22–26], [9, с. 27].

12. Описать возникновение скользящего разряда вдоль поверхности твердого диэлектрика в неоднородном поле. Пояснить влияние удельной поверхностной емкости на разрядное напряжение. Рекомендуемая литература: [1, гл. 1], [3, с. 54–57], [9, с. 82; 45].

13. Описать разряд вдоль увлажненной и загрязненной поверхности твердого диэлектрика. Какие факторы и как влияют на разрядное напряжение перекрытия? Рекомендуемая литература: [1, гл. 1], [3, с. 89–98].

14. Пояснить физическую суть влияния барьеров на разрядное напряжение. Привести график зависимости разрядного напряжения от расстояния между барьером и острием в промежутке, пояснить ход кривых. Назвать области применения барьеров. Рекомендуемая литература: [1, 3, с. 43–45].

15. Назвать виды ионизационных процессов при разрядах в газе, привести их схемы. Пояснить физический смысл коэффициента ударной ионизации α . Рекомендуемая литература: [3, с. 12–22].

16. Привести вольт-кулоновскую характеристику коронирующего провода. Как определить потери по вольт-кулоновской характеристике? Приведите другие характеристики коронирующего провода и поясните их. Рекомендуемая литература: [3, с. 68–75], [9, с. 161].

17. Описать процесс коронирования ЛЭП на постоянном напряжении. Как определить потери на корону при постоянном напряжении? Рекомендуемая литература: [3, с. 60–67], [9, с. 157].

18. Пояснить закон подобия разрядов. Привести условие самостоятельности разряда и пояснить его. Рекомендуемая литература: [1, 3, с. 37–38], [9, с. 64].

19. Что такое коэффициент ударной ионизации электронами? Поясните связь между коэффициентом ударной ионизации и длиной свободного пробега электронов. Рекомендуемая литература: [1, 3, с. 21–24], [9, с. 18].

20. Дать описание испытательных трансформаторов (отличие силовых трансформаторов от испытательных, особенности работы, устройства, конструктивное исполнение). Рекомендуемая литература: [1, 3, с. 464], [9, с. 387].

21. Нарисовать электрические схемы испытательных трансформаторов и диаграммы распределения напряжения вдоль обмотки трансформаторов с одним и двумя высоковольтными выводами. Достоинства

и недостатки таких трансформаторов. Рекомендуемая литература: [1, 3, с. 228–234], [9, с. 387].

22. Нарисовать конструктивное исполнение и электрическую схему каскадного соединения трех трансформаторов с питанием каждого последующего трансформатора от предыдущего. Достоинства и недостатки такой схемы соединения. Рекомендуемая литература: [1, 3, с. 464–465].

23. Нарисовать конструктивное исполнение и электрическую схему каскадного соединения трех трансформаторов с питанием от дополнительных переходных трансформаторов. Достоинства и недостатки такой схемы соединения. Рекомендуемая литература: [1, 3, с. 464–467].

24. Задачи высоковольтных испытаний и методы испытаний. Рекомендуемая литература: [1, 3, с. 460–462].

25. Нарисовать и описать работу однополупериодной и двухполупериодной схем выпрямления переменного тока. Дать диаграммы выходного напряжения и пояснить роль сглаживающего емкостного фильтра. Рекомендуемая литература: [1, 3, с. 468–469].

26. Нарисовать и описать работу одной из схем выпрямления с удвоением напряжения. Привести диаграмму выходного напряжения. Пояснить принцип получения постоянного напряжения с помощью каскадных генераторов постоянного тока. Рекомендуемая литература: [1, 3, с. 468–469].

27. Нарисовать и описать работу одноступенчатого генератора импульсных напряжений. Привести стандартную форму импульса и указать ее основные параметры. Рекомендуемая литература: [1, 3 с. 247–251].

28. Нарисовать схему многоступенчатого генератора импульсных напряжений. Назначение отдельных элементов схемы, соотношения отдельных элементов в схеме, связь параметров импульсной волны с параметрами схемы. Рекомендуемая литература: [9, с. 290].

29. Нарисовать схему многоступенчатого генератора импульсных напряжений и описать ее работу. Пояснить, как осуществляется регулирование амплитуды получаемого импульса, частоты следования импульсов и получение срезанного импульса. Рекомендуемая литература: [1, гл.2.].

30. Нарисовать принципиальную электрическую схему электростатического вольтметра. Описать принцип измерения напряжения, достоинства и недостатки, область их применения. Рекомендуемая литература: [1, 3, с. 486–491].

31. Нарисовать эскиз включения шаровых разрядников, описать принцип измерения напряжения шаровыми разрядниками, требования к ним при измерении напряжения. Рекомендуемая литература: [1, 3,

с. 480–486].

32. Пояснить методики измерения шаровыми разрядниками постоянных, переменных и импульсных напряжений. Рекомендуемая литература: [1, 3, с. 480–486].

33. Описать и пояснить требования к шаровым разрядникам при измерении напряжения. Особенности при измерении импульсных напряжений. Рекомендуемая литература: [1, 3, с. 480–486], [5, с. 261–268], [6, с. 153–157].

34. Нарисовать схему замещения омического делителя при измерении переменных и импульсных напряжений. Описать требования, предъявляемые к делителям, и факторы, влияющие на погрешность измерения. Рекомендуемая литература: [1, 3, с. 493–501].

35. Нарисовать схему замещения емкостного делителя напряжения. Описать требования к делителям и факторы, влияющие на погрешность измерения. Рекомендуемая литература: [1, гл.2].

36. Нарисовать и описать схемы генератора коммутационных волн на основе испытательных трансформаторов. Привести типичные формы получаемых волн в таких схемах. Рекомендуемая литература: [1, 3, с. 474–476].

37. Нарисовать и описать работу схемы генератора коммутационных волн на основе каскада испытательных трансформаторов. Привести типичные формы волн, получаемых в таких схемах. Рекомендуемая литература: [1, 3, с. 476–478].

38. Нарисовать и описать работу схемы генератора коммутационных волн на основе генератора импульсных напряжений. Привести формы волн, получаемых в таких схемах. Рекомендуемая литература: [1, 3, с. 478–479].

39. Нарисовать электрическую схему и описать метод измерения амплитуды напряжения с помощью конденсаторов и выпрямителей (по величине выпрямленного тока и напряжения на конденсаторе). Рекомендуемая литература: [1, 3, с. 491–493].

40. Описать процесс возникновения частичных разрядов в газовой полости твердого диэлектрика при переменном напряжении, пояснить характер изменения напряжения. Назвать и охарактеризовать методы регистрации частичных разрядов. Рекомендуемая литература: [1, гл. 1], [2, с. 122–125], [3, с. 138–143], [9, с. 181].

41. Описать методы контроля изоляции по $\text{tg } \delta$. Какие дефекты можно обнаружить при измерении $\text{tg } \delta$? Нарисовать и объяснить принцип действия аппаратуры для измерения $\text{tg } \delta$. Рекомендуемая литература: [1, 2, с. 216–221].

42. Привести графики и объяснить зависимость емкости от частоты для доброкачественной и дефектной изоляции. Какие дефекты можно обнаружить, используя данный метод. Нарисовать и объяснить принцип действия прибора, используемого в данном методе. Рекомендуемая литература: [1, 2, с. 217–222], [2, с. 188–190].

43. Привести схему замещения неоднородного диэлектрика и описать процессы в диэлектрике при воздействии электрического поля. Какая связь между характером изменения тока абсорбции и качеством изоляции? Рекомендуемая литература: [1, 2, с. 213–216], [2, с. 175–180].

44. Описать конструкцию изоляции силовых трансформаторов 220 кВ. Назвать и пояснить методы выравнивания напряжения на внутренней изоляции трансформаторов. Рекомендуемая литература: [1, 2, с. 158–164], [2, с. 201–207], [3, с. 426–436].

45. Описать типы линейных изоляторов и привести их эскизы. Указать преимущества и недостатки различных типов изоляторов. Какие электрические характеристики имеют линейные изоляторы? Рекомендуемая литература: [1, 2, с. 106–119], [2, с. 81–85], [3, с. 410–415].

46. Привести кривую распределения напряжения вдоль гирлянды подвесных изоляторов, объяснить характер кривой. С какой целью и какими средствами проводят выравнивание распределения напряжения вдоль гирлянды? Рекомендуемая литература: [1, 2, с. 121–125], [2, с. 91–92], [3, с. 410–415], [9, с. 95].

47. Описать развитие разряда по увлажненной и загрязненной поверхности изолятора. Какие изоляторы применяются в районах с сильным загрязнением? Привести их эскизы. Рекомендуемая литература: [1, 2, с. 83–84, 153–156], [2, с. 71–73], [3, с. 89–94].

48. Описать изоляцию линий электропередачи на деревянных опорах. Каким образом определяются минимальные изоляционные расстояния? Назвать требования, предъявляемые к изоляции ЛЭП. Рекомендуемая литература: [1, 2, с. 130–131], [2, с. 99–101].

49. Описать конструкции вводов на напряжение 35 кВ, Как осуществляется регулирование электрического поля во вводах конденсаторного типа? Рекомендуемая литература: [1, 2, с. 137–148], [2, с. 197–201], [3, с. 418–426].

50. Описать конструкцию кабелей с вязкой пропиткой. Как развивается ветвистый разряд в кабеле? Назвать области применения кабелей с вязкой пропиткой. Рекомендуемая литература: [1, 2, с. 189–195], [2, с. 208–216], [3, с. 436–438, 155–160].

51. Описать конструкции маслonaполненных кабелей. Указать области применения данных кабелей. Каким испытаниям подвергается изоля-

ция силовых кабелей? Рекомендуемая литература: [1, 2, с. 145–202], [2, с. 208–216], [3, с. 438–440].

52. Описать конструкцию силовых конденсаторов. Какие изоляционные материалы применяются в конденсаторах? Рекомендуемая литература: [1, 2, с. 202–213], [2, с. 216–220], [3, с. 445–450].

53. Привести эскизы основных элементов статорных обмоток электрических машин. Какие материалы используются в качестве изоляции в электрических машинах? Указать меры по устранению коронирования. Рекомендуемая литература: [1, 2, с. 176–185], [2, с. 221–226], [3, с. 450–457].

54. Описать методику испытания изоляции электрооборудования повышенным напряжением. Указать область применения и нормы испытаний. Рекомендуемая литература: [1, 2, с. 148–152], [2, с. 167–170], [3, с. 190–197].

55. Описать основные методы профилактики изоляции. С какой целью проводятся профилактические испытания? Рекомендуемая литература: [1, 2, с. 212–243], [2, с. 163–167].

56. Описать развитие ионизационных процессов в маслбарьерной изоляции. Почему барьеры увеличивают электрическую прочность? Рекомендуемая литература: [1, 2, с. 136–137], [3, с. 47–154].

57. Описать процесс возникновения частичных разрядов в бумажно-масляной изоляции. Какие факторы влияют на электрическую прочность бумажно-масляной изоляции? Рекомендуемая литература: [1, 2, с. 129–13], [3, с. 138–139, 143–145].

58. Описать методику выбора числа изоляторов в гирлянде. Какие изоляторы используются на линиях электропередачи? Привести их эскизы. Рекомендуемая литература: [1, 2, с. 114–118, 126–129].

Вопросы по теме «Перенапряжения в электрических системах»

59. Описать развитие лидерного разряда молнии и обратного разряда. Ток молнии, связь тока молнии с плотностью заряда в лидерном канале и скорость обратного разряда. Расчетная форма волны тока молнии. Рекомендуемая литература: [1, 2, с. 224–250], [9, с. 208–215].

60. Указать основные параметры разряда молнии. Определить вероятность того, что амплитуда тока молнии будет равна или больше 50 кА, 100 кА, 150 кА. Определить вероятность того, что крутизна фронта тока молнии будет равна или больше 10 кА/мкс, 25 кА/мкс, 50 кА/мкс. Рекомендуемая литература: [1, 2, с. 229–233], [9, с. 210–215].

61. Пояснить структуру электромагнитного поля канала молнии.

Рекомендуемая литература: [1, 2, с. 250–251], [2, с. 233–234].

62. Как характеризуется интенсивность грозовой деятельности? Как влияет она на грозопоражаемость энергетических объектов? Определить интенсивность гроз в районе Москвы, Новосибирска, Кавказского хребта. Рекомендуемая литература: [1, 2, с. 252], [2, с. 233], [9, с. 215–217].

63. Написать основные дифференциальные уравнения распространения электромагнитной волны вдоль линии. Определить скорость распространения волны в среде с $\epsilon = 1$, $\mu = 1$ (воздушная линия), $\epsilon = 4$, $\mu = 1$ (кабельная линия). Какие значения имеют волновые сопротивления на воздушных и кабельных линиях? Рекомендуемая литература: [1, 4, с. 265].

64. Рассчитать собственные и взаимные волновые сопротивления трехфазной линии с горизонтальным расположением проводов со средней высотой подвеса проводов 10 м, расстоянием между проводами 4 м и радиусом провода 1 см. Рекомендуемая литература: [1, 2, с. 255–256].

65. Три фазы линии с горизонтальным расположением проводов включаются на общий источник $U_0 = 1000$ кВ. Волновые сопротивления равны: $Z_{11} = Z_{22} = 400$ Ом, $Z_{12} = Z_{23} = 120$ Ом, $Z_{13} = 90$ Ом. Рассчитать эквивалентное волновое сопротивление каждой фазы, а также общее волновое сопротивление всех трех фаз. Определить ток в каждой фазе. Рекомендуемая литература: [1, 2, с. 256], [2, с. 253].

66. По двум тросам со средней высотой подвеса 18 м распространяется волна напряжения $U_0 = 1000$ кВ. Линия одноцепная с горизонтальным расположением проводов. Средняя высота подвеса проводов 12 м. Расстояние между проводами 3 м, радиус провода 1,5 см, радиус троса 1 см. Тросы расположены симметрично относительно среднего провода. Рассчитать напряжения, наводимые на проводах и соответствующие коэффициенты связи. Рекомендуемая литература: [1, 2, с. 257], [2, с. 253–254].

67. Волна перенапряжений прямоугольной формы амплитудой 200 кВ переходит с линии Z_1 на линию Z_2 через отрезок линии Z_0 длиной 100 м. Рассчитать и построить форму проходящей волны. Рассмотреть два случая:

1. $Z_1 = Z_2 = 400$ Ом, $Z_0 = 40$ Ом; 2. $Z_1 = Z_2 = 50$ Ом, $Z_0 = 400$ Ом. Рекомендуемая литература: [1, 2, с. 258–260], [2, с. 245–247].

68. Задачу 67 решить, заменив отрезок линии с волновым сопротивлением Z_0 сосредоточенной емкостью или индуктивностью. Привести эквивалентные схемы, рассчитать и построить форму проходящей волны. Рекомендуемая литература: [1, с. 260]; [2, с. 247].

69. По линии с волновым сопротивлением 50 Ом распространяется прямоугольная волна напряжения $\tau_v = 20$ мкс и амплитудой $U_0 = 100$ кВ. На конце линии присоединена емкость $C = 1$ мкФ. Рассчитать форму

волны на емкости. Указание: волну заданной формы разложить на две прямоугольные бесконечной длительности волны обратной полярности, сдвинутых во времени на $\tau = \tau_b$. Для каждой составляющей построить напряжение на емкости и затем сложить с учетом полярности и сдвига во времени. Рекомендуемая литература: [1, 2, с. 260].

70. Рассчитать искажение волны на проводе вследствие импульсной короны при пробеге расстояния $l = 2$ км. Форма волны стандартная 1,2/50 мкс, амплитуда 1000 кВ, напряжение начала короны $U_K = 200$ кВ. Полярность волны отрицательная. Высота подвеса провода 10 м, радиус провода $r = 1$ см. Дать физическое объяснение искажения волны вследствие импульсной короны. Как влияет импульсная корона на коэффициент связи между проводами? Рекомендуемая литература: [1, с. 266–269], [1, 2, с. 238–239].

71. Объяснить характер защитного действия молниеотводов. Привести и пояснить защитные зоны стержневых молниеотводов, а также расчет зоны защиты открытой подстанции от прямых ударов молнии. Рекомендуемая литература: [1, 2, с. 271–279], [2, с. 263–270], [9, с. 219–230].

72. Построить зону защиты тросового молниеотвода. Высота крепления троса на опоре 22 м. Расположение проводов ЛЭП горизонтальное с расстоянием между проводами 4 м. Высота подвеса провода 16 м. Определить вероятность прорыва молнии на провод. Какие углы защиты применяются для надежного экранирования проводов? Рекомендуемая литература: [1, 2, с. 279, 327], [2, с. 267–268].

73. Рассчитать потенциал на вершине молниеотвода решетчатой конструкции высотой 30 м при токе 100 кА, крутизне тока молнии 25 кА/мкс; сопротивление молниеотводов 10 Ом. Рекомендуемая литература: [1, 2, с. 280–281], [9, с. 228].

74. Что такое импульсный коэффициент заземления α и как он зависит от тока молнии, удельного сопротивления грунта ρ ? Определить импульсный коэффициент трубчатого электрода длиной $l = 3$ м в грунте $\rho = 2 \cdot 10^4$ Ом·см при импульсном токе $I = 25$ кА, диаметр трубы $d = 50$ мм, $E_{\text{ПР}}$ грунта 6 кВ/см. Рекомендуемая литература: [1, 2, с. 294], [2, с. 278], [9, с. 224].

75. Указать допустимые пределы сопротивлений заземления опор линий электропередачи, заземляющих контуров станций и подстанций. Указать основные правила выполнения заземляющих устройств станций и подстанций. Рекомендуемая литература: [1, 2, с. 282–301], [2, с. 274–284].

76. Привести классификацию грунтов по их удельному сопротивлению ρ . Какое влияние на ρ грунтов оказывают осадки, промерзание? Какое влияние на ρ грунта оказывает стекание импульсного тока с за-

землителя? Рекомендуемая литература: [1, 2, с. 286–289], [2, с. 270–284], [9, с. 224].

77. Дать физическое объяснение влиянию протяженности заземлителя на его импульсное сопротивление. Как связан импульсный коэффициент α с длиной протяженного заземлителя и с током молнии? Каковы предельные длины протяженных заземлителей? Рекомендуемая литература: [1, 2, с. 295–298], [2, с. 270–282], [9, с. 224].

78. Пояснить принцип защиты изоляции разрядником. Перечислить типы разрядников, применяемых для защиты от перенапряжений. Указать недостатки искровых защитных промежутков. Рекомендуемая литература: [1, 2, с. 302–318], [2, с. 284–307], [9, с. 230].

79. Описать конструкцию трубчатых разрядников (РТ). Указать их основные характеристики. Как выбираются РТ по пределам отключаемых токов? Рекомендуемая литература: [1, 2, с. 303–309], [2, с. 287–293], [9, с. 233].

80. Указать основные элементы и характеристики вентильного разрядника. Привести вольтамперную характеристику (ВАХ) рабочего сопротивления разрядника и объяснить физическую природу нелинейности ВАХ. Какие материалы применяются для рабочих сопротивлений? На какие предельные импульсные токи должно быть рассчитано рабочее сопротивление? Рекомендуемая литература: [1, 2, с. 309–312], [2, с. 293–297], [9, с. 237].

81. Описать конструкцию единичного искрового промежутка вентильных разрядников. Как осуществляется гашение дуги сопровождающего тока в искровых промежутках? Почему для гашения дуги необходимо разделение искрового промежутка разрядника на большое число единичных промежутков? Рекомендуемая литература: [1, 2, с. 312–313], [2, с. 297–299], [9, с. 237].

82. Описать конструкцию разрядника типа РВС. Рекомендуемая литература: [1, 2, с. 313–315], [2, с. 299–303].

83. Описать конструкцию искрового промежутка с вращающейся дугой. Указать значение этих промежутков для улучшения характеристик вентильных разрядников. Рекомендуемая литература: [1, 2, с. 315–318], [2, с. 300–303], [9, с. 241–242].

84. Как возникают атмосферные перенапряжения на линиях электропередачи? Определить число разрядов в линию длиной 150 км при средней высоте подвеса троса 12 м; среднее число грозových часов в году равно 30. Рекомендуемая литература: [1, 2, с. 319–320], [2, с. 309–310], [9, с. 217].

85. Определить вероятность перехода импульсного перекрытия

в силовую дугу при междуфазном перекрытии на деревянных опорах 110 кВ и при перекрытии с фазы на землю. Изоляция линии: 7 изоляторов П-4,5 в гирлянде, расстояние между фазами 3 м. Длина пути перекрытия по дереву на землю равна 12 м. От чего зависит вероятность установления силовой дуги? Рекомендуемая литература: [1, 2, с. 319–320], [2, с. 310], [9, с. 251].

86. Рассчитать индуктированное перенапряжение на проводах линии со средней высотой подвеса 10 м. Разряд молнии с током 150 кА произошел на расстоянии 100 м от линии. Рекомендуемая литература: [1, 2, с. 322], [2, с. 313].

87. Рассчитать защитный уровень линии 220 кВ на металлических опорах без троса. Изоляция линии – 12 изоляторов П-4,5 в гирлянде (на промежуточных опорах). Определить также вероятность перехода на этой линии импульсного перекрытия в силовую дугу. Рекомендуемая литература: [1, 2, с. 320–324], [2, с. 310–315].

88. Рассчитать защитный уровень линии 220 кВ на деревянных опорах без троса. Расположение проводов горизонтальное с высотой подвеса 12 м, расстояние между фазами 4,5 м, гирлянда содержит 12 изоляторов. Определить также вероятность перехода на этой линии импульсного перекрытия в силовую дугу на пути фаза–земля и фаза–фаза. Рекомендуемая литература: [1, 2, с. 326], [2, с. 316].

89. Указать составляющие напряжения, воздействующие на изоляцию, при прямом ударе молнии в линию с тросом, дать оценку каждой из этих составляющих и указать какими мерами можно их снизить. Изложить метод расчета напряжения, воздействующего на изоляцию трос-провод при прямом ударе молнии в трос в середине пролета. Рекомендуемая литература: [1, 2, с. 326–332], [2, с. 317–323], [9, с. 258–262].

90. Оценить, в какой степени влияют на защитный уровень линии с тросом величины сопротивлений заземления опор, длины пролета, число тросов, коэффициент связи и уровень изоляции линии. Рекомендуемая литература: [1, 2, с. 326–332], [2, с. 317–323], [9, с. 258–268].

91. Указать рекомендуемые способы грозозащиты линии: а) 220 кВ и выше; б) 110 кВ на металлических и железобетонных опорах; в) 110 кВ на деревянных опорах; г) 35 кВ на деревянных опорах; д) 35 кВ на металлических и железобетонных опорах; е) линий 3–10 кВ. Рекомендуемая литература: [1, 2, с. 333–334], [2, с. 325–326], [9, с. 250].

92. Изложить основные принципы защиты подстанций от волн, набегающих с линии. Нарисовать и дать обоснование принципиальным схемам грозозащиты подстанций. Рекомендуемая литература: [1, 2, с. 335–337], [2, с. 327–357], [9, с. 272].

93. Пояснить, как выбирается длина защищенного подхода ЛЭП и подстанции. Изложить методику определения длины защищенного подхода. Рекомендуемая литература: [1, 2, с. 338], [2, с. 345–346], [9, с. 279].

94. Рассчитать максимальное напряжение на изоляции подстанции 35 кВ, защищенной вентильным разрядником РВС-35, установленным по ходу волны после защищаемой изоляции на расстоянии $l = 30$ м. Емкость изоляции принять равной нулю. Амплитуда волны $U_0 = 300$ кВ, форма волны стандартная 1,2/50 мкс. Привести формулу напряжения на изоляции подстанции. Рекомендуемая литература: [1, гл. 4], [2, с. 337–342].

95. Какое влияние на защиту подстанции оказывают крутизна набегающей волны, расстояние между разрядником и защищаемым оборудованием, число приключенных линий, емкость ошиновки и оборудования подстанции? Рекомендуемая литература: [1, 2, 339–346], [2, с. 336–341].

96. Каким путем может осуществляться передача напряжения через обмотки трансформаторов на сторону генераторного напряжения? Опасны ли эти напряжения для генераторов? Описать схемы защиты генераторов, соединенных непосредственно с воздушными линиями, соединенных с воздушными линиями через короткие кабельные вставки, с индуктивностью в начале линии. Дать сравнительную оценку этим схемам. Рекомендуемая литература: [1, 2, с. 359–365], [2, с. 353–361], [9, с. 284–287].

97. Указать достоинства и недостатки двух способов заземления нейтрали эффективного заземления и резонансного заземления. Как влияет режим нейтрали на импульсный уровень прочности изоляции электрической системы? Рекомендуемая литература: [1, 2, с. 365–373], [9, с. 153].

98. Определить напряжение на здоровых фазах при однофазном коротком замыкании в системах с отношением $X_0/X_1 = 2, 3, 5$. Как влияет режим нейтрали на соотношение X_0/X_1 ? Рекомендуемая литература: [1, 2, с. 365–373], [9, с. 358].

99. Изложить развитие перенапряжений при дуговых замыканиях на землю в системах с незаземленной нейтралью. Каких величин достигают перенапряжения при перемежающемся характере горения дуги? Рекомендуемая литература: [1, 2, с. 373–380], [2, с. 445–453], [9, с. 325–336].

100. В чем основная опасность длительности дугового замыкания на землю и почему необходимо гашение дуги? Рекомендуемая литература: [1, 2, с. 373–380], [2, с. 445–453], [9, с. 335–336].

101. Описать метод компенсации емкостного тока замыкания на землю. Привести векторную диаграмму и формулу результирующего тока в месте замыкания на землю при наличии дугогасящей катушки.

Рекомендуемая литература: [1, 2, с. 380–385], [2, с. 453–455].

102. Описать, каким образом дугогасящие катушки способствуют гашению емкостного тока замыкания на землю. Рекомендуемая литература: [1, 2, с. 380–385], [2, с. 453–455].

103. Изложить причину смещения нейтрали в сетях с дугогасящей катушкой при резонансной настройке катушки. Какими путями избегают недопустимых смещений нейтрали? Рекомендуемая литература: [1, 2, с. 385–388], [2, с. 457–461].

104. Описать конструкцию дугогасящей катушки и привести рекомендации по выбору числа и места установки катушек. Рекомендуемая литература: [1, с. 388–393], [2, с. 460–461].

105. Описать развитие перенапряжений при отключении ненагруженных линий. Рекомендуемая литература: [1, 2, с. 393–401], [2, с. 439–444], [9, с. 327].

106. Каких значений достигают перенапряжения при отключении ненагруженных линий? Каким образом можно полностью устранить возникновение перенапряжений при отключении ненагруженных линий? Описать процесс отключения холостой линии выключателем с шунтирующими сопротивлениями. Рекомендуемая литература: [1, 2, с. 393–401], [2, с. 439–444], [9, с. 327].

107. Описать меры защиты от перенапряжений, возникающих при отключении ненагруженных линий. Пояснить защитное действие каждой из этих мер. Рекомендуемая литература: [1, 2, с. 393–401], [9, с. 327].

108. Описать возникновение перенапряжений при включении ненагруженных линий электропередачи. Привести возможные величины перенапряжений данного вида. Рекомендуемая литература: [1, 2, с. 454–457], [2, с. 414–424], [9, с. 347].

109. Пояснить физическую сущность перенапряжений при АПВ. Рекомендуемая литература: [1, 2, с. 425–430], [9, с. 307].

110. Описать развитие перенапряжений при отключении больших индуктивностей. Рекомендуемая литература: [1, 2, с. 401–409], [2, с. 436–439], [9, с. 320].

111. Каких значений достигают перенапряжения при отключении ненагруженных трансформаторов? Какими путями можно снизить амплитуду перенапряжений? Как влияет скорость восстановления электрической прочности межконтактного промежутка выключателя на величину перенапряжений при отключении индуктивностей? Рекомендуемая литература: [1, 2, с. 401–409], [2, с. 436–439], [9, с. 320].

112. Изложить условия возникновения резонансных перенапряжений в линейной и нелинейной колебательной цепи. Рекомендуемая ли-

тература: [1, 2, с. 409–414], [2, с. 392–396], [9, с. 363].

113. Пояснить возникновение резонансных перенапряжений при несимметричном отключении фаз. Рекомендуемая литература: [1, с. 409–414], [2, с. 396–402], [9, с. 363].

114. Пояснить возникновение резонансных перенапряжений в дальних ЛЭП. Охарактеризовать влияние на эти перенапряжения длины линии, предвключенной индуктивности, потерь на корону, магнитного шунта трансформатора. Рекомендуемая литература: [1, 2, с. 434–446], [2, с. 372–389], [9, с. 347–358].

115. Описать меры ограничения внутренних перенапряжений в дальних ЛЭП. Рекомендуемая литература: [1, 2, с. 460–467], [2, с. 461–477].

116. Описать конструкцию и принцип работы комбинированного вентильного разрядника РВМК. Рекомендуемая литература: [1, 2, с. 306], [9, с. 246–247].

ЗАДАЧА 1

Определить потери энергии на корону и среднегодовую мощность потерь для трехфазной линии переменного напряжения с горизонтальным расположением проводов. Рекомендуемая литература: [1, гл. 1].

Методические указания к решению

Для расчета использовать метод Левитова В.И. Относительная плотность воздуха принимается равной 0,95 для всех вариантов. Данные приведены в табл. 4.2.

$$P = 350 \times \omega \cdot \frac{C^2}{C_{\Sigma} - C} \cdot U_{\text{К}}^2 \cdot F(U_{\Phi}/U_{\text{К}}),$$

Где: $U_{\text{К}}$ – критическое напряжение короны фазы для каждого вида погоды, кВ.

$$U_{\text{К}} = \frac{2 \times \pi \times \varepsilon \times \varepsilon_0 \cdot n \cdot r_0 \cdot E_{\text{К}}}{K_{\text{У}} \cdot C}$$

где n – количество проводов в фазе;

$K_{\text{У}}$ – коэффициент усиления:

$$K_{\text{У}} = 7 + (n - 1) - \frac{r_0}{r_{\text{р}}},$$

где r_0 – радиус одиночного провода, см.

$r_{\text{р}}$ – радиус расщепления, см. Определяется по таблице 4.2.

E_k – критическая напряженность, при которой на фазе загорается коронный разряд, кВ/см. E_k зависит от количества составляющих проводов в фазе и определяется как:

$$E_k = 23,3 \cdot m \cdot \delta \cdot \left[1 + \frac{0,62}{(r \cdot \delta)^{0,38}} \right]$$

где, для одиночного провода вместо r подставляется радиус одиночного провода r_0 ; для расщепленных проводов вместо r подставляется эквивалентный радиус $r_{\text{Э}}$;

m – коэффициент гладкости провода.

Для хорошей погоды $m = 0,85$.

Для тумана $m = 0,7$.

Для инея, гололеда, изморози $m = 0,6$.

Для дождя и мокрого снега m определяется по [2, рис. 3.10].

$F(U_{\text{Ф}}/U_k)$ – функция, определяемая для каждого вида погоды по [2, рис. 3.11].

$U_{\text{Ф}} = \frac{U_{\text{НОМ}} \cdot \sqrt{2}}{\sqrt{3}}$ – амплитуда фазного напряжения, кВ.

C – рабочая емкость той фазы, на которой определяются потери:

$$C = \frac{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0}{\ln \frac{d}{r_{\text{Э}}}}$$

где $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-9}$ Ф/км – диэлектрическая проницаемость воздуха, d – среднее геометрическое расстояние между фазами, определяемое как:

$$d = \sqrt[3]{2 \cdot a^3} \approx 1,26 \cdot a,$$

где a – расстояние между соседними фазами в метрах.

Продолжительность соответствующей группы погоды необходимо определить, используя табл. 4.1

Таблица 4.1.

Усредненная продолжительность различных групп погоды

Группа погоды	Продолжительность групп погоды за год, час	Продолжительность групп погоды за год, %
Хорошая погода	7120	81,3
Сухой снег	800	9,1

Дождь	500	5,7
Изморозь	340	3,9

Таблица 4.2.

Варианты данных для расчета задачи № 1

Параметр	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$U_{\text{НОМ}}$, кВ	330	330	330	330	500	500	500	750	750	750
Число и марка проводов в фазе	2, АС-240	2, АС-300	2, АС-150	2, АС-400	2, АС-400	2, АС-500	2, АС-700	2, АС-400	2, АС-500	2, АС-700
r_0 , см	1,08	1,175	0,853	1,36	1,36	1,51	1,855	1,36	1,51	1,855
D_p , см	20	20	20	20	40	40	40	60	60	60
a , м	7,5	7,5	7,5	7,5	10,5	10,5	10,5	16,5	16,5	16,5
$h_{\text{х.п.}}$, час	7235	6580	3800	5100	7235	6580	3800	5100	7235	6580
$h_{\text{т}}$, час	375	420	530	485	375	420	530	485	375	420
$h_{\text{и}}$, час	225	290	380	330	225	290	380	330	225	290
$h_{\text{д}}$, час	400	670	2000	1045	425	770	2500	1245	350	620
$h_{\text{сн}}$, час	525	800	2050	1800	500	700	1550	1600	575	850
$J_{\text{д}}$, мм/ч	0,2	0,4	0,9	0,55	0,2	0,4	0,9	0,55	0,2	0,4
$3J_{\text{сн}}$, мм/ч	0,8	0,3	0,1	0,2	0,8	0,3	0,1	0,2	0,8	0,3

При горизонтальном расположении проводов емкость первой и третьей фаз равны, а емкость средней фазы на 5 % больше.

Параметр $r_{\text{Э}}$ – эквивалентный радиус расщепленного провода в см. Определяется из [3, табл. 3.1].

$C_{\text{Э}}$ – эквивалентная емкость объемного заряда короны, Ф/км.

$$C_{\text{Э}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0}{\ln \frac{\sqrt{r_p^2 + 2,5 \cdot K \cdot C \cdot U_{\text{К}} / \delta \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot \omega}}{r_{\text{Э}}}},$$

где r_p – радиус расщепления в см. Определяется из табл. 4.2.

K – подвижность ионов.

Для тумана, дождя, мокрого и сухого снега $K = 1100 \text{ см}^2/\text{кВс}$.

Для хорошей погоды, инея, гололеда, изморози $K = 2200 \text{ см}^2/\text{кВс}$.

δ – относительная плотность воздуха;

ω – круговая частота.

Расчет потерь на корону на 1 км линии за 1 год, обозначаемый как A выраженный в кВт час/км, проводится по формуле:

$$A = P_{\text{х.п.}} \cdot h_{\text{х.п.}} + P_{\text{т}} \cdot h_{\text{т}} + P_{\text{и}} \cdot h_{\text{и}} + P_{\text{д}} \cdot h_{\text{д}} + P_{\text{сн}} \cdot h_{\text{сн}}$$

Средняя мощность потерь на корону за год в кВт/км определится как

$$P_{\text{СР}} = A/8760.$$

Основные характеристики расщепленного провода и все необходимые параметры для расчета приведены в книге Д.В. Разевига «Техника высоких напряжений» в табл. 3.1., стр. 56.

ЗАДАЧА 2

Рассчитать и представить графически структуру волнового процесса в обмотках силового трансформатора. А именно: кривую емкостного (начального) распределения напряжения (U_C), кривую максимальных потенциалов ($U_{\text{МАКС}}$) вдоль обмотки трансформатора, при воздействии прямоугольной (длительность фронта = 0) бесконечно длинной волны напряжения с амплитудой U_0 . Общее число элементов схемы замещения обмотки трансформатора – N , число элементов, для которых определяются величины U_C и $U_{\text{МАКС}}$ равно n . Емкость одного элемента на землю ΔC , собственная емкость каждого элемента вдоль обмотки трансформатора – ΔK .

Значения основных параметров и режим нейтрали трансформатора приведены в табл. 4.3.

Использовать литературу [1, гл. 4; 2, с. 164–173].

Методические указания к решению

Начальное распределение напряжения вдоль обмотки трансформатора определяется как:

$$U_{C(n)} = U_0 \cdot e^{-\alpha n/N},$$

где: $\alpha N = N \cdot \sqrt{\frac{\Delta C}{\Delta K}},$

где $N=10; n=0,1,2,\dots,10.$

Максимальное напряжение в любой точке трансформатора определяется как:

$$U_{\text{МАКС}}\left(\frac{n}{N}\right) = U_{\text{УСТ}}\left(\frac{n}{N}\right) + \left[\sum U_K \cdot \left(\frac{n}{N}\right) \right].$$

Амплитуда гармоник при заземленной нейтрали трансформатора определяется по формуле:

$$U_{K_{\text{МАКС}}} = \frac{2 \cdot U_0}{K \cdot \pi \cdot \left[1 + \left(\frac{K \cdot \pi}{\alpha \cdot N} \right)^2 \right]},$$

где $K = 1, 2, 3$.

Амплитуда гармоник в случае изолированной нейтрали трансформатора определяется по формуле:

$$U_{K_{\text{МАКС}}} = \frac{4 \cdot U_0}{\pi \cdot (2k - 2) \left\{ 1 + \left[\frac{\pi \cdot (2k - 1)}{\alpha \cdot N} \right]^2 \right\}},$$

где $k = 1, 3, 5$.

Далее рассчитывается амплитуда гармоник и строится график.

При построении кривой максимальных потенциалов для случая трансформатора с заземленной нейтралью строят 1, 2, 3 гармоники таким образом, чтобы в начале ($n/N=0$) и в конце ($n/N=1$) обмотки определяются их нулевые значения, т.е. на длине обмотки трансформатора укладывается целое число полуволн (полупериодов), равное номеру соответствующей гармоники.

Для случая трансформатора с изолированной нейтралью строят 1, 3 и 5 гармоники таким образом, чтобы в начале обмотки ($n/N=0$) определились их нулевые значения, а в конце обмотки ($n/N=1$) определились их максимальные значения, т.е. на длине обмотки трансформатора укладывается целое нечетное число четвертей периода, равное номеру соответствующей гармоники. В каждой точке обмотки (n/N) суммируются ординаты всех гармоник, и затем эта сумма складывается с обратным знаком с $U_{\text{УСТ}}$ в данной точке обмотки.

Таблица 4.3.

Значения основных параметров и режим нейтрали для расчета параметров волнового процесса в обмотках трансформатора

№ варианта	U_0 , %	N , шт	ΔC , пФ	ΔK , пФ	Режим нейтрали
1	100	30	225	2500	заземлена
2	100	30	275	1100	изолирована
3	100	10	275	1100	изолирована
4	100	20	275	1100	заземлена
5	100	10	540	1500	заземлена
6	100	30	168	1050	изолирована

7	100	10	980	2000	изолирована
8	100	20	980	2000	заземлена
9	100	20	168	1050	изолирована
10	100	10	168	1050	заземлена

ЗАДАЧА 3

Рассчитать и представить графически форму волны, набегающую на шины подстанции. Схема замещения подстанции состоит из последовательно соединенных индуктивности L и емкости C . Набегающая волна имеет косоугольный фронт и постоянную амплитуду U_0 . Значения указанных параметров, необходимых для расчета волнового процесса, приведены в табл. 4.4. [1, 2, с. 243–244].

Методические указания к решению

Значения времени задавать от 0 до $2T$ с шагом $1/8T$.

Формулы для определения круговой частоты и периода волны имеют вид:

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}}, T = \frac{2 \times \pi}{\omega},$$

где ω – круговая частота, T – период волны.

Расчет напряжения на емкостных элементах для случая время меньше длительности фронта вести по формуле:

$$U_C = a \cdot t - \frac{a}{\omega} \cdot \sin \omega t,$$

где параметр a представляет собой $a = U_0/t_\Phi$.

В случае, когда время процесса превышает длительность фронта волны, расчет проводится по формуле:

$$U_C = U_0 \cdot \left[1 - \frac{\sin \frac{\pi \cdot t_\Phi}{T}}{\frac{\pi \cdot t_\Phi}{T}} \cdot \cos \omega \left(t - \frac{t_\Phi}{2} \right) \right].$$

Таблица 4.4.

Значения основных параметров для расчета волнового процесса на шинах подстанции

№ варианта	$L \times 10^{-6}$, Гн	$C \times 10^{-6}$, Ф	$t_\Phi \times 10^{-6}$, с	U_0 , кВ
------------	-------------------------	------------------------	-----------------------------	------------

1	24	0,0095	1,5	450
2	10	0,01	1,5	300
3	20	0,02	1,0	450
4	11,5	0,02	3,0	750
5	5	0,02	0,5	250
6	30,5	0,03	4,5	450

Продолжение табл. 4.4.

№ варианта	$L \times 10^{-6}$, Гн	$C \times 10^{-6}$, Ф	$t_{\Phi} \times 10^{-6}$, с	U_0 , кВ
7	10	0,04	2,0	700
8	16	0,04	2,5	250
9	8	0,05	3,0	450
10	15	0,06	1,5	600

ЗАДАЧА 4

Рассчитать удельное число отключений линии на железобетонных опорах. Коэффициент связи принять равным 0,25. Параметры линии приведены в табл. 4.5.

Использовать литературу: [1, 2, с. 332–333, 3. с. 323].

Методические указания к решению

Удельное число отключений линии определяется по формуле:

$$n = 0,18 \cdot h \cdot (0,5 \cdot V_{\text{ПЕР}1} \cdot \eta_1 + 0,5 \cdot V_{\text{ПЕР}2} \eta_2 + V_{\alpha} \cdot V_{\text{ПЕР}3} \cdot \eta_1),$$

где h – средняя высота провеса тросов, м.

$V_{\text{ПЕР}1}$ – вероятность перекрытия изоляции при ударе в опору; определяется по формуле:

$$V_{\text{ПЕР}1} = 10^{\frac{-I_3}{60}} = e^{\frac{-I_3}{26}},$$

где I_3 – защитный уровень линии с тросами при ударе молнии в опору, кА.

Указанный защитный уровень, в свою очередь, определяется согласно выражению:

$$I_3 \cong \frac{U_{50\%}}{R + \delta \cdot h_{\text{оп}}},$$

где $U_{50\%}$ – минимальное импульсное разрядное напряжение фазовой изоляции линии, кВ.

R – импульсное сопротивление заземления опоры, Ом;

$h_{\text{оп}}$ – высота опоры, м;

$\delta = 0,15$ для линии с двумя тросами;

$\delta = 0,3$ для линии с одним тросом.

Для расчетов использовать данные в [1; 2, таблица 11-1; 3, графики 6–8, 6–9].

η_1 – вероятность перехода импульсного перекрытия в силовую дугу в случае перекрытия на опоре;

η_2 – вероятность перехода импульсного перекрытия в силовую дугу в случае пробоя в пролете промежутка трос-провод.

Параметры η_1 и η_2 определяются при помощи табл. 4.5.

Таблица 4.5.

Данные для определения вероятности перехода импульсного перекрытия в силовую дугу

Рабочая напряженность, кВ/м	50	30	20	10
Параметр η	0,6	0,45	0,25	0,1

Прежде чем выполнять указанные расчеты, необходимо определить длину гирлянды изоляторов. Для выполнения расчета необходимо воспользоваться формулами:

$$U_{РАБ} = \frac{U_{НОМ}}{\sqrt{3}},$$

$$l_{ПЕР} = l_{Г},$$

$$l_{Г} = n \cdot H,$$

где H – строительная высота гирлянды;

n – число изоляторов в гирлянде.

$V_{ПЕР2}$ – вероятность перекрытия изоляции трос-провод при ударе молнии в пролет.

$$V_{ПЕР2} = 10^{-\frac{a_{КР}}{36}} = e^{-\frac{a_{КР}}{15,7}},$$

где $a_{КР}$ – параметр процесса, определяемый из соотношения:

$$a_{КР} \geq \frac{2250 \times S}{(1 - K_{д}) \times l}, \text{ кА/мкс};$$

где S – расстояние между проводом и тросом, м;

l – длина пролета, м;

$K_{д}$ – коэффициент связи между тросом и проводом; = 0,25 – 0,3.

$V_{ПЕР3}$ – вероятность перекрытия изоляции при прямом ударе молнии в провод, определяемая как:

$$V_{ПЕР3} = 10^{-\frac{I_{ЗПР}}{60}},$$

где $I_{ЗПР}$ – защитный уровень линии при ударе молнии в провод.

$$I_{ЗПР} = \frac{U_{50\%}}{100}, \text{ кА}$$

V_α – вероятность прорыва молнии через тросовую защит, определяемая как:

$$\lg V_\alpha = \frac{\alpha \times \sqrt{h_{\text{оп}}}}{90} - 4.$$

где α – защитный угол, град.

Таблица 4.6.

*Значения основных параметров для расчета
удельного числа отключений линии*

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Номинальное напряжение линии, кВ	110	110	110	220	220	220	330	330	500	500
Средняя высота троса в пролете, м	15	15	15	17	17	17	20	20	25	25
Защитный угол, град	30	35	20	25	25	20	25	25	20	25
Сопротивление заземления опоры, Ом	10	15	20	10	15	20	10	15	7	10
Длина пролета, м	200	200	200	250	350	350	400	400	450	500
Расстояние «трос-провод» в пролете, м	4	4	4	6	6	6	7	7	9	8
Число тросов	1	1	1	2	2	2	2	2	1	1
Высота опоры, м	19	19	19	23	23	23	29	29	32	35

5. ПРОМЕЖУТОЧНЫЙ КОНТРОЛЬ

5.1. Вопросы для подготовки к зачёту

Тема 1. Электрофизические процессы в диэлектрических средах

1. Приведите классификацию электрических полей в технике высоких напряжений.
2. Перечислите виды ионизационных процессов в газах.
3. Перечислите виды эмиссии.
4. Дайте определение лавины электронов.
5. По какому закону происходит рост числа электронов в лавине?
6. Запишите условие самостоятельности разряда в газах.
7. В результате какого процесса происходит образование отрицательных ионов?
8. Какой электрон называется эффективным?
9. Что такое стример? Назовите критерий лавинно-стримерного перехода.
10. Что такое искровой разряд? Чем определяется сопротивление канала искрового разряда?
11. Сформулируйте закон Пашена.
12. Назовите особенности разряда в неоднородных полях.
13. Что такое лидерный разряд? Назовите условие стримерно-лидерного перехода.
14. Охарактеризуйте молнию как форму газового разряда. Назовите стадии и основные параметры молнии.
15. Что такое дуговой разряд? Назовите особенности эмиссии в дуговых разрядах.
16. Назовите условие возникновения коронного разряда. Перечислите виды короны.
17. Осуществите расчет потерь на корону.
18. Как происходит разряд по поверхности диэлектрика? Назовите виды поверхностного разряда.
19. Перечислите факторы, влияющие на напряжение зажигания поверхностного разряда.
20. Дайте определение пробоя.
21. Какова временная структура развития разряда?
22. Что представляет собой вольт-секундная характеристика?
23. В чем заключается эффект полярности?
24. Назовите особенности и преимущества жидких диэлектриков.

25. Перечислите факторы, влияющие на развитие ионизационных процессов в жидких диэлектриках.
26. Назовите механизмы пробоя жидких диэлектриков.
27. Влияние условий эксплуатации на электрическую прочность твердых диэлектриков.
28. Опишите механизм электрического пробоя твердых диэлектриков.
29. Опишите механизм теплового пробоя твердых диэлектриков.
30. Как происходит процесс электрического старения твердых диэлектриков?

Тема 2. Получение и измерение высоких напряжений

31. Как классифицируются трансформаторы в высоковольтной технике?
32. Какие требования предъявляются к испытательным трансформаторам?
33. В силу каких причин повышение напряжения трансформатора более 750 кВ оказывается нецелесообразным?
34. Назовите способы получения напряжения постоянного тока.
35. Какие схемы выпрямления существуют?
36. Перечислите основные элементы схемы выпрямления.
37. Назовите Виды выпрямителей. Перечислите их преимущества и недостатки.
38. Приведите схему и диаграмму напряжений каскадного генератора постоянного тока.
39. Каким образом можно получить высокое импульсное напряжение? Где и для чего используется высокое импульсное напряжение?
40. Приведите схему и поясните принцип работы генератора Аркадьева – Маркса.
41. Каким образом можно получить большие импульсные токи? Где и для чего они применяются?
42. Приведите схему и поясните принцип работы генератора импульсных токов.
43. В чем состоит принципиальное различие в работе ГИН и ГИТ?
44. Назовите способы измерения высоких напряжений. В чем состоят сложности при измерении на высоком напряжении?
45. Каким образом осуществляется измерение больших импульсных токов?
46. Приведите схему и поясните принцип работы токового шунта.
47. Объясните принцип работы измерительного трансформатора тока.
48. В каких областях современной индустрии используется высоковольтное испытательное оборудование?

Тема 3. Изоляция высоковольтного оборудования и контроль ее состояния

49. Перечислите условия работы и требования, предъявляемые к изоляции высоковольтного электрооборудования.

50. Каково назначение и конструктивные особенности изоляции воздушных ЛЭП?

51. Исполнение опорных изоляторов для внутренней и наружной установок.

52. Назовите особенности назначения и конструктивного исполнения проходных изоляторов.

53. Охарактеризуйте высоковольтные вводы: назначение, тип изоляции, конструктивное исполнение. Назовите современные типы высоковольтных вводов.

54. Перечислите характеристики основных материалов применяемых в силовых конденсаторах.

55. Каковы конструктивные особенности изоляции трансформаторов напряжения?

56. Охарактеризуйте силовые трансформаторы: назначение, конструктивное исполнение изоляции.

57. Охарактеризуйте силовые кабели: назначение и конструктивное (принципиальное) исполнение.

58. Перечислите особенности конструктивного исполнения силовых кабелей с вязкой пропиткой.

59. Охарактеризуйте маслонаполненные и газонаполненные кабели.

60. Охарактеризуйте кабельные линии в трубах со сжатым газом.

Тема 4. Перенапряжения в электрических системах

61. Классификация перенапряжений и их кратность.

62. В чем состоит принципиальное отличие внешних перенапряжений от внутренних?

63. Почему грозовые перенапряжения наиболее опасны для сетей средних классов напряжения, а коммутационные для сетей высших классов напряжений?

64. Грозозащита ЛЭП и подстанций.

65. Зона защиты двух стержневых молниеотводов.

66. Защита подстанций от набегающих волн.

67. Зона защиты тросового молниеотвода.

68. Почему при прохождении по линии импульсов высокого напряжения происходит значительное изменение фронта импульса?

69. Каким образом импульсная корона влияет на параметры грозового импульса, распространяющегося по линии электропередачи?
70. Почему при воздействии на обмотку трансформатора импульсного напряжения возникает неравномерное распределение напряжения по виткам обмотки?
71. В чем отличие емкостной передачи волн перенапряжения в трансформаторах от электромагнитной?
72. Перечислите основные защитные устройства от перенапряжений.
73. Назовите основные параметры молниевых разрядов.
74. Как определяется защитный угол троса?
75. Как определяется потенциал вершины опоры при прямом ударе молнии в опору с тросом?
76. От чего зависит величина резонансных перенапряжений на ЛЭП при несимметричных коротких замыканиях на землю?
77. В каком режиме перенапряжения весьма существенны при феррорезонансе?
78. Назовите меры защиты от перенапряжений, возникающих при отключении ненагруженных линий.
79. Какова схема включения и принцип работы вентильного разрядника?
80. Охарактеризуйте устройство вентильного разрядника.
81. Охарактеризуйте принцип работы ограничителя перенапряжений.

**5.2. Образец билета к зачету по дисциплине
«Техника высоких напряжений»**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт дистанционного образования

БИЛЕТ № 1

по дисциплине «Техника высоких напряжений»

1. Лавинная форма разряда. Условие самостоятельности газового разряда.
2. Маслобарьерная изоляция. Особенности конструкции и области применения.
3. Перенапряжения. Причины возникновения и способы защиты.

Зав. кафедрой ЭЭС

доцент, кандидат технических наук _____ Ю.С. Боровиков

Составитель: доцент кафедры ЭЭС А.В. Мытников

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1. Основная литература

1. Важов В.Ф. Техника высоких напряжений: учеб. пособие / В.Ф. Важов [и др.]. – Томск: Изд-во ТПУ, 2013. – 232 с.
2. Техника высоких напряжений / под ред. Д.В. Разевига. – М.: Энергия, 1976. – 488 с.
3. Техника высоких напряжений / под ред. М.В. Костенко. – М.: Высшая школа, 1973.– 528 с.
4. Шваб А. Измерения на высоком напряжении. – М.: Энергия, 1973. – 233 с.
5. Мирдель Г. Электрофизика. – М.: Мир, 1972. – 608 с.
6. Важов В.Ф. Руководство к лабораторным работам по технике высоких напряжений / В.Ф. Важов [и др.]. – Томск: Изд. ТПУ, 2000.– 76 с.
7. Байер М. Техника высоких напряжений: теоретические и практические основы применения / М. Байер [и др.]. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 555 с.
9. Ларионов В.П., Базуткин В.В., Пинталь Ю.С. Техника высоких напряжений. – Энергоатомиздат, 1986. – 464 с.

6.2. Литература дополнительная

11. Куртенков Г.Е. Основы проектирования изоляции высоковольтного оборудования: учебное пособие. – Томск: Изд-во НТЛ, 1999. – 276 с.
12. Леонтьев Ю.Н. Высоковольтные испытательные и электрофизические установки. Высоковольтные измерения. – Томск, ТПУ, 1993. – 93 с.

Учебное издание

ТЕХНИКА ВЫСОКИХ НАПРЯЖЕНИЙ

Методические указания и индивидуальные задания

Составитель

МЫТНИКОВ Алексей Владимирович

Рецензент

*доктор техн. наук,
профессор кафедры ЭЭС
В.А. Лавринович*

Компьютерная верстка М.А. Красильникова

**Отпечатано в Издательстве ТПУ в полном соответствии
с качеством предоставленного оригинал-макета**

Подписано к печати . Формат 60×84/16. Бумага «Снегурочка».
Печать Херох. Усл.печ.л. 1,05. Уч.-изд.л. 0,95.
Заказ . Тираж экз.



Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Система менеджмента качества
Томского политехнического университета сертифицирована
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту ISO 9001:2008



ИЗДАТЕЛЬСТВО  **ТПУ**. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru