

МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ «БЕЛЭНЕРГО»
УО «МИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ
КОЛЛЕДЖ»



УТВЕРЖДАЮ
Директор УО «МГЭК»
А.А. Новиков
«05» 20 20 г.

ТЕХНИКА ВЫСОКИХ НАПРЯЖЕНИЙ

**Методические указания по выполнению домашней контрольной работе
для учащихся заочной формы получения образования**

2-43 01 01 «Электрические станции»

(шифр и название специальности)

Разработал преподаватель

Селиванов С.М.
(подпись)

Селиванов С.М.
(ФИО)

Рассмотрено и одобрено на заседании цикловой комиссии
специальных электротехнических дисциплин

(наименование цикловой комиссии)

Протокол № 9 от 21.05 2020 г.

Председатель цикловой комиссии

Ядловский Н.Н.
(подпись)

Ядловский Н.Н.
(ФИО)

Согласовано
Методист колледжа

Калорина О.В.
(подпись)

Калорина О.В.
(ФИО)

Заведующий заочным отделением

В.А. Кузов
(подпись)

В.А. Кузов
(ФИО)

Год издания 2020

Содержание

1 Пояснительная записка	3
2 Краткое содержание программы	6
3 Общие требования по оформлению домашней контрольной работы...	17
4 Методические указания по выполнению домашней контрольной работы.....	19
5 Задания для домашних контрольных работ.....	30
6 Оценка результатов учебной деятельности при выполнении домашней контрольной работы.....	44
7 Литература	45

1 Пояснительная записка

Методические указания по изучению учебной дисциплины «Техника высоких напряжений» и выполнению домашней контрольной работы разработаны в соответствии с образовательным стандартом средне специального образования для специальности 2-43 01 01 «Электрические станции».

Дисциплина «Техника высоких напряжений» является частью профессионального компонента общепрофессиональных дисциплин цикла.

Цели изучения учебной дисциплины «Техника высоких напряжений»:

обучающая:

– формирование основных знаний и навыков в области физических процессов, развивающихся в изоляции электрических установок высокого и сверхвысокого напряжения;

– формирование знаний условий работы внешней и внутренней изоляции электроустановок и характеристик ее электрической прочности, воздействия на изоляцию перенапряжений, а также средств и способов их ограничения и согласования характеристик, защитных устройств и характеристик изоляции;

– изучение испытательных установок и современных методов профилактических испытаний изоляции электрооборудования;

воспитательная:

– формирование стремления к саморазвитию, повышению своей квалификации и мастерства;

– формирование убеждений социальной значимости своей будущей профессии;

развивающая:

– способствовать развитию умения выделять главное, способностью к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей её достижения;

– способствовать профессиональному и личностному развитию (самостоятельно работать, осуществлять поиск и использование информации, необходимой для эффективного выполнения профессиональных задач).

Изучение программного учебного материала базируется на знаниях, умениях и навыках, полученных учащимися в ходе изучения таких учебных дисциплин, как «Теоретические основы электротехники», «Электротехнические материалы», «Электрические машины», «Электрические измерения».

Знания, полученные при изучении данной дисциплины, будут использованы в процессе изучения следующих дисциплин: «Релейная защита и автоматика», «Электрооборудование электрических станций и подстанций»

В процессе преподавания учебной дисциплины необходимо знакомить учащихся с современными отечественными и зарубежными достижениями в области изучения новых видов изоляции, воздействия внешних и внутренних перенапряжений на данные виды изоляции, использование технических средств контроля изоляции в энергетике страны. Следует прививать учащимся навыки рациональной учебной деятельности, работы со справочной литературой, технической документацией. При изложении учебного материала необходимо соблюдать единство терминологии и обозначений в соответствии с действующими стандартами, международной системой единиц измерений. Для обеспечения должного уровня подготовки специалистов в процессе изучения учебной дисциплины рекомендуется использовать технические, электронные средства обучения, плакаты, схемы, техническую нормативную документацию, справочные материалы и т. п.

Для закрепления теоретического материала и формирования у учащихся необходимых умений и навыков программой предусмотрено проведение лабораторных работ.

Для контроля усвоения программного учебного материала предусмотрено выполнение домашней контрольной работы, тематика и перечень вопросов определяется цикловой комиссией учреждения образования.

Для итогового контроля знаний учащихся учебным планом предусмотрено проведение экзамена, перечень вопросов для которого определяется цикловой комиссией учреждения образования.

В результате изучения дисциплины «Техника высоких напряжений» учащиеся должны приобрести соответствующие знания и умения:

на уровне представления:

- 1) воздействие внешних факторов на виды изоляции;
- 2) взаимную связь между электрическими свойствами основных видов высоковольтной изоляции;
- 3) методы и приборы профилактического контроля изоляции;

на уровне понимания:

- 1) виды изоляции, применяемые для безотказной работы электрических аппаратов в зависимости от нагрузки;
- 2) расчет заземляющего устройства.
- 3) нормы на испытательные напряжения электрооборудования;

4) устройство высоковольтных испытательных установок и методы проведения испытаний;

уметь:

- 1) замерять уровни изоляции электрических аппаратов;
- 2) рассчитывать простейшие изоляционные конструкции, некоторые испытательные схем и средства молниезащиты;
- 3) обрабатывать и анализировать результаты измерений;
- 4) пользоваться справочной литературой, персональной вычислительной техникой.

В методических указаниях учебной дисциплины «Техника высоких напряжений» приведены примерные критерии оценки результатов учебной деятельности учащихся по дисциплине, разработанные на основе десятибалльной шкалы и показателей оценки результатов учебной деятельности обучающихся в учреждениях, обеспечивающих получение среднего специального образования (постановление Министерства образования Республики Беларусь от 29 марта 2004 г. №17).

2 Краткое содержание программы

Учебная дисциплина «Техника высоких напряжений» изучается в соответствии с учебным планом и программой в количестве 72 часа.

Введение. Значение предмета и его связь с другими изучаемыми предметами. Номинальные напряжения электротехнических систем, наибольшие рабочие напряжения.

Раздел 1. Электрические характеристики внешней изоляции электроустановок.

Тема 1.1 Общая характеристика внешней изоляции электроустановок.

Тема 1.2 Физические процессы в ионизированных газах. Возникновение и исчезновение заряда в газах.

Тема 1.3 Разряды в воздушных промежутках при длительно действующих напряжениях. Развитие разряда в однородном поле.

Тема 1.4 Разряды в воздушных промежутках при импульсных напряжениях. Время разряда. Вольт-секундные характеристики изоляции. Их развитие.

Тема 1.5 Разряд в воздухе вдоль поверхности твердой изоляции. Развитие разряда по поверхности в однородном и неоднородном электрическом поле.

Тема 1.6 Изоляторы высокого напряжения. Основные характеристики изоляторов. Гирлянды подвесных изоляторов.

Вопросы для самоконтроля:

1. Что называется напряженностью электрического поля?
2. Что такое потенциал электрического поля в данной точке?
3. Почему распределение напряжения по слоям в многослойном диэлектрике при переменном напряжении определяется емкостями слоев, а при постоянном – их сопротивлениями?
4. Как изменяется напряженность в цилиндрическом конденсаторе

при изменении радиуса внутреннего цилиндра?

5. Какие виды ионизации происходят в объеме газа?
6. Что характеризует собой коэффициент ударной ионизации?
7. Какой разряд называется несамостоятельным?
8. Какие разряды относятся к самостоятельным?
9. В чем состоит смысл уравнения самостоятельности разряда?
10. В чем основное различие однородного, слабонеоднородного и резконеоднородного электрических полей?
11. В чем отличие в формировании пробоя газа в равномерном и неравномерном электрическом поле?
12. Какие факторы определяют электрическую прочность газового промежутка?
13. Почему пробивное напряжение для электродов шар-шар расходится с табличным?
14. Что такое начальная напряженность и начальное напряжение и какова методика их расчета?
15. Почему в неравномерных полях начальное напряжение меньше пробивного?
16. При каком соотношении радиусов цилиндрического конденсатора начальное напряжение максимально?
17. На каком расстоянии от острия надо поместить барьер, чтобы создать максимальную электрическую прочность?
18. Как объяснить влияние барьера на электрическую прочность промежутка игла-плоскость?
19. Какие факторы определяют потери на корону на линиях высокого напряжения?
20. Какое практическое применение имеет закон Пашена?
21. В чем заключается стримерная теория разряда?
22. Какие факторы влияют на разрядное напряжение по поверхности?

23. В чем состоит отличие пробоя диэлектрика от разряда по поверхности?

24. Какие применяются меры для увеличения напряжения перекрытия проходных изоляторов?

25. Каковы должны быть размеры и формы изоляторов с точки зрения электрической прочности?

26. Как регулировать электрическое поле на краях той или иной конструкции?

27. Какие основные характеристики изоляторов вы знаете?

28. В чем состоит различие работы изоляторов в поддерживающей и натяжной гирлянде?

29. Какими способами можно уменьшить неравномерность распределения напряжения по элементам гирлянды?

30. Что такое сухоразрядное напряжение и мокроразрядное напряжение? Для чего они определяются?

31. Для чего на изоляторах делают ребра?

32. Чем отличаются изоляторы для загрязненных районов от обычных линейных изоляторов?

Раздел 2. Электрические характеристики внутренней изоляции электроустановок.

Тема 2.1 Общая характеристика внутренней изоляции электроустановок. Основные виды внутренней изоляции.

Тема 2.2 Маслосольная изоляция. Роль барьеров, покрытий и изолирования в повышении электрической прочности изоляции.

Тема 2.3 Бумажно-масляная изоляция. Основные характеристики и свойства. Методы регулирования электрического поля.

Тема 2.4 Твердая изоляция. Основные виды. Тепловой электрический и ионизационный пробой твердой изоляции.

Тема 2.5 Газовая изоляция. Основные виды, требования. Использо-

ние высокопрочных газов, азота, воздуха, вакуума.

Вопросы для самоконтроля:

1. Что представляет собой внутренняя изоляция электроустановок?
2. Что такое старение изоляции и каковы его причины?
3. Что означает тепловое старение изоляции? Классы нагревостойкости электроизоляционных материалов.
4. Влияние увлажнения на состояние изоляции.
5. Особенности пробоя жидких диэлектриков.
6. Разряд по поверхности твердого диэлектрика и пробой твердого диэлектрика.
7. Какие виды маслбарьерной изоляции?
8. Что такое частичный разряд и как он влияет на состояние изоляции на постоянном и переменном напряжении?
9. Каким образом влияют частичные разряды на состояние маслбарьерной изоляции?
10. В чем заключается сущность физических процессов, возникающих в бумажной пропитанной изоляции кабелей при воздействии переменного напряжения?
11. Какими путями можно повысить коэффициент использования изоляции кабеля?
12. Какая изоляция называется градированной?
13. Как влияет термоокислительное старение и старение и увлажнение на электрическую прочность изоляции?
14. Чем характеризуется и от чего зависит кратковременная электрическая прочность маслбарьерной изоляции?
15. Какие виды бумажно-масляной изоляции?
16. Какими способами можно регулировать электрическое поле в бумажно-масляной изоляции и как это влияет на состояние изоляции?
17. Как воздействуют частичные разряды, термоокислительные про-

цессы и увлажнение на изоляционные свойства бумажно-масляной изоляции?

18. Перечислите виды твердой изоляции и их свойства?

19. От чего зависит электрическая прочность твердой изоляции?

20. Какими особенностями обладают различные виды газовой и вакуумной изоляции?

21. Каким образом формируется разряд в газовой изоляции? От каких факторов зависит?

Раздел 3. Изоляционные конструкции оборудования высокого напряжения.

Тема 3.1 Изоляция кабелей высокого напряжения

Тема 3.2 Изоляция силовых трансформаторов.

Тема 3.3 Изоляция вводов высокого напряжения.

Тема 3.4 Изоляция электрических машин

Тема 3.5 Изоляция электрических аппаратов

Вопросы для самоконтроля:

1. Каково существенное отличие бумажно-масляных вводов от бумажно-бакелитовых?

2. Каково преимущество кабелей с отдельно освинцованными жилами от кабелей с поясной изоляцией?

3. Чем объясняется возможность применения кабелей с вязкой пропиткой на напряжение выше 35кВ?

4. Чем отличается непрерывная главная изоляция вращающихся машин от гильзовой?

5. Каковы свойства маслбарьерной изоляции трансформаторов?

6. Назначение изоляционных цилиндров и угловых шайб в главной изоляции трансформаторов?

7. Особенности изоляции ввода в силовых высоковольтных трансформаторах?

8. В чем различие изоляции трансформаторов 6-35 кВ и 110-750 кВ?

Раздел 4. Испытательные установки и измерения при высоких напряжениях.

Тема 4.1 Испытательные трансформаторы одиночные и каскадные.

Тема 4.2 Испытательные установки постоянного тока генератора импульсных напряжений.

Тема 4.3 Измерения при высоких напряжениях. Измерения с помощью шаровых разрядников. Делители напряжения.

Вопросы для самоконтроля:

1. Какие вы знаете методы регулирования напряжения и каковы их характерные особенности?
2. Как производится питание последующих трансформаторов при каскадном соединении?
3. Какими способами можно получить высокое постоянное напряжение?
4. Из каких основных элементов состоит генератор импульсных напряжений (ГИН)?
5. Как регулируется амплитуда импульсной волны в схеме ГИНа?
6. Какие параметры генератора импульсных напряжений будут влиять на фронт и хвост волны?
7. Как связаны параметры генератора импульсного напряжения с параметрами импульсной волны?
8. Как регулируется амплитуда импульсного тока в схеме генератора импульсных токов?
9. Какими способами можно измерить высокое напряжение?
10. Какие виды напряжений измеряют с помощью шаров?
11. Какое назначение имеют электронные осциллографы?
12. Из каких основных элементов состоит электронный осциллограф, и какое он имеет назначение?

13. Какими способами можно измерить импульсные токи?
14. Для чего применяются делители напряжения?
15. Какие виды делителей напряжения применяют при измерении на постоянном и переменном высоком напряжении?

Раздел 5. Профилактические испытания изоляции оборудования высокого напряжения.

Тема 5.1 Значение профилактических испытаний.

Тема 5.2 Контроль изоляции по тангенсу угла диэлектрических потерь и по интенсивности частичных разрядов.

Тема 5.3 Контроль изоляции повышенным напряжением.

Вопросы для самоконтроля:

1. Что такое диэлектрические потери?
2. Какие виды диэлектрических потерь возможны в диэлектриках?
3. В чем состоит физический смысл геометрической ёмкости?
4. Что такое тангенс угла диэлектрических потерь и как он определяется?
5. В каких случаях тангенс угла потерь измеряют по перевернутой схеме?
6. Чем определяются диэлектрические потери при постоянном напряжении?
7. Для чего применяются ёмкостные методы?
8. В чем смысл испытания изоляции повышенным напряжением?
9. Какие виды изоляции подвергаются испытанию повышенным напряжением переменного тока?
10. Преимущества испытания изоляции повышенным напряжением постоянного тока перед переменным.

Раздел 6. Волновые процессы в линиях электропередач.

Тема 6.1 Отражение и преломление электромагнитных волн.

Тема 6.2 Прохождение электромагнитных волн.

Вопросы для самоконтроля:

1. Какими параметрами определяется волновое сопротивление линии?
2. Какое сопротивление нужно включить на конце линии чтобы не было отраженной волны?
3. Какое практическое значение имеют коэффициенты преломления и отражения, и в каких пределах они изменяются?
4. Как изменяется амплитуда и форма волны, падающей на подстанцию с вентильным разрядником?
5. Как влияют емкость и индуктивность на фронт проходящей волны?
6. Какое влияние оказывает кабельная вставка на амплитуду и крутизну проходящей волны со стороны воздушной линии?
7. Что является причиной затухания и искажения формы волны перенапряжения, движущейся по проводам воздушной линии электропередачи?

Раздел 7. Грозовые перенапряжения в электрических системах и их ограничение.

Тема 7.1 Молния как источник грозовых перенапряжений. Развитие разряда молнии. Электрические характеристики молнии. Защита подстанции от прямых ударов молнии. Молниеотводы. Принцип их действия.

Тема 7.2 Защита линий электропередачи от прямых ударов молнии. Удельное отключение линии – как показатель грозоупорности. Зоны защиты. Защита электрооборудования и подстанций от набегающих с линий импульсов.

Тема 7.3 Защитный подход к подстанции. Показатель грозоупорности.

Вопросы для самоконтроля:

1. Какими параметрами характеризуется грозовой разряде молния)?
2. Виды поражения молнией электротехнических сооружений.
3. Что такое грозоупорность воздушных, линий электропередачи?
4. Какие мероприятия обеспечивают снижение числа грозовых отключений линий электропередачи?

5. Какие перенапряжения называются индуктированными?
6. Что является причиной индуктированных перенапряжений?
7. Как влияет наличие заземленных тросов на величину индуктированных перенапряжений?
8. Что такое импульсная корона, и как она влияет на величину волнового сопротивления?
9. Какими факторами определяется эффективность работы устройств грозозащиты?
10. Что такое импульсное сопротивление заземления?
11. Как влияет величина импульсного сопротивления заземления на защитный уровень линий электропередачи?
12. Как регистрируется величина токов молнии?
13. Как защищается подстанция от прямого удара молнии?
14. Что такое защитная зона молниеотвода?
15. Чем определяется защитное действие тросового молниеотвода?
16. В каких случаях защищаются линии электропередачи тросовыми молниеотводами только на подходах к подстанции?
17. На основании каких условий выбирается высота стержневых молниеотводов?
18. Какой характеристикой определяется защитное действие разрядников?
19. Каким образом гасится дуга сопровождающего тока в трубчатом разряднике?
20. Чем определяется дугогасящая способность трубчатого разрядника?
21. В чем заключается преимущества щелевых разрядников перед стреляющими?
22. Где и за счет чего происходит гашение дуги в вентильном разряднике?
23. Какие элементы вентильного разрядника определяют его вольт-

секундную характеристику?

24. Как осуществляется гашение дуги в разрядниках типа РВМГ и РВМК?

25. Что такое пропускная способность вентильного разрядника?

26. Как выполняется грозозащита трансформаторной подстанции напряжением 35-220 кВ от волн, набегающих с линии?

27. Почему короткие волны на защищенном подходе затухают более интенсивно, чем длинные?

28. Что достигается установкой емкости параллельно защищаемой машине?

Раздел 8. Внутренние перенапряжения в электрических системах.

Тема 8.1 Общая характеристика внутренних перенапряжений. Величина, длительность.

Тема 8.2 Коммутационные перенапряжения. Перенапряжения при дуговых замыканиях на землю.

Вопросы для самоконтроля:

1. Какие перенапряжения называют коммутационными (внутренними)?

2. В чем отличие коммутационных (внутренних) перенапряжений от атмосферных?

3. Каковы причины появления перенапряжений при отключении выключателем холостых линий и пути уменьшения этих перенапряжений?

4. Какова причина возникновения перенапряжений при отключении ненагруженных трансформаторов?

5. В чем опасность однофазных замыканий на землю в сетях напряжением 6-35 кВ?

6. Какими путями можно уменьшить перенапряжения при дуговых замыканиях на землю?

7. Почему нежелательна работа сети при идеальной настройке дугога-

сящей катушки?

8. Как определяется величина тока замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью?

9. Как производится компенсация емкостных токов замыкания на землю, когда нейтраль трансформатора недоступна?

Раздел 9. Координация изоляции электроустановок. Уровни изоляции подстанционного электрооборудования

Вопросы для самоконтроля:

1. Какие напряжения воздействуют на изоляцию установок высокого напряжения?

2. Что понимается под уровнем изоляции и какое значение он имеет для координации изоляции?

3. Чем определяется величина испытательного напряжения изоляции?

4. Что такое коэффициент импульса?

3 Общие требования по оформлению домашней контрольной работы

В соответствии с требованиями ГОСТ 2.105-95 «ЕСКД. Требования к оформлению текстовых документов» оформление домашней контрольной работы должно осуществляться по следующим правилам: все части пояснительной записки следует излагать только на одном из государственных языков – белорусском или русском.

На лицевой части работы помещается наклейка установленного образца. В наклейке обязательно заполняются все графы, фамилия имя отчество пишется полностью.

Вопросы и задачи контрольной работы переписываются по порядку, без сокращений. На каждый переписанный вопрос сразу же дается ответ. После каждого ответа на вопрос выделяется свободное пространство, а в конце работы 1,2 страницы для рецензии.

Домашняя контрольная работа может быть выполнена рукописно в отдельной тетради «в клеточку» с пронумерованными страницами и отведенными полями шириной 30 мм. Возможно выполнение работы на компьютере и отпечатанный текст на белой бумаге формата А4 с одной стороны листа. Оформление работы должно быть единообразным, с соблюдением следующих типографических требований:

- поля: левое – 30 мм, правое – 15 мм, верхнее – 20 мм, нижнее – 20 мм;
- шрифт текста размером 14 пт., гарнитурой Times New Roman;
- шрифт заголовков (все прописные), подзаголовков 16 пт., гарнитурой Times New Roman;
- межстрочный интервал – полуторный;
- отступ красной строки – 1,25;
- номера разделов, подразделов, пунктов и подпунктов следует выделять полужирным шрифтом;

– разрешается использовать компьютерные возможности акцентирования внимания на определённых терминах, формулах, теоремах, применяя шрифты разной гарнитуры;

– выравнивание текста – по ширине, перенос слов не допускается.

При делении вопроса на пункты и подпункты необходимо, чтобы каждый пункт содержал законченную информацию.

Вопросы должны иметь порядковые номера в пределах всего документа, обозначенные арабскими цифрами без точки. Наименование вопросов следует располагать по центру строки без точки в конце, прописными буквами жирным начертанием, отделяя от текста одной пустой строкой.

4 Методические указания по выполнению домашней контрольной работы

Введение. Общая характеристика и задачи предмета, его связь с другими изучаемыми предметами. Применение высокого и сверхвысокого напряжений в электроустановках. Перспективы применения более высоких напряжений в энергосистемах. Основные виды изоляции электроустановок. Виды разрядов в изоляции.

[2] дополнительная, (стр. 3-11).

Раздел 1. Электрические характеристики внешней изоляции электроустановок.

Общая характеристика внешней изоляции электроустановок. Виды внешней изоляции электроустановок. Роль атмосферного воздуха в изоляции установок высокого напряжения. Назначение изоляторов высокого напряжения. Виды и условия испытаний внешней изоляции.

Физические процессы в ионизированных газах. Возбуждение и ионизация атомов и молекул. Виды ионизации газов, возникновение лавины электронов. Рекомбинация заряженных частиц. Механизмы вторичной ионизации и условие самостоятельности разряда. Плазма и ее физические свойства.

Развитие разряда в воздушных промежутках при длительно действующих напряжениях. Развитие разряда в равномерном поле. Вольт-амперная характеристика газового разряда. Закон Пашена. Особенности возникновения разряда в резко неоднородном поле.

Разряды в воздушных промежутках при импульсных напряжениях. Понятие о грозовых и коммутационных импульсах. Характеристики импульсов. Стандартизация формы импульса. Особенности пробоя воздушных промежутков при воздействии импульсных напряжений. Коэффициент импульса. Вольт-секундные характеристики воздушных промежутков.

Коронный разряд на проводах линий электропередачи. Условия возникновения короны на проводах при постоянном и переменном напряжениях. Явления, сопровождающие коронный разряд. Потери энергии на корону и зависимость их от условий погоды» диаметра и конструкции проводов. Расчет мощности потерь энергии на корону по обобщенным характеристикам и по эмпирическим формулам.

Применение коронного разряда в электрофильтрах. Назначение и принцип действия электрофильтров. Основные характеристики и параметры электрофильтров.

Разряд в воздухе вдоль поверхности твердой изоляции. Развитие разряда по поверхности в равномерном электрическом поле. Зависимость разрядного напряжения от гигроскопичности твердой изоляции и не плотного прилегания к ней электродов. Особенности развития разряда по поверхности в неравномерном электрическом поле. Расчет начального напряжения скользящего разряда и напряжения, при котором скользящий разряд переходит в искровой.

Изоляторы высокого напряжения. Конструкция линейных, опорных и проходных изоляторов. Основные электрические и механические характеристики изоляторов. Гирлянды подвесных изоляторов. Распределение напряжения по изоляторам гирлянды. Выравнивание напряжения по изоляторам гирлянды или колонны.

Влияние метеорологических факторов на электрическую прочность внешней изоляции. Влияние давления, температуры и влажности воздуха на разрядные напряжения воздушных промежутков и изоляторов. Приведение разрядных напряжений к нормальным условиям. Развитие разряда по загрязненной и увлажненной поверхности изолятора. Специальные изоляторы для районов с загрязненной атмосферой. Нормированная удельная длина пути утечки.

[2] дополнительная, (стр.12-27); [3] дополнительная, (стр. 18-19).

Раздел 2. Электрические характеристики внутренней изоляции электроустановок.

Общая характеристика внутренней изоляции электроустановок. Основные виды внутренней изоляции электроустановок. Применение комбинированной изоляции. Кратковременная и длительная электрическая прочность изоляции. Ионизационные процессы и частичные разряды в изоляции. Старение внутренней изоляции. Обобщенные вольт-временные характеристики изоляции.

Маслобарьерная изоляция. Особенности минерального масла как диэлектрика. Роль барьеров, покрытий и изолирования в повышении электрической прочности изоляции. Эффективность действия барьера в масле. Разряд в масле.

Бумажно-масляная изоляция. Виды бумажно-масляной изоляции и ее основные характеристики. Регулирование электрического поля в бумажно-масляной изоляции. Частичные разряды в бумажно-масляной изоляции. Термоокислительное старение и увлажнение бумажно-масляной изоляции.

Твердая изоляция. Основные виды твердой изоляции и особенности ее работы в электрическом поле. Тепловой электрический и ионизационный пробой и условия их возникновения в твердой изоляции. Факторы, влияющие на значение пробивного напряжения твердой изоляции.

Газовая и вакуумная изоляция. Основные требования к газовой изоляции. Применение газов под давлением. Особенности развития разряда в элегазе. Использование газов для внутренней изоляции электрооборудования. Применение вакуумной изоляции. Механизм электрического пробоя вакуума. Примеры выполнения отдельных видов газовой и вакуумной внутренней изоляции.

Целью регулирования электрических полей является повышение эффективности использования изоляции, т.е. необходимо рассчитать диаметр изоляции в зависимости от нагрузки.

Для надежной эксплуатации изоляции необходимо, чтобы максимальные напряженности поля не превосходили допустимого значения, т.е.

$$E_{\max} \leq E_{\text{доп}}$$

Если выразить E_{\max} через коэффициент неоднородности электрического поля k_H и среднюю напряженность поля $E_{\text{ср}} = \frac{v}{d}$, где

v – рабочие напряжения;

d – толщина изоляции.

$$\frac{v}{d} \cdot k_H \leq E_{\text{доп}}$$

или

$$d \geq \frac{v}{E_{\text{доп}}} \cdot k_H$$

[2] дополнительная, (гл. 25-41).

Пример

Рассчитать диаметр изоляции при нагрузке 380 В, средняя напряженность 58 кВ/см. Выполнить графическую часть участка кабельной линии с учетом данной нагрузки.

Решение

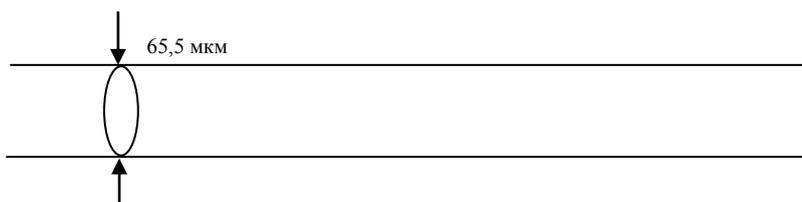
Средняя напряженность поля равна:

$$E_{\text{ср}} = \frac{v}{d}$$

Следовательно, диаметр изоляции равен:

$$d = \frac{v}{E_{\text{ср}}} = \frac{380}{58 \cdot 10^3} \left[\frac{\text{В}}{\text{В/см}} \right] = 6,55 \cdot 10^{-3} [\text{см}] = 65,5 [\text{мкм}]$$

С учетом данной нагрузки часть участка кабельной линии будет выглядеть так:



Раздел 3. Изоляционные конструкции оборудования высокого напряжения.

Изоляция кабелей высокого напряжения. Кабели с вязкой пропиткой. Маслонаполненные и газонаполненные кабели. Новые разработки кабелей высокого напряжения.

Изоляция вводов высокого напряжения. Особенности конструкции проходных изоляторов и вводов на разные напряжения. Вводы высокого напряжения с маслобарьерной и бумажно-масляной изоляцией.

Изоляция силовых трансформаторов высокого напряжения. Конструктивные особенности изоляции трансформаторов различных номинальных напряжений.

Изоляция электрических машин высокого напряжения. Требования, предъявляемые к изоляции электрических машин. Основные изолирующие материалы. Типовые конструкции изоляции обмоток. Новые разработки изоляции электрических машин высокого напряжения.

Изоляция конденсаторов высокого напряжения. Основные изоляционные материалы, применяемые в конденсаторах. Особенности конструкции конденсаторов связи, конденсаторов для продольной компенсации в линиях электропередачи и для электропередачи постоянного тока, импульсных конденсаторов и конденсаторов для улучшения коэффициента мощности.

Изоляция электрических аппаратов. Изоляция измерительных трансформаторов и коммутационной аппаратуры.

[2] дополнительная, (стр.40-43); [3] дополнительная, (стр. 26-32).

Раздел 4. Испытательные установки и измерения при высоких напряжениях.

Испытательные установки высокого напряжения. Испытательные установки высокого напряжения промышленной частоты. Каскады испытательных трансформаторов. Установки выпрямленного напряжения. Генераторы импульсных напряжений (ГИН) и токов (ГИТ).

Измерения при высоких напряжениях. Измерения действующих значений напряжения электростатическими киловольтметрами. Измерения амплитудных значений напряжения шаровыми разрядниками. Применение электронных осциллографов с делителями напряжения. Измерение импульсных токов с помощью шунтов и ферромагнитных регистраторов.

Технические средства контроля и профилактики изоляции электрических аппаратов. Внутренние перенапряжения в электрических системах. Влияние внутренних перенапряжений на изоляцию электрооборудования высокого напряжения. Коммутационные перенапряжения. Перенапряжения при дуговых замыканиях на землю. Дать характеристику уровням изоляции электрооборудования воздушной линии, кабельной линии.

[2] дополнительная, (стр. 46-47), [3] дополнительная, (стр. 33-38).

Раздел 5. Профилактические испытания изоляции оборудования высокого напряжения.

Значение профилактических испытаний для снижения аварийности электрооборудования. Виды профилактических испытаний.

Методы контроля характеристик изоляции. Контроль состояния изоляции по измерению; ее сопротивления и по значению коэффициента абсорбции. Измерение тангенса угла диэлектрических потерь. Емкостные методы ("емкость-время", "емкость-частота" и "емкость-температура") и критерии оценки состояния изоляции.

Испытание изоляции повышенным напряжением промышленной частоты, постоянным и импульсным напряжениями.

Выявление и измерение частичных разрядов в изоляции. Принципиальная схема испытания изоляции с применением индикатора частичных разрядов (ИЧР).

Эффективность различных методов испытаний при выявлении дефектов изоляции.

[2] дополнительная, (стр. 49-52), [3] дополнительная, (стр. 38-40).

Раздел 6. Волновые процессы в линиях электропередач.

Распространение электромагнитных волн вдоль проводов линий электропередачи. Отражение и преломление волн. Определение коэффициентов преломления и отражения волн с помощью схем замещения. Падение волны на разрядник. Прохождение волны через индуктивность и мимо сосредоточенной емкости. Деформация и затухание электромагнитных волн. Влияние импульсной короны на волновой процесс.

[3] дополнительная, (стр. 41-46).

Раздел 7. Грозовые перенапряжения в электрических системах и их ограничение.

Молния как источник грозовых пере напряжений. Процесс возникновения, развитие и электрические параметры молнии. Характеристики грозовой деятельности. Понятие о перенапряжениях прямого удара и индуктированных перенапряжениях.

Защита подстанции от прямых ударов молнии. Молниеотводы и принцип их действия. Зоны защиты стержневых молниеотводов. Особенности работы заземлителей при стекании токов молнии. Эффективность защиты подстанции от прямых ударов молнии. Расчет молниезащиты подстанции.

Защита линий электропередачи от молнии. Удельное число отключений линии как ее грозоупорности. Применение тросов для защиты линий электропередачи. Зоны защиты тросов. Расстояние между тросами и проводами в пролете. Защитные промежутки. Трубочатые разрядники, их устройство, принцип действия и применение для защиты линий. Особенности защиты вдоль поверхности твердой изоляции.

Защита электрооборудования подстанций от набегающих с линии импульсов грозовых перенапряжений. Параметры импульсов, набегающих на подстанцию. Принципы защиты подстанций от набегающих импульсов. Вентильный разрядник как основной аппарат защиты подстанционного электрооборудования от набегающих импульсов. Конструкции, принцип действия и

характеристики вентильных разрядников. Связь защитных свойств разрядника с режимом заземления нейтрали электрической системы. Применение нелинейных ограничителей перенапряжений (ОПН). Устройство ОПН, их эксплуатационные характеристики, преимущества и недостатки.

Защитный подход к подстанции и его роль в ограничении амплитуды и крутизны набегающих импульсов. Эффективность защиты электрооборудования подстанции.

Понятие о волновых процессах в обмотках трансформаторов и автотрансформаторов. Внутренняя защита трансформаторов.

Особенности защиты электрических машин, присоединенных к воздушным электрическим линиям через трансформаторы и непосредственно.

Одним из наиболее эффективных средств защиты электроэнергетических и промышленных установок, а также ответственных сооружений от прямых ударов молнии являются молниеотводы стержневые и тросовые.

Защитное действие молниеотводов характеризуется защитной зоной, т.е. пространством, защищенным от прямых ударов молнии.

Защитная зона одиночного стержневого молниеотвода, изображенная на рисунке представляет собой конус с образующей в виде кривой второго порядка, которая может быть получена по эмпирической формуле:

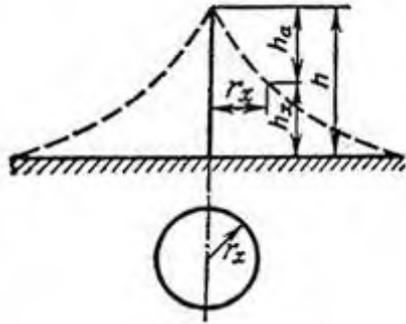
$$r_x = 1,6 \frac{h - h_x}{1 + h_x/h} \cdot p \quad (1),$$

где h – высота молниеотвода;

h_x – высота защищаемого объекта;

$h - h_x = h_a$ – активная высота молниеотвода;

$p = 1$ при $h \leq 30$ м; $p = 5,5 / \sqrt{h}$ при $h = 30 \div 100$ м.



Защитная зона одиночного стержневого молниеотвода:

h – высота молниеотвода;

h_a – активная высота молниеотвода;

h_x – высота защищаемого объекта;

r_x – радиус защитной зоны на высоте защищаемого объекта.

Для расчета защитной зоны одиночного стержневого молниеотвода, пользуясь формулой (1) определяют зависимость радиуса защитной зоны r_x от высоты защищаемого объекта h_x при заданной высоте молниеотвода h .

Давая значения $h_x = 0; 0,2h; 0,5h; 0,7h$ находят соответствующие этим значениям радиусы защитной зоны r_x .

Величины h_x и соответствующие им радиусы защитной зоны являются координатами точек, лежащих на кривой, образующей границу зоны.

Защитная зона строится на миллиметровой бумаге в удобном масштабе.

С целью проверки расчета защитные зоны молниеотводов определяют опытным путем на моделях, выполненных с учетом геометрического подобия.

В лабораторных условиях разряд молний моделируется длинной мокрой импульсной разрядкой в воздушном промежутке стержень-плоскость.

Испытательная установка для определения защитных зон молниеотводов состоит из генератора импульсных напряжений (ГИН), стержневого электрода 1, имитирующего конец лидерного канала молнии, заземленной плоскости 2, модели молниеотвода 3 и модели защищаемого объекта.

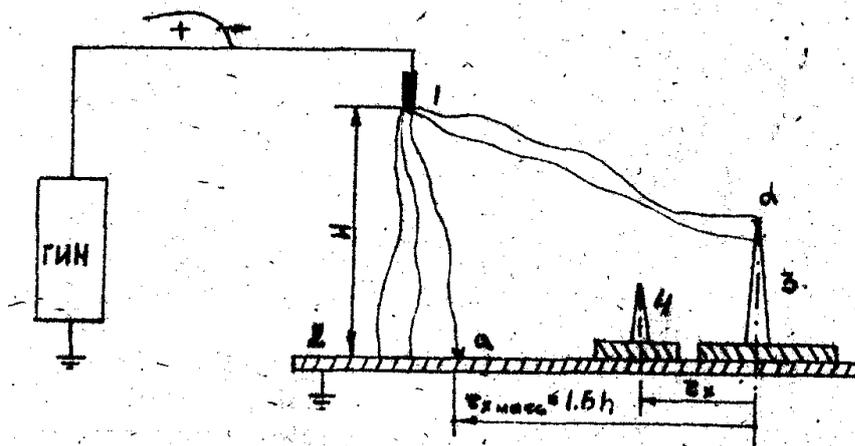


Схема испытательной установки

[2] дополнительная, (стр. 51-56); [3] дополнительная, (стр. 48-61).

Раздел 8. Внутренние перенапряжения в электрических системах.

Общая характеристика внутренних перенапряжений. Основные виды и характеристики внутренних перенапряжений. Расчетные кратности внутренних перенапряжений.

Коммутационные перенапряжения. Перенапряжения при включении и отключении незагруженных электрических линий и конденсаторных батарей. Перенапряжения при отключении ненагруженных электрических трансформаторов и реакторов. Применение вентильных разрядников для ограничения коммутационных перенапряжений.

Перенапряжения при дуговых замыканиях на землю. Перенапряжения при дуговых однофазных замыканиях на землю в электрических сетях с незаземленной нейтралью. Перенапряжения при дуговом замыкании на землю и при обрыве провода. Перенапряжения в сети с дугогасящим заземляющим реактором.

Резонансные перенапряжения в системах сверхвысокого напряжения. Резонансные перенапряжения в длинных линиях за счет емкостного эффекта. Ограничение резонансных перенапряжений в длинных линиях. Влияние насыщения магнитопровода трансформатора на перенапряжения. Примене-

ние шунтирующих реакторов для ограничения перенапряжений установившегося режима.

[2] дополнительная, (гл. 163-169); [3] дополнительная, (гл. 64-66).

Раздел 9. Координация изоляции электроустановок. Уровни изоляции подстанционного электрооборудования

Координация изоляции подстанционного электрооборудования. Импульсные испытательные напряжения электрооборудования. Испытательные напряжения грозовых и коммутационных импульсов. Испытательные напряжения промышленной частоты. Изоляционные расстояния-по воздуху в распределительных устройствах.

Координация изоляции линий электропередачи. Определение числа изоляторов в гирляндах по расчетному уровню коммутационных перенапряжений и по значению рабочего напряжения. Определение минимальной длины воздушных промежутков между проводом и опорой.

Основные требования к изоляции кабельных линий. Типовые испытательные напряжения силовых кабелей высокого напряжения.

[3] дополнительная, (стр. 67-76).

5 Задания для домашних контрольных работ

К выполнению заданий следует приступать после изучения соответствующих разделов учебной дисциплины. Каждое контрольное задание состоит из вопросов и задач.

Номер выполняемого варианта выбирается по порядковому номеру учащегося в журнале учебной группы. Работы, не соответствующие своему варианту, не рассматриваются. Отвечать на вопросы следует кратко, ясно, с привлечением необходимых формул и схем. При решении задач необходимо объяснять все принимаемые коэффициенты, величины и т.п. со ссылкой на справочную литературу. Задачи решать последовательно и полностью. Формулы, по которым ведутся вычисления, следует сначала записывать в общем виде. Иллюстрации (рисунки, схемы) служат для наглядного представления. Схемы и рисунки выполнять карандашом.

Задача №2 (для всех вариантов).

В соответствии с руководящими указаниями и правилами эксплуатации электроустановок выполнить расчет грозозащиты подстанции от прямого удара молнии по заданному плану (см. таблицу 1).

Начертить в масштабе схематический план распределительного пункта, на котором указать места установки молниеотводов и изобразить защитную зону выбранной системы молниеотводов.

Таблица 1

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
№ рисунка по книге [1] дополнительная	10-11	10-10	10-6	10-5	10-9	10-14	10-17	10-7	10-3	10-24
Вариант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
№ рисунка по книге [1] дополнительная	10-22	10-27	10-23	10-21	10-28	10-16	10-29	10-12	10-4	10-8

Вариант 1

Ответьте на вопросы:

1. Значение предмета и его связь с другими изучаемыми предметами.
2. Опишите особенности изоляции кабелей на напряжение 110 кВ и выше, преимущества и недостатки разных конструкций кабелей.

Решите задачи:

Задача 1. В проходном изоляторе внутренним электродом является токоведущий металлический стержень диаметром 30 мм. На него вплотную посажена гетинаксовая труба, наружный диаметр которой равен 60 мм. Металлический фланец, представляющий собой наружный электрод, имеет диаметр 100 мм. Пространство между гетинаксовой трубой и фланцем заполнено нефтяным маслом. Проходной изолятор работает под напряжением 110 кВ.

Определить максимальную и минимальную напряженность в слоях изоляции.

Построить график напряженности электрического поля в двухслойном диэлектрике в функции расстояния от оси изолятора. Как изменится запас электрической прочности конструкции, если поменять местами гетинакс и масло?

Значение диэлектрической проницаемости примите: для гетинакса 4,4; для масла 2,2.

Задача 2. Условие смотрите в задании для варианта 1 в таблице 1.

Вариант 2

Ответьте на вопросы:

1. Опишите условия возникновения электропроводности газовых диэлектриков. Объясните сущность физического явления «насыщения тока» газового промежутка при низких напряжениях, открытого Л. Г. Столетовым.
2. Какие номинальные напряжения электрических систем, при которых возникают рабочие перенапряжения?

Решите задачи:

Задача 1. Разряд молнии происходит в металлическую опору без троса, ток молнии 120 кА. Высота подвеса провода на опоре 18 м, стрела провеса 6 м. Определить напряжение, действующее на фазную изоляцию, если сопротивление заземления в импульсном режиме 7,5 Ом.

Задача 2. Условие смотрите в задании для варианта 2 в таблице 1.

Вариант 3

Ответьте на вопросы:

1. Объясните зависимость пробивного напряжения газа от произведения давления на расстояние между электродами $U_{пр} = f(ph)$ при постоянном давлении и переменном расстоянии между электродами, а также при переменном давлении и постоянном расстоянии. Какое практическое значение имеет закон Пашена?

2. Опишите конструкцию главной изоляции трансформаторов напряжением 110-220 кВ.

Решите задачи:

Задача 1. Однофазный маслонаполненный кабель на линейное напряжение 110 кВ промышленной частоты имеет наружный диаметр токопроводящей жилы 25 мм. Изоляция выполнена градированной из двух слоев: внешний радиус первого слоя 19 мм, $\epsilon_1=4,3$; внешний радиус второго слоя 32 мм, $\epsilon_2=3,6$. Определить максимальную и минимальную напряженность в слоях изоляции, запас электрической прочности при длительном приложении напряжения первого слоя изоляции 35 кВ/мм, второго слоя – 30 кВ/мм. Построить график распределения напряженности по слоям изоляции $E = f(r)$.

Задача 2. Условие смотрите в задании для варианта 3 в таблице 1.

Вариант 4

Ответьте на вопросы:

1. Опишите основные черты коронного разряда. Какие факторы влияют на величину потерь на коронирование линии электропередач? Какими путями можно уменьшить потери на корону?

2. Дать характеристику газовой изоляции. Основные виды, требования.

Решите задачи:

Задача 1. Силовой трансформатор с заземленной нейтралью типа ТДНГ-31500/110, имеющий ток холостого хода 2,7% от номинального, отключается в режиме холостого хода от шин питания с напряжением 110 кВ. Определить величину ожидаемых перенапряжений, если отключение происходит в момент, когда напряжение близко к максимальному, а величина тока 12 А. Емкость отключаемого трансформатора и его шин принять равной 25000 пФ, а $U_{\phi}=170$ кВ макс.

Задача 2. Условие смотрите в задании для варианта 4 в таблице 1.

Вариант 5

Ответьте на вопросы:

1. Какое воздействие оказывает разряд в воздухе вдоль поверхности твердой изоляции.

2. Опишите методы профилактических испытаний главной изоляции силовых трансформаторов напряжением 110-220 кВ.

Решите задачи:

Задача 1. Однофазный маслонаполненный кабель на линейное напряжение 110 кВ имеет наружный диаметр токопроводящей жилы 40 мм; tg угла диэлектрических потерь изоляции 0,005; $\varepsilon=3,6$; электрическая прочность при длительном приложении напряжения 35 кВ/мм. Кабель рассчитан на запас электрической прочности (отношение пробивной напряженности к мак-

симальной рабочей), равной 4,5. Рассчитать диаметр по изоляции кабеля. Построить график распределения напряженности по изоляции кабеля $E = f(r)$.

Задача 2. Условие смотрите в задании для варианта 5 в таблице 1.

Вариант 6

Ответьте на вопросы:

1. Опишите основные методы измерения высокого напряжения.
2. Какие факторы определяют величину индуцированных перенапряжений?

Решите задачи:

Задача 1. Разряд молнии произошел в столб, удаленный от линии электропередач 110 кВ на расстояние 50 м. Определить величину индуцированных перенапряжений на проводах, если ток молнии 70 кА, а стрела провеса провода 2,5 м.

Задача 2. Условие смотрите в задании для варианта 6 в таблице 1.

Вариант 7

Ответьте на вопросы:

1. Дать характеристику внешней изоляции электроустановок.
2. Какие существуют способы заземления нейтрали и как они влияют на величину перенапряжений? В каких случаях происходит смещение нейтрали и почему?

Решите задачи:

Задача 1. Токоведущий стержень фарфорового проходного изолятора покрыт слоем бакелитовой бумаги толщиной 6 мм, диаметр токоведущего стержня 15 мм. Наружный диаметр фарфоровой части изолятора 124 мм, а толщина стенки 25 мм. Внутренняя полость изолятора заполнена воздухом. Относительная диэлектрическая проницаемость бакелизированной бумаги

4,2, а фарфора 6,5. Изолятор работает в электроустановке с номинальным напряжением 10 кВ.

Определить максимальные и минимальные напряженности электрического поля в бумаге, воздухе и фарфоре.

Определить, как изменится напряженность поля в воздухе и фарфоре при удалении бакелизированной бумаги.

Построить график распределения напряженности поля по слоям изоляции $E = f(r)$ для общих случаев.

Задача 2. Условие смотрите в задании для варианта 7 в таблице 1.

Вариант 8

Ответьте на вопросы:

1. Какой трансформатор называют нерезонирующим или грозоупорным? Каким образом достигается грозоупорность трансформаторов?

2. Опишите схемы измерения тангенса угла диэлектрических потерь в эксплуатационных условиях. В каких случаях применяется перевернутая мостовая схема?

Решите задачи:

Задача 1. По линии, защищенной по всей длине тросом, на подстанцию напряжением 220 кВ с тремя отходящими линиями набегаёт волна перенапряжения 1,5 кВ/м. Определить защитную зону вентильного разрядника, установленного на подстанции для защиты трансформатора от перенапряжения.

Задача 2. Условие смотрите в задании для варианта 8 в таблице 1.

Вариант 9

Ответьте на вопросы:

1. Как следует защитить от перенапряжений подстанцию 110/10 кВ с двумя трансформаторами по 10000 кВ·А, присоединенными глухой отпайкой

к транзитным линиям 110 кВ, если длина отпайки составляет 400 м? Привести схему защиты.

2. Каким образом производится регулирование напряжения в испытательных установках переменного, постоянного и импульсного напряжения?

Решите задачи:

Задача 1. В проходном маслонаполненном фарфоровом изоляторе внутренним электродом является токоведущий стержень диаметром 30 мм. На него вплотную посажена бумажно-бакелитовая труба, наружный диаметр которой равен 60 мм. Металлический фланец, представляющий собой наружный электрод, имеет внутренний диаметр 160 мм. Толщина стенки фарфоровой изоляции 30 мм. Пространство между бумажно-бакелитовой трубой и фарфором заполнено трансформаторным маслом. Проходной ИЗОЛЯТОР работает в установке напряжением 110 кВ.

Определить максимальную и минимальную напряженность в слоях изоляции. Построить график распределения напряженности по слоям изоляции $E = f(r)$.

Как изменится запас электрической прочности конструкции, если поменять местами бумажно-бакелитовую изоляцию и масло?

Значения диэлектрической проницаемости ϵ примите: для бумажно-бакелитовой изоляции 4,5; для масла 2,2; для фарфора 6,5.

Задача 2. Условие смотрите в задании для варианта 9 в таблице 1.

Вариант 10

Ответьте на вопросы:

1. Как изменится форма и амплитуда волны перенапряжения при ее падении на трубчатый и вентильный разрядник? Каким образом определяется защитная зона вентильного разрядника?

2. Опишите устройство конденсаторных вводов. По какому принципу подбираются длина и радиус обкладок из фольги? Ответ проиллюстрируйте

рисунками и необходимыми формулами.

Решите задачи:

Задача 1. Воздушная линия трехфазного тока напряжением 220 кВ выполнена проводами АС-95, подвешенными на П-образной деревянной опоре на расстоянии 5 м один от другого. Определить коронирует ли эта линия в условиях хорошей погоды ($m_1=1$) и при тумане ($m_2=0,8$). Коэффициент шероховатости провода принять 0,85. Давление воздуха $p=750$ мм рт. ст.

Задача 2. Условие смотрите в задании для варианта 10 в таблице 1.

Вариант 11

Ответьте на вопросы:

1. Дайте краткие характеристики основным видам перенапряжений и укажите порядок их величин.
2. Как выполняется изоляция кабелей напряжением до 35 кВ, и какие она имеет недостатки?

Решите задачи:

Задача 1. Найти максимально допустимое напряжение, которое может быть приложено к двухслойному цилиндрическому конденсатору с тем, чтобы запас электрической прочности был не менее 10. Найти емкость конденсатора и величину запасенной в нем энергии при максимально допустимом напряжении. Эффектом краев пренебречь. Размеры конденсатора: радиус внутреннего электрода $r_1=1$ мм, внешний радиус внутреннего диэлектрика $r_2=2$ мм, внешний радиус второго диэлектрика $r_3=2,72$ мм, длина конденсатора $l=5$ см. Первый диэлектрик – пропитанная конденсаторная бумага ($\epsilon_1=3,7$; $E_{\text{проб}}=2,5 \cdot 10^8$ В/м); второй – керамика ($\epsilon_2=20$; $E_{2\text{пор}}=8 \cdot 10^6$ В/м).

Построить график распределения напряженности по слоям изоляции $E = f(r)$.

Задача 2. Условие смотрите в задании для варианта 11 в таблице 1.

Вариант 12

Ответьте на вопросы:

1. Как протекает процесс распространения волн перенапряжения в обмотках электрических машин? Что относится к волновым характеристикам электрической машины?
2. Объясните роль барьера при разряде в промежутках стержень-плоскость при положительной и отрицательной полярности стержня.

Решите задачи:

Задача 1. Определить защитный уровень и удельное число отключений линии электропередачи напряжением 110 кВ на деревянных опорах без троса, если коэффициент связи между проводами 0,25; расстояние между проводами 4 м, волновое сопротивление провода 430 Ом, а гирлянды собраны из изоляторов 6*П-4,5 ($h_{из}=170$ мм).

Задача 2. Условие смотрите в задании для варианта 12 в таблице 1.

Вариант 13

Ответьте на вопросы:

1. Как возникают перенапряжения при отключении холостых трансформаторов? Чем можно ограничить указанные перенапряжения?
2. Укажите опасные места в изоляции трансформатора с заземленной и изолированной нейтралью, если падает на него волна с прямоугольным фронтом и бесконечной длины.

Решите задачи:

Задача 1. Рассчитать радиус по изоляции однофазного кабеля и радиус первого слоя изоляции кабеля, если последняя состоит из двух слоев. Для первого слоя $\epsilon_1=4,3$; $E_{пр1}=12,5$ кВ/мм; для второго слоя $\epsilon_2=3,5$; $E_{пр2}=11,8$ кВ/мм. Радиус жилы $r_0=12,2$ мм.

Напряжение линии 220 кВ. Построить график изменения напряженности по изоляции кабеля $E = f(r)$.

Задача 2. Условие смотрите в задании для варианта 13 в таблице 1.

Вариант 14

Ответьте на вопросы:

1. Опишите основные черты формирования разряда в газе в случае однородного поля. Чем отличается развитие разряда в сильно неоднородном поле от развития разряда в однородном поле?

2. Что понимается под координацией изоляции, и каким путем она достигается?

Решите задачи:

Задача 1. Металлическая опора с тросом поражается молнией. Ток молнии 120 кА. Определить максимальное напряжение на опоре с учетом растекания тока по тросу в смежных промежутках длиной 100 м. Сравнить это напряжение с напряжением на опоре при отсутствии тросов, если сопротивление заземления опоры в импульсном режиме 10 Ом, индуктивность опоры 10 мкГн, удельная индуктивность тросов 0,67 мкГн/м.

Задача 2. Условие смотрите в задании для варианта 14 в таблице 1.

Вариант 15

Ответьте на вопросы:

1. Каково практическое значение вольт-секундных характеристик изоляции? Опишите построение вольт-секундной характеристики.

2. Каковы особенности разряда при воздействии импульсного напряжения? Каким образом оценивается импульсная прочность изоляции?

Решите задачи:

Задача 1. Многослойный цилиндрический конденсатор имеет радиус токоведущего стержня $r_0=1,0$ см, внешний радиус первого слоя изоляции

(воздух) $r_1=4,5$, $\varepsilon_1=1,0$, $E_{пр1}=21$ кВ/см; внешний радиус второго слоя (фарфор) $r_2=7,0$ см, $\varepsilon_2=5,5$, $E_{пр2}=100$ кВ/см. К изолятору приложено напряжение 35 кВ.

Требуется:

1. Определить максимальную и минимальную напряженность в слоях изоляции.
2. Построить график распределения напряженности по слоям изоляции $E = f(r)$.
3. Определить пробивное напряжение изолятора, если предельная напряженность электрического поля в слоях $E_{пр1}$ и $E_{пр2}$.
4. Определить напряжение, приложенное к изолятору, при котором на внешней поверхности изолятора появляются скользящие разряды.

Задача 2. Условие смотрите в задании для варианта 15 в таблице 1.

Вариант 16

Ответьте на вопросы:

1. Опишите основные виды ионизационных процессов в газовом разрядном промежутке. Что такое энергия ионизации и работа выхода? Объясните физический смысл коэффициентов ионизации.
2. Дать характеристику изоляторам высокого напряжения.

Решите задачи:

Задача 1. В результате удара молнии в провод волна перенапряжения с амплитудой 280 кВ, распространяясь по воздушной линии с волновым сопротивлением 450 Ом, набегаёт на кабель с волновым сопротивлением 35 Ом. Определить амплитуду преломленной и отраженной волны. Как изменится проходящая и отраженная волна, если в точке сопряжения линий включить реактор с индуктивностью 3,5 мГн?

Задача 2. Условие смотрите в задании для варианта 16 в таблице 1.

Вариант 17

Ответьте на вопросы:

1. Опишите особенности распространения электромагнитных волн вдоль проводов линий электропередачи. Что такое коэффициенты преломления и отражения, и каково их практическое значение?
2. Пояснить роль барьеров, покрытий, применяемых в маслбарьерной изоляции.

Решите задачи:

Задача 1. Проходной многослойный цилиндрический изолятор имеет радиус токоведущего стержня $r_0=1,4$ см; внешний радиус первого слоя изоляции – бумаги $r_1=4,0$ см, диэлектрическая проницаемость $\varepsilon_1=3,8$; внешний радиус второго слоя изоляции – фарфора $r_2=6,0$ см, диэлектрическая проницаемость $\varepsilon_2=5,5$. К изолятору приложено напряжение

$$U = \frac{110}{\sqrt{3}}, \text{ кВ.}$$

Определить максимальную и минимальную напряженность в слоях изоляции, пробивное напряжение изолятора, если электрическая прочность при длительном приложении напряжения для первого слоя изоляции $E_{\text{пр1}}=15$ кВ/мм, для второго слоя – $E_{\text{пр2}}=10$ кВ/мм. Построить график распределения напряженности по слоям изоляции $E = f(r)$.

Задача 2. Условие смотрите в задании для варианта 17 в таблице 1.

Вариант 18

Ответьте на вопросы:

1. Опишите конструкцию статорной обмотки генераторов 10,5- 13,8 кВ. Какие изолирующие материалы применяются? Как устраняется коронирование обмоток в высоковольтных машинах?
2. Пояснить основные характеристики и свойства, применения бумажно-масляной изоляции.

Решите задачи:

Задача 1. На подстанцию 110 кВ по воздушной линии с волновым сопротивлением 350 Ом набегают волны перенапряжений с косоугольным фронтом длиной 1,5 мксек, с амплитудой напряжения 500 кВ. Определить, с какой амплитудой будут распространяться волны перенапряжения по двум отходящим воздушным линиям, если одна из них имеет волновое сопротивление 468 Ом, а другая – 400 Ом.

Задача 2. Условие смотрите в задании для варианта 18 в таблице 1.

Вариант 19

Ответьте на вопросы:

1. Опишите процесс перенапряжения в системах с изолированной нейтралью при дуговых замыканиях одной фазы на землю. Укажите причины, ограничивающие величину перенапряжений повторного замыкания на землю.

2. Дать характеристику, применение изоляции кабелей высокого напряжения.

Решите задачи:

Задача 1. Однофазный маслонаполненный кабель на линейное напряжение 500 кВ имеет диаметр токоведущей жилы 30 мм. Изоляция выполнена градированной из двух слоев: первый слой выполнен из пропитанной кабельной бумаги плотностью $\gamma_1=1,2$ г/см³, диэлектрическая проницаемость которой $\epsilon_1=4,5$, а электрическая прочность $E_{пр1}=35$ кВ/мм, внешний радиус первого слоя $r_1=25$ мм; второй слой выполнен из пропитанной кабельной бумаги $\gamma_2=0,85$ г/см³, $\epsilon_2=3,6$, $E_{пр2}=30$ кВ/см, внешний радиус второго слоя $r_2=45$ мм.

Определить максимальную и минимальную напряженность в слоях изоляции, запас электрической прочности. Построить график распределения напряженности по слоям изоляции $E = f(r)$.

Задача 2. Условие смотрите в задании для варианта 19 в таблице 1.

Вариант 20

Ответьте на вопросы:

1. Опишите методы профилактических испытаний изоляции кабелей напряжением 6-10 кВ. Как оценивается состояние изоляции? Почему изоляцию кабелей испытывают повышенным постоянным напряжением, а не переменным?

2. Дать характеристику, применение изоляции электрических машин.

Решите задачи:

Задача 1. Прямоугольная волна с напряжением 1200 кВ падает с линии, имеющей волновое сопротивление 450 Ом, на обмотку генератора с волновым сопротивлением 800 Ом.

а) определить величину индуктивности, включенной перед генератором, достаточную для снижения крутизны волны до уровня, создающего перепад напряжения между витками обмотки 800 В. Длина витка 3,5 м, скорость распространения волны в обмотке 60 м/мксек;

б) найти величину емкости конденсатора, включаемого параллельно выводам генератора для тех же целей.

Задача 2. Условие смотрите в задании для варианта 20 в таблице 1.

6 Оценка результатов учебной деятельности при выполнении домашней контрольной работы

По результатам выполненной домашней контрольной работы выставляется отметка «зачтено». Отметка «не зачтено» выставляется, если в контрольной работе не раскрыты теоретические вопросы, задания, или ответы на них полностью переписаны из учебной литературы, без адаптации к конкретному заданию, если имеются грубые ошибки в решении задач, выполнении графического задания.

Результат выполнения домашней контрольной работы	Оценка результатов учебной деятельности
Работа выполнена не в полном объеме или не соответствует заданию и т.д. Допущены существенные ошибки, такие как не раскрыты теоретические вопросы: основные понятия, формулировки, не выполнена графическая часть или выполнена не карандашом (при выполнении графической части ксерокопия <u>не принимается</u>); если имеются грубые ошибки в решении задач (неверно или неполно произведен расчет, имеются ошибки в расчетных зависимостях).	Не зачтено
Работа выполнена в полном объеме и соответствует заданию и т.д. Допущены несущественные ошибки, не искажающие сути вопроса, такие как нарушена логическая последовательность изложения ответа и (или) если ответы даны на все вопросы задания и в каждом ответе изложено не менее 75% материала от необходимого по данному вопросу.	Зачтено

7 Литература

Основная:

1. Бочаров, Ю. Н. Техника высоких напряжений: учебное пособие для среднего профессионального образования / Ю. Н. Бочаров, С. М. Дудкин, В. В. Титков. – Москва: Издательство Юрайт, 2019.

2. Васильев, Т. С. Сравнение кабелей высокого напряжения с ПВХ и СШЭ изоляцией / Т. С. Васильев; науч. рук. Е. А. Дерюгина // Актуальные проблемы энергетики: материалы 74-й научно-технической конференции студентов и аспирантов / Белорусский национальный технический университет, Энергетический факультет; ред. Т. Е. Жуковская. – Минск: БНТУ, 2018.

3. Лисина, Л. Ф. Техника высоких напряжений: учебное пособие для бакалавров по направлению «Электроэнергетика и электротехника». – Ангарск: АГТА, 2014.

4. Чернявская, А. Г. Типовые решения ОРУ высокого напряжения на базе компактного модуля КМ-ОРУ-110 / А. Г. Чернявская; науч. рук. Я. В. Потачиц // Актуальные проблемы энергетики: материалы 73-й научно-технической конференции студентов и аспирантов / Белорусский национальный технический университет, Энергетический факультет, Секция «Электрические станции». – Минск: БНТУ, 2017.

5. Чернявская, А. Г. Типовые решения ОРУ высокого напряжения на базе компактного элегазового оборудования / А. Г. Чернявская; науч. рук. Я. В. Потачиц // Актуальные проблемы энергетики: материалы 73-й научно-технической конференции студентов и аспирантов / Белорусский национальный технический университет, Энергетический факультет, Секция «Электрические станции». – Минск: БНТУ, 2017.

Дополнительная:

1. Баптиданов Л. Н. и Тарасов В. И. «Электрооборудование станций и подстанций», том II, Госэнергоиздат, 1959.
2. Ларионов В. П., Базуткин В. В., Сергеев Ю. Г. Техника высоких напряжений – Энергоиздат, 1982.
3. Степанчук К. Ф., Тиняков Н. А. Техника высоких напряжений – Высшая школа, 1982.
4. Кужекин И. П. Испытательные установки и измерения на высоком напряжении. Энергия, 1980.
5. Сви П. М. Контроль изоляции оборудования высокого напряжения. Энергия, 1980.
6. Славнин М. И. Электрооборудование станций и трансформаторных подстанций – Госэнергоиздат, 1963.

Стандарты:

1. ГОСТ 1516.1-76. Требования к электрической прочности изоляции.
2. ГОСТ 1516.2-76. Общие методы испытаний электрической прочности изоляции.
3. ГОСТ 17512-72. Методы измерения высокого напряжения.
4. ГОСТ 10300-71. Методы испытания электрической прочности внешней изоляции в условиях загрязнения.
5. ГОСТ 20690-75. Требования к электрической прочности изоляции на напряжение 750кВ.
6. ГОСТ 20074-74. Методы измерения характеристик частичных разрядов.
7. ГОСТ 21023-75. Методы измерения характеристик частичных разрядов при испытаниях напряжением промышленной частоты.