

Министерство образования и науки Российской Федерации
Псковский государственный университет

А.С.Какурин

ТЕХНИКА ВЫСОКИХ НАПРЯЖЕНИЙ

Методические указания и контрольные задания

(для студентов направления подготовки 140400 «Электроэнергетика и электротехника»
профиль 07 «Электроснабжение» всех форм обучения)

*Рекомендовано к изданию Ученым Советом
Псковского государственного университета*

Псков
Издательство Псков ГУ
2013

УДК 621.3
ББК 31.2
С 60

*Рекомендовано к изданию Ученым Советом
Псковского государственного политехнического института*

Рецензент:

- Маркевич А.И., профессор кафедры Электроэнергетики Псков ГУ

А.С.Какурин.

С 60

Техника высоких напряжений: Методические указания и контрольные задания (для студентов направления подготовки 140400 «Электроэнергетика и электротехника» профиль 07 «Электроснабжение» всех форм обучения). – Псков: Издательство Псков ГУ, 2013. – 32с.

В данной работе приведены методические указания и контрольные задания. Предназначено для студентов направления подготовки 140400 «Электроэнергетика и электротехника» профиль 07 «Электроснабжение» всех форм обучения.

УДК 621.3
ББК 31.2

© Какурин А.С., 2013

© Псковский государственный университет, 2013

Оглавление

| | |
|---|----|
| Рабочая программа..... | 4 |
| Введение | 4 |
| Раздел I..... | 4 |
| Основные свойства и электрические характеристики внешней и внутренней изоляции электроустановок | 4 |
| Раздел II | 5 |
| Изоляция и испытание изоляции установок | 5 |
| высокого напряжения | 5 |
| Раздел III | 7 |
| Перенапряжения и защита от перенапряжений в электроустановках..... | 7 |
| Раздел IV | 8 |
| Испытательные установки и измерение высоких напряжений..... | 8 |
| Примерный перечень лабораторных работ..... | 9 |
| ЛИТЕРАТУРА..... | 10 |
| МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ | 11 |
| Введение | 12 |
| Раздел I..... | 13 |
| Основные свойства и электрические характеристики внешней и внутренней изоляции электроустановок | 13 |
| Раздел 2 | 14 |
| Изоляция и испытание изоляции установок высокого напряжения..... | 14 |
| Раздел 3 | 18 |
| Перенапряжения и защита от перенапряжений в электроустановках..... | 18 |
| Раздел 4 | 20 |
| Испытательные установки и измерение высоких напряжений..... | 20 |
| Контрольные задания. | 21 |
| Общие указания..... | 21 |
| Контрольное задание № 1 | 22 |
| Контрольное задание № 2 | 29 |

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

ВВЕДЕНИЕ

Предмет и задачи курса. Связь курса со смежными дисциплинами.

Краткий исторический обзор развития электроэнергетики.

Современное состояние и проблемы, возникающие при строительстве линий электропередач высокого, сверхвысокого и ультравысокого напряжений, изоляции электрооборудования, воздействующих на нее перенапряжений и средств защиты от них.

Достижения отечественных и зарубежных ученых и изобретателей в решении проблемы техники высоких напряжений в современной электроэнергетике.

РАЗДЕЛ I

ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВНЕШНЕЙ И ВНУТРЕННЕЙ ИЗОЛЯЦИИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

Роль газовых диэлектриков в изоляции электроустановок и аппаратов высокого напряжения.

Основные процессы и виды ионизации в газе. Возникновение электронных лавин. Искажение электрического поля объемными зарядами. Общая характеристика форм газового разряда.

Разряды в однородном электрическом поле. Условие самостоятельности разряда. Разрядные напряжения в однородном электрическом поле. Закон Пашена. Зависимость разрядного напряжения от давления газа и других факторов. Газы с повышенной электрической прочностью. Применение газов под давлением. Применение вакуума.

Разряды в неоднородном электрическом поле. Условие самостоятельности разряда. Влияние полярности. Роль и применение барьеров. Развитие разряда в длинных воздушных промежутках. Основные стадии и элементы разряда: лавины, стримерная зона, лидер, главный разряд. Время разряда и вольт-секундные характеристики.

Корона как форма самостоятельного разряда в резконеоднородном электрическом поле. Последствия короны в электрических установках. Потери мощности на корону при постоянном и переменном напряжении. Методы уменьшения потерь на корону в электроустановках.

Радиопомехи, создаваемые коронным разрядом на проводах и на подстанциях. Выбор конструкции и сечения проводов фаз по условиям коронирования и уровню радиопомех. Акустические шумы.

Разряд в воздухе вдоль поверхности твердой изоляции. Развитие разряда по поверхности в однородном поле; влияние гигроскопичности твердого тела и неплотного прилегания к нему электродов. Разряд по поверхности в неоднородном поле. Скользящий разряд. Влияние удельной поверхностной емкости и удельного поверхностного сопротивления на

развитие скользящего разряда.

Разряд вдоль загрязненной и увлажненной поверхности диэлектрика.

Разряд в жидких диэлектриках. Основные особенности минерального масла как диэлектрика. Механизм пробоя, зависимость пробивных напряжений от степени увлажненности, загрязненности волокнами, от температуры и давления, от длительности воздействия напряжения и других факторов. Примеры других жидких диэлектриков, применяемых в электроэнергетических установках.

Разряд в твердых диэлектриках. Основные виды твердой изоляции и особенности ее работы в электрическом поле. Тепловой, электрической и ионизационной пробой твердой изоляции. Примеры применения твердой изоляции из неорганических материалов (керамика, стекло, слюда, асбест) и из органических материалов на основе целлюлозы (бумага, картон, пропитанные жидким диэлектриком, фибра, гетинакс и текстолит, пропитанная древесина), терморезистивных смол (эпоксидные компаунды, бакелизованная бумага) и термопластических масс (полиэтилен, полистирол, фторопласт).

Частичные разряды в высоковольтных конструкциях. Разрушение маслобарьерной и бумажно-масляной изоляции частичными разрядами. Соотношение между допустимыми рабочими напряжениями и характеристиками частичных разрядов. Основные характеристики частичных разрядов, подлежащие измерению. Старение внутренней изоляции.

Регулирование электрических полей во внешней и внутренней изоляции.

Развитие разряда во времени. Статистическое время запаздывания и время формирования разряда. Полное время разряда. Вольт-секундные характеристики и их значение при координации изоляции.

Волна апериодического импульса и ее параметры. Фронт, амплитуда и хвост волны. Стандартная и срезанная волны импульса. Пробой воздушной изоляции при импульсах. Коэффициент импульса. Минимальные и пятидесятипроцентные напряжения разряда при импульсах. Поправки на относительную плотность и влажность воздуха.

РАЗДЕЛ II

Изоляция и испытание изоляции установок высокого напряжения

Классификация изоляторов. Линейные и опорные изоляторы, их конструкции и характеристики – электрические и механические. Новые материалы для изоляторов. Гирлянды подвесных изоляторов. Колонковые опорные изоляторы. Распределение и выравнивание напряжения по гирляндам и колонкам изоляторов. Назначение и типы защитной

арматуры.

Проходные изоляторы с воздушной полостью и маслонаполненные. Маслобарьерная изоляция и выравнивание электрического поля с помощью обкладок. Конденсаторные изоляторы.

Условия работы изоляторов в эксплуатации. Специальные изоляторы для районов с загрязненной атмосферой.

Электрические характеристики изоляторов: сухоразрядное, мокроразрядное и импульсное напряжение (определение их по ГОСТ). Пробивное напряжение изоляторов. Соотношение между различными видами разрядных и пробивного напряжения изоляторов. Выбор изоляторов. Испытательные напряжения изоляторов. Комбинированное испытание изоляторов. Современное состояние и развитие изоляторостроения.

Изоляция конденсаторов. Виды и назначение высоковольтных конденсаторов. Материалы, применяемые в качестве диэлектрика. Режим работы различных конденсаторов.

Изоляция силовых кабелей высокого напряжения. Профилактические испытания кабелей.

Электрические воздействия на изоляцию трансформаторов в эксплуатации. Изоляция трансформаторов. Координация изоляции и испытательные напряжения. Диэлектрики, применяемые для изоляции трансформаторов: жидкие, газообразные и твердые. Внешняя и внутренняя изоляция трансформаторов. Классификация внутренней изоляции трансформаторов. Типовые импульсные испытания трансформаторов полной и срезанной волнами.

Изоляция электрических машин. Основные изоляционные материалы, применяемые в электромашиностроении, и требования к ним. Типы изоляции статорных обмоток. Испытание изоляции по ГОСТу в процессе изготовления электрических машин. Испытание витковой изоляции электрических машин. Меры устранения короны в изоляции электрических машин.

Задачи и методы профилактических испытаний изоляции. Слоистая изоляция и особенности ее работы. Типовые дефекты в промышленной изоляции и их связь с характеристиками общего состояния изоляции.

Методы контроля влажности изоляции. Аппаратура для измерения емкости и $tg\delta$: ПКВ, высоковольтный мост.

Методы определения сосредоточенных дефектов изоляции: метод повышенного напряжения, измерение частичных разрядов. Индикаторы частичных разрядов.

Программа полных профилактических испытаний и измерений по основным видам промышленной изоляции. Правила безопасности работы при испытаниях изоляции.

РАЗДЕЛ III

ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ И ЗАЩИТА ОТ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ

Общая характеристика коммутационных и атмосферных перенапряжений. Виды воздействия перенапряжений на изоляцию.

Молния как источник грозовых перенапряжений. Развитие молнии и ее электрические характеристики. Интенсивность грозовой деятельности.

Волновые процессы в линиях передачи без потерь. Отражение и преломление волн перенапряжений. Многократные отражения волн перенапряжений.

Защита линий электропередач и подстанций от прямых ударов молнии.

Стержневые и тросовые молниеотводы, их зоны защиты.

Защита электроустановок от набегающих волн. Аппараты защиты от набегающих волн: защитные промежутки (ПЗ), трубчатые разрядники (РТ), вентильные разрядники (РВ), нелинейные ограничители перенапряжений (ОПН); их устройство, принцип действия, область применения.

Грозозащита линий электропередач. Защитный уровень линии электропередачи.

Грозозащита подстанций: защита от прямых ударов молнии, защита от перекрытий изоляции при ударах молнии в молниеотводы, защита от волн, проходящих по линии, грозозащита подхода линий.

Типовые схемы защиты подстанций различного номинального напряжения от прямых ударов молнии и перенапряжений.

Особенности защиты электрических машин, работающих непосредственно на воздушную сеть или работающих на воздушную сеть через трансформатор.

Коммутационные перенапряжения при отключении индуктивностей и емкостей. Процесс повторного зажигания и нарастания напряжения при отключении холостых линий электропередачи. Причины, ограничивающие величину перенапряжений. Кратность перенапряжений по опытным данным. Перенапряжения и восстанавливающиеся напряжения при отключении конденсаторных батарей.

Перенапряжения при отключении трансформаторов, работающих на холостом ходу.

Перенапряжения в системах с незаземленной нейтралью при дуговых замыканиях одной фазы на землю. Компенсация емкостного тока настроенными индуктивностями и уменьшение скорости восстановления напряжения. Смещение нейтрали при наличии настроенных индуктивностей. Практические данные о величинах перенапряжений при повторных дуговых замыканиях.

Перенапряжения при включении и отключении линий. Дуговые перенапряжения. Феррорезонансные перенапряжения.

РАЗДЕЛ IV

ИСПЫТАТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ И ИЗМЕРЕНИЕ ВЫСОКИХ НАПРЯЖЕНИЙ

Испытательные трансформаторы, особенности их устройства и режимов работы. Каскадные схемы соединения испытательных трансформаторов. Каскадный генератор постоянного высокого напряжения, его принцип действия и схема. Методика испытаний изоляции переменным и постоянным напряжением.

Электрические генераторы высокого напряжения, их принцип действия, схема и назначение. Примеры конструкций генераторов.

Генератор импульсных напряжений (ГИН); принцип действия и схема. Схема замещения при разряде ГИН. Связь между постоянными генератора и параметрами стандартной импульсной волны. Методика испытаний изоляции импульсным напряжением.

Генератор импульсных токов (ГИТ); принцип действия и схема. Комбинированный генератор – ГИН и ГИТ; принцип действия и схема.

Генераторы коммутационных волн; принцип действия и схема.

Приборы и схемы для измерений высоких напряжений в электроустановках. Способы включения шаровых разрядников для измерения высоких напряжений. Погрешность при измерении. Поправки на относительную плотность воздуха и влажность. Таблицы для шаровых разрядников и пользование ими. Правила безопасности работы при измерении высоких напряжений. Порядок включения и отключения испытательных установок высокого напряжения.

Измерение высоких напряжений с помощью электростатических вольтметров.

Измерение высоких напряжений с помощью делителей напряжения.

ПРИМЕРНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

1. Электрические разряды в воздухе.
2. Распределение напряжения по элементам высоковольтных изоляционных конструкций.
3. Методы и техника профилактических испытаний изоляции высоковольтного оборудования.
4. Модель каскадного выпрямителя высокого напряжения.
5. Несимметричные режимы в системах с изолированной нейтралью.
6. Феррорезонансные перенапряжения при неполнофазных режимах в системах 35 -110 кВ.
7. Изучение аппаратов защиты от набегающих волн.

ЛИТЕРАТУРА

Основная:

1. Базуткин В.В. и др. Техника высоких напряжений. Энергоиздат, 1986.
2. Аронов М.А., Базуткин В.В. и др. Лабораторные работы по технике высоких напряжений. Энергоиздат, 1982.

Дополнительная:

1. Дмоховская Л.Ф. и др. /Под редакцией Разевига Д.В./ Техника высоких напряжений. Высшая школа, 1976.
2. Аронов М.А., Базуткин В.В, и др. Лабораторные работы по технике высоких напряжений. – М.: Энергия, 1974.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Курс “Техника высоких напряжений” является одной из важных электротехнических дисциплин. К его изучению можно приступить после усвоения следующих дисциплин: “Электроматериаловедение”, “Теоретические основы электротехники”, “Измерительная техника”, “Электромеханика”, “Электрические сети и системы”, “Электрическая часть станций и подстанций”, “Переходные процессы в системах электроснабжения”.

Настоящие методические указания составлены применительно к программе общего курса техники высоких напряжений. Программа курса содержит теоретические и практические сведения по технике высоких напряжений, необходимые для инженера, работающего в области проектирования, строительства, монтажа и эксплуатации электрических станций, сетей и линий передачи, производства, монтажа и эксплуатации электрических машин и аппаратов, а также электроснабжения промышленных предприятий и городов и автоматизации производства и распределения электроэнергии.

Приступая к изучению данного курса студент должен вспомнить материал, касающийся электрического поля из курса «Теоретические основы электротехники». Важно знать расчеты напряженностей электрического поля для различных форм электродов с составными изолирующими материалами. Необходимо вспомнить аналитические и графические методы расчета напряженностей электрического поля.

При изучении курса следует уделить достаточное внимание качественной стороне изучаемого вопроса – выяснению особенностей явлений и их физической сущности. Необходимо учесть и то, что только точный расчет позволит правильно и рационально выбрать детали, сконструировать устройство, аппарат и т.п.

Учебным планом по курсу предусмотрены лекции, лабораторные работы и контрольные задания. К экзамену допускаются студенты, имеющие перевод на V курс, зачет по лабораторным и контрольным работам. В контрольных заданиях следует приводить условия задач, расчетные формулы, графики, схемы, размерности полученных величин и выводы по работе. Решения задач должны быть четкими и полностью удовлетворять условиям вопроса. Если в задаче используются данные справочников, ГОСТ и пр., то необходима соответствующая ссылка в тексте. В конце контрольного задания должен быть приведен список использованной литературы с указанием автора, названия книги или журнала, издательства и года издания. Должна быть указана дата окончания работы и подпись исполнителя. Для лучшего усвоения материала и сокращения времени на подготовку к экзамену рекомендуется выполнять контрольные задания, хорошо изучив соответствующие темы

программы курса.

В конце каждой темы методических указаний приведены вопросы для самопроверки. Самостоятельные ответы на них помогут лучше и глубже изучить материал курса. Рекомендуемый список литературы не является исчерпывающим: студент обязан следить за выходом технической литературы и заменять устаревшие издания новыми, непрерывно пополнять знания последними достижениями отечественной и зарубежной науки и техники, о чем можно прочесть в журнальной литературе.

Работа над курсом заканчивается выполнением лабораторных работ со сдачей по ним зачета. Завершающим является экзамен по курсу.

ВВЕДЕНИЕ

Начиная изучение курса следует обратить внимание на краткие исторические сведения о развитии техники высоких напряжений в стране и за рубежом, а также на роль отечественных и зарубежных ученых и изобретателей в этой области. В ближайшее время предстоит переход на еще более высокие напряжения в связи с передачей больших мощностей на далекие расстояния и с осуществлением единой энергетической системы (ЕЭС). Будет развиваться и применение постоянного тока высокого и сверхвысокого напряжений.

Основное содержание курса составляют вопросы надежной и бесперебойной работы изоляции установок высокого и сверхвысокого напряжений при эксплуатационных режимах работы. Качественная изоляция и ее рациональное использование являются надежной гарантией безаварийной и экономичной работы электроэнергетических установок, машин и аппаратов.

Вопросы для самопроверки

1. Назовите основные этапы применения высокого напряжения переменного и постоянного токов.
2. Нарисуйте и объясните схемы прохождения тока при замыкании одной фазы на землю в системах с эффективно заземленной, изолированной и резонансно-заземленной нейтралью.
3. Назовите основные проблемы техники высоких напряжений.
4. Дайте определение уровня изоляции.

РАЗДЕЛ I

ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВНЕШНЕЙ И ВНУТРЕННЕЙ ИЗОЛЯЦИИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

Прежде чем приступить к изучению явления разряда в газах, необходимо повторить следующие разделы курса теоретических основ электротехники: электрическое поле плоского и цилиндрического, простых и составных конденсаторов, электрическое поле шарового и сферического конденсаторов, краевой эффект и методы борьбы с ним, электрическое поле проходного конденсаторного ввода и двух параллельных цилиндров (проводов), игольчатого разрядника, а также графические методы построения электрического поля.

Электрическая прочность изоляции может быть нарушена под действием высокой напряженности электрического поля. Поэтому изучение пространственного распределения напряженности электрического поля необходимы для выполнения любой изоляционной конструкции. Следует обратить внимание на изучение физических основ ионизационных процессов в газах, протекание газового разряда на всех его стадиях, начиная с элементарных ионизаций и кончая искровым и дуговым разрядами. На основе изученных закономерностей следует усвоить технические характеристики разрядных напряжений различных промежутков при различных видах приложенных напряжений. Наряду с разрядом в чисто газовых промежутках следует изучить газовый разряд по поверхности твердых диэлектриков.

Необходимо знать различные стадии развития разряда в газах и время разряда. Изучая вопрос о разрядах в виде молнии, необходимо обратить внимание на исторические работы М.В.Ломоносова по теории молнии и молниеотводам.

При изучении явления короны следует хорошо усвоить вопрос о коронном разряде и его особенностях, знать роль короны в технике высоких напряжений и смежных областях, критическое напряжение короны и зависимость его от различных факторов, характерные признаки и последствия короны, потери на корону и способы уменьшения их.

Вопросы для самопроверки

1. Перечислите основные виды ионизационных процессов в газах и опишите процессы ионизации газа при соударении, фотоионизации, термической и поверхностной ионизации.
2. Объясните физический смысл явления тока насыщения в газах.
3. Какой разряд в газе называется самостоятельным и несамостоятельным?
4. Нарисуйте вольт-амперную характеристику разряда в газах и

поясните ее.

5. Что такое коэффициент импульса? Приведите значения коэффициента импульса для электродов шар-шар и стержень-стержень.
6. Дайте характеристику стандартной и срезанной волны импульса.
7. Назовите составляющие времени полного разряда при импульсах.
8. Как построить опытным путем вольт-секундные характеристики и каково их практическое применение?
9. Объясните роль барьеров при разряде в промежутке стержень – плоскость при положительной и отрицательной полярностях стержня.
10. Каковы характерные признаки и последствия явления короны?
11. Что такое критическое напряжение короны и от каких факторов оно зависит? Проанализируйте зависимость явления короны от радиуса проводов и расстояния между ними.
12. Назовите мероприятия для уменьшения потерь на корону.
13. Перечислите способы борьбы с явлением короны в электрических машинах.
14. Какой разряд называют скользящим и чем вызвано его явление?
15. Опишите механизм разряда в жидких диэлектриках.
16. От каких факторов зависит пробивное напряжение в жидкостях.
17. Опишите основные виды пробоя твердых диэлектриков.

РАЗДЕЛ 2

ИЗОЛЯЦИЯ И ИСПЫТАНИЕ ИЗОЛЯЦИИ УСТАНОВОК ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Изучение высоковольтных изоляторов следует начать с вопроса о материалах, применяемых для изготовления изоляторов, и требований к ним. Необходимо хорошо усвоить электрические и механические характеристики изоляторов, технические условия приемки изоляторов, методики испытаний и технические условия, предъявляемые к изоляторам. Следует обратить внимание на области применения различных видов изоляторов, их достоинства и недостатки.

Усвоив материал о линейной изоляции, необходимо изучить группы стационарно-аппаратных изоляторов. В районах с загрязненной атмосферой применяют специальные типы изоляторов, увеличивающие надежность и бесперебойность работы энергетических установок в этих условиях. Необходимо ознакомиться с различными типами специальных изоляторов для этих районов, с условиями их выбора, эксплуатации и профилактики.

Изучение вопроса об изоляции трансформаторов следует начать с повторения вопроса электрической прочности и других характеристик трансформаторного масла. Необходимо вспомнить следующие вопросы:

характер пробоя масла, влияние на его электрическую прочность влаги, механических включений, температуры, давления, возможность повышения электрической прочности масла путем применения изоляционных барьеров и перегородок.

Основное внимание следует уделить изучению конструкций высоковольтных трансформаторов, изоляции обмоток высокого напряжения относительно соседних обмоток и магнитопровода, изоляции отводов, продольной, межвитковой изоляции и особенно изоляции первых витков трансформатора. Приступая к изучению изоляции вращающихся электрических машин высокого напряжения необходимо знать материалы, применяемые в электромашиностроении для изоляции обмоток, и их энергетические, тепловые, механические и другие свойства. Следует рассмотреть типы обмоток, меры устранения короны. Важным является вопрос испытания изоляции вращающихся электрических машин.

Необходимо обратить внимание на различие приемо-сдаточных испытаний электрических машин на заводе и на месте установки после монтажа и на профилактические испытания в процессе эксплуатации.

При изучении изоляции кабелей следует усвоить основные характеристики изоляции, распределение напряженности электрического поля по сечению кабеля, наивыгоднейшее соотношение между радиусами жилы кабеля и его обмотки. При оценке технических и экономических характеристик различных типов кабелей следует рассмотреть вопрос о кабельной арматуре. Надо знать способы заводского и эксплуатационного испытаний кабелей и уяснить причины, по которым испытание изоляции кабелей производится повышенным выпрямленным, а не переменным напряжением.

При изучении электрической прочности изоляции конденсаторов основное внимание необходимо уделить причинам, вызывающим появление ионизационных процессов и скользящего разряда, и сущности теплоотвода из конденсаторов.

Студент должен хорошо изучить методы профилактических испытаний изоляции и области их практического применения. Необходимо уяснить себе принципиальные схемы применяемых приборов и аппаратуры и всей схемы испытаний и измерений, из особенности и области применения в лабораторных и эксплуатационных условиях.

Вопросы для самопроверки

1. Назовите основные области применения, достоинства и недостатки линейных, штыревых и подвесных изоляторов.
2. Как устраняется корона у проволочной вязки штыревых изоляторов?
3. Какие факторы влияют на старение изоляторов?
4. Каковы достоинства и недостатки подвесного изолятора стержневого

- типа?
5. Какие новые изоляционные материалы внедряются в изоляторостроение?
 6. Перечислите причины неравномерного распределения напряжения вдоль гирлянды подвесных изоляторов воздушных линий передачи и колонки изоляторов. Нарисуйте схему замещения. Объясните роль и назначение защитной арматуры.
 7. Назовите методы обнаружения дефектных изоляторов в гирляндах.
 8. Каковы основные особенности и области применения маслонаполненного и конденсаторного проходных изоляторов?
 9. Каково назначение барьеров из изоляционных материалов в маслонаполненных проходных изоляторах?
 10. Что называется внутренней и внешней изоляцией электрооборудования?
 11. Охарактеризуйте особенности изоляторов, предназначенных для электрических установок, работающих в условиях районов с загрязненной атмосферой.
 12. Каким испытаниям подвергаются изоляторы при их приемке и каким основным требованиям они должны удовлетворять?
 13. Дайте определение сухоразрядного, мокроразрядного, пробивного напряжения для изоляторов по действующему ГОСТу.
 14. Каковы должны быть средние отношения между сухоразрядным и пробивным напряжением изоляторов?
 15. Опишите, как осуществляется в трансформаторах высокого напряжения изоляция относительно соседних обмоток, а также изоляция выводов и отводов?
 16. Охарактеризуйте назначение экранов в высоковольтных трансформаторах.
 17. Какие меры принимаются в высоковольтных силовых трансформаторах, чтобы они не повредились при поверхностном перекрытии в масле?
 18. Перечислите меры, принимаемые для повышения электрической прочности витковой изоляции силовых высоковольтных трансформаторов.
 19. Перечислите меры, принимаемые для устранения короны в пазах и на лобовых частях обмоток электрических машин.
 20. Каким приемочным и профилактическим испытаниям подвергается изоляция электрических машин высокого напряжения?
 21. Перечислите новые виды изоляции электрических машин и укажите перспективы их применения.
 22. Объясните причины уменьшения скорости распространения волны в обмотках электрических машин и причины уменьшения волнового сопротивления с увеличением мощности машины.

23. Опишите развитие ионизационного пробоя в изоляции кабеля.
24. Опишите области применения, достоинства и недостатки кабелей с вязкой пропиткой бумажной изоляции, маслонаполненных и газонаполненных кабелей.
25. Каким заводским и эксплуатационным испытаниям подвергаются кабели?
26. Объясните, почему при испытании изоляции кабелей повышенным напряжением применяется выпрямленное, а не переменное высокое напряжение?
27. Укажите предельные температуры нагрева изоляции кабелей в зависимости от их конструктивных особенностей.
28. Укажите меры, принимаемые для повышения электрической прочности бумажно-масляных конденсаторов.
29. Перечислите основные задачи профилактики изоляции.
30. Нарисуйте схему замещения диэлектрика и векторную диаграмму.
31. Приведите принципиальную схему моста Шеринга, назовите область применения и расчетные формулы. Что называется нормальной и перевернутой схемами моста Шеринга и какова область их применения?
32. Опишите методику профилактических испытаний по измерению сопротивления изоляции, емкости и тангенса угла диэлектрических потерь, токов абсорбции и частичных разрядов, распределения напряжения, контроля влажности органических диэлектриков.
33. Каковы особенности измерения тангенса угла диэлектрических потерь изоляции трансформаторов?
34. Опишите методику контроля витковой изоляции трансформатора и испытания ее.
35. Перечислите основные причины и последствия дефектов в изоляции электрических машин.
36. Что называется коэффициентом абсорбции?
37. Опишите методику испытания изоляции электрических машин переменным и постоянным испытательным напряжениям и область их применения.
38. Опишите методику измерения тангенса угла диэлектрических потерь в изоляции электрических машин.

РАЗДЕЛ 3

ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ И ЗАЩИТА ОТ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ

Приступая к изучению перенапряжений, следует усвоить причины возникновения перенапряжений и их классификацию. Необходимо знать параметры молнии и их расчетные значения, стадии развития молнии, вероятную ее полярность и крутизну фронта волны тока молнии, а также ознакомиться с картой, показывающей интенсивность грозовой деятельности в различных районах страны.

Изучая волновые процессы в линиях передачи, следует обратить внимание на физические явления. Важно изучить вопрос о преломлении и отражении волн перенапряжений.

Следует усвоить методику построения зон защиты одиночного и нескольких молниеотводов и факторы, влияющие на размеры зон, а также защитный угол и защитную зону одного и нескольких тросовых молниеотводов.

Необходимо ознакомиться с типовыми схемами грозозащиты, уметь объяснить их особенности и области применения. Особое внимание необходимо обратить на схемы грозозащиты линий передачи, подстанций, электрических машин, трансформаторов.

Коммутационным или внутренним перенапряжениям, возникающим в электроустановках, и защите от них необходимо уделить достаточное внимание. Изучение вопросов о заземляющих устройствах в электрических установках высокого напряжения имеет важное значение для правильного и рационального расчета и выбора их, повышения надежности и безопасности энергетических установок.

Вопросы для самопроверки

1. Перечислите основные виды грозовых (атмосферных) перенапряжений.
2. Назовите параметры молнии.
3. Объясните возникновение перенапряжений при прямом ударе молнии и индуктированных перенапряжений.
4. Объясните последовательные стадии возникновения и разряда молнии.
5. Что такое защитный уровень и чем он измеряется?
6. Перечислите факторы, влияющие на интенсивность грозовой деятельности.
7. Напишите формулу волнового сопротивления для электрической машины, воздушной и кабельной линий передачи.
8. Напишите формулу для коэффициента преломления и отражения

волны. Чему равен коэффициент преломления волны при падении ее на открытый конец линии передачи и замкнутой накоротко? Дайте физическое объяснение.

9. На какие параметры волны и как повлияют емкость и индуктивность, по которым пройдет волна?
10. Перечислите факторы, обуславливающие затухание волны перенапряжения и сглаживание ее фронта при движении по воздушной и кабельной линиям передачи. Где эти явления будут более значительными и почему?
11. Из каких основных элементов состоит стержневой молниеотвод и как определяется его защитная зона?
12. Нарисуйте защитную зону двойного и тройного стержневых молниеотводов и напишите условие защищенности зоны.
13. Что называют активной высотой стержневого молниеотвода?
14. Как определяется защитная зона одиночного и двойного тросовых молниеотводов?
15. Что такое защитный угол тросового молниеотвода и каким он принимается в реальных условиях?
16. Опишите принцип действия, устройство и области применения защитного искрового промежутка, трубчатого и вентильного разрядников.
17. Нарисуйте вольт-амперную характеристику вентильного разрядника и дайте ее пояснение.
18. Что называют сопровождающим током вентильного разрядника?
19. Опишите принцип гашения электрической дуги трубчатым и вентильным разрядниками.
20. По каким параметрам выбираются разрядники трубчатые и вентильные?
21. В чем отличие ОПН от РВ?
22. Приведите типовые схемы грозозащиты линий передачи и подстанций на различные номинальные напряжения.
23. Что достигается вставкой отрезка кабеля на подходе воздушной линии передачи при грозозащите электрических машин?
24. Какова роль трансформатора (или реактора) в схеме грозозащиты электрических машин?
25. Нарисуйте схемы грозозащиты электрических машин при наличии подходов воздушной линии передачи со стержневыми или тросовыми молниеотводами, а также кабельной вставки и реактора.
26. Нарисуйте схему грозозащиты электрической машины с применением на ее зажимах вентильного разрядника и емкости.
27. Опишите развитие перенапряжений при дуговых замыканиях на землю в трехфазных системах с изолированной нейтралью.
28. При каких номинальных напряжениях трехфазные системы

- работают с глухозаземленной нейтралью, изолированной нейтралью и компенсированной нейтралью?
29. Постройте векторные диаграммы токов и напряжений в трехфазной системе при замыкании одной фазы на землю с дугостоящей катушкой в нейтрали системы и без нее.
 30. Опишите процесс, вызывающий перенапряжение при перемежающихся дуговых замыканиях на землю. Начертите диаграмму изменения напряжения и токов в функции времени для этого случая.
 31. Чем обусловлено появление перенапряжений при отключении ненагруженных (холостых) линий передачи или батарей конденсаторов?
 32. Поясните методику расчета и выбора мощности дугогасящего аппарата.
 33. Какой трансформатор называют дугогасящим? Как он включается, почему и когда снижает перенапряжения?

РАЗДЕЛ 4

ИСПЫТАТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ И ИЗМЕРЕНИЕ ВЫСОКИХ НАПРЯЖЕНИЙ

Расширяющееся применение высоких и сверхвысоких напряжений в промышленности и в научных исследованиях требует изучения методов получения высоких и сверхвысоких напряжений и их измерения. Необходимо усвоить назначение и применение различных испытательных установок. Установки высокого напряжения промышленной частоты служат для испытания высоким переменным напряжением 50 Гц изоляции электроэнергетического оборудования высокого напряжения, а также в качестве источников питания в схемах установок высокочастотного, импульсного и постоянного напряжений. Установки высокого постоянного напряжения предназначаются для испытания и исследования изоляции электрооборудования установок постоянного тока, а также кабелей. Генераторы импульсных напряжений и токов и внутренних перенапряжений предназначены для испытания изоляции электрооборудования и исследования физических процессов при импульсных разрядах. Следует хорошо изучить различные физические принципы, которые используются в приборах для измерения высокого напряжения.

Вопросы для самопроверки

1. Нарисуйте схемы испытания фазной и междуфазной изоляции переменного напряжения, укажите достоинства и недостатки этих схем и область их применения.
2. Классифицируйте испытательные трансформаторы по виду изоляции и по конструктивному исполнению. Перечислите их достоинства и недостатки.
3. Перечислите некоторые особенности в устройстве испытательных трансформаторов в связи со специфическими условиями их работы.
4. Приведите формулы расчета мощности испытательного трансформатора при различных видах нагрузки.
5. Перечислите основные способы возможного регулирования напряжения испытательных трансформаторов. Укажите области их применения, достоинства и недостатки.
6. Нарисуйте схему каскадного генератора постоянного высокого напряжения. Укажите область его применения, достоинства и недостатки.
7. Нарисуйте схемы ГИН, ГИТ и комбинированного генератора. Объясните принцип их действия, область применения, а также достоинства и недостатки.

КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ.

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

При выполнении контрольных заданий следует учесть, что пояснительный текст в работе должен быть кратким, расчеты следует выполнять с написанием всех используемых формул с последующей подстановкой в них числовых значений. Обязательно указываются размерности величин. Схемы, графики, приводимые в контрольных заданиях, должны выполняться аккуратно с использованием стандартных обозначений. После заключительных выводов по работе приводится список использованной литературы, ставится подпись студента и дата выполнения задания.

Работы, выполненные с нарушением указанных требований, возвращаются студенту для внесения исправлений.

Контрольные задания выполняются по исходным данным, приведенным в таблицах. Вариант задания выбирается по последней цифре шифра.

КОНТРОЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ № 1

Задача 1. Определить пробивные напряжения газовых промежутков между плоскими медными электродами при отсутствии краевого эффекта. Расстояние между электродами S и давление P приведены в табл. 1.

Таблица 1

| Вариант | $S, см$ | $P, мм рт. ст.$ | Газовый промежуток |
|---------|---------|-----------------|--------------------|
| 1 | 0,5 | 600 | воздух, элегаз |
| 2 | 0,8 | 620 | воздух, неон |
| 3 | 1 | 640 | воздух, гелий |
| 4 | 1,2 | 680 | воздух, аргон |
| 5 | 1,4 | 700 | воздух, водород |
| 6 | 1,6 | 720 | воздух, азот |
| 7 | 1,8 | 740 | воздух, фреон |
| 8 | 2 | 750 | кислород, неон |
| 9 | 2,2 | 760 | азот, гелий |
| 10 | 2,4 | 780 | водород, фреон |
| 0 | 2,5 | 800 | аргон, элегаз |

Указания к решению задачи

Теоретически установлено и экспериментально подтверждено, что пробивное напряжение газового промежутка в однородном поле U_{np} при неизменной температуре является функцией произведения давления газа P и расстояния между электродами S , т.е. $U_{np} = f(P \cdot S)$. Это обстоятельство носит название закона Пашена. Графически закон Пашена имеет характерную U -образную форму.

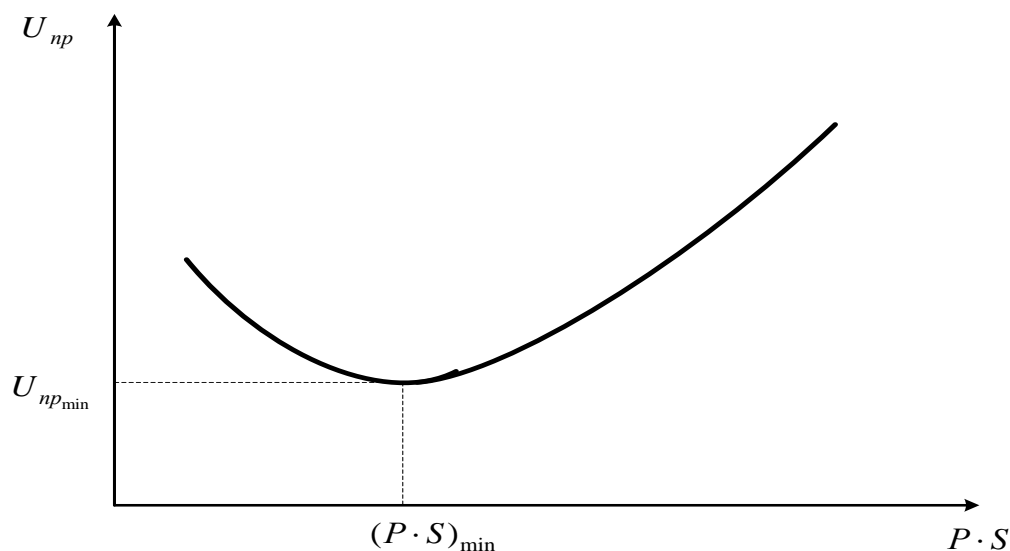


Рис.1 Зависимость пробивного напряжения газа от произведения $P \cdot S$ в однородном поле

На рис.1 в довольно широкой области значений $P \cdot S$ пробивное напряжение изменяется приблизительно по линейному закону. Поэтому на практике пользуются полуэмпирической формулой: $U_{i\partial} = a_0 \cdot \frac{\partial}{\partial_0} \cdot S + b_0 \cdot \sqrt{\frac{pS}{p_0}}$, где a_0 и b_0 - коэффициенты, зависящие от химического состава газового промежутка, p и p_0 - давление в газовом промежутке при расчетных и нормальных атмосферных условиях соответственно.

При выполнении данной задачи использовать Л-1 (стр. 16-27).

Задача 2. В высоковольтной лаборатории получена при импульсном разряде в воздухе при нормальных атмосферных условиях искра длиной $S = 6\text{ м}$.

Определить необходимое для этого импульса напряжение, приняв электроды в следующем виде: стержень – стержень, стержень – плоскость, провод – стойка опоры.

Указания к решению задачи

Указанные промежутки являются классическим примером резко неоднородного поля.

Импульсами в технике высоких напряжений называются напряжения и токи, действующие кратковременно (в течение нескольких десятков микросекунд).

Наиболее опасные волны импульсных напряжений возникают в электроустановках при атмосферных перенапряжениях, вызванных

разрядами молнии. Эти перенапряжения могут сопровождаться повреждением изоляции и отключением установок.

Так как разрядные импульсные напряжения зависят от формы волны импульса, для получения сравнимых результатов при испытании изоляции выявилась необходимость стандартизировать форму кривой импульса (рисунок 2).

По международным нормам и ГОСТам стандартный импульс должен иметь длительность фронта $\tau_{\phi} = 1,2 \pm 0,36 \text{ мкс}$ и длительность импульса $\tau_u = 50 \pm 10 \text{ мкс}$. Условно он обозначается символом 1,2/50.

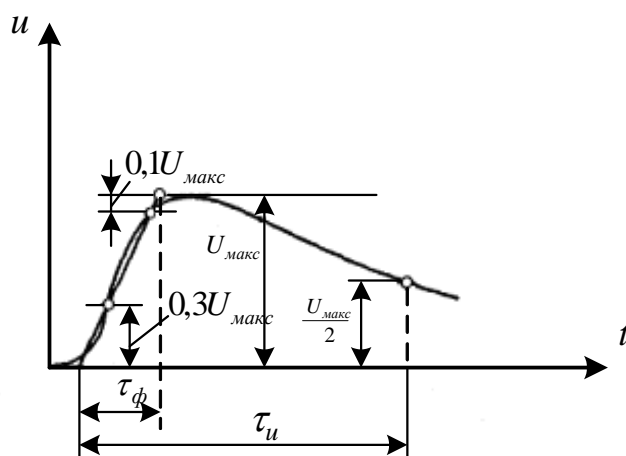


Рис.2 Определение длительности фронта и длительности импульса

Так как стандартный импульс имеет ограниченную длительность, импульсное разрядное напряжение ($U_{p,u}$) больше среднего разрядного напряжения при длительном воздействии, определяемое при частоте $50 \text{ А\ddot{o}}$ (\bar{U}_p). Отношение $U_{p,u} / \bar{U}_p$ называется коэффициентом импульса.

Для резконеоднородных полей коэффициент импульса зависит от полярности импульса, степени неоднородности поля и может существенно превышать единицу. Вольт-секундные характеристики рассматриваемых промежутков имеют форму, свойственную резконеоднородному полю, поэтому при уменьшении времени разряда разрядное напряжение быстро возрастает. Например, для стандартного импульса при времени разряда $2 \text{ н\ddot{e}с}$ разрядное напряжение примерно на 80% превышает разрядное напряжение при длительном воздействии, определяемое при частоте $50 \text{ А\ddot{o}}$.

Экспериментальные кривые разрядных напряжений воздушных промежутков при промышленной частоте и нормальных атмосферных условиях представлены на рис.3:

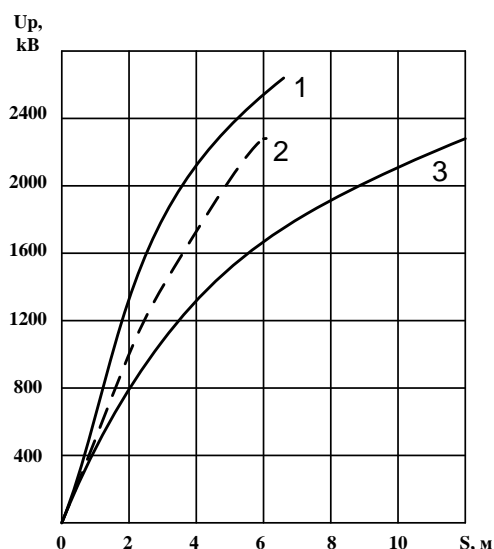


Рис.3

- 1-промежуток стержень-плоскость
- 2 промежуток стержень-стержень
- 3 промежуток провод-стойка опоры

При выполнении задачи использовать Л-1 (стр. 34-43, рис. 2-18, 2-23)

Задача 3. На линии передачи подвешены в горизонтальной плоскости сталеалюминевые провода с внешним радиусом r , расстояние между ними d . Коэффициент шероховатости проводов принять равным 0,85, а коэффициент погоды 1 и 0,8. Частота 50Гц.

Определить потери мощности на корону в сухую и дождливую погоду для воздушной трехфазной линии передачи с линейным напряжением U , протяженностью l при атмосферных условиях, указанных в табл. 2.

Таблица 2

| Данные | Номера варианта | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Напряжение линейное $U, кВ$. | 110 | 154 | 220 | 330 | 110 | 330 | 220 | 154 | 110 | 220 |
| Протяженность $l, км$. | 120 | 150 | 240 | 300 | 100 | 250 | 200 | 180 | 140 | 260 |
| Температура воздуха, $^{\circ}C$ | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 28 | 23 | 18 | 21 |
| Давление воздуха, мм рт. ст. | 730 | 735 | 740 | 745 | 750 | 760 | 765 | 770 | 750 | 740 |
| Радиус проводов $r, мм$ | 6 | 7 | 8 | 10 | 7 | 11 | 7 | 6 | 5 | 6 |
| Расстояние между проводами $d, м$ | 4 | 6 | 7 | 8 | 4 | 8 | 7 | 6 | 4 | 7 |

Определить также напряжение появления короны на проводах воздушной линии передачи в случаях: 1) удвоения радиуса провода, 2) удвоения расстояния между проводами.

Указания к решению задачи

Явление короны связано с потерей электрической энергии, которая в основном расходуется на движении заряженных частиц и частично на излучение. Однако при коронировании электродов с малой поверхностью эти потери настолько малы, что учет теряемой энергии не имеет смысла. Лишь при электродах большой протяженности, как, например, в воздушных линиях электропередачи, учет этих потерь имеет экономический интерес.

Для возникновения короны нужна определенная степень неоднородности поля, конфигурация которого в линиях передачи в основном определяется соотношениями расстояний между проводами и их радиусами.

При напряжениях до 110 кВ применяются провода таких диаметров, чтобы ограничить потери на корону весьма малыми величинами или вовсе избежать потерь на корону. Поэтому практический интерес имеют потери на корону в линиях очень высокого напряжения (110 кВ и выше), а также в линиях, проходящих по высокогорным районам, где пониженное давление воздуха облегчает его ионизацию.

Строгий аналитический вывод формулы потерь на корону в настоящее время невозможен. Поэтому основной путь определения потерь на корону при переменном напряжении заключается в обобщении опытных данных, которых к настоящему времени накопилось довольно много.

Американский инженер Пик предложил широко известную формулу мощности потерь на корону

$$P_k = \frac{241}{\delta} (f + 25) \cdot \sqrt{\frac{r}{d}} \cdot (U_\phi - U_o)^2 \cdot 10^{-5}, \frac{\text{кВт}}{\text{км} \cdot \text{фаза}},$$

где δ - относительная плотность воздуха;

r - радиус провода, см;

d - расстояние между проводами, см;

U_ϕ - фазное напряжение на участке коронирования, кВ;

U_o - минимальное напряжение, при котором на линии возникает корона;

оно определяется по формуле:

$$U_o = 21,2 \cdot \delta \cdot r \ln \frac{d}{r} \cdot m_1 m_2$$

m_1 - коэффициент гладкости провода;

m_2 - коэффициент погоды.

Из формул следует, что из геометрических размеров линии основное влияние на потери оказывает радиус провода, увеличение которого приводит к увеличению расчетного напряжения U_o . Влияние расстояния между проводами значительно меньше, тем более, что отношение d/r для линий ВН (110 кВ и выше) изменяется в очень узких пределах.

При выполнении задачи использовать Л-1 (стр. 46-61).

Задача 4. Определить пробивное напряжение проходного изолятора на номинальное напряжение 6 кВ. Наружный диаметр фарфора D , диаметр токоведущего стержня d , толщина фарфора n , прочность фарфора $E_{пр.ф}$, относительная диэлектрическая проницаемость фарфора ε указаны в табл.3 Прочность воздуха $E_{пр.в} = 30\text{кВ/см}$.

Таблица 3

| Вариант | $D, \text{см}$ | $d, \text{см}$ | $n, \text{мм}$ | ε | $E_{пр.ф}, \text{кВ/см}$ |
|---------|----------------|----------------|----------------|---------------|--------------------------|
| 1 | 7,5 | 1,1 | 8 | 6 | 60 |
| 2 | 7,5 | 1,15 | 9 | 6 | 60 |
| 3 | 8 | 1,2 | 10 | 6 | 65 |
| 4 | 8,5 | 1,25 | 11 | 6,3 | 68 |
| 5 | 9,4 | 1,3 | 12 | 6,3 | 70 |
| 6 | 9,5 | 1,35 | 13 | 6,3 | 75 |
| 7 | 10 | 1,37 | 14 | 6,5 | 78 |
| 8 | 11 | 1,38 | 15 | 6,5 | 80 |
| 9 | 12 | 1,4 | 16 | 6,5 | 85 |
| 10 | 13 | 1,42 | 17 | 6,8 | 87 |
| 0 | 14 | 1,44 | 18 | 6,8 | 90 |

Требуется определить начальное напряжение появления короны на стержне и начальное напряжение скользящего разряда, отношение пробивного напряжения к напряжению скользящего разряда.

Привести эскиз проходного изолятора и показать пути разряда.

Указания к решению задачи

Пробивным напряжением проходного изолятора называется наименьшее напряжение промышленной частоты, при котором происходит пробой между его электродами, а именно между средним фланцем и токоведущим стержнем. Пробой происходит через толщину изолятора, при этом путь пробоя представляет собой сквозной канал, способный проводить ток. В результате пробоя наступает потеря изолирующей способности изолятора, а чаще всего полное повреждение его.

Коронный разряд является одним из видов самостоятельного разряда и возникает в резко неоднородных полях, к которым, в частности, относится и электрическое поле между токоведущим стержнем и средним фланцем.

Напряженность электрического поля в воздухе на поверхности гладкого полированного цилиндра, при которой возникает коронный разряд, т.е. начальная напряженность, определяется по формуле, $кВ/см$:

$$E_0 = 24,5\delta \left[1 + \frac{0,65}{(\delta \cdot r)^{0,38}} \right],$$

где δ - относительная плотность воздуха;

r - радиус токоведущего стержня, $см$.

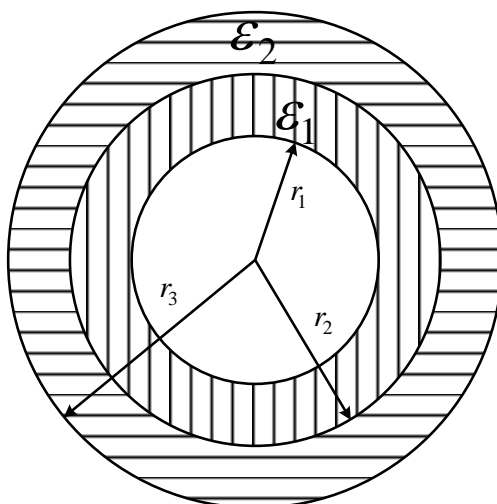
Скользкий разряд представляет собой частичную ионизацию воздуха вдоль поверхности диэлектрика от среднего фланца в виде яркосветящихся нитей, часто разветвленных, быстро перемещающихся (скользящих) по этой поверхности.

Теплер, исследовавший скользящие разряды по поверхности диэлектрика в воздухе, предложил для расчета действующего значения напряжения появления скользящих разрядов, $кВ$, при промышленной частоте эмпирическую формулу

$$U_{ск} = \frac{1,36}{C^{0,45}} \cdot 10^{-4},$$

где C - удельная поверхностная емкость, $\Phi/см^2$, т.е. емкость единицы поверхности, по которой развивается разряд, по отношению к противоположному электроду.

Для выполнения данной задачи необходимо знание значений максимальной напряженности и емкости слоистой изоляции между цилиндрами:



$$E_1 = \frac{U}{r_1 \ln \frac{r_2}{r_1}} \cdot \frac{C_2}{C_1 + C_2}; \quad E_2 = \frac{U}{r_2 \ln \frac{r_3}{r_2}} \cdot \frac{C_1}{C_1 + C_2}$$

$$C_1 = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_1 l}{\ln \frac{r_2}{r_1}}; \quad C_2 = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_2 l}{\ln \frac{r_3}{r_2}}; \quad C = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$$

При выполнении задачи использовать Л-1 (стр. 29-34, стр. 65-71)

Литература

1. Дмоховская Л.Ф. и др. /Под редакцией Разевига Д.В./ Техника высоких напряжений. Высшая школа, 1976.

КОНТРОЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ № 2

Задача 1. На генератор по высоковольтной воздушной линии передачи набегает импульсная волна длиной l_o (табл. 1) и амплитудой U_o . Волновое сопротивление воздушной линии передачи определяется параметрами L_1 и C_1 . Волновое сопротивление генератора равно z_2 . Уровень главной изоляции генератора составляет $U_{2\max}$, пробивной градиент витковой изоляции $0,25 \text{ кВ/м}$.

Таблица 1

| Данные | Номера варианта | | | | | | | | | |
|---|-----------------|-----|------|------|-----|------|-----|------|------|------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Длина волны $l_o, \text{км}$ | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 5 | 3 | 6 |
| Напряжение $U_o, \text{кВ}$ | 150 | 160 | 170 | 180 | 190 | 200 | 210 | 220 | 230 | 240 |
| Индуктивность линии передачи $L_1, \text{Гн/км} \cdot 10^{-3}$ | 1 | 1,1 | 1,4 | 1,5 | 1,7 | 1,9 | 2,1 | 2,3 | 2,6 | 2,4 |
| Емкость линии передачи, $C_1, \text{мкФ/км} \cdot 10^{-3}$ | 3,5 | 4 | 4,5 | 5 | 5,5 | 4,8 | 5,1 | 5,4 | 4,7 | 5,3 |
| Волновое сопротивление генератора $z_2, \text{Ом}$ | 800 | 900 | 1000 | 1100 | 950 | 1050 | 850 | 1000 | 1100 | 1050 |
| Уровень главной изоляции генератора $U_{2\max}, \text{кВ}$ | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 50 | 52 | 48 | 54 | 60 |

Привести схему защиты от набегающих волн генератора, работающего на воздушную сеть.

Составить схему замещения волнового процесса этой системы.

Определить величину емкости C , которую необходимо включить на зажимы генератора для того, чтобы при воздействии волны перенапряжения не была нарушена главная и продольная изоляция генератора. Определить также емкость, при которой крутизна падающей волны была бы не опасна для витковой изоляции генератора.

Указания к решению задачи

При прямом ударе молнии в линию или вблизи ее, а также при различных видах коммутации создаются электромагнитные волны, которые распространяются вдоль линии.

Скорость распространения электромагнитных волн вдоль проводов, проходящих в непроводящей среде, определяются по формуле

$$v = \frac{c}{\sqrt{\mu \cdot \varepsilon}},$$

где c - скорость распространения световых волн $3 \cdot 10^8$ м/сек;
 ε - относительная диэлектрическая проницаемость среды;
 μ - относительная магнитная проницаемость среды.

Дойдя до подстанции, набегающие с линии волны создают напряжение на изоляции оборудования; для определения этого напряжения необходимо уметь рассчитывать деформацию волны при ее пробеге вдоль линии и ее преломление на элементах подстанции.

В данной задаче необходимо оценить влияние емкости, которую необходимо включить на зажимы генератора, на величину перенапряжений на главной и продольной изоляции генератора. Для этого нужно составить схему замещения волнового процесса этой системы.

Емкость конденсатора, при которой величина перенапряжений будет ниже уровня главной изоляции генератора, определяется по выражению

$$C \approx \tau \left[\frac{2U_0}{U_{2\max} \cdot z_1} - \frac{z_1 + z_2}{2z_1 \cdot z_2} \right],$$

где $\tau = \frac{l_0}{v}$.

Для определения емкости, при которой крутизна падающей волны была бы неопасной для витковой изоляции, используется уравнение

$$C = \frac{2U_0}{z_1 \cdot v \cdot \frac{du_2}{dl}},$$

где $\frac{du_2}{dl}$ - пробивной градиент витковой изоляции.

Из двух расчетных значений емкости принимается такое ее значение, при котором при воздействии волны не была бы нарушена главная и продольная изоляция генератора.

При выполнении данной задачи использовать Л-1 (стр.235-255, 358-361), Л-2 (стр.284-287).

Задача 2. Площадка открытого распреустройства подстанции напряжением $U_i, \text{êB}$ с размерами $S, \text{ì}^2$ защищается от прямых ударов молнии стержневыми молниеотводами высотой $h, \text{ì}$, расположенными в углах прямоугольника (табл.2). Питание подстанция получает от ВЛ на металлических опорах.

Определить максимальную высоту объектов на территории подстанции, которые будут надежно защищены этими молниеотводами. Начертить зоны защиты стержневых молниеотводов для подстанции в целом. Выбрать аппараты и привести схему защиты подстанции от набегающих волн. Описать устройство и принцип работы защитных аппаратов.

Таблица 2

| Данные | Номер варианта | | | | | | | | | |
|------------------|----------------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|---------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| $U_i, \text{êA}$ | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 110 | 110 | 110 | 110 | 110 |
| $S, \text{ì}^2$ | 50×50 | 50×60 | 60×60 | 60×70 | 70×70 | 100×80 | 110×90 | 120×90 | 130×80 | 140×100 |
| $h, \text{ì}$ | 16 | 16 | 17 | 18 | 18 | 22 | 22 | 24 | 24 | 26 |

Указания к решению задачи

Опасные грозовые перенапряжения в РУ ПС возникают как при непосредственном поражении их молнией, так и при набегании на ПС грозовых волн с ВЛ в результате поражения проводов ВЛ молнией или удара молнии в вершину опоры или трос.

При выполнении данной задачи использовать Л-1 (стр. 263-270, 284-309, 327-361), Л-2 (стр.219-230, 230-250, 268-284).

Литература

1. Дмоховская Л.Ф. и др. /Под редакцией Разевига Д.В./ Техника высоких напряжений. Высшая школа, 1976.
2. Базуткин В.В. и др. Техника высоких напряжений. Энергоиздат, 1986.

Какурин Александр Сергеевич

ТЕХНИКА ВЫСОКИХ НАПРЯЖЕНИЙ

Методические указания и контрольные задания

Технический редактор: А.С.Какурин
Компьютерная верстка: А.Б.Шпакова
Корректор: С.Н. Емельянова

Подписано в печать
Гарнитура «Times New Roman». Усл. п. л.
Тираж экз. Заказ №

Адрес издательства:
Россия, 180000, г. Псков, ул. Л.Толстого, 4
Издательство Псков ГУ