

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Шебзухов Тимур Александрович

Должность: Директор Пятигорского института (филиал) Северо-Кавказского
федерального университета

Дата подписания: 12.09.2023 17:31:55

Уникальный программный ключ:

d74ce93cd40e39275c3ba2f58486412a1c8ef96f

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Пятигорский институт (филиал) СКФУ

Методические указания

по выполнению контрольной работы

по дисциплине «Техника высоких напряжений»

для студентов направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Передача и распределение электрической энергии в системах электроснабжения

(ЭЛЕКТРОННЫЙ ДОКУМЕНТ)

Содержание

№ п/п		Стр.
	Введение	3
1.	Цель, задачи и реализуемые компетенции	4
2.	Формулировка задания и ее объем	5
3.	Общие требования к написанию и оформлению работы	10
4.	Рекомендации по выполнению задания	12
5.	План-график выполнения задания	22
6.	Критерии оценивания работы	23
7.	Порядок защиты работы	25
	Список рекомендуемой литературы	26

Введение

Одним из основных видов занятий по курсу дисциплины «Техника высоких напряжений» является выполнение контрольной работы. Предлагаемые в методическом указании задания охватывают весь основной материал курса и соответствуют утвержденной программе.

При изучении курса студенты приобретают необходимые знания об основных методах расчета и физических процессах.

Цель, задачи и реализуемые компетенции

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

В результате освоения данной дисциплины обеспечивается достижение целей основной образовательной программы «Электроэнергетика и электротехника»; приобретенные знания, умения и навыки позволят подготовить выпускника:

- способного к расчету, анализу и проектированию электроэнергетических элементов, объектов и систем с использованием современных средств автоматизации проектных разработок;
- научно-исследовательской деятельности, в том числе в междисциплинарных областях, связанной с математическим моделированием процессов в электроэнергетических системах и объектах, проведением экспериментальных исследований и анализом их результатов;
- к самостоятельному обучению и освоению новых знаний и умений для реализации своей профессиональной карьеры. При выполнении контрольной работы реализуются следующие компетенции:

Код	Формулировка
	Способен участвовать в проектировании систем электроснабжения объектов
ПК-1	ИД-З _{ПК-1} Обосновывает выбор параметров электрооборудования систем электроснабжения объектов, учитывая технические ограничения

Формулировка задания и ее объем.

Задание №1 – Базовый уровень

Высоковольтная линия электропередач (ВЛ) с номинальным напряжением U и волновым сопротивлением $Z_{\text{пр}} = 300$ Ом расположена в зоне грозовой деятельности.

Импульсная прочность изоляции ВЛ равна $U_{\text{и}}$, высота металлической опоры и высота подвеса провода равна h , стрела провеса провода равна f , индуктивность единицы длины опоры $L_0 = 0,5 \cdot 10^{-6}$ Гн/м, импульсное сопротивление заземления опоры $R_3 = 10$ Ом.

Требуется определить величину перенапряжения на ВЛ, кратность перенапряжения и вероятность перекрытия изоляции во время разряда молнии с амплитудой I_m и длительностью нарастания (фронта) косоугольной волны тока равной $\tau_{\text{ф}} = 10^{-6}$ с:

- при ударе молнии в опору;
- при ударе молнии в провод;
- при ударе молнии на расстоянии « a » от ВЛ.

Значения всех переменных параметров для соответствующих вариантов приведены в табл. 1.1 и 1.2.

Таблица 1.1 – Исходные данные к расчету задачи №1

Показатели	Вариант (предпоследняя цифра шифра)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Напряжение линии, U , кВ	10	35	110	35	10	110	10	35	110	10
Импульсная прочность изоляции линии $U_{\text{и}}$, кВ	120	3501	650	350	120	650	120	350	650	120
Высота подвеса провода h , м	10	12	16	14	11	18	10	15	18	11
Стрела провеса провода f , м	1,5	2	3	2,5	2	4	1,8	3,5	4,5	1,8

Амплитуда тока молнии I_m , кА	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Расстояние от места удара молнии до ВЛ «а», м	5	7,5	10	12	13	14	15	18	19	20

Задание №2 – Базовый уровень

Для защиты объекта с шириной «а», длиной «в» и высотой «h» от прямых ударов молнии с амплитудой I_m и временем нарастания фронта $\tau_f=10-6$ с установлен одиночный молниеотвод. Глубина нижнего конца фундамента молниеотвода от поверхности земли $h_f=3,2$ м, ширина фундамента $a_f=0,8$ м, удельное сопротивление земли ρ , Ом·м. Схема расположения молниеотвода и защищаемого объекта приведена на рис. 2.1.

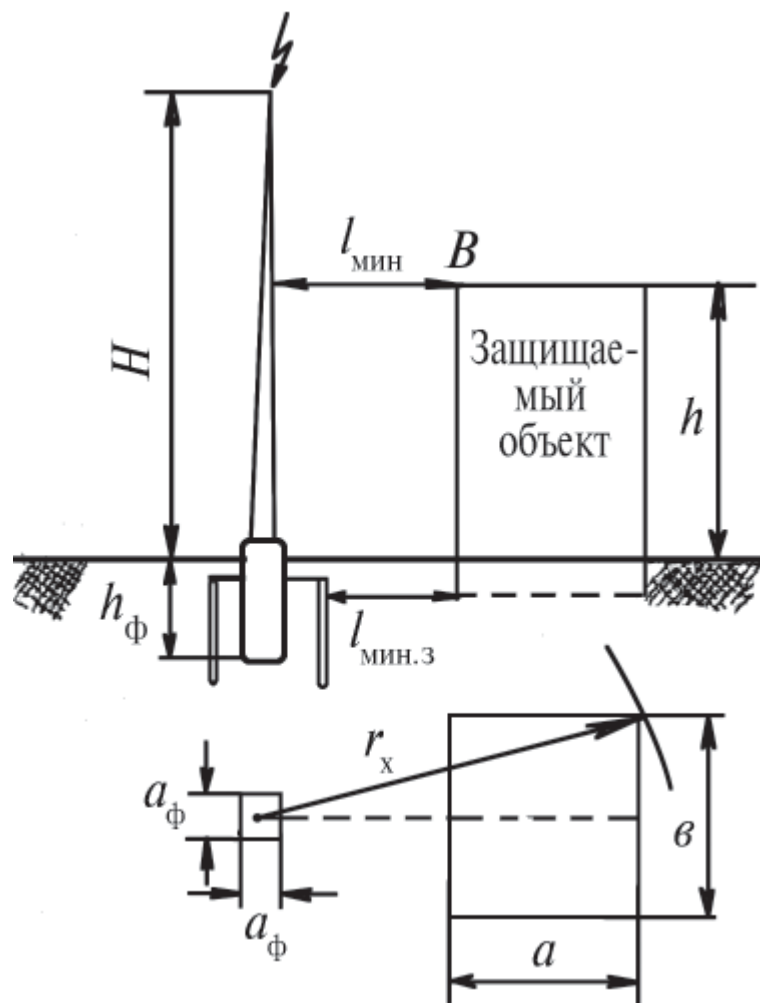


Рисунок 2 – Схема расположения молниеотвода и защищаемого объекта

1. Рассчитать устройство заземления молниеотвода, состоящее из естественного заземлителя (фундамента молниеотвода) и искусственного заземлителя из условий, что допустимое импульсное сопротивление устройства заземления R_z не должно превышать 10 Ом. Начертить эскиз контура заземления совместно с защищаемым объектом.

2. Рассчитать минимально допустимые расстояния от молниеотвода до защищаемого объекта, радиус зоны защиты r_x на высоте объекта h и высоту молниеотвода H . На эскизе показать сечение зоны защиты стержневого молниеотвода. Значения соответствующих переменных параметров для различных вариантов задания приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Исходные данные для расчета задачи №2

Показатели	Вариант (предпоследняя цифра шифра)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Амплитуда тока молнии $I_m, кА$	5,0	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Удельное сопротивление грунта $\rho, Ом \cdot м$	100	200	500	200	100	200	500	200	100	500
Ширина объекта $a, м$	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,2	4,4	4,6	4,8
Длина объекта $b, м$	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0
Высота объекта $h, м$	12	11	10	9,5	9,0	10,5	12,5	11,5	8,5	8,0

Задание №3 – Повышенный уровень

Определить число изоляторов в поддерживающей гирлянде промежуточной опоры по удельной нормированной длине пути утечки. ЛЭП проходит на высоте менее 1000 м над уровнем моря, остальные необходимые данные и варианты заданий приведены в табл.3

Таблица 3 – Исходные данные для расчета задачи №3

Показатели	Вариант (предпоследняя цифра шифра)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Номинальное напряжение линии, кВ	110	220	330	500	750	110	220	330	500	750
Тип опоры	ж/б	ж/б	ж/б	мет	мет	ж/б	ж/б	ж/б	мет	мет
Степень загрязнения атмосферы	1	2	3	4	4	4	3	2	1	2
Тип изолятора	ПС70Е	ПС120Б	ПС160Д	ПС210В	ПС300В	ПС70Е	ПС70Е	ПС120Б	ПС160Д	ПС160Д
Диаметр тарелки D, мм	255	255	280	300	320	255	255	255	280	280
Строительная высота H, мм	127	146	170	195	195	146	146	146	170	170
Длина пути утечки $L_{и}$, мм	303	320	370	370	390	303	320	370	370	390

Задание №4 – Повышенный уровень

Внутренняя изоляция высоковольтного оборудования состоит из двух слоев, имеющих в установившемся режиме соответственно сопротивление утечки R_1 , R_2 и емкости слоев C_1 и C_2 .

Требуется по характеру изменения тока абсорбции и значению сопротивления изоляции в исходном состоянии изоляции и при уменьшении

сопротивления первого слоя в 100 раз ($0,01R_1$) дать заключение о качестве изоляции и определить допустимость степени увлажнения.

Тангенс угла диэлектрических потерь при температуре $T_0 = 20^{\circ}\text{C}$ равен — $\text{tg}\delta_0$; коэффициент, характеризующий температурную зависимость тангенса угла диэлектрических потерь от температуры, равен — α .

Требуется рассчитать и построить графики зависимости тангенса диэлектрических потерь и мощности потерь в диэлектрике при изменении температуры от 20°C до 100°C и приложении переменного напряжения $U = 10$ кВ с частотой 50 Гц. Значения всех переменных параметров для соответствующих вариантов приведены в табл. 4.

Таблица 4 – Исходные данные для расчета задачи №4

Показатели	Вариант (предпоследняя цифра шифра)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$R_1, 10^6, \text{Ом}$	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190
$C_1, 10^{-6}, \text{Ф}$	3,6	3,4	3,2	3,0	2,8	2,6	2,4	2,2	2,0	1,8
$R_2, 10^6, \text{Ом}$	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9
$C_2, 10^{-6}, \text{Ф}$	36	34	30	32	28	26	24	22	20	18
$\text{tg}\delta_0, 10^{-3}$	4,0	3,8	3,6	3,4	3,2	3,0	2,8	2,6	2,4	2,2
$\alpha, 10^{-3}, ^{\circ}\text{C}^{-1}$	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20

Общие требования к написанию и оформлению работы.

Основные требования к работе

При выполнении и оформлении контрольной по ГОСТу надо учитывать общие требования, которые предъявляются к работе:

- студент должен придерживаться заданной тематики;
- запрещено менять тему самостоятельно без обращения к преподавателю;
- при оформлении работы нужно учитывать нормы и ГОСТы;
- контрольная выполняется на основании не менее семи источников, выбранных автором;
- работа должна быть авторской, в ней должны содержаться собственные выводы студента;
- текст контрольной должен иметь объем не менее 7 листов.

Оформление по ГОСТу текста контрольной

Когда работа выполнена, ее необходимо привести в соответствующий вид согласно ГОСТам:

- контрольную набирают в Word или другом текстовом редакторе с аналогичным функционалом;
- при наборе нужно использовать шрифт Times New Roman;
- интервал между строк — полуторный;
- размер шрифта — 14;
- текст выравнивается по ширине;
- в тексте делают красные строки с отступом в 12,5 мм;
- нижнее и верхнее поля страницы должны иметь отступ в 20 мм;
- слева отступ составляет 30 мм, справа — 15 мм;
- контрольная всегда нумеруется с первого листа, но на титульном листе номер не ставят;

- номер страницы в работе всегда выставляется в верхнем правом углу;
- заголовки работы оформляются жирным шрифтом;
- в конце заголовков точка не предусмотрена;
- заголовки набираются прописными буквами;
- все пункты и разделы в работе должны быть пронумерованы арабскими цифрами;
- названия разделов размещаются посередине строки, подразделы – с левого края;
- работа распечатывается в принтере на листах А4;
- текст должен располагаться только на одной стороне листа.

Работа имеет такую структуру:

1. Титульный лист;
2. Оглавление и введение;
3. Основной текст и расчет контрольной;
4. Заключительная часть работы;
5. Перечень использованной литературы и источников;
6. Дополнения и приложения.

Если в работе есть приложения, о них надо упоминать в оглавлении.

Ссылки нумеруются арабскими цифрами, при этом учитывают структуру работы (разделы и подразделы).

Рекомендации по выполнению задания.

Указание к решению задачи №1

Молния представляет собой электрический разряд между облаком и землей или между облаками.

На начальной стадии, называемой лидерной, канал разряда молнии развивается ступенчато. Ступени следуют друг за другом с интервалом $30 \div 50$ мкс. Во время каждой ступени канал удлиняется на $5 \div 100$ м. Канал лидера окружен обширной зоной ионизации. Зона ионизации лидера имеет избыточный заряд того же знака, что и облако. Заряды облака и лидера индуцируют на поверхности земли и на расположенных на ней объектах заряды другого знака.

Когда канал лидера соединяется с землей или объектом, расположенным на земле, начинается главная стадия разряда. Во время этой стадии происходит нейтрализация зарядов, образовавшихся во время развития лидера. Процесс распространяется в направлении от земли к облаку со скоростью достигающей половины скорости распространения света и сопровождается сильным свечением канала молнии. Канал разряда, разогретый за очень короткое время до температуры $(20 \div 30)10^3$ °K, быстро расширяется, что вызывает распространение в окружающем воздухе ударной волны, вырождающейся в звуковую и воспринимаемой как гром.

Ток в канале молнии за несколько микросекунд достигает амплитуды $2 \div 250$ кА, а затем за время $25 \div 150$ мкс спадает до половины максимального значения.

Более подробные сведения о механизме развития молнии и молниезащиты можно найти в рекомендованной литературе [1; 2; 3; 4].

При расчетах перенапряжений и молниезащиты принимается во внимание, что волновое сопротивление канала молнии составляет более 1000 Ом и влияние сопротивлений заземлений с $R_z \leq 50$ Ом на амплитуду молнии можно не учитывать, т.е. рассматривать молнию как источник тока.

С точки зрения воздействия на изоляцию ВЛ кроме амплитуды тока молнии I_m важное значение имеет крутизна фронта тока молнии, поскольку она определяет индуктивное падение напряжения в проводниках и индуцированные напряжения в магнитно-связанных цепях.

При расчетах перенапряжений для удобства используют среднюю крутизну:

$$\alpha_{\text{ср}} = \frac{I_m}{\tau_{\phi}}$$

где τ_{ϕ} — длительность нарастания (фронта) тока главного разряда молнии.

Величина перенапряжения на вершине опоры при прямом ударе молнии в опору равна сумме падений напряжения на импульсном сопротивлении заземления и индуктивности опоры:

$$U_{\text{оп}} = R_3 I_m + L_0 h \alpha_{\text{ср}}$$

где R_3 — импульсное сопротивление опоры;

I_m — амплитуда тока молнии;

L_0 — удельная индуктивность опоры;

h — высота опоры.

Под таким же напряжением окажется и изоляция проводов линии электропередачи.

При ударе молнии в провод линии электропередач ток молнии растекается по пораженному проводу в обе стороны, поэтому амплитуда волны перенапряжения на проводах определяется по формуле:

$$U_{\text{пр}} = \frac{I_m * Z_{\text{пр}}}{2}$$

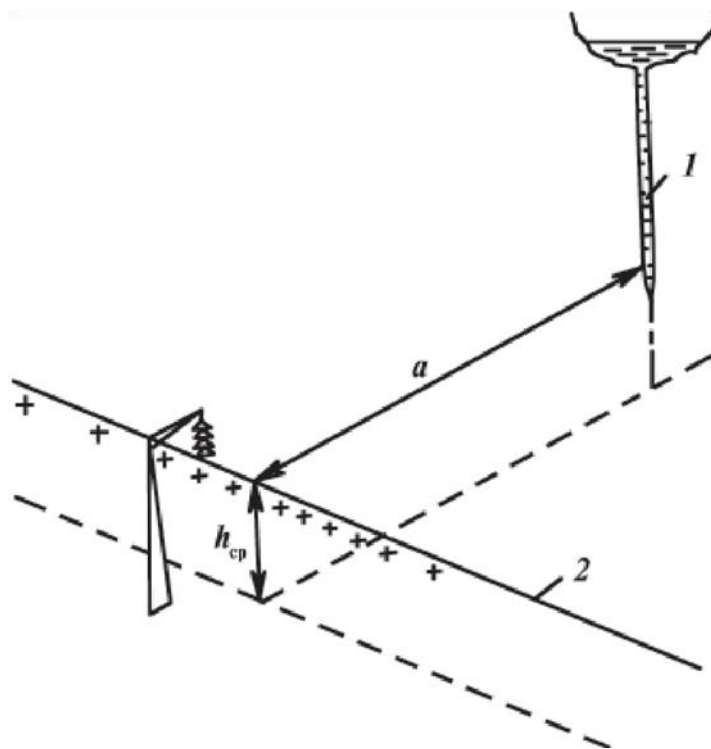


Рисунок 1 – Схема расположения ВЛЭП

Рассмотрим в упрощенной форме, как возникает электрическая составляющая индуктированного перенапряжения (рис. 1). При развитии лидерного канала молнии 1 вблизи ВЛ заряды канала молнии связывают (наводят) на проводах 2 заряды противоположного знака (явление электрической индукции). Во время главного разряда, т.е. когда молния достигает земли, заряды лидера молнии нейтрализуются, при рис. 1 К объявлению образования этом связанные на проводе индуктированных перенапряжений:

Заряды освобождаются, что 1 — упрощенный вид канала лидера молнии; 2 — условный вид проводов

Сопровождается повыше- линии электропередач; (–) — заряды в нем потенциала провода канале лидера отрицательной полярности; и образованием импульса (+) — наведенные заряды положительной полярности на проводах напряжения, распространяющегося по проводу в обе стороны.

Максимальные значения $U_{из}$ прямо пропорционально амплитуде тока и средней высоте подвеса провода ($h_{ср}$) и обратно пропорционально кратчайшему расстоянию « a » от провода до точки удара молнии.

$$U_{из} = \frac{k_{э} * I_{м} * h_{ср}}{a}$$

где $k_{э}$ — коэффициент пропорциональности, имеющий размерность сопротивления и уменьшающийся при возрастании скорости главного разряда молнии.

Средняя высота подвеса провода на опорах ВЛ определяется по формуле:

$$h_{ср} = \frac{h - 2f}{3},$$

где h — высота подвеса провода на опорах ВЛ;

f — стрела провеса провода.

Изменение магнитного поля при главном разряде приводит к возникновению магнитной составляющей индуктированного напряжения в петле «опора-гирлянда изоляторов — провод-земля».

Максимальное значение $U_{им}$ также прямо пропорционально амплитуде тока и средней высоте подвеса провода, и обратно пропорционально кратчайшему расстоянию « a » от провода до точки удара молнии, но имеет свой коэффициент пропорциональности $k_{м}$.

$$U_{им} = \frac{k_{м} * I_{м} * h_{ср}}{a},$$

где $k_{м}$ — коэффициент пропорциональности, имеющий размерность сопротивления и увеличивающийся при возрастании скорости главного разряда молнии.

Максимальное значение индуктированного напряжения равно:

$$U_{инд} = U_{из} + U_{им} = \frac{30h_{ср}I_{м}}{a},$$

Значения перенапряжений, полученных по формулам (1.2), (1.3), (1.7) оценочные, поскольку не учитывают многие факторы, влияющие на

величину перенапряжения. Например, не учитывается, что индуктированные перенапряжения возникают также и при ударах молнии в провода (тросы) и опоры и, накладываясь на перенапряжения прямого удара, увеличивают разность потенциалов на изоляции, что второе слагаемое в формуле (1.2) имеет существенное значение только в пределах фронта тока молнии.

Учет этих и других факторов значительно усложнил бы расчет перенапряжений.

Кратность перенапряжения изоляции линии определяется как отношение величины перенапряжения к амплитудному значению фазного напряжения линии:

$$\frac{U_n}{U_\phi} = \frac{U_n \sqrt{3}}{U \sqrt{2}}$$

где U_n - максимальное значение перенапряжения в зависимости от места удара молнии;

U - действующее (эффективное) значение номинального (междуфазного) напряжения ВЛ.

Для оценки вероятности перекрытия изоляции необходимо сравнивать рассчитанные значения перенапряжения ($U_{оп}$), ($U_{пр}$), ($U_{инд}$) с заданной импульсной прочностью изоляции (U_n). Перекрытие изоляции произойдет если:

$$U_{оп} = R_3 I_m + L_0 h \alpha_{ср} \geq U_n,$$

$$U_{пр} = \frac{I_m * Z_{пр}}{2} \geq U_n,$$

$$U_{инд} = \frac{30 h_{ср} I_m}{a} \geq U_n.$$

Как видим, перекрытие изоляции определяется амплитудой тока молнии и местом удара молнии.

Минимальная амплитуда молнии I_3 , при которой происходит перекрытие изоляции, при ударе молнии:

- В опору - $P_{пер.оп} = P(I_3) = \exp\left(-0.04 \frac{U_n}{R_3}\right)$

- В провод - $P_{\text{пер.пр}} = P(I_3) = \exp\left(-0.04 \frac{U_{\text{и}}}{\left(\frac{Z_{\text{пр}}}{2}\right)}\right)$
- На расстоянии «а» - $P_{\text{пер.инд}} = P(I_3) = \exp\left(-0.04 \frac{a \cdot U_{\text{и}}}{30h_{\text{ср}}}\right)$

Указание к решению задачи №2

Защита от прямых ударов молнии осуществляется с помощью молниеотводов.

Молниеотвод представляет собой возвышающееся над защищаемым объектом устройство, через которое ток молнии, минуя защищаемый объект, отводится в землю. Молниеотвод состоит из молниеприемника, непосредственно воспринимающего на себя удар молнии, токоотвода и заземлителя.

Молниеотводы по типу молниеприемника разделяются на стержневые и тросовые. Стержневые молниеотводы выполняются в виде вертикально установленных стержней (мачт), соединенных с заземлителем.

Токоотводом служат металлические или железобетонные опоры или стальные провода сечением не менее 50 мм^2 , активное сопротивление которых составляет доли ома, а индуктивность зависит прежде всего от его длины. Удельная индуктивность токоотводов L_o зависит от конструкции молниеотвода и изменяется в диапазоне $(0,4 \div 1,7)10^{-6} \text{ Гн/м}$.

Заземлители делятся на естественные и искусственные. В качестве естественных заземлителей стержневых молниеотводов используются их железобетонные фундаменты. Для искусственных заземлителей используются вертикальные и горизонтальные электроды (заземлители). Для горизонтальных заземлителей используется стальная или медная полоса с площадью поперечного сечения более 100 мм^2 для стали и 50 мм^2 для меди или многопроволочный медный канат с поперечным сечением не менее 35 мм^2 . В качестве вертикальных заземлителей применяются стальные трубы, стержни и профильная сталь.

Заземлитель характеризуется значением сопротивления, которое окружающая земля оказывает стекающему с него току. Сопротивление заземлителя зависит от его геометрических размеров и удельного сопротивления грунта ρ , в котором он находится.

Для приближенного расчета сопротивления заземления одиночного стержневого молниеотвода или линейной опоры используются следующие формулы:

- Сопротивление железобетонного фундамента

$$R_{\phi} = 1.7 * \left(\frac{\rho}{2\pi t} \right) \ln \left(\frac{4t}{b} \right), \text{ где } t = h_{\phi}$$

- Сопротивление горизонтальной полосы

$$R_{\text{пи}} = \frac{\left[\left(\frac{\rho}{\pi l} \right) \ln \left(\frac{1.5l}{\sqrt{bt}} \right) \right] \delta_{\text{и}}}{\eta_{\text{и}} * n}$$

- Сопротивление вертикальной трубы или стержня

Указание к решению задачи №3

Решить согласно ПУЭ

Указание к решению задачи №4

В процессе эксплуатации высоковольтного оборудования из-за перегрева, увлажнения, механических повреждений и пере напряжений происходит общее старение изоляции. В изоляции возникают распределенные и местные (сосредоточенные) дефекты. Постепенно развиваясь, эти дефекты способны настолько снизить пробивное или разрядное напряжение, что изоляция может не выдержать перенапряжений, время от времени появляющихся в электрических системах, или даже рабочего напряжения.

В большинстве случаев эти дефекты не могут быть обнаружены путем простого осмотра изоляции и для их выявления необходимы специальные методы испытаний, которые называются профилактическими.

Группа профилактических методов контроля изоляции, при которых используются по сравнению с рабочими малые напряжения и различные косвенные способы оценки характеристик изоляции называется неразрушающие испытания. Другую группу испытаний с использованием напряжения, повышенного по сравнению с рабочим и вызывающего ускоренное разрушение изоляции в дефектном месте, называют разрушающими испытаниями.

Для каждого вида изоляции характерны определенные виды дефектов и применяются различные методы профилактических испытаний. Периодичность и нормы испытаний устанавливаются стандартами и ведомственными инструкциями для каждого вида электрооборудования.

Согласно существующим представлениям основной причиной старения внутренней изоляции при воздействии сильны электрических полей являются так называемые частичные разряды (ЧР). ЧР возникают в газовых включениях или прослойках жидкого диэлектрика. Скорость разрушения изоляции зависит от интенсивности ЧР. Регистрация интенсивности ЧР во время эксплуатации высоковольтного оборудования и в лабораторных условиях проводится с помощью электрических, оптических и ультразвуковых методов.

Проникновение в изоляцию из окружающей среды влаги, различных примесей и кислорода значительно ускоряют процессы старения изоляции.

При неразрушающих методах испытаний для оценки качества изоляции используются измерения характера изменения характеристик диэлектриков во времени, от частоты испытательного напряжения и от температуры.

В качестве внутренней изоляции высоковольтного оборудования очень часто применяются комбинации диэлектриков, сочетание которых позволяет получить наиболее благоприятные свойства изоляционной конструкции. В частности, очень большое распространение получила слоистая изоляция, в

состав которой входят пропитанные маслами волокнистые материалы типа бумаги (кабели, конденсаторы, трансформаторы и др.).

Ухудшение качества слоистой изоляции в большинстве случаев происходит путем более или менее однородного изменения свойств одного из слоев, тогда как характеристика других слоев остаются практически неизменными. Это приводит к изменению неоднородности изоляции. По характеру этого изменения можно судить о состоянии изоляции.

В простейшем случае неоднородная изоляция состоит из двух слоев, каждый из которых характеризуется своей удельной проводимостью слоев γ и диэлектрической проницаемостью ε . Модель двухслойного диэлектрика представлена на рис. 2.

Для анализа процессов в модели двухслойной изоляции можно использовать схемы замещения, показанные на рис. 2. В схеме на рис. 3, а сопротивление утечки первого и второго слоев в установившемся режиме соответственно равны:

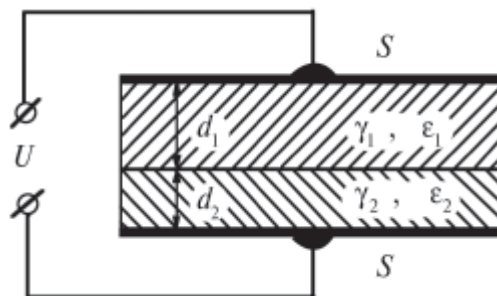


Рисунок 2 – Модель двухслойного диэлектрика

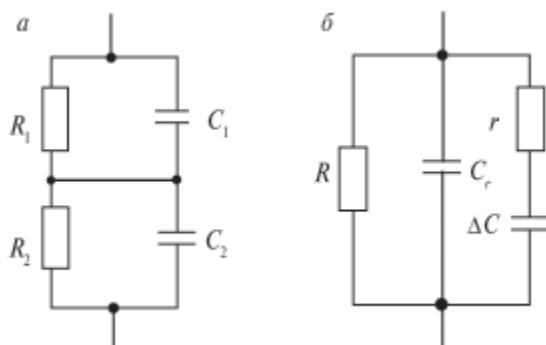


Рисунок 3 – Схема замещения двухслойного диэлектрика

При подключении диэлектрика к источнику с постоянным напряжением, кроме постоянного тока утечки из-за миграционной поляризации диэлектриков, в течение непродолжительного времени наблюдается так называемый ток абсорбции.

Со временем ток абсорбции спадает до нуля по экспоненциальному закону. В процессе старения изоляции, например увлажнении одного из слоев, ток абсорбции уменьшается. Это обстоятельство используется для контроля состояния изоляции.

План-график выполнения задания.

Работа над контрольной работой может быть представлена в виде выполнения следующих этапов:

№ п/п	Наименование этапа	Сроки выполнения
1.	Получение задания	На первом практическом занятии
2.	Первичная консультация с преподавателем	На первом практическом занятии
3.	Работа с информационными источниками	В течении семестра
4.	Написание контрольной работы	В течении семестра
5.	Предоставление контрольной работы на кафедру	В течении семестра
6.	Собеседование	На последнем практическом занятии

Критерии оценивания работы.

В целях повышения качества выполняемых контрольных работ преподаватель руководствуется следующими критериями оценивания письменных работ студентов.

Оценка «отлично» выставляется студенту, если

- своевременно выполнил работу; использовал актуальную основную и дополнительную литературу, нормативные акты;
- представил обоснование выбранной методики расчета; выбрал верную последовательность выполнения работы;
- произвел точные расчеты; предоставил обоснованные выводы по работе.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, если

- своевременно выполнил работу; использовал достаточно актуальную основную и дополнительную литературу, нормативные акты; представил верную методику расчета;
- выбрал верную последовательность выполнения работы; произвел точные расчеты; предоставил выводы по работе.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если

- выполнил работу не вовремя; использовал неактуальную основную и дополнительную литературу, нормативные акты;
- представил верную методику расчета;
- выбрал верную последовательность выполнения работы; произвел неточные расчеты;
- не предоставил обоснованные выводы по работе.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, если

- несвоевременно выполнил работу;
- использовал неактуальную основную и дополнительную литературу, нормативные акты;

- выбрал неверную последовательность выполнения работы;
- произвел неточные расчеты со значительными ошибками;
- не предоставил обоснованные выводы по работе.

Порядок защиты работы.

Написанная студентом контрольная работа сдается на кафедру. Студент защищает контрольную работу до экзамена (зачета) перед преподавателем.

Работа не допускается к защите, если она не носит самостоятельного характера, основные вопросы не раскрыты, изложены схематично, фрагментарно, в тексте и расчетах содержатся ошибки, работа не оформлена согласно общим требованиям.

В ходе защиты контрольной работы задача студента — показать углубленное понимание вопросов конкретной темы, хорошее владение материалом по теме.

Защита контрольной работы проходит в форме индивидуальной беседы студента с преподавателем по основным положениям работы.

Список рекомендуемой литературы

Перечень основной литературы

1. Бочаров Ю.Н. Техника высоких напряжений [Электронный ресурс] : учебное пособие / Ю.Н. Бочаров, С.М. Дудкин, В.В. Титков. — Электрон. текстовые данные. — СПб. : Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2013. — 265 с. — 978-5-7422-3998-7. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/43976.html>

Перечень дополнительной литературы

1. Щеглов, Н. В. Современные виды изоляции. Часть 2. Изоляция высоковольтных вводов [Электронный ресурс] : учебное пособие / Н. В. Щеглов. — Электрон. текстовые данные. — Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2010. — 72 с. — 978-5-7782-1317-3. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/45161.html>