

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ОРЕНБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ
ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

Б1.В.ДВ.07.02 Изоляция и перенапряжение в системах электроснабжения

Направление подготовки 35.03.06. Агроинженерия

Профиль образовательной программы «Электрооборудование и электротехнологии»

Форма обучения очная

СОДЕРЖАНИЕ

1. Конспект лекций	3
1.1. Лекция № 1 Общие вопросы изоляции и перенапряжения.....	3
1.2 Лекция № 2 Разряды в воздушных промежутках и их формирование.....	5
1.3 Лекция № 3,4 Основные виды электрического разряда в газах.....	9
1.4 Лекция № 5,6 Регулирование электрических полей во внутренней изоляции.....	12
1.5 Лекция № 7 Эксплуатация изоляционных конструкций при рабочем напряжении.....	16
1.6 Лекция № 8 Грозовые перенапряжения, молниеотводы.....	20
1.7 Лекция № 9 Изоляция линий электропередачи и основного электрооборудования.....	26
2. Методические материалы по выполнению лабораторных работ	19
2.1 Лабораторная работа №1 Вводное занятие.....	19
2.2 Лабораторная работа №2,3 Ремонт на ТП-315, повреждена кабельная разделка КЛ-6кВ в стороне ГПП.....	19
2.3 Лабораторная работа №4,5 Отключить и заземлить транзитную линию Л7 – 10кВ, для продления работ на линии.....	19
2.4 Лабораторная работа №5,6 Отыскание земли в сети 6кВ на ПС 110кВ Новгородская.....	20
2.5 Лабораторная работа №7,8 Защита подстанции от прямых ударов молнии.....	20
2.6 Лабораторная работа №9,10 Вывод в ремонт трансформатора № 1, 16МВА при нормальной схеме ПС Кувандыкская.....	20
2.7 Лабораторная работа № 11,12 Аварийное отключение ВЛ – 110кВ Абдулино-Бугуруслан из-за отложение гололеда.....	21
2.8 Лабораторная работа №13,14 Перенапряжения в длинных линиях электропередач.....	21

1. КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

1.1 Лекция № 1 (2 часа).

Тема: «Общие вопросы изоляции и перенапряжения»

1.1.1 Вопросы лекции:

1. Общая характеристика внешней изоляции электроустановок.
2. Основные виды электрического разряда в газах.
3. Физические процессы при ионизации в газе.

1.1.2 Краткое содержание вопросов:

1. Общая характеристика внешней изоляции электроустановок.

При нормальных атмосферных условиях электрическая прочность воздушных промежутков относительно невелика (в однородном поле при межэлектродных расстояниях около $1 \text{ см} \leq 30 \text{ кВ/см}$). В большинстве изоляционных конструкций при приложении высокого напряжения создается резконеоднородное электрическое поле. Электрическая прочность в таких полях при расстоянии между электродами 1-2 м составляет приблизительно 5 кВ/см, а при расстояниях 10-20 м снижается до 2,5-1,5 кВ/см. В связи с этим габариты воздушных ЛЭП и РУ при увеличении номинального напряжения быстро возрастают. Целесообразность использования диэлектрических свойств воздуха в энергетических установках разных классов напряжения объясняется меньшей стоимостью и сравнительной простотой создания изоляции, а также способностью воздушной изоляции полностью восстанавливать электрическую прочность после устранения причины пробоя разрядного промежутка.

Для внешней изоляции характерна зависимость электрической прочности от метеорологических условий (давления p , температуры T , абсолютной влажности H воздуха, вида и интенсивности атмосферных осадков), а также от состояния поверхностей изоляторов, т.е. количества и свойства загрязнений на них. В связи с этим воздушные изоляционные промежутки выбирают так, чтобы они имели требуемую электрическую прочность при неблагоприятных сочетаниях давления, температуры и влажности воздуха.

Электрическую прочность вдоль изоляторов наружной установки измеряют в условиях, соответствующих разным механизмам разрядных процессов, а именно, когда поверхности изоляторов чистые и сухие, чистые и смачиваются дождем, загрязнены и увлажнены. Разрядные напряжения, измеренные при указанных состояниях, называют соответственно сухоразрядными, мокроразрядными и грязе- или влагоразрядными. Основной диэлектрик внешней изоляции - атмосферный воздух - не подвержен старению, т.е. независимо от воздействующих на изоляцию напряжений и режимов работы оборудования его средние характеристики остаются неизменными во времени.

2. Основные виды электрического разряда в газах.

В обычном состоянии все газы почти полностью состоят из нейтральных атомов или молекул. Например, в каждом кубическом сантиметре воздуха содержится «всего» около миллиарда подвижных заряженных частиц (ионов и свободных электронов), но это составляет лишь 0,000001 % от общего числа частиц этого объема воздуха. Такой малой доли подвижных частиц, способных переносить заряды, недостаточно для возникновения сколь-нибудь заметного электрического тока.

Чтобы газ стал электропроводящим, в нём необходимо создать гораздо больше свободных заряженных частиц, превратив нейтральные молекулы (атомы) в ионы. Как добиться этого? Это можно сделать двумя путями: «внешним», когда заряженные частицы создаются действием какого-нибудь внешнего источника (его называют ионизатором), либо «внутренним», когда они создаются в газе действием того же самого электрического поля, которое затем приведёт их в движение и создаст электрический ток.

Интенсивная ионизация молекул или атомов может происходить по разным причинам, и главные из них таковы: а) сильное электрическое поле; б) высокая температура; в) радиоактивное или ультрафиолетовое излучение. При этом происходит образование свободных электронов и ионов. В зависимости от вида газа, его давления и температуры, а также от напряжения между электродами, находящихся в газе, могут возникать различные виды разряда в газе (этот термин означает «стекание» зарядов с электродов, подводящих напряжение, в область, занятую газом).

3. Физические процессы при ионизации в газе.

Разгоняясь в электрическом поле, каждый из этих электронов в свою очередь ионизирует по молекуле, что приводит к образованию трех положительных ионов и четырех электронов, и т.д. Электроны и ионы, образовавшиеся в лавине, перемещаются под действием электрического поля. Так как подвижность электронов много больше подвижности ионов, то в голове лавины образуется избыток электронов, а в ее хвосте преобладают положительно заряженные ионы.

Самостоятельный разряд. Для образования лавины необходим хотя бы один начальный электрон. В том случае, когда начальные электроны непрерывно воссоздаются, лавинный процесс не прекращается. Начальные электроны могут создаваться внешними ионизаторами, в этом случае разряд называется несамостоятельным. Воссоздание начальных электронов может происходить и за счет ионизационных процессов в самой лавине. В этом случае процесс носит самоподдерживающийся характер, и разряд называется самостоятельным. Ионизация в лавине сопровождается возбуждением части молекул и излучением фотонов. Излучаемые фотоны могут вызвать вторичную ионизацию в газе или на катоде.

Условием самостоятельного разряда является условие, при котором разряд будет поддерживаться, если даже действие внешнего ионизатора прекратиться. Однако для начала развития разряда необходим исходный начальный электрон.

Если самостоятельный разряд будет даже незначительно превышать единицу, число развивающихся в промежутке лавин будет непрерывно возрастать. Последующие лавины будут возникать еще до того, как все положительные ионы предыдущих лавин уйдут на катод. Следовательно, электроны будут двигаться в объеме, заполненном положительными ионами, и вдоль пути лавин газ в промежутке между электродами перейдет в состояние плазмы.

В случае однородного поля условие самостоятельности разряда является условием пробоя промежутка, поэтому оно может быть использовано для определения пробивного напряжения.

1. 2 Лекция № 2 (2 часа).

Тема: «Разряды в воздушных промежутках и их формирование»

1.2.1 Вопросы лекции:

1. Классификация внутренних перенапряжений, установившиеся перенапряжения.
2. Разряды в однородном, резконеоднородных полях.
3. Разряды в воздухе вдоль поверхности твердых диэлектриков, регулирование электрических полей во внешней изоляции.
4. Применение экранов, барьеров, вольт секундные характеристики.

1.2.2 Краткое содержание вопросов:

1. Классификация внутренних перенапряжений, установившиеся перенапряжения.

В зависимости от места приложения можно выделить различные типы перенапряжений. Наибольшее практическое значение имеют фазные перенапряжения.

Они воздействуют на изоляцию токоведущих частей электрооборудования от земли или заземленных конструкций. К этой изоляции нормально приложено фазное напряжение. Однако в сетях с изолированной нейтралью следует учитывать, что в процессе поиска места замыкания на землю (длительностью от минут до нескольких часов) к фазной изоляции может быть приложено линейное напряжение.

Междуфазные перенапряжения рассматриваются при выборе междуфазной изоляции, например - расстояний между проводами разных фаз на линиях и подстанциях, обмотками различных фаз трансформаторов, машин, реакторов. Рабочим напряжением для этих видов изоляции является линейное напряжение.

Внутрифазные перенапряжения возникают между различными токоведущими элементами одной и той же фазы, например между соседними витками или катушками обмотки трансформатора, а также между нейтралью и землей.

Перенапряжения между контактами коммутирующих аппаратов возникают в процессе отключения участка сети или при несинхронной работе двух участков сети.

Внутренние перенапряжения возникают в электрических системах в результате коммутаций.

Коммутации могут быть **оперативными**(плановыми), например:

- а) включение и отключение ненагруженных линий;
- б) отключение ненагруженных трансформаторов и реакторов поперечной компенсации;
- в) отключение конденсаторных батарей.

Однако чаще внутренние перенапряжения возникают при **аварийных** коммутациях в результате действия релейной защиты или противоаварийной автоматики.

2. Разряды в однородном, резконеоднородных полях.

В неоднородном поле в отличие от однородного напряженность поля в различных точках промежутка разная по величине или по направлению. К типичным промежуткам с неоднородным полем относятся стержень - стержень, стержень - плоскость, провод - земля и многие другие реальные изоляционные промежутки.

Основные закономерности развития разряда в любых резконеоднородных полях ($K_n > 4$) практически одинаковы. При некотором начальном напряжении U_h в промежутке возникает самостоятельный разряд в лавинной форме, т.к. вблизи стержня имеется область с напряженностью, превышающей значение \dot{E}_H , соответствующее возникновению самостоятельной формы разряда

Разряд локализуется в этой области, а вторичные лавины поддерживаются либо за счет фотоионизации из объема газа (при положительной полярности стержня), либо за счет фотоэмиссии или автоэлектронной (холодной) эмиссии с катода (при отрицательной полярности стержня). Такой разряд называется коронным разрядом в лавинной форме. Значение напряжения и напряженности поля на электроде при возникновении коронного разряда зависит от степени неоднородности поля. С увеличением степени неоднородности напряженность на электроде-стержне увеличивается, а напряжение возникновения короны уменьшается.

3. Разряды в воздухе вдоль поверхности твердых диэлектриков, регулирование электрических полей во внешней изоляции

Разряды в воздухе вдоль поверхности твердого диэлектрика

Любая внешняя изоляционная конструкция имеет участки, в которых твердый диэлектрик граничит с атмосферным воздухом. На этой границе разряд может происходить в самом твердом диэлектрике или в газовом слое.

Поверхностный газовый разряд сохраняет все свойства газового разряда. Разряд по поверхности твердого диэлектрика имеет и свои особенности, связанные с влиянием

твёрдого диэлектрика на протекание разряда. Введение в воздушный промежуток твёрдого диэлектрика приводит к смещению разрядного напряжения.

При резконеоднородных полях во внешней изоляции возможен *коронный разряд* у электродов с малым радиусом кривизны. Появление короны вызывает дополнительные потери энергии и интенсивные радиопомехи. В связи с этим большое значение имеют меры по уменьшению степени неоднородности электрических полей, которые позволяют ограничить возможность возникновения короны, а также несколько увеличить разрядные напряжения внешней изоляции.

Регулирование электрических полей во внешней изоляции осуществляется с помощью экранов на арматуре изоляторов, которые увеличивают радиус кривизны электродов, что и повышает разрядные напряжения воздушных промежутков. На воздушных ЛЭП высоких классов напряжений используются расщепленные провода.

4. Применение экранов, барьеров, вольт-секундные характеристики.

Зависимость максимального напряжения разряда от времени действия импульса называется вольт-секундной характеристикой изоляции. Эта характеристика представляет собой важнейшую зависимость, используемую при выборе уровня изоляции и оценке ее эксплуатационных возможностей.

Для экспериментального определения вольт-секундной характеристики к исследуемому промежутку прикладываются импульсы стандартной формы. При каждом значении максимального напряжения импульса производится серия опытов. В силу статистического разброса времени разряда вольт-секундная характеристика получается в виде области точек

для которой указываются средняя кривая и границы разброса времени разряда.

Получение возможности определения вольт-секундных характеристик расчетным или расчетно-экспериментальным путем позволяет значительно упростить исследовательскую и проектную работу, а кроме того, позволяет направить внимание на исследование влияния различных факторов на сравнительно небольшое число параметров, что облегчило бы дальнейшее углубление познаний в области поведения изоляции при импульсах. F. W. Peek, исходя из предположения, что для пробоя искрового промежутка требуется определенное количество энергии, и, предполагая, что потеря энергии следует квадратичному закону, как и потери на корону, получил уравнение вольт-секундной характеристики

1. 3 Лекция № 3,4 (4 часа).

Тема: «Основные виды электрического разряда в газах»

1.3.1 Вопросы лекции:

1. Коронный разряд на линиях электропередач.
2. Корона на проводах при постоянном напряжении.
3. Корона на проводах при переменном напряжении. Потери на корону
4. Методы уменьшения потерь на корону

1.3.2 Краткое содержание вопросов:

1. Коронный разряд на линиях электропередач.

Корона на проводах сопровождается потерями энергии и вызывает помехи радиоприему. При коронном разряде происходит ионизация воздуха и у поверхности провода образуется объемный заряд того же знака, что и полярность напряжения на проводе. Под действием сил электрического поля ионы, составляющие объемный заряд, движутся от провода. Для их передвижения необходимы затраты энергии, которые и определяют в основном потери энергии на корону, поскольку затраты энергии на ионизацию воздуха много меньше.

Ток коронного разряда содержит отдельные импульсы с очень крутым фронтом (десятки наносекунд), особенно мощные при стримерной короне. Эта высокочастотная составляющая тока короны является источником интенсивного электромагнитного излучения с широким спектром частот (0,15—100 МГц), которое создает помехи радиоприему, особенно сильные вблизи линии электропередачи.

Во время коронирования напряженность поля у поверхности провода остается равной E_n . Увеличение напряжения на проводе приводит к усилению ионизационных процессов и росту объемного заряда. Вследствие увеличения объемного заряда потери энергии на корону растут в тем большей степени, чем больше напряжение на проводе превосходит начальное напряжение

При перемещении объемного заряда от провода напряженность поля у его поверхности стремится увеличиться. Однако из-за ионизации воздуха объемный заряд вблизи провода при этом пополняется и напряженность поля сохраняется равной E_n . Таким образом, вследствие непрерывного удаления объемного заряда от провода коронный разряд может поддерживаться неограниченно долго.

2. Корона на проводах при постоянном напряжении

При постоянном напряжении различают два различных вида коронного разряда - *униполярный* и *биполярный*.

Униполярная корона возникает в том случае, когда коронирующие провода в промежутке имеют одинаковую полярность (например, промежуток провод).

При униполярной короне вся внешняя зона заполнена зарядами того же знака, что и коронирующий провод (или провода).

Биполярная корона возникает в том случае, когда коронирующие провода имеют противоположную полярность (например, промежуток провод)

Во внешней зоне биполярной короны ионы разных знаков движутся навстречу друг другу. Если бы на границе нулевого потенциала I-I происходила полная рекомбинация ионов, биполярная корона состояла бы из двух не зависящих друг от друга униполярных коронных разрядов. В действительности на границе раздела происходит лишь частичная рекомбинация ионов, и значительная их часть проникает во внешнюю зону провода противоположной полярности, уменьшая суммарный объемный заряд этой зоны, а следовательно, и $Du_{об}$. Для того чтобы восстановить нормальное значение $Du_{об}$, обеспечивающее сохранение начальной напряженности поля на поверхности провода, ионизация в чехле короны должна возрасти и из чехла короны должен выделяться

большой заряд, часть которого тратится на нейтрализацию заряда противоположного знака. Благодаря этому ток короны, следовательно, и потери энергии в биполярной короне значительно больше, чем в униполярной. Увеличение потерь в биполярном режиме по сравнению с униполярным связано также с распадом (явлением, обратным прилипанию) отрицательных ионов в зоне ионизации провода, имеющего положительную полярность. Отрицательные ионы приходят к положительному проводу от отрицательного коронирующего провода и в результате распада создают в зоне ионизации дополнительные свободные электроны.

3. Корона на проводах при переменном напряжении. Потери на корону.

Анализ движения объемного заряда в пространстве между проводами при переменном напряжении показывает, что основная масса нерекombинировавшего заряда совершает возвратно-поступательное движение в окрестности каждого провода, не удаляясь от него на расстояние, большее нескольких десятков сантиметров. Только очень небольшая доля объемного заряда проникает к соседним проводам. Это обстоятельство позволяет рассматривать процессы, происходящие вблизи проводов различных фаз, независимо друг от друга. Вследствие возвратно-поступательного характера движения зарядов отрицательные ионы, возникшие в отрицательный полупериод изменения

напряжения, возвращаются в зону ионизации в положительный полупериод и, распадаясь, приводят к снижению напряженности поля у провода до критической.

Далее рассматривается изменение объемного заряда в окрестности одного из проводов и напряженности электрического поля на поверхности этого провода при синусоидальном напряжении источника. Допустим, что линия подключена к источнику в момент нуля напряжения.

Корона на проводе зажигается в момент времени t_1 , когда напряженность поля на поверхности провода станет равной mE_0 . Напряжение при этом равно $u_\phi = U_k$. После зажигания короны в пространстве вокруг провода накапливается объемный заряд того же знака, что и заряд на проводе. Объемный заряд уменьшает напряженность поля на поверхности провода, причем, как и для короны при постоянном напряжении, в процессе горения короны напряженность поля на поверхности провода остается неизменной и равной E_k .

4. Методы уменьшения потерь на корону

Отличительной особенностью коронного разряда, определяющей его количественные закономерности, является характерная форма взаимодействия ионов, создаваемых в процессе разряда, и электрического поля у коронирующего электрода, например провода [линии электропередачи](#) (ЛЭП). Знак заряда ионов, движущихся из зоны ионизации во внешнюю зону, совпадает со знаком заряда на коронирующем проводе, что обычно ведёт к ослаблению поля у провода до некоторой, практически постоянной величины - критической напряжённости ($E_{кр}$) - и к соответствующему усилению поля в остальной части пространства (внешней зоне). Эта особенность механизма образования короны обуславливает существенную зависимость от напряжения на проводе как тока коронного разряда, так и П. на к. Пока нет короны, напряжённость электрического поля у поверхности провода E_{np} прямо пропорциональна напряжению на проводе U и обратно пропорциональна его радиусу r . Если постепенно повышать U , то соответственно будет возрастать и E_{np} , пока U не достигнет критического значения $U_{кр}$, при котором $E_{np} = E_{кр}$ - напряжённости возникновения короны. При дальнейшем повышении напряжения E_{np} более не возрастает. Увеличивается интенсивность короны, т. е. возрастает поток ионов от провода и переносимый ими электрический заряд g , приходящийся на единицу объёма внешней зоны. Заряд g возрастает ровно настолько, чтобы ограничить поле у провода практически до $E_{кр}$, но соответственно возросшему напряжению он усиливает поле во внешней зоне $E_{в.з.}$ за пределами зоны ионизации.

1. 4 Лекция № 5,6 (4 часа).

Тема: «Регулирование электрических полей во внутренней изоляции»

1.4.1 Вопросы лекции:

1. Электрические характеристики внутренней изоляции электроустановок.
2. Основные особенности изоляционных жидкостей.
3. Механизм пробоя жидких диэлектриков.
4. Маслобарьерная изоляция. Примеры применения маслобарьерной изоляции: силовые трансформаторы, вводы.
5. Пробой жидких и твердых диэлектриков, регулирование электрических полей во внутренней изоляции.

1.4.2 Краткое содержание вопросов:

1. Электрические характеристики внутренней изоляции электроустановок.

Внутренней изоляцией именуется части изоляционной конструкции, в каких изолирующей средой являются водянистые, твердые либо газообразные диэлектрики либо их композиции, не имеющие прямых контактов с атмосферным воздухом.

Необходимость либо необходимость внедрения внутренней изоляции, а не окружающего нас воздуха обоснована рядом обстоятельств.

Во-1-х, материалы для внутренней изоляции владеют существенно более высочайшей электронной прочностью (в 5-10 раз и поболее), что позволяет резко уменьшить изоляционные расстояния меж проводниками и уменьшить габариты оборудования. Это принципиально с экономической точки зрения.

Во-2-х, отдельные элементы внутренней изоляции делают функцию механического крепления проводников, водянистые диэлектрики в ряде случаев существенно делают лучше условия остывания всей конструкции.

Элементы внутренней изоляции в высоковольтных конструкциях в процессе использования подвергаются сильным электронным, термическим и механическим воздействиям. Под воздействием этих воздействий диэлектрические характеристики изоляции ухудшаются, изоляция “стареет” и утрачивает свою электронную крепкость.

Термические воздействия обоснованы тепловыделениями в активных частях оборудования (в проводниках и магнитопроводах), также диэлектрическими потерями в самой изоляции. В критериях увеличения температуры существенно ускоряются хим процессы в изоляции, которые ведут к постепенному ухудшению ее параметров.

2. Основные особенности изоляционных жидкостей.

Полиизобутен является химически стойким продуктом полимеризации масла из ряда полиолефинов. Этот более или менее вязкий пропиточный материал для конденсаторов применяется также для пропитки кабельной изоляции.

Додексилбензол - газостойкая изоляционная жидкость с малой вязкостью из ряда алкоильбензолов. Она иногда применяется для пропитки кабелей низкого давления с масляной изоляцией, а также конденсаторов.

Аскарели - это полихлорированные дифенилы (PCB), смешанные с три- и тетрахлорбензолом. Они применяются при изготовлении трансформаторов и конденсаторов. Их марки различаются степенью хлорирования использованного PCB и содержанием три- и тетрахлорбензола. Аскарели - термически и химически стойкие соединения, являющиеся высококачественными пропиточными материалами с высокой диэлектрической проницаемостью. Они используются в электротехнике начиная с 40-х годов в качестве огнебезопасной изолирующей и охлаждающей жидкости. В то время как в конденсаторах применяются только трихлордифенил и смеси трихлордифенила с дихлордифенилом, в трансформаторах используются клофены из три-, тетра-, пекта- и гексахлор-дифенила, разбавленные для достижения более низкой вязкости три- и (или) тетрахлорбензолом. Они обладают высокой температурой вспышки в отличие от минерального масла, негорючи вплоть до температуры кипения, химически настолько стабильны, что их старение в процессе эксплуатации практически исключено.

3. Механизм пробоя жидких диэлектриков.

Жидкие диэлектрики отличаются значительно более высокой электрической прочностью, чем газы в нормальных условиях.

Предельно чистые жидкости получить чрезвычайно трудно. Постоянными примесями в жидких диэлектриках являются вода, газы и твердые частички. Наличие примесей и определяет в основном явление пробоя жидких диэлектриков и вызывает большие затруднения для создания общей теории пробоя этих веществ.

Представления теории электрического пробоя применяют к жидкостям, максимально очищенным от примесей. При высоких значениях напряженности поля может происходить вырывание электронов из металлических электродов и, как и для газов, разрушение молекул самой жидкости за счет ударов заряженными частицами.

При этом повышенная электрическая прочность жидкого диэлектрика по сравнению с газообразным обусловлена значительно меньшей длиной свободного пробега электронов.

Пробой жидкостей, содержащих газовые включения, объясняют местным перегревом жидкости (за счет энергии, выделяющейся в относительно легко ионизирующихся пузырьках газа), который приводит к образованию газового канала между электродами. Влияние воды, не смешивающейся с трансформаторным маслом при нормальной температуре и держащейся в нем в виде отдельных мелких капелек

Под влиянием электрического поля капельки воды – сильно полярной жидкости – поляризуются и создают между электродами цепочки с повышенной проводимостью, по которым и происходит электрический пробой.

4. Маслобарьерная изоляция. Примеры применения маслобарьерной изоляции: силовые трансформаторы, вводы.

Во многих изоляционных конструкциях (трансформаторы, вводы) используется изоляция, в которой промежутки с изоляционной жидкостью, обычно с трансформаторным маслом, перегорожены барьерами из твердой изоляции.

Кратковременная электрическая прочность масляных промежутков сравнительно невелика, особенно в случае неоднородных полей. Средние разрядные напряженности в масле при частоте 50 Гц для промежутков с резконеоднородными полями составляют всего лишь 5 - 7,5 кВ/см. Поэтому чисто масляная изоляция в высоковольтных конструкциях оказывается экономически невыгодной. Для повышения электрической прочности масляных промежутков используют покрытие и изолирование электродов твердой изоляцией, чаще всего слоями кабельной бумаги, а также барьеры из твердых диэлектриков.

Действие барьера различно в однородных и неоднородных полях. В равномерном или слабонервномерном поле барьер препятствует возникновению проводящих цепочек в изолирующей жидкости между электродами. Барьер, установленный вблизи электрода с большей напряженностью поля, повышает разрядное напряжение при длительном приложении напряжения промышленной частоты на 30 – 35 %. Аналогичное действие оказывает поверхностное покрытие твердым диэлектриком электрода, обладающего большей кривизной.

При импульсах проводящие цепочки не успевают образоваться, поэтому барьеры в слабонервномерных полях не повышают импульсного напряжения. Это заключение, однако, относится к чистым промежуткам в масле. В реальных конструкциях с маслобарьерной изоляцией (МБИ), барьеры оказываются всегда эффективными.

5. Пробой жидких и твердых диэлектриков, регулирование электрических полей во внутренней изоляции.

Пробой твердой и комбинированной изоляции - явление необратимое, приводящее к выходу из строя электрооборудования. Жидкая и внутренняя газовая изоляция самовосстанавливается, но ее характеристики ухудшаются. Необходимо постоянно контролировать состояние внутренней изоляции в процессе ее эксплуатации, чтобы выявить развивающийся в ней дефекты и предотвратить аварийный отказ электрооборудования.

К внутренней изоляции относится изоляция обмоток трансформаторов и электрических машин, изоляция кабелей, конденсаторов, герметизированная изоляция вводов, изоляция между контактами выключателя в отключенном состоянии, т.е. изоляция герметически изолированная от воздействия окружающей среды корпусом, оболочкой, баком и т.д. Внутренняя изоляция как правило представляет собой комбинацию различных диэлектриков (жидких и твердых, газообразных и твердых).

Важной особенностью внешней изоляции является ее способность восстанавливать свою электрическую прочность после устранения причины пробоя. Однако электрическая прочность внешней изоляции зависит от атмосферных условий: давления, температуры и влажности воздуха. На электрическую прочность изоляторов наружной установки влияют также загрязнения их поверхности и атмосферные осадки.

Особенностью внутренней изоляции электрооборудования является старение, т.е. ухудшение электрических характеристик в процессе эксплуатации. Вследствие диэлектрических потерь изоляция нагревается. Может произойти чрезмерный нагрев изоляции, который приведет к ее тепловому пробоя. Под действием частичных разрядов, возникающих в газовых включениях, изоляция разрушается и загрязняется продуктами разложения.

Пробой твердой и комбинированной изоляции - явление необратимое, приводящее к выходу из строя электрооборудования. Жидкая и внутренняя газовая изоляция самовосстанавливается, но ее характеристики ухудшаются. Необходимо постоянно контролировать состояние внутренней изоляции в процессе ее эксплуатации, чтобы выявить развивающийся в ней дефекты и предотвратить аварийный отказ электрооборудования.

1. 5 Лекция № 7 (2 часа).

Тема: «Эксплуатация изоляционных конструкций при рабочем напряжении»

1.5.1 Вопросы лекции:

1. Общие сведения.
2. Основные виды электрической изоляции и координация изоляции.
3. Изоляция воздушных линий электропередачи.
4. Наружная изоляция подстанций высокого напряжения.
5. Изоляция силовых кабелей высокого напряжения, силовых конденсаторов, электрических машин высокого напряжения.

1.5.2 Краткое содержание вопросов:

1. Общие сведения.

В процессе эксплуатации на изоляцию воздействуют различного рода факторы:

А) Рабочее напряжение (минимального и максимального режима системы) действует в течение всего срока эксплуатации изоляции, но не должно превышать 15% для сетей до 220 кВ, 10% для сетей 330 кВ, 5% для сетей 500 кВ и выше.

(пример: 110 кВ наибольшее рабочее напряжение 126 кВ, 220 кВ – 252 кВ, 500 кВ – 525 кВ) сети с напряжением 3 – 35 кВ имеют изолированную нейтраль, 110 – 1150 кВ заземлённую

Б) Внутренние перенапряжения, возникают при включение и отключение линий и электрооборудования. Аварийных и несимметричных режимах работы, резонансных явлениях. Эти перенапряжения воздействуют сравнительно не долго от сотых долей до 10 с. но их величина превышает номинальное напряжение в несколько раз.

С) Грозовые или атмосферные перенапряжения. Последние возникают в результате удара молнии в электроустановку или вблизи неё и воздействуют на изоляцию линии и аппаратов. Время действия очень мало от миллионных долей до сотен миллионных долей секунды, но они имеют амплитудное значение миллион вольт.

Наряду с этим изоляция подвергается температурным и механическим воздействиям, которые ухудшают её электрические и механические свойства.

Длительное воздействие рабочего напряжения, перенапряжения, неблагоприятные атмосферные условия (колебания: давления, температуры, влажности; выпадение осадков, загрязнение) и механические воздействия могут перевести к пробоя и перекрытию изоляции, а также к преждевременному старению и выходу из строя.

2. Основные виды электрической изоляции и координация изоляции.

Внешней изоляцией называются части изоляционной конструкции, в которых изолирующей средой является атмосферный воздух, в том числе у поверхности твердого диэлектрика. Электрическая прочность внешней изоляции зависит от атмосферных и других внешних условий. Несмотря на его сравнительно низкую электрическую прочность всего $E_{пр}=1-30$ кВ/см, воздушная изоляция имеет ряд достоинств: малая стоимость, отсутствие старения, способность восстанавливать свои изолирующие свойства после погасания разряда.

Внутренней изоляцией называются части изоляционной конструкции, в которых изолирующей средой являются жидкие, твердые или газообразные диэлектрики или их комбинации, не имеющие прямых контактов с атмосферным воздухом.

Бумажно-пропитанная изоляция. Исходными материалами для изготовления бумажно-пропитанной изоляции (БПИ) служат специальные электроизоляционные бумаги и минеральные (нефтяные) масла (бумажно-масляная изоляция) или синтетические жидкие диэлектрики.

3. Изоляция воздушных линий электропередачи.

Кроме выбора воздушной дистанции между проводами и землей необходимо закрепить тоководы на мачтах так, чтобы не нарушить их электрическое сопротивление. Ведь материалы, используемые для опор (дерево и бетон при влажной погоде, а металлические конструкции при любых обстоятельствах), являются хорошими проводниками электрического тока.

Для закрепления открытых проводов на мачтах опор используются специальные конструкции, которые называют **изоляторами**. Их изготавливают из прочного диэлектрического материала. Чаще всего выбирают специальные сорта фарфора, стекла или реже — пластических масс.

Изолятор, показанный слева, выполнен из цельного куска фарфора. А правый — из двух составных частей.

По способу крепления к мачте изоляторы подразделяют на:

штыревые конструкции, которые крепят на металлическом штыре, установленном на траверсе в вертикальном положении;

подвесные устройства, подвешиваемые на мачте;

натяжные модели, закрепляемые в горизонтальной плоскости для противодействия силам натяжения.

Все они изготавливаются на работу при определенном классе напряжения на линии. В тот же время они воспринимают значительные механические усилия в вертикальном и горизонтальном направлениях, создаваемые прикрепленными к ним проводами при любых погодных условиях.

4. Наружная изоляция подстанций высокого напряжения.

Наружная изоляция подстанции состоит из воздушных промежутков, изоляторов и изоляционных конструкций. В ОРУ для крепления на порталах проводов, шин, аппаратов применяют подвесные линейные изоляторы. Для изолированного жесткого крепления шин или элементов аппаратов, находящихся под высоким напряжением, применяют опорные изоляторы или изоляционные конструкции, которые устанавливают для обеспечения безопасности обслуживающего персонала на железобетонных подножниках высотой 2,5 м.

При необходимости иметь изолятор на большее напряжение изоляторы собирают в колонку. Однако при этом уменьшается пропорционально числу изоляторов в колонке минимальная разрушающая сила на изгиб, в то время как изгибающий момент растет, поэтому на напряжение $U_{ном} = 330$ кВ и выше применяют высоковольтные изоляционные

конструкции в виде треног или параллелепипедов, собранных из стержневых изоляторов. Для повышения механической прочности треноги имеют пояса жесткости.

В последние годы для увеличения механической прочности на изгиб идут по пути увеличения диаметра изолятора. По техническим причинам и для уменьшения веса изоляторы выполняют с внутренней полостью. Основным недостатком полых изоляторов является их малая надежность при длительной эксплуатации из-за перекрытий по внутренней гладкой поверхности изолятора, которые возникают в результате конденсации влаги внутри изолятора при его охлаждении.

Выбор расстояний между электрооборудованием ОРУ подстанции производится не только по разрядным характеристикам изоляторов или воздушных промежутков, но и с учетом ряда других факторов. В частности, необходимо устранить возможность переброса дуги короткого замыкания на другие цепи, возможность возникновения пожара при выбросе газа и т. д., но в первую очередь необходимо обеспечить безопасность людей, которые могут оказаться около электрооборудования.

5. Изоляция силовых кабелей высокого напряжения, силовых конденсаторов, электрических машин высокого напряжения

Электрические кабели – это гибкие изолированные проводники, снабженные защитными оболочками, которые предохраняют изоляцию от внешних механических и иных воздействий. Основными элементами силовых кабелей являются проводники–жилы, изоляция по отношению к земле и между жилами, герметичная металлическая оболочка и защитные покровы. Для герметизации используется оболочка из свинца или алюминия, а для защиты от механических повреждений – броня из стальных лент или проволок; защита металлической оболочки и брони от коррозии производится с помощью лент кабельной бумаги или пряжи, пропитанных битумом.

В качестве пропитывающего состава в кабелях с бумажной изоляцией применяются вязкие пропитки (маслоканифольный компаунд), нефтяные или синтетические кабельные масла. Маслоканифольный компаунд применяется обычно в кабелях до 35 кВ включительно. Это упрощает конструкцию кабельных линий, так как добавление канифоли в нефтяное масло приводит к существенному увеличению вязкости пропитывающего состава, благодаря чему пропиточная масса в условиях нормальной эксплуатации не вытекает через концевые разделки кабеля. Кроме того, присутствие канифоли увеличивает стойкость масла против окисления.

Кабели с вязкой пропиткой до напряжения 10 кВ включительно чаще всего выполняются трехжильными с поясной изоляцией и секторными жилами. На рис.2.6а приведена конструкция кабеля на напряжение 10 кВ. Секторная форма жилы обеспечивает более полное использование объема под металлической оболочкой, а поясная изоляция увеличивает изоляций относительно оболочки без увеличения изоляции между жилами. Для увеличения механической прочности поверх свинцовой оболочки накладывается броня из двух стальных лент, наматываемых в противоположные стороны и защищенных от коррозии битумным покровом.

1. 6 Лекция № 8 (2 часа).

Тема: «Грозовые перенапряжения, молниеотводы»

1.6.1 Вопросы лекции:

1. Причины грозовых перенапряжений.
2. Рекомендуемые способы грозозащиты линий.
3. Молниезащита воздушных линий.
4. Молниезащита подстанций.
5. Молниеотводы, заземление молниеотводов.
6. Молниезащита зданий и сооружений.

7. Защитные аппараты и устройства.

1.6.2 Краткое содержание вопросов:

1. Причины грозových перенапряжений

Грозовые перенапряжения появляются в РУ электростанций при прямом поражении их молнией, при набегании грозových волн с ЛЭП, а также в результате обратных перекрытий изоляции с опоры, оказавшейся под высоким потенциалом при грозовом ударе в ее вершину или трос.

Грозовые перенапряжения возникают при разрядах молнии.

Грозовые перенапряжения на зажимах электрооборудования превышают остающееся напряжение разрядника из-за удаления его от электрооборудования; на остающееся напряжение накладываются обусловленные этим удалением колебания, как правило, значительные. Расчетные грозовые перенапряжения принимаются многократно воздействующими на изоляцию электрооборудования и условно представляются в виде стандартных полной и срезанной импульсных волн. Амплитуда первой а 10 % или несколько больше превышает остающееся напряжение при импульсном токе, принятом для координации изоляции; амплитуда расчетной срезанной волны на 20 - 25 % больше, чем полной.

Грозовые перенапряжения не связаны с рабочим напряжением электрических установок и могут иметь весьма большую амплитуду. Однако вентильные разрядники ограничивают амплитуду грозových перенапряжений до величин, определяемых характеристиками разрядников и импульсным током в них (гл. Этот уровень обеспечивается применением в системе специальных разрядников, быстродействующих выключателей, шунтирующих реакторов.

Уровень *грозových перенапряжений* в конкретной электрической сети не зависит от ее номинального напряжения, а уровень внутренних перенапряжений, наоборот, зависит от номинального напряжения сети. По этой причине выбор уровня изоляции электрооборудования напряжением до 220 кВ включительно в основном лимитируется уровнем грозových перенапряжений, а уровень изоляции электрооборудования напряжением 330 кВ и выше - уровнем внутренних перенапряжений.

2. Рекомендуемые способы грозозащиты линий

1. Линии напряжением 220 кВ и выше в подавляющем большинстве случаев сооружаются на металлических опорах и должны защищаться тросами по всей длине. На одноцепных опорах portalного типа или типа «рюмка» подвешиваются два троса, благодаря чему защитные углы без всякого труда могут быть снижены до 20—25°. Такие линии при сопротивлении заземления 10 Ом имеют удельное число отключений порядка 0,06. Уменьшение сопротивления заземления опор до 5 Ом позволяет снизить удельное число отключений приблизительно в 1,5 раза.

В последнее время широкое распространение стали получать двухцепные линии на высоких опорах (40—45 м), снабженные одним тросом, обеспечивающим защитный угол порядка 30—32°. Вследствие значительно большей высоты эти линии обладают гораздо более низкой грозоупорностью. Например, линия 220 кВ на двухцепных опорах имеет удельное число отключений 1,0—1,2 при сопротивлении заземления опоры $R=10\text{ Ом}$, которое снижается всего на 30—40% при уменьшении сопротивления до 5 Ом.

2. Линии 110 кВ на металлических опорах также рекомендуется защищать тросами по всей длине. При сопротивлении заземления 10 Ом удельное число отключений одноцепных линий составляет 0,2—0,3, а двухцепных — 0,6—0,8.

Линии 110 кВ на деревянных опорах никакой дополнительной грозозащиты не требуют, за исключением подвески тросов на подходах к подстанциям и установки трубчатых разрядников.

3. Линии 35 кВ на деревянных шторах, так же как и линии 110 кВ, не требуют дополнительных мер грозозащиты. Благодаря меньшим значениям рабочих градиентов вдоль пути перекрытия эти линии имеют даже несколько более высокие показатели, чем линии 110 кВ на деревянных опорах. Защита трубчатыми разрядниками мест с ослабленной изоляцией для этих линий также полезна, но менее обязательна, чем для линий 110 кВ.

3. Молниезащита воздушных линий.

Защита ВЛ до 1000 В от прямых ударов молнии не требуется. Однако сами линии, будучи соединены с электрооборудованием внутри зданий, могут служить каналом для заноса высоких потенциалов при прямых ударах молнии в линию, а также наводимых в проводах вследствие электростатической и электромагнитной индукции при близких грозовых разрядах.

Перенапряжения могут достигать сотен тысяч вольт и вызывают пробой изоляции проводов и электрооборудования и пожары. Они опасны для жизни людей, находящихся в зданиях и сооружениях, которые питаются электроэнергией по воздушной линии.

Подводка воздушных линий наружного освещения, силовой сети напряжением до 1000 В, радиотрансляционных линий и сигнализации к прожекторным мачтам, дымовым трубам, градирням и другим высокогабаритным зданиям и сооружениям не допускается. Здесь следует использовать кабели.

Для защиты от грозовых перенапряжений воздушные линии в населенной местности с одно- и двухэтажной застройкой, не экранированные дымовыми трубами котельных, высокими деревьями, зданиями и т. п., должны иметь заземляющие устройства. Сопротивление заземлений — не более 30 Ом. Расстояния между заземлениями для районов со среднегодовым числом часов гроз до 40 принимают 200 м.

Для районов, где среднегодовое количество часов гроз более 40, заземления устраивают через каждые 100 м. Кроме того, заземляющие устройства выполняют:

- на опорах — с ответвлениями к вводам в общественные здания, и помещения, где может находиться большое количество людей (школы, клубы, ясли, больницы, столовые, спальные корпуса пионерлагерей и т. п.) или представляющие большую хозяйственную ценность (животноводческие помещения, склады, мастерские и пр.);
- на конечных опорах линий, имеющих ответвления к вводам в здания любого назначения. К указанным заземляющим устройствам необходимо присоединить крюки и штыри деревянных и железобетонных опор, а также арматуру последних.

4. Молниезащита подстанций.

Подстанции должны защищаться как от прямых ударов молнии, так и от напряжения, набегаящих с линии. Защита от прямых ударов осуществляется в большинстве случаев стержневыми, реже тросовыми молниеотводами.

Волны на линиях возникают за счет индуктированных перенапряжений, при ударах молнии в провода и, наконец, за счет обратного перекрытия на провод с пораженного прямым ударом молнии троса или опоры.

Основным аппаратом грозозащиты подстанций является вентильный разрядник, у которого разрядное напряжение искрового промежутка и остающееся напряжение при токе (5-10кА) лежит примерно на 10% ниже гарантированной прочности защищаемой изоляции при полной волне.

Принципиальные схемы грозозащиты подстанций приведены на рис. 28. Схема *а* относится к случаю, когда подходящая к подстанции линия выполнена на деревянных опорах без троса, который подвешивается только в пределах защитного подхода (1—2 км). Так как на деревянных опорах спуски от тросов к заземлителям располагаются на стойках, прочность изоляции относительно.

5. Молниеотводы, заземление молниеотводов.

Молниеотвод — устройство, устанавливаемое на **зданиях** и сооружениях и служащее для защиты от удара **молнии**. В быту также употребляется некорректное, но более благозвучное «громоотвод».

Во время грозы на Земле появляются большие **индуцированные** заряды и у поверхности Земли возникает сильное электрическое поле. Напряжённость поля особенно велика возле острых проводников, и поэтому на конце молниеотвода загорается **коронный разряд**. Вследствие этого индуцированные заряды не могут накапливаться на здании и молнии не происходит. В тех же случаях, когда молния всё же возникает (такие случаи очень редки), она ударяет в молниеотвод и заряды уходят в Землю, не причиняя разрушений.

6. Молниезащита зданий и сооружений.

Молниезащита — система защитных устройств и мероприятий, применяемых в промышленных и гражданских сооружениях для защиты их от аварий, пожаров при попадании в них молнии. Молния — особый вид прохождения электрического тока через огромные воздушные промежутки, источник которого — атмосферный заряд, накопленный грозовым облаком. Условия образования таких облаков большая влажность и быстрое изменение температуры. В результате возникновения восходящих потоков воздуха и быстрой конденсации водяных паров, содержащихся в воздухе, образуется большое количество водяной пыли, которая заряжается отрицательно. Воздействие тока молнии возможно трех типов. Прямой удар при разряде молнии в объект оказывает тепловое и механическое воздействие. При этом ток молнии может вызвать нагревание токоотвода до температуры каления, плавления и даже испарения. Быстрое разогревание вызывает нарастание электродинамических напряжений в конструкциях. Это вызывает механические разрушения, часто происходящие в виде взрыва.

Вторичное воздействие разряда молнии сопровождается появлением в пространстве изменяющегося во времени магнитного поля, которое индуцирует в контурах, образованных из различных протяженных металлических предметов (трубопроводов, электропроводок и т. д.), всегда имеющихся в здании, электродвижущую силу. В замкнутых контурах электродвижущая сила вызывает появление наведенных токов. В тех контурах, в которых контакты недостаточно надежны в местах соединения, эти токи могут вызвать искрение или сильное нагревание, что очень опасно для помещений, где могут образовываться опасные концентрации горючих или взрывоопасных веществ.

Занос высоких потенциалов в здания может происходить по любым металлоконструкциям, рельсовым путям, эстакадам, проводам ЛЭП, трубопроводам и т. д. Эти заносы сопровождаются электрическими разрядами, которые могут явиться источником взрыва или пожара. В соответствии с инструкцией СН 305—77 здания и сооружения I и II категорий подлежат молниезащите от прямых ударов молнии, вторичных воздействий и заноса высоких потенциалов.

Здания и сооружения III категории должны иметь защиту от прямых ударов молнии и от заноса высоких потенциалов по надземным проводящим коммуникациям (за исключением наружных емкостей со взрыво- и пожароопасными жидкостями и газами, а также вертикальных наружных труб). Для защиты зданий и промышленных сооружений от тока молнии устраивают молниеотводы (громоотводы). Они воспринимают молнию и отводят ее ток в землю. Молниеотводы делят на стержневые и тросовые, которые подразделяют на отдельно стоящие, изолированные и не изолированные от защищаемого здания.

7. Защитные аппараты и устройства.

Все существующие эксплуатируемые или вновь сооружаемые электрические сети должны быть обеспечены необходимыми и достаточными средствами защиты, прежде всего, от поражения электрическим током людей, работающих с этими сетями, участков

цепей и электрооборудования от токов перегрузки, токов короткого замыкания, пиковых токов. Эти токи могут привести к повреждению как самих сетей, так и электроприборов, работающих в этих сетях.

Каждая трансформаторная подстанция, каждая воздушная линия, каждая кабельная линия и распределительные внутридомовые сети, каждый электроприёмник имеют аппараты защиты, обеспечивающие их бесперебойную и надежную работу.

Таких аппаратов на данный момент в мире имеется огромный выбор. Их можно подобрать по типу, по способу подключения, по параметрам защиты. Аппараты защиты электрооборудования и электрических сетей очень обширная группа и включает в себя такие аппараты как: плавкие вставки (предохранители), автоматические выключатели, разнообразные реле (токовые, тепловые, напряжения и т. п.).

Плавкие предохранители защищают участок цепи от токовых перегрузок и коротких замыканий. Разделяются на одноразовые предохранители и предохранители со сменными вставками. Используются и в промышленности и в быту. Существуют предохранители работающие на напряжении до 1кВ и так же высоковольтные предохранители установленные, работающие на напряжении выше 1000В (например, плавкие предохранители на трансформаторах собственных нужд подстанций 6/0,4 кВ). Удобство в эксплуатации, простота конструкции и легкость при замене обеспечили предохранителям очень большую распространенность.

1. 7 Лекция № 9 (2 часа).

Тема: «Изоляция линий электропередачи и основного электрооборудования»

1.7.1 Вопросы лекции:

1. Изоляция кабельных линий высокого напряжения, изоляция трансформаторов, электрических машин.
2. Изоляция вводов высокого напряжения
3. Изоляция электрических аппаратов.

1.7.2 Краткое содержание вопросов:

1. Изоляция кабельных линий высокого напряжения, изоляция трансформаторов, электрических машин.

Электрические кабели – это гибкие изолированные проводники, состоящие из защитной оболочки, проводников (жил), изоляции по отношению к земле и между жилами, и защитного покрова.

Металлическая оболочка выполняется из свинца или алюминия. Она защищает изоляцию от увлажнения, и выравнивает электрическое поле. Защитные покровы включают броню из стальных лент и слои кабельной пряжи, пропитанной битумом.

Кабели должны обладать достаточной гибкостью и высокой механической прочностью. Поэтому жилы обычно выполняются из большого числа скрученных тонких проволок.

Высокая электрическая прочность изоляции кабеля обеспечивается уменьшением толщины изоляции, что улучшает теплоотвод, увеличиваются допустимые рабочие токи, кабель становится гибким, достигается экономия материалов (оболочки, покрова).

Кабель должен быть надежным т.к. на отыскание места повреждения и его устранение в подземных линиях затрачивается много времени и средств. Кабельные линии выполняются составными (из нескольких отрезков). Строительная длина кабеля в барабанах составляет от 250 до 750 м. Эти отрезки соединяются муфтами. Муфты монтируются в полевых условиях, технология монтажа изоляции уступает заводской.

2. Изоляция вводов высокого напряжения

Проходные изоляторы высокого напряжения, называемые иначе вводами, имеют неблагоприятное расположение электродов с большой напряженностью электрического поля. Наибольшая напряженность электрического поля наблюдается у края фланца изолятора, где велики и нормальная к поверхности изолятора составляющая напряженности электрического поля, и тангенциальная составляющая. В этом месте возможно возникновение короны, скользящих разрядов, приводящих к перекрытию и к радиальным пробоям. Довольно часто при эксплуатации появляются наиболее опасные механические нагрузки на изгиб изолятора. Кроме того, на изолятор воздействуют тепловые нагрузки за счет нагрева токоведущих частей и диэлектрических потерь в изоляционном теле. Для создания более равномерного электрического поля используются конструкции конденсаторного типа, в которых требуемое распределение напряжения по изоляционной конструкции принудительно осуществляется при помощи металлических обкладок, закладываемых в изоляцию в процессе ее намотки (рис. 5). Такая конструкция уменьшает требуемые размеры ввода, особенно его диаметр, что улучшает условия отвода тепла. Чаще всего изоляторы конденсаторного типа выполняются так, чтобы обеспечить постоянство аксиальной (продольной) составляющей напряженности электрического поля. Для этого толщину слоя изоляции выбирают так, чтобы обеспечить одинаковые емкости между обкладками и одинаковые напряжения на каждом слое; уступы также принимаются одинаковыми. Иногда, однако, выполняют одинаковую толщину слоев.

3. Изоляция электрических аппаратов.

Для коммутационных аппаратов необходимо обеспечить изоляцию между контактами в отключенном положении, между токоведущими частями разных полюсов или фаз, между токоведущими частями и заземленными деталями.

В аппаратах с электромагнитами обмотки катушек изолируются от магнитопроводов, которые могут быть заземлены или находиться под потенциалом.

Изоляция аппарата зависит от его номинального напряжения, по которому определяют класс изоляции.

В процессе эксплуатации свойства изоляции ухудшаются, т.к. пыль и грязь на поверхности понижают сопротивление изоляции, приводящие к токам утечки, появлению разряда по поверхности или даже дуги.

Гигроскопические материалы – гетимакс, текстолит - поглощают влагу из воздуха, при этом качество изоляции – ее пробивное напряжение – снижается. Трансформаторное масло под действием нагрева разлагается, продукты разложения отрицательно воздействуют на хлопчатобумажную и др. изоляцию.

При К.З. действуют Э.Д.У. Механическая прочность опорных изоляторов выбирается с двукратным запасом к расчетным нагрузкам.

Изоляция аппаратов должна выдерживать перенапряжения коммутационные и атмосферные. Аппараты н/н имеют коммутационные перенапряжения, возникающие при отключениях и включениях цепей с емкостью и индуктивностью, длительностью до нескольких секунд. Кратностью перенапряжения называется отношение амплитуды перенапряжения относительно земли к амплитуде фазного напряжения. Изучение кратности позволяет установить величины испытательных напряжений переменного тока частотой 50 Гц, которые должен выдерживать аппарат в течение 1 мин. при испытаниях

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

2.1 Лабораторная работа № ЛР-1 (2 часа).

Тема: «Вводное занятие»

2.1.1 Цель работы: Пройти инструктаж по технике безопасности.

2.1.2 Задачи работы:

1. Пройти первичный инструктаж на рабочем месте по охране труда.
2. Пройти первичный инструктаж по пожарной безопасности.

2.1.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Инструкция по охране труда.
2. Инструкция по пожарной безопасности.
3. Общее описание стендов.

2.1.4 Описание (ход) работы:

2.2 Лабораторная работа № ЛР-2,3 (4 часа).

Тема: «Ремонт на ТП-315, повреждена кабельная разделка КЛ-6кВ в стороне ГПП»

2.2.1 Цель работы: Изучение работы и приобретение специальных навыков в проверке повреждения кабеля разделка КЛ-6кВ в стороне ГПП.

2.2.2 Задачи работы:

1. Изучить устройство ТП-315
2. рассмотреть принцип работы ТП-315

2.2.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Трансформатор.
2. методические указания.

2.2.4 Описание (ход) работы:

В ходе лабораторной работы была рассмотрена ТП-315 и определено место повреждения кабеля.

2.3 Лабораторная работа № ЛР-4,5 (4 часа).

Тема: «Отключить и заземлить транзитную линию Л7 – 10кВ, для продления работ на линии»

2.3.1 Цель работы: Изучение работы и приобретение специальных навыков в отключении и заземлении транзитной линии.

2.3.2 Задачи работы:

1. Отключить транзитную линию.
2. Заземлить транзитную линию.
3. Проверить перечень действий.

2.3.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Переносное заземление (ПЗ)
2. Средства защиты от электрического тока.

2.3.4 Описание (ход) работы:

В ходе лабораторной работы были произведены меры по отключению и заземлению транзитной линии.

2.4 Лабораторная работа № ЛР-6,7 (4 часа).

Тема: «Отыскание земли в сети 6кВ на ПС 110кВ Новгородская»

2.4.1 Цель работы: Отыскать землю в сети 6кВ на ПС 110кВ Новгородская

2.4.2 Задачи работы:

1. Отыскать землю при ее потере в сети 6кВ.

2.4.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Компьютер.
2. Программа-тренажер «Отыскание земли в сети 6кВ на ПС 110кВ Новгородская»

2.4.4 Описание (ход) работы:

В ходе лабораторной работы проводится ряд действий: производится поиск неисправности, получение распоряжения диспетчера о проведении оперативных переключений, проведение оперативные переключений на подстанции и доклад диспетчеру.

2.5 Лабораторная работа № ЛР-8,9 (4 часа).

Тема: «Защита подстанции от прямых ударов молнии»

2.5.1 Цель работы: Защитить подстанцию от прямых ударов молнии.

2.5.2 Задачи работы:

1. Перечислить методы защит от молнии.

2.5.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Методическое указание.

2.5.4 Описание (ход) работы:

В ходе лабораторной работе была проведена защита подстанции от прямых ударов молнии.

2.6 Лабораторная работа № ЛР-10,11 (4 часа).

Тема: «Вывод в ремонт трансформатора № 1, 16МВА при нормальной схеме ПС Кувандыкская»

2.6.1 Цель работы: Вывести в ремонт трансформатор № 1, 16МВА при нормальной схеме ПС Кувандыкская

2.6.2 Задачи работы:

1. произвести ремонт трансформатора.
2. проверить работу трансформатора.

2.6.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Трансформатор.
2. Методические указания.

3.Защитные средства.

2.6.4 Описание (ход) работы:

В ходе лабораторной работы проводится ряд действий: производится поиск неисправности, получение распоряжения диспетчера о проведении оперативных переключений, проведение оперативные переключений на подстанции и доклад диспетчеру.

2.7 Лабораторная работа № ЛР-12,13 (4 часа).

Тема: «Аварийное отключение ВЛ – 110кВ Абдулино-Бугуруслан из-за отложение гололеда»

2.7.1 Цель работы: Аварийное отключение ВЛ – 110к Абдулино-Бугуруслан из-за отложение гололеда.

2.7.2 Задачи работы:

1. Произвести аварийное отключение ВЛ-110кВ.

2.7.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Защитные средства.

2.7.4 Описание (ход) работы:

В ходе лабораторной работы проводится ряд действий: производится поиск неисправности, получение распоряжения диспетчера о проведении оперативных переключений, проведение оперативные переключений на подстанции и доклад диспетчеру.

2.8 Лабораторная работа № ЛР-14,15,16 (6 часов).

Тема: «Перенапряжения в длинных линиях электропередач»

2.8.1 Цель работы: Устранить перенапряжение в длинных линиях электропередач

2.8.2 Задачи работы:

1. Выявить причину перенапряжения.
2. устранить неисправность.

2.8.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Защитные средства.
- 2.Переносное заземление (ПЗ)

2.8.4 Описание (ход) работы:

В ходе лабораторной работы установить причину перенапряжения в длинных линиях электропередач