

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Амурский государственный университет»

Изоляция электроустановок
Методические указания
для самостоятельной работы студентов

Благовещенск
Издательство АмГУ
2014

Разработаны в рамках реализации гранта «Подготовка высококвалифицированных кадров в сфере электроэнергетики и горно-металлургической отрасли для предприятий Амурской области» по заказу предприятия-партнера ОАО «ФСК ЕЭС»

Рецензенты:

Павлова О.Г. секретарь руководителя МЭС Востока филиала ОАО «ФСК - ЕЭС»

Федотов А.И. д.т.н., профессор кафедры «Электроэнергетические системы и сети» ФГБОУ ВПО «КГЭУ»

Изоляция электроустановок. Методические указания для самостоятельной работы студентов / сост.: Соловьев В.В.. - Благовещенск: Изд-во АмГУ, 2014. – с. Методические указания для самостоятельной работы студентов предназначены для подготовки бакалавров по направлению 140400.62 «Электроэнергетика и электротехника», профили «Электроснабжение», «Электрические системы и сети», «Электрические станции», «Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем».

. Содержат методические указания по самостоятельной работе над отдельными разделами дисциплины, приведены материалы для контроля уровня освоения дисциплины.

В авторской редакции.

ББК 31.264-04я73

ВВЕДЕНИЕ

Основное содержание курса «Изоляция электроустановок» - вопросы надежной работы изоляции установок высокого напряжения при воздействии на них импульсных напряжений и внутренних перенапряжений. Пробой и перенапряжение изоляции приводят к авариям, перебоям в электроснабжении и, следовательно, к большим экономическим ущербам. Очевидные преимущества передачи электроэнергии высоким напряжением будут полностью обесценены, если изоляция на каком-либо участке системы окажется в аварийном состоянии при указанных воздействиях напряжений.

Электрическая изоляция является одним из важнейших элементов, обеспечивающим безаварийность и долговечность работы высоковольтных аппаратов и конструкций. Кроме электрического изолирования проводников, находящихся под различными потенциалами, изоляция должна выдерживать большие механические, тепловые и другие нагрузки, которые могут возникать в эксплуатации. Результаты статистических обработок аварий высоковольтных конструкций показывают, что в 50...80 % случаев эти аварии происходят из-за повреждений изоляции и выхода ее из строя.

Отсутствие правильных представлений о механизме разрушения изоляции обычно приводит либо к низкой надежности, либо к высокой стоимости оборудования. Поэтому необходимо изучать свойства электрической изоляции в различных эксплуатационных условиях, улучшать качество электроизоляционных материалов, усовершенствовать методы расчета изоляции и обеспечивать своевременность профилактических мероприятий.

Общие рекомендации по работе над курсом «Изоляция электроустановок»

Работа студента над курсом «Изоляция электроустановок» складывается из самостоятельного изучения разделов и тем курса по учебникам и учебным пособиям с последующей самопроверкой и решением типовых задач, индивидуальных консультаций (очных и письменных), выполнения лабораторных работ, выполнение практических занятий, посещения лекций, сдачи зачета по лабораторным работам, сдачи экзамена по всему курсу.

Для освоения материала курса необходимо иметь соответствующую математическую подготовку, так как, например, в разделах, посвященных грозовым и внутренним перенапряжениям, широко используются дифференциальное и интегральное исчисление, комплексные числа. Для

глубокого освоения курса нужно знать математический анализ, элементы аналитической геометрии и высшей алгебры, операционное исчисление.

Большое значение для успешного усвоения курса имеет хорошая подготовка по общей физике в рамках программы технического университета. При изучении внешней изоляции электроустановок и грозовых перенапряжений необходимо знать физику электрического разряда в газах, при изучении внутренней изоляции – теории пробоя жидких и твердых диэлектриков, электрофизические характеристики изоляционных материалов.

Подготовка по теоретическим основам электротехники, необходимая для изучения грозовых и внутренних перенапряжений, предполагает знания теоретических основ электрических цепей, законов распространения импульсных волн по длинным линиям электропередачи, резонансных и феррорезонансных явлений в электроустановках, а также умения составлять и анализировать электрические схемы электрических сетей и систем.

Самостоятельная работа с книгой

Начинать изучение курса необходимо со знакомства с учебным планом и программой учебной дисциплины, рассмотрения ее структуры и содержания.

Материал курса рекомендуется изучать по темам приводимой ниже программы. При этом сначала следует познакомиться с содержащимися в данной теме вопросами, их последовательностью, затем прочитать весь материал темы в соответствующем разделе учебника или учебного пособия. При первом прочтении можно особенно не задерживаться на том, что показалось не совсем понятным (часто это становится понятным из последующего текста), а затем вернуться к тем местам, которые вызвали затруднения, и внимательно разобраться в том, что было неясно. После первого чтения темы у студента должно сформироваться общее представление по изучаемым вопросам.

При повторном чтении необходимо обратить особое внимание на формулировки соответствующих определений, закономерностей, так как в точных формулировках существенно каждое слово, и очень полезно понять, почему данное положение сформулировано именно так. Однако при этом не следует стараться заучивать формулировки. Важно понять их смысл и уметь изложить его своими словами. Необходимо параллельно вести конспект, в который следует заносить все основные понятия и закономерности рассматриваемой темы, математические зависимости и выводы по ним, названия изучаемых объектов и впервые встретившиеся термины с краткими пояснениями их сущности. Следует стараться систематизировать материал, представляя его в виде схем, диаграмм, таблиц, красочных графиков. На этом этапе формируется способность воспроизводить полученные знания в устной, графической и письменной форме. Закончив изучение материала темы, полезно составить краткий опорный конспект, по возможности не заглядывая в учебник и в подробный конспект темы.

Переходить к изучению новой темы следует только после полного изучения теоретических вопросов, выполнения самопроверки и решения задач по предыдущей теме.

При изучении материала курса по учебнику прежде всего необходимо уяснить существо каждого излагаемого в нем вопроса. Главное - это понять физическую сущность изложенного в учебнике, а не «заучить» представленный в нем материал.

Начав изучение материала очередной темы курса, сначала следует последовательно выписать все перечисленные в программе вопросы этой темы, оставив справа широкую колонку. Затем по мере изучения материала темы (чтения учебника) следует в правой колонке указывать страницу учебника, на которой излагается соответствующий вопрос, а также номер формулы или уравнения (уравнений), которые выражают ответ на вопрос математически. В результате в данной тетради будет полный перечень вопросов для самопроверки, который можно использовать при подготовке к экзамену.

Следует иметь в виду, что в различных учебниках материал может излагаться в разной последовательности. Поэтому ответ на какой-нибудь вопрос данной темы может оказаться в другой главе учебника. Таким образом, изучая материал по одному из рекомендованных учебников, Вы можете сначала получить ответы только на часть вопросов какой-нибудь темы, а ответы на остальные вопросы этой темы получить позже из других литературных источников.

Самопроверка

После изучения материала темы необходимо проверить, можете ли Вы ответить на все вопросы программы курса по этой теме или нет, т.е. осуществить самопроверку. При этом старайтесь не пользоваться конспектом или учебником. Частое обращение к конспекту показывает недостаточное усвоение основных вопросов темы. Необходимость частого обращения к учебнику может быть следствием неправильного конспектирования основных понятий и закономерностей темы. В этом случае необходимо внести в конспект дополнения, уточнения, для чего при составлении конспекта оставляют широкие поля.

Пользуясь тетрадью с вопросами для самопроверки, ответив на вопрос или написав соответствующую формулу (уравнение), Вы можете по учебнику быстро проверить, правильно ли это сделано, если в правильности своего ответа сомневаетесь. Наконец, по тетради с такими вопросами Вы можете установить, весь ли материал, предусмотренный программой, Вами изучен (если изучен весь материал, то против каждого вопроса в правой колонке будет указана соответствующая страница учебника).

Теоретическая часть самостоятельной работы

Тема 1. Основные характеристики внешней изоляции

Литература. [1], гл. 4, с. 45 – 55; гл. 16, 17, с. 155 – 176; [2], гл. 1, 5, 6, с. 11 – 15, 74 – 103.

Вопросы для самопроверки

1. Каковы особенности внешней изоляции?
2. Каковы требования к диэлектрикам для изоляторов внешней изоляции?
3. Как происходит возникновение коронного разряда на проводах при постоянном и переменном напряжениях?
4. Каковы общие требования к конструкциям линейных и аппаратных изоляторов?
5. Как осуществляется выбор изоляторов для линий и распределительных устройств подстанций в зависимости от степени загрязненности атмосферы?
6. Как распределяется напряжение по изоляторам гирлянды?
7. Как осуществляется эксплуатационный контроль линейной изоляции?

Должен знать: характеристики электрической прочности внешней изоляции при разных формах воздействующего напряжения; требования к твердым диэлектрикам и их основные характеристики; физику коронного разряда на проводах; методику выбора изоляторов для ЛЭП и РУ подстанций, методы контроля изоляции ЛЭП и РУ.

Должен уметь: выбирать изоляторы и их количество для ЛЭП и РУ в зависимости от степени загрязненности атмосферы; рассчитывать потери на корону на ЛЭП.

Тема 2. Электрическая прочность внешней изоляции

Литература. [1], гл. 5 - 8, с. 56 – 92; гл. 31, с. 393 – 403; [2], гл. 2, с. 16 – 45; гл. 4, с. 65 – 73.

Вопросы для самопроверки

1. Каково условие самостоятельности разряда в воздушных промежутках с однородным и неоднородным полем?
2. Как определяется пробивное напряжение газа в однородном поле? Закон Пашена.
3. Каковы особенности пробоя газа в резконеоднородном поле?
4. Какой характер имеет вольт-секундная характеристика разрядного промежутка?
5. Как влияют увлажнение и загрязнение поверхности изоляторов на электрическую прочность промежутков вдоль поверхности твердых диэлектриков?

6. Охарактеризуйте влияние конструктивных особенностей изоляторов на напряжения перекрытия внешней изоляции.

Должен знать: особенности разряда в воздушных промежутках и вдоль поверхности твердых диэлектриков в сухих и чистых условиях и в условиях увлажнения и загрязнения; основные характеристики электрической прочности воздушных промежутков; закономерности вольт-секундной характеристики разрядных промежутков.

Должен уметь: определить величину пробивного напряжения в разрядном промежутке при разных формах воздействующего напряжения; оценить влияние увлажнения и загрязнения поверхности изоляторов на величину разрядного напряжения.

Тема 3. Способы увеличения электрической прочности внешней изоляции

Литература. [1], гл. 9, с. 93 – 101; [2], гл. 1, § 1.2, с.13.

Вопросы для самопроверки

1. Каким образом можно уменьшить неоднородность электрических полей во внешней изоляции?
2. Какие экраны применяются во внешней изоляции для выравнивания электрических полей?
3. В каких случаях для повышения электрической прочности изоляционных промежутков применяются диэлектрические барьеры?

Должен знать: способы уменьшения неоднородности электрических полей во внешней изоляции; виды экранирующей арматуры для выравнивания электрических полей.

Должен уметь: оценить эффективность применения экранов различной формы; рассчитать напряженность электрического поля внешней изоляции.

Тема 4. Основные виды и характеристики внутренней изоляции электроустановок

Литература. [1], гл.10 - 12, с. 102 – 136; гл. 14, с. 145 – 152; гл. 32 - 34, с. 406 – 447; [2], гл. 7 - 9, с. 103 – 143; гл. 11, с. 190 – 226.

Вопросы для самопроверки

1. Каковы особенности внутренней изоляции электроустановок высокого напряжения?
2. Охарактеризуйте влияние на внутреннюю изоляцию тепловых, механических и других воздействий.

3. Каков механизм пробоя жидких диэлектриков?
 4. Как происходит разряд по поверхности твердого диэлектрика в масле?
 5. Опишите механизмы пробоя твердых диэлектриков.
 6. Какие виды внутренней изоляции относятся к самовосстанавливающейся изоляции?
 7. Назовите основные виды внутренней изоляции.
 8. Чем вызвано комбинирование диэлектрических материалов во внутренней изоляции?
 9. В каком оборудовании используется масло-барьерная изоляция?
 10. Какова область применения бумажно-масляной изоляции?
 11. В чем заключаются преимущества использования элегазовой и вакуумной изоляции?
 12. Что характеризует кратковременная электрическая прочность внутренней изоляции?
 13. Какие факторы влияют на кратковременную электрическую прочность внутренней изоляции?
 14. Какими характеристиками оценивается длительная электрическая прочность внутренней изоляции?
 15. Охарактеризуйте процессы старения внутренней изоляции.
 16. Как возникают и как влияют на электрическую прочность внутренней изоляции частичные разряды?
 17. Как влияет на процессы старения неоднородность внутренней изоляции?
 18. Каковы особенности и принципы конструирования внутренней элегазовой изоляции?
- Должен знать: основные типы внутренней изоляции и области их применения; виды воздействий на внутреннюю изоляцию; характеристики кратковременной электрической прочности внутренней изоляции; сущность длительной электрической прочности изоляции, виды старения внутренней изоляции; особенности внутренней элегазовой изоляции.
- Должен уметь: дать сравнительную оценку электрических характеристик разных типов внутренней изоляции.

Тема 5 Изоляция электрических аппаратов и электрических машин

Литература. [4], гл. 7-15, с. 117-127; с. 154-158; с. 174-178; с. 181-184;

с. 198-203; с. 215-220; с. 241-252; с. 254-259; с. 285-291; с. 318-320.

Вопросы для самопроверки

- 1 Основные конструкции кабелей высокого напряжения.
- 2 Кабельные муфты.
- 3 Классификация и особенности изоляции силовых трансформаторов. Конструкция изоляции трансформаторов.
- 4 Изоляция трансформаторов тока.

- 5 Изоляция трансформаторов напряжения и комбинированных измерительных трансформаторов.
- 6 Изоляция масляных и воздушных выключателей.
- 7 Изоляция вакуумных выключателей. Изоляция элегазовых выключателей.
- 8 Изоляция герметизированных РУ, КРУЭ.
- 9 Изоляция вводов высокого напряжения.
- 10 Изоляция вводов с твердой изоляцией.
- 11 Изоляция силовых конденсаторов.
- 12 Изоляция электрических машин высокого напряжения

Должен знать: особенности изоляции измерительных трансформаторов, конструктивные решения изоляции силовых трансформаторов в зависимости от класса напряжения, конструкцию и материалы, применяемые в изоляции силовых машин, материалы и конструкция силовых конденсаторов, материалы и конструкцию силовых высоковольтных кабелей, конструкция и разделка кабельных муфт.

Должен уметь: выбрать размеры изоляции электрических аппаратов и электрических машин.

Тема 6. Способы увеличения электрической прочности внутренней изоляции

Литература. [1], гл. 13, с. 138 – 144; [2], гл. 7, с. 106 – 116.

Вопросы для самопроверки

1. В каких целях применяют комбинированную изоляцию?
2. Какие существуют способы увеличения электрической прочности бумажно-масляной изоляции?
3. Каким образом можно увеличить электрическую прочность масло-барьерной изоляции?
4. Как достигается высокая прочность твердой изоляции электрических машин ?
5. Как обеспечить высокую прочность газовой внутренней изоляции?

Должен знать: области применения различных типов изоляции; роль барьеров в масло-барьерной изоляции; состав и характеристики твердой изоляции для электрических машин; способы увеличения электрической прочности бумажно-масляной, газовой и вакуумной изоляции.

Должен уметь: рассчитать напряженность электрического поля в цилиндрической изоляционной конструкции при градировании изоляции, при применении конденсаторных обкладок и полупроводниковых покрытий.

Тема 7. Координация изоляции электрооборудования по уровню внутренних перенапряжений

Литература. [1], гл. 30, с. 383 – 392; [2], гл.10, § 10.2, 10.3, с. 167 – 175.

Вопросы для самопроверки

1. Какие установлены испытательные напряжения коммутационных импульсов?
2. С какой целью установлены и как определяются испытательные напряжения промышленной частоты?
3. Каковы особенности испытательных трансформаторов по сравнению с силовыми?
4. Для каких целей применяется каскадное включение испытательных трансформаторов?
5. Как осуществляется генерирование коммутационных импульсов?

Должен знать: принципы координации изоляции электрооборудования по уровню внутренних перенапряжений; принципы определения испытательных напряжений коммутационных импульсов и промышленной частоты; схемы испытания изоляции напряжением промышленной частоты и генерирования коммутационных импульсов.

Должен уметь: определить расчетное значение внутренних перенапряжений и испытательное напряжение внутренней и внешней изоляции.

Выполнение упражнений и решение задач

Для более прочного усвоения теоретического материала после самопроверки необходимо выполнить упражнения и решить задачи по пройденной теме. Для этого по всем основным темам изучаемого курса приводится литература, указываются страницы учебника.

Темы индивидуальных заданий для реферативных работ:

1. Дуговой разряд как причина аварийных режимов в электроэнергетике.
2. Дуговой разряд в технологических процессах. Конструкции плазмотронов и области применения.
3. Теории пробоя жидких диэлектриков. Газохроматографический анализ трансформаторного масла.
4. Физический механизм теплового пробоя твердых диэлектриков.
5. Современные средства защиты от перенапряжений.
6. Молниезащита подстанций и ЛЭП различных классов напряжения.
7. Диагностика мощных трансформаторов. Виды дефектов и современные методы их определения.
8. Диагностика мощных трансформаторов. Непрерывный контроля состояния.
9. Диагностика мощных трансформаторов. Газохроматографический анализ масла и тепловизионный контроль.

10. Типы и конструкции силовых конденсаторов. Косинусные конденсаторы.
11. Высоковольтные вводы. Типы конструкций и современные методы диагностики.
12. Высоковольтные кабели. Конструкция изоляции и методы контроля состояния.
13. Измерение высокого импульсного напряжения и больших импульсных токов.
14. В чем состоят условия работы и требования, предъявляемые к изоляции высоковольтного электрооборудования?
15. Назначение и конструктивные особенности изоляции воздушных ЛЭП
16. Каково исполнение опорных изоляторов для внутренней и наружной установок?
17. Особенности назначения и конструктивного исполнения проходных изоляторов
18. Высоковольтные вводы: назначение, тип изоляции, конструктивное исполнение. Современные типы высоковольтных вводов.
19. Каковы характеристики основных материалов применяемых в силовых конденсаторах?
20. Конструктивные особенности изоляции трансформаторов напряжения
21. Силовые трансформаторы: назначение, конструктивное исполнение изоляции
22. Коронный разряд и его особенности. Физические процессы в коронном разряде. Влияние короны на работу электрических систем.
23. Коронный разряд в технологических процессах. Электрофильтры. Электросепарация.
24. Новые методы непрерывного контроля состояния вращающихся машин.
25. Методы обнаружения и контроля разрядных явлений в двигателях и генераторах.
26. Молния – как форма газового разряда. Стадии формирования и основные электрофизические процессы.
27. Фундаментальные процессы в дуговом разряде. Дуговой разряд как причина аварийных режимов в электроэнергетике.
28. Электрический пробой твердых диэлектриков. Теории Хиппеля-Каллена и Фрелиха.
29. Физический механизм теплового пробоя твердых диэлектриков.
30. Процесс электрического старения твердых диэлектриков.
31. Дуговой разряд как причина аварийных режимов в электроэнергетике.
32. Дуговой разряд в технологических процессах. Конструкции плазмотронов и области применения.
33. Теории пробоя жидких диэлектриков. Газохроматографический анализ трансформаторного масла.
34. Физический механизм теплового пробоя твердых диэлектриков.
35. Современные средства защиты от перенапряжений.
36. Молниезащита подстанций и ЛЭП различных классов напряжения.

37. Диагностика мощных трансформаторов. Виды дефектов и современные методы их определения.
38. Диагностика мощных трансформаторов. Непрерывный контроль состояния.
39. Диагностика мощных трансформаторов. Газохроматографический анализ масла и тепловизионный контроль.
40. Типы и конструкции силовых конденсаторов. Косинусные конденсаторы.
41. Высоковольтные вводы. Типы конструкций и современные методы диагностики.
42. Высоковольтные кабели. Конструкция изоляции и методы контроля состояния.
43. Измерение высокого импульсного напряжения и больших импульсных токов.

ВАРИАНТЫ КОНТРОЛЬНОГО ЗАДАНИЯ

Общие указания

Задание для самостоятельного решения состоит из 7 задач.

В соответствии с первой буквой фамилии и годом выполнения работы студент должен определить номера задач.

Варианты исходных данных для задач необходимо определить по таблицам 1...24 по сумме трех последних цифр шифра. Например, три последние цифры шифра составляют 218. Сумма составляет 11. Суммируем $1+1=2$. Следовательно, номер варианта будет 2. Конкретные значения исходных данных определите по последней цифре шифра (четная, включая 0, означает верхнюю строчку, нечетная - нижнюю).

Для выполнения контрольной работы наиболее информативны учебники [1], [2], [7] и [9].

Задача №1

Определить удельные потери на корону для транспонированной ЛЭП-220 кВ с горизонтальным расположением проводов. Расстояние между проводами в фазе S, радиус одиночного провода r , атмосферное давление - 760 мм. рт. ст. и состояние погоды приведены в приложении в табл. 1.

Примечание. Ознакомьтесь в [1] гл.8; [2] гл.3; [3] гл.10; [4] гл.7.

Задача №2

Произвести выбор внешней изоляции электрооборудования и подвесной изоляции РУ и подстанций переменного тока, исходя из класса напряжения, степени загрязненности атмосферы (СЗА) в месте расположения электроустановки и длины пути утечки.

Сравнить вычисленные значения удельной эффективности длины пути утечки изоляции $\lambda_{эфф}$ с нормированным значением для данного вида изоляции. Данные по оборудованию приведены в приложении в табл. 2.

Примечание. Ознакомьтесь в [2] гл.15; [3] раздел 5; [7] табл. 12.1; [4] гл.7,8.

Задача №3

Для двухслойного проходного изолятора длиной S с радиусом токоведущего стержня r , толщиной диэлектриков d_1 и d_2 определить напряжение скользящего разряда и разрядное напряжение. Относительная диэлектрическая проницаемость слоев твердого диэлектрика ϵ_1 и ϵ_2 и полярность напряжения на токоведущем стержне приведены в приложении в табл. 3.

Примечание. Ознакомьтесь в [1] гл.9; [2] гл.15; [3] гл.14; [4] гл.11.

Задача №4

Проходной изолятор на напряжение $U=110$ кВ имеет два слоя изоляции - гетинаксовую трубу и нефтяное масло. Диаметр токоведущего стержня d_1 , диаметр гетинаксовой трубы d_2 , диаметр наружных электродов d_3 . Диэлектрическая проницаемость гетинакса ϵ_1 , масла ϵ_2 .

Построить график изменения напряженности поля E в двухслойном диэлектрике в зависимости от расстояния от оси изолятора. Определить, каким должен быть диаметр гетинаксовой трубы для равенства максимальных значений напряженности электрического поля в обоих слоях диэлектрика. Определить емкость C между электродами на единицу длины изолятора. Числовые значения заданных величин указаны в приложении в табл. 4.

Примечание. Ознакомьтесь в [1] гл.9; [2] гл.15; [3] гл.14; [4] гл.11.

Задача №5

Дано расположение выравнивающих обкладок между стержнем и фланцем маслonaполненного проходного изолятора. Максимально допустимая радиальная напряженность принимается равной 40 кВ/см, толщину слоев между выравнивающими электродами принять одинаковой. Расчетное напряжение для модели ввода принять равным 256 кВ (класс изоляции 110 кВ). Емкости между слоями принять одинаковыми. Радиус стержня r , длина фланца L_f , число слоев n даны в приложении в табл.5.

Требуется рассчитать радиусы обкладок, их длину, радиус фланца при отсутствии выравнивающих обкладок и сравнить его с радиусом при наличии обкладок, нанести на график кривую распределения радиальной напряженности для модели без обкладок и с обкладками. Полученные результаты сопоставить и сделать вывод.

Примечание. Ознакомьтесь в [1] гл.9; [2] гл.15; [3] гл.14; [4] гл.11.

Задача №6

Определить наивыгоднейшие условия градирирования изоляции одножильного кабеля, если изоляция имеет 4 слоя. Радиус токоведущей жилы r , мм; свинцовой оболочки R , мм, относительные диэлектрические постоянные слоев $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \varepsilon_4$ приведены в приложении в табл. 6. Определить r_1, r_2, r_3 и r_4 .

Примечание. Ознакомьтесь в [1] гл.18; [2] гл.15; [4] гл.14.

Задача №7

Бумажно-пленочный конденсатор имеет реактивную мощность Q при рабочем напряжении промышленной частоты U . Изоляция пропитана жидким диэлектриком. Определить емкость конденсатора C , общее количество секций и емкость отдельной секции. Данные приведены в приложении в табл.

Примечание. Ознакомьтесь в [1] гл.18; [2] гл.15; [4] гл.14

ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Техника высоких напряжений. Под ред. Д.В. Разевига. 1-е изд. М.: Энергия, 1964. -470 с., 2-е изд. -М.: Энергия, 1976. - 488 с.
2. Техника высоких напряжений. Под ред. М.В.Костенко - М.: Высш., шк., 1973. - 528 с.
3. Долгинов А.И. Техника высоких напряжений в электроэнергетике. - М.: Энергия, 1968. - 464 с.
4. Кучинский Г.С., Кизеветтер В.С., Пинталь Ю.С. Изоляция установок высокого напряжения. Под ред. Г.С.Кучинского -М.:Энергоатомиздат, 1987. - 368 с.

Дополнительная

5. Базуткин В.В., Ларионов В.П., Пинталь Ю.С. Техника высоких напряжений. Изоляция и перенапряжения в электрических системах. - М.: Энергоатомиздат, 1986. - 463 с.
6. Техника высоких напряжений. Под ред. В.П.Ларионова. - М.: Энергия, 1986. - 462 с.
7. Справочник по электрическим установкам высокого напряжения. 3-изд. /под ред. И.А.Баумштейна, С.А.Бажанова. М.:Энергоатомиздат, 1989 г. - 768 с.
8. ТВН. Теоретические и практические основы и применения. Пер. с нем. / М.Бейер, В.Бек, К.Меллер, В.Цаенгль/ под ред. В.П.Ларионова - М.: Энергоатомиздат. 1989. - 555 с.
9. Перенапряжения в сетях 6-35 кВ /Ф.А.Гиндуллин, В.Г.Гольдштейн, А.А.Дульзон, Ф.А.Халилов - М.:Энергоатомиздат, 1989.-192 с.
10. Бажанов С.А., Воскресенский В.Ф. Профилактические испытания изоляции оборудования высокого напряжения. - М.: Энергия, 1977. - 288 с.
11. Бикфорд Д.П., Мюлине Н., Рид Дж.Р. Основы теории в электрических сетях: Пер. с англ. - М.: Энергоиздат, 1981. - 168 с.
12. Грозозащита линий высокого переменного тока. М.В.Костенко, И.М.Богатенков, Ю.А.Михайлов и др.: Итоги науки и техники. Электрические станции и сети, 1984, Т.12. - 112 с.
13. Костенко М.В., Невретдинов Ю.М., Халилов Ф.Х. Грозозащита электрических сетей в районах с высоким удельным сопротивлением грунта. - Л.: Наука, 1984. - 112 с.
14. Передача энергии постоянным и переменным током: Руководящие указания по защите от внутренних и грозовых перенапряжений сетей 3-750 кВ (проект). - Тр НИИПТ, вып. 21-22. Л.: Энергия, 1975. - 288 с.
15. Электротехнический справочник. 7-е изд. Под ред И.Н.Орлова и др. - М.:Энергоатомиздат, т.1. 1985; т.2. 1986; т.3. кн.1 1988; т.3. кн.2 1982.
16. Лихачев Ф.А. Защита от внутренних перенапряжений установок 3-220 кВ. - М.:Энергия, 1986. - 102 с.

17. Михалков А.В. Техника высоких напряжений в примерах и задачах - М.: Высш. шк., 1965. - 225 с.
18. Основные проблемы ТВН в области электроэнергетики и электрофизики. - Л.:ЛПИ. 1983. - 25 с.
19. Анастасиев П.И., Зеленецкий М.М., Фролов Ю.А. Молниезащита зданий и сооружений. - М.:Энергия, 1966. - 120 с.
20. Александров Г.И., Иванов В.Л. Изоляция электрических аппаратов высокого напряжения.-Л.: Энергоатомиздат, 1984. - 208 с.
21. Лабораторные работы по ТВН. М.А.Аронов, В.В.Бузуткин, П.В.Борисоглебский и др., 2-е изд. - М.:Энергия, 1982. - 350 с.
22. Правила устройств электросустановок (ПУЭ) - 6-е изд. - М.: Энергоатомиздат, 1986. - 640 с.
23. Наифельд М.Р. Заземление, защитные меры электробезопасности. - М.: Энергоатомиздат, 1971. -180 с.

Приложения

Таблица 1

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
S, см	25 45	30 50	35 20	40 25	45 30	50 25	20 30	25 35	30 45	45 20
г, см	0,5 0,9	0,8 1,2	1 1	1,2 0,7	0,7 0,6	0,9 1,1	0,8 0,5	1 0,6	1,2 1,1	0,6 1,2
Хорошая погода, ч	5500 3000	5000 4000	4700 5000	4200 6000	4000 3500	3000 5500	4000 5000	5000 4700	6000 4200	3500 4000
Туман, ч	2000 4000	2500 2500	3000 2700	3000 1500	3500 3000	4000 2000	2500 2500	2900 3200	1500 3000	3000 3500
Иней, гололед, изморозь, ч	500 900	700 1000	300 800	100 500	700 1000	900 500	1000 700	800 300	500 600	1000 700
Дождь, мокрый снег, ч	400 500	600 700	460 260	300 400	260 760	500 400	700 600	260 460	400 300	760 260
Сухой снег, Ч	360 460	460 560	600 200	660 360	300 500	460 360	560 460	200 600	360 660	500 300
Число проводов в фазе	2 4	3 6	4 8	5 2	6 3	8 4	2 5	4 6	6 8	8 2

Таблица 2

Номер варианта	U _н , кВ	Степень загрязнения атмосферы	Внешняя изоляция электрооборудования РУ и подстанций
1	6	I	Вентильные разрядники Изоляторы для кабельных муфт
2	10	II	Проходные изоляторы для силовых трансформаторов Проходные изоляторы для наружной установки
3	20	III	Штыревые изоляторы Опорные изоляторы наружной установки
4	35	IV	Разъединители Масляные выключатели
5	110	V	Отделители Ограничители перенапряжений
6	150	VI	Трансформаторы тока Воздушные выключатели
7	220	I	Короткозамыкатели Масляные выключатели
8	330	II	Ограничители перенапряжений Трансформаторы тока
9	500	III	Шинные опоры Вентильные разрядники
10	750	IV	Трансформаторы напряжения Ограничители перенапряжений

Таблица 3

Номер Варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
S, см	40 55	50 70	55 35	70 45	85 50	45 60	50 65	60 40	65 50	40 85
r, см	1,4 4,0	1,8 3,6	2,0 3,2	2,2 3,0	2,5 2,8	2,8 2,5	3,0 2,2	3,2 2,0	3,6 1,8	4,0 1,5
d ₁ , см	3,5 7,0	3,8 6,5	4,0 6,0	5,6 5,8	5,0 5,5	5,7 4,6	5,8 4,0	6,0 3,8	6,5 3,5	7,0 3,0
d ₂ , см	9,0 5,5	8,8 6,0	8,5 6,2	8,0 6,6	7,8 7,2	7,0 7,8	6,6 8,0	6,2 8,5	6,0 8,8	5,5 9,0
ε ₁	1,8 4,0	2,0 3,8	2,2 3,6	2,5 3,2	2,8 3,6	3,0 2,5	3,2 2,2	3,5 2,0	3,8 1,8	4,0 1,6
ε ₂	7,0 2,0	6,5 2,5	6,0 2,0	5,8 4,2	5,7 5,6	5,5 5,7	4,2 5,8	2,0 6,0	2,5 6,5	2,0 7,0
Полярность	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-

Таблица 4

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
d ₁ , см	2,0	2,5	3,0	2,0	2,5	3,0	2,0	2,5	3,0	2,0
	2,3	2,8	2,5	3,0	2,2	2,8	3,0	2,4	2,6	2,8
d ₂ , см	3,0	3,5	4,0	4,0	4,5	5,0	5,5	5,0	6,0	5,0
	3,5	4,0	4,5	5,0	4,0	5,2	6,0	4,2	4,5	4,8
d ₃ , см	10	11	12	10	11	12	10	11	12	10
	12	10	11	11	12	10	11	12	10	12
ε ₁ , см	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	4,2	4,3	4,5	4,6	4,3
	3,0	4,0	5,0	6,0	4,2	3,2	2,2	3,2	4,2	5,2
ε ₂ , см	2,2	2,3	2,5	2,2	2,3	2,4	2,5	2,4	2,4	2,3
	2,5	2,4	2,3	2,5	2,2	2,3	2,2	2,3	2,2	2,5

Таблица 5

Номер Варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
r, см	2,0	2,4	2,0	2,4	2,0	2,4	2,0	2,4	2,0	2,4
	3,2	2,8	3,2	2,8	3,2	2,8	3,2	2,8	3,2	2,8
L _φ , см	40	45	50	55	60	65	40	45	50	55
	60	65	40	45	50	55	50	55	40	35
n, см	3	3	3	4	4	4	3	3	4	4
	4	4	4	3	3	3	4	4	3	3

Таблица 6

Номер Варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
U, кВ	3 220	6 150	10 110	20 10	35 1	10 6	110 10	150 20	220 35	110 6
r, мм	0,4 4,0	0,6 3,0	1,0 1,5	1,4 1,0	1,6 0,3	1,8 1,0	5,0 0,4	2,4 0,6	4,0 1,0	3,0 0,4
R, мм	2,8 65	8 40	12 35	14 18	20 2,4	12 6,0	18 12	20 16	24 28	18 3,6
ε_1	6 3	5,8 3,4	5,3 3,8	5 4	4,8 4,2	4,6 5,0	4,2 5,2	4,0 5,6	3,8 5,9	3,5 6,0
ε_2	4 3,6	4,5 3,2	4,0 6,0	4,5 4,8	5,0 5,2	5,2 5,8	4,8 4,0	6,0 4,5	3,2 4,0	3,8 3,0
ε_3	2,2 4,2	2,6 4,0	2,8 3,8	3,0 3,6	3,2 3,4	3,4 3,2	3,6 3,0	3,8 2,8	4,0 2,6	4,2 2,2
ε_4	5,0 6,4	5,1 6,2	5,2 6,0	5,4 5,8	5,5 5,6	5,6 5,5	5,8 5,4	6,0 5,2	6,2 5,1	6,4 5,0

Таблица 7

Номер Варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
U, кВ	3	6	6	6	10	20	30	40	50	60
Q, квар	1,4	3,6	3,2	3,0	36	47	55	62	73	84

Таблица 8

Характеристики некоторых электроизоляционных материалов (частота переменного тока 50 Гц; температура 20°C)

Диэлектрик	E_{np} кВ/мм	ϵ	ρ , Ом·см	$\operatorname{tg} \delta$
1	2	3	4	
«Элегаз»	75	1,00191	-	-
Воздух	30	1,00059	-	-
Трансформаторное масло	100-200	2,1-2,3	$5 \cdot 10^4 - 5 \cdot 10^{15}$	0,005
Совол	150	5,3	$10^{13} - 10^{14}$	0,003
Совтол	200	4,3	-	0,10
Касторовое масло	100-120	4,2-4,5	$10^{10} - 10^{12}$	0,01
Калория-2	200	2,0-2,5	10^{18}	0,001
Бумага. пропитанная маслом	100-250	3,6	$\sim 10^{14}$	0,005
Электрокартон	80-120	3,0-3,5	$10^8 - 10^{10}$	0,003
Эбонит	600-800	3,0-3,5	$10^{15} - 10^{16}$	0,02-0,10
Текстолит	10-75	4,0-8,0	$10^{10} - 10^{13}$	0,02-0,08
Гетинакс	100-150	4,0-7,0	$10^{10} - 10^{12}$	0,1-0,05
Лакоткань	70-400	3,0-4,0	$10^{11} - 10^{13}$	0,01-0,08
Стеклоткань	300-400	3,0-4,0	$10^{12} - 10^{14}$	0,005-0,02
Парафин	200-250	2,0-2,2	$10^{16} - 10^{17}$	0,0002- 0,0005
Кварцевое стекло	350-400	5,0-7,0	$10^{13} - 10^{14}$	0,001-0,005
Полистирол	200-300	2,5	$10^{16} - 10^{18}$	0,0002
Полиэтилен	400-500	2,25	$10^{14} - 10^{16}$	0,0002
Полихлорвинил	325	3,2	$\sim 10^{14}$	0,01-0,03
Полиэтилен- терефталат (лавсан)	180	3,2	$\sim 10^{17}$	0,005-0,002
Полиметил- метакрилат (оргстекло)	400-500	3,0-3,6	$10^{13} - 10^{14}$	0,05
Резина	150-250	3,0-6,0	$10^{13} - 10^{14}$	0,005-0,01
Мрамор	30-50	7,0-8,0	10^{11}	0,005-0,01
Слюда	500-1000	5,4-8,0	$5 \cdot 10^{13}$	0,0001
Фарфор	250-300	5,5-7,5	$10^{14} - 10^{15}$	0,014-0,035
Миканит	120300	5,0-6,0	10^{13}	0,003-0,01
Фторопласт-4	150-220	2,05	$10^{19} - 10^{20}$	0,0001- 0,0005
Стеатит	200	6,0-7,0	$10^{12} - 10^{13}$	0,003-0,008

Вода дистиллированная		80		
--------------------------	--	----	--	--

Таблица 9

Нормированные испытательные кратковременные напряжения промышленной частоты для изоляторов (действующие значения, кВ)

Класс напряжения, кВ	Наибольшее рабочее напряжение (линейное), кВ	Испытательное одномоментное напряжение внутренней изоляции	Испытательное напряжение при плавном подъеме, кВ		Примечание
			внешняя изоляция		
			в сухом состоянии	под дождем	
1	2	3	4	5	6
35	40.4	95	110	85	
ПО	126.0	265	295	215	
115	172.0	340	375	290	ГОСТ
220	252	490	550	425	1516.1-76
330	363.0	630	700	550	
500	525.0	800	900	740	
750	787.0	950	1050	900	ГОСТ 206.90-75

Таблица 10

Относительная диэлектрическая проницаемость некоторых жидкостей

Жидкость	ϵ	Жидкость	ϵ
Ацетон	21.5	Фенилксилитан	2.65
Бензол	2.3	Масло трансформаторное	2,2-2.5
Вода	80.4	Нефть, керосин	2.1
(Лед)	(3.2)	Нитробензол	36.4
Глицерин	39.1	Скипидар	2,2
Ксилол	2.4	Спирт метиловый	35,4
Масло касторовое	4.6	Спирт этиловый	26,8
Масло оливковое	3.2	Четыреххлористый углерод	2,2
Масло парафиновое	4.7	Эфир этиловый	4.3

Таблица 11

Характеристики бумаг, применяемых в конденсаторостроении

Бумага	Плотность г/см ³	ϵ	$\text{tg}\delta \cdot 10^4$	Толщина , мкм	Ширина , мм	Объем пор в бумаге отн.ед	Применение
КОН-1	1,0	2,2	13-15	5-30	140	0,35	$\sim U > 1 \text{кВ}$
КОН-2	1,2	2,9	18-24	5-30	140	0,22	Пост. и имп. напряж. : $\sim U < 1 \text{кВ}$
Силко н	0,8; 1,0; 1,2	2,1 - 2,9	10-20	5-30	280	0,40- 0,22	

Таблица 12

Электрофизические характеристики пропитывающих диэлектриков для конденсаторной изоляции

Наименование диэлектрика	ϵ	$\text{tg}\delta \cdot 10^{-4}$	ρ , Ом см
Масло конденсаторное	2,1-2,2	1,2	10^{13} - $3 \cdot 10^{13}$
Совол	4,1-4,8	5-10	$3 \cdot 10^{11}$ - $3 \cdot 10^{13}$
Нитросовол	7,5	5-10	10^{11} - 10^{12}
Касторовое масло	4,2-4,7	10-15	$2 \cdot 10^{10}$
«Калория-2» (жидкий полисилоксан)	2,2-2,4	2-5	$3 \cdot 10^{13}$
Вазелин	2,1-2,2	-	$5 \cdot 10^{12}$
Парафин	2,1-2,2	-	$3 \cdot 10^{12}$
Трихлордифенил	5,5	100-200	10^{11} - 10^{12}
Фторированный эфир	6,1	2-5	$5 \cdot 10^{10}$ - 10^{12}
Дибутилфталат	6,5	300	-
Фенилксилитэтан	2,65	80	-

Таблица 13

Допустимые рабочие градиенты в диэлектрике импульсных конденсаторов (толщина диэлектрика 80 мкм) при различном числе импульсов Z

Вид диэлектрика	<i>E_{раб}</i> (кВ/мм) при различных сроках службы					
	Колебательный разряд $U_{обн}/U_m = 0,8$			Апериодический разряд		
	$Z \leq 10^3$	$Z = 10^4$	$Z = 10^6$	$Z < 10^3$	$Z = 10^4$	$Z = 10^*$
Конден. бумага, пропит, нефтяным маслом	60-70	50-60	40-45	70-80	60-70	50-55
Конден. бумага, пропит. хлорд и-фениламин или кастор, маслом	90-100	75-80	65-70	100-120	90-100	70-80
Пленоч-бумажн. изоляция на основе лавсановой пленки, пропит. хлорднфенлами или кастор. Масло	150-200	100-120	80-100	200-220	160-200	100-120

Таблица 14

Допустимые рабочие градиенты в диэлектрике конденсатора

Тип конденсатора (диэлектрик)	<i>E_{раб}</i> , кВ/мм	Частота. Гц
Воздушный	0,5-0,7	-
Газонаполненный (азот 15-20 атм)	1.3-3.0	10 ⁵
Вакуумный	3-6	10 ⁶
Маслонаполненный	1,3-1,5	10'
Стекланный	25-30	постоян. ток
К ер амическин	1-2	10 ⁵ -10 ⁶
Бумажный с твердой пропиткой (в зависимости от толщины бумаги и числа слоев)	8-15	постоян. ток
Металло-бумажный однослойный	15-20	
Металло-бумажный многослойный	30-35	
Бумажный с жидкой пропиткой (четыре слоя бумаги)	30-35	
Бумажный косинусный при рабочем напряжении 1 кВ и выше ($d = 80$ мкм)	12-14	50
Бумажный печной с водяным охлаждением	4-9	10 ⁵ -10 ⁴
Бумажный для включения в линии электропередачи	7.5-9	50
Бумажный для ГИН	45-60	-
Бумажный для ГИТ	35-40	-
Полистирольный (2-3 слоя пленки толщиной 0.02-0.03 мм)	12-17	постоян. ток

Бумажно-пленочный (2слоя полипропилена + 1 слой бумаги). $d = 30-36$ мкм	35-38	50
---	-------	----

Таблица 15

№ п/п	Тип изолятора	Строительная высота Н, см	Диаметр D, см	Длина пути утечки	Эквивалентный диаметр, см	Коэффициент формы изолятора K_{ϕ}
1.	ПФ6-В	13.4	27.0	34.0	13.63	0.794
2.	ПФГ6-А	19,8	27.0	46,2	13.59	1,082
3.	ПФГ5-А	19.8	25.0	44.9	14.12	1.005
4.	ПФГ6-1	12,0	27.0	37,5	13.06	0,914
5.	ПФ6-Г	14.5	28.0	35.2	13.48	0.831
6.	ПФ6-1	12,0	33.0	31.2	13.31	0,741
7.	ПС6-Б	13.0	25,5	29.8	11.61	0.817
8.	ПС6-1	12,0	32,0	30,5	13.58	0,715
9.	ПСГ6-А	13.0	27,0	41.3	13.88	0.947
10.	ПСТ6-1	12,0	27,0	37,6	12.08	0,991
11.	ПСТ2-А	13,8	26,0	34.0	13.32	0.813
12.	ПСП2-А	13.7	30,0	42,8	14.94	0.912
13.	ПС6-А	13.0	25,5	25.5	11.61	1,00
14.	ПС16-А	18,0	32,0	36,0	-	-
15.	ПС16-Б	17.0	28,0	39.0	-	1.20
16.	ПС22-А	20,0	32,0	39,0	-	1.10
17.	ПС30-А	19,0	32,0	35.0	-	-
18.	ПС40-А	19,0	33,0	44,5	-	-
19.	ПФ6-А	16.7	27,0	28.5	-	-
20.	ПФ6-Б	14.0	27,0	28,0	13.70	-
21.	ПФ16-А	17.3	28,0	38.5	-	-
22.	ПФ20-А	19,4	35,0	42,0	-	-
23.	ПСП6-А	16.0	32,0	48.0	-	-
24.	ПСТ22-А	18,5	37,0	57,0	-	-

Содержание

<i>ВВЕДЕНИЕ</i>	стр. 3
Общие рекомендации по работе над курсом «Изоляция электроустановок»	3
Теоретическая часть самостоятельной работы	5
Выполнение упражнений и решение задач	10
Варианты контрольного задания	12
<i>ЛИТЕРАТУРА</i>	15
Приложения	17
Содержание	27

Методические указания к самостоятельной работе

Владислав Викторович Соловьев,
доцент кафедры энергетики ФГБОУ ВПО «АмГУ»

Изоляция электроустановок.

Методические указания к самостоятельной работе.

Издательство АмГУ. Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 1,63. Заказ 627