

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО НАПИСАНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ № 2 ПО КУРСУ «ТЕХНИКА ВЫСОКИХ НАПРЯЖЕНИЙ»

Практическая часть курса «Техника высоких напряжений» заключается в выполнении двух контрольных работ, основные аспекты решения которых изложены в настоящих методических указаниях.

Для успешного выполнения контрольной работы необходимо изучить материалы дисциплины в соответствии с рабочей программой. По каждой задаче, предлагаемой в задании, даны краткие методические указания к решению. Более подробные сведения можно найти в литературе, список которой приведен в конце задания.

Исходные данные для расчетов выбираются по цифрам учебного шифра и приводятся в условиях на каждую задачу.

При оформлении контрольной работы необходимо соблюдать следующие требования:

1. Контрольная работа на проверку преподавателю отправляется в формате Word с титульным листом, образец оформления которого прилагается (Приложение 1).

2. Перед решением контрольной работы необходимо привести индивидуальные исходные данные, определенные по индивидуальному номеру студента (ИНС).

3. Графический материал выполняется на миллиметровой бумаге или в графических программах. Масштабы для графиков выбираются самостоятельно с соблюдением ГОСТ.

4. Порядок оформления каждой задачи должен соответствовать рекомендованному в задании на контрольную работу.

5. При выполнении расчетов следует привести расчетную формулу, сделать подстановку численных значений и записать результат, мотивируя все расчетные действия.

6. Следует давать расшифровку условных обозначений всех величин, входящих в формулы. Расшифровку каждого условного обозначения достаточно привести один раз при его первом появлении.

7. Все расчеты следует вести с точностью до трех значащих цифр, если она не оговаривается особо.

8. Не следует переписывать в качестве пояснений текст из методических указаний или литературных источников. Необходимые пояснения нужно формировать самостоятельно, по возможности кратко и ясно.

9. После проведения всех необходимых расчетных операций необходимо выписать все искомые величины в ответ и сделать вывод.

Контрольная работа, выполненная не по своему варианту или с нарушением представленных требований, проверке не подлежит.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 2

Задача 1. Защита высоковольтного оборудования подстанций от набегающих импульсов, грозовых перенапряжений с помощью вентильных разрядников

Условие задачи и исходные данные. Волна перенапряжения $U_{пад}$ приходит с линии с волновым сопротивлением Z_1 на высоковольтное оборудование подстанции с волновым сопротивлением Z_2 и минимальным разрядным напряжением $U_{мин}$. Аналитически волна грозового перенапряжения описывается уравнением:

$$U_{пад}(t) = U[\exp(-t/T_1) - \exp(-t/T_2)], \quad (1.1)$$

где T_1 , T_2 и U – параметры, приведенные в таблице 1.1.

Для защиты высоковольтного оборудования подстанции установлен вентильный разрядник с заданной вольт-амперной характеристикой. Числовые значения вольт-амперной характеристики разрядника, общие для всех вариантов, приведены в таблице 1.2.

Импульсное пробивное напряжение разрядника $U_{пр} = 100$ кВ.

Требуется:

1. Определить максимальное напряжение на защищаемом объекте $U_{макс}$.
2. Дать заключение об эффективности применения данного разрядника для защиты высоковольтного оборудования с минимальным разрядным напряжением $U_{мин}$.

Числовые значения переменных параметров для различных вариантов приведены в таблицах 1.1-1.3.

Таблица 1.1

Показатель	Вариант (предпоследняя цифра шифра)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Напряжение волны U , кВ	300	320	340	360	380	400	420	440	460	480
Постоянная времени T_1 , мкс	40	42	44	46	48	50	53	54	55	59
Постоянная времени T_2 , мкс	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95

Таблица 1.2

Ток разрядника I_p , кА	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	1,0	2,0	3,0	5,0	6,0
Напряжение разрядника U_p , кВ	44	51	53	56	59	62	67	73	80	92

Таблица 1.3

Показатели	Вариант (последняя цифра шифра)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Минимальное разрядное напряжение $U_{мин}$, кВ	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190

Сопrotивление Z_1 , Ом	300	310	320	330	340	350	360	370	380	390
Сопrotивление Z_2 , Ом	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600

Методические указания к выполнению задачи

Молниезащита подстанций включает в себя две отдельных задачи:

- защиту открытого распределительного устройства (ОРУ) от прямых ударов молнии;
- защиту электрооборудования от импульсов грозовых перенапряжений, набегающих с воздушных линий.

Защита электрооборудования ОРУ подстанций от прямых ударов молнии осуществляется с помощью стержневых молниеотводов.

По экономическим соображениям уровень изоляции подстанционного оборудования устанавливается ниже уровня изоляции линии. Поэтому импульсы перенапряжения, образующиеся при ударах молнии в линию и имеющие амплитуду, равную или меньшую импульсному разрядному напряжению линейной изоляции, будут приходить на подстанционное оборудование и представлять для них опасность.

При воздействии указанного грозового импульса напряжения в схеме подстанции возникает сложный волновой процесс. Даже в простейших схемах расчет напряжения на изоляции электрооборудования весьма громоздок, поэтому исследования молниезащиты подстанций проводятся на ЭВМ или физических моделях.

Практика проектирования и эксплуатации показала, что в инженерных расчетах защиты электрооборудования подстанции с применением защитных аппаратов допустимо применение приближенного подхода. За амплитуду набегающей (падающей) волны принимается амплитуда, равная 50 % импульсному разрядному напряжению линейной изоляции.

Для упрощения в данной задаче не учитывается изменение крутизны фронта падающей волны вследствие действия импульсной короны на проводах и принимается, что напряжение на защищаемом объекте равно напряжению на разряднике, то есть не учитывается повышение напряжения на защищаемом объекте из-за удаленного расположения разрядника.

Основными аппаратами защиты электрооборудования подстанций от набегающих импульсов служат вентильные разрядники (РВ) и ограничители перенапряжения нелинейные (ОПН).

Вентильный разрядник состоит из многократного искрового промежутка и соединенного последовательно с ним резистора с нелинейной вольт-амперной характеристикой. Для выравнивания распределения напряжения вдоль искровых промежутков параллельно им включаются шунтирующие резисторы.

При воздействии на РВ импульса перенапряжения пробивается искровой промежуток, через разрядник проходит импульсный ток, создающий падение напряжения на нелинейном сопротивлении. Благодаря нелинейности вольт-амперной характеристики сопротивление падения напряжения мало меняется при существенном изменении тока, что и обеспечивает ограничение перенапряжения и защиту изоляции оборудования от повреждения.

Одной из основных характеристик РВ является остающееся напряжение $U_{ост}$, представляющее собой падение напряжения на сопротивлении резистора при определенном токе (5-14 кА в зависимости от типа РВ), который называется током координации.

Остающееся напряжение и близкое к нему по значению импульсное пробивное напряжение многократного искрового промежутка РВ должно быть на 20-25 % ниже разрядного или пробивного напряжения защищаемой изоляции (координационный интервал).

Вслед за импульсным током через РВ проходит сопровождающий ток промышленной частоты. Сопротивление нелинейного резистора при рабочем напряжении резко возрастает, сопровождающий ток существенно ограничивается, и при подходе синусоидального тока к нулевому значению дуга в искровых промежутках гаснет. Наибольшее напряжение промышленной частоты на РВ, при котором надежно обрывается сопровождающий ток (ток гашения), называется напряжением гашения.

К недостаткам РВ можно отнести то, что они имеют большие массогабаритные характеристики, резисторы обладают сравнительно невысокой нелинейностью, имеют сложную конструкцию искровых промежутков с шунтирующими сопротивлениями при ограничении больших перенапряжений. Кроме того, при пробое искровых промежутков возникают большие градиенты перенапряжения в индуктивных элементах близкорасположенного оборудования (силовых трансформаторах, реакторах, электрических машинах).

Основным рабочим элементом ограничителей перенапряжения нелинейных (ОПН) является высоконелинейный резистор (варистор). Варисторы выполнены из металлооксидной керамики, состоящей на ~90 % из окиси цинка и некоторого количества окислов других металлов (висмута, сурьмы, кобальта, марганца и т. п.). Варисторы выпускаются в виде дисков диаметром от нескольких до ста миллиметров и толщиной от единиц до нескольких десятков миллиметров.

В ОПН варисторы собираются последовательно в виде столбов, помещенных в герметичный диэлектрический корпус (фарфоровый или пластмассовый). В ряде случаев такие столбы соединяются параллельно.

В силу очень большой нелинейности вольт-амперной характеристики варисторов сопровождающий ток при рабочем напряжении (доли миллиампера) безопасен для защищаемого устройства (ОПН) и не создает заметных потерь энергии. В ОПН отсутствуют искровые промежутки, следовательно, отсутствует понятие напряжения гашения.

Преимуществами ОПН являются возможность глубокого ограничения перенапряжений, в том числе междуфазных, малые габариты, позволяющие использовать их в качестве опорных изоляционных колонн, большая пропускная способность.

Однако при постоянном нахождении ОПН под напряжением возникает проблема обеспечения тепловой устойчивости при длительных повышении рабочих напряжений или ограниченных по времени повышении напряжения в рабочих режимах электроустановок.

В новых проектных разработках и при реконструкции действующих электроустановок РВ заменяется ОПН.

Подробные сведения о защите подстанционного оборудования от грозовых и коммутационных импульсов можно найти в рекомендованной литературе.

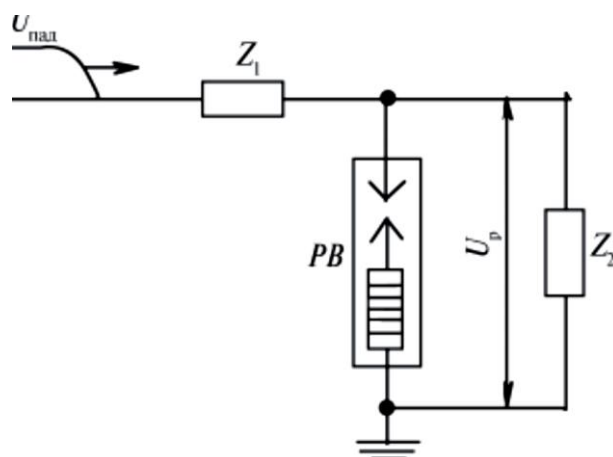


Рисунок 1.1 – Схема включения вентильного разрядника для защиты электрооборудования от перенапряжений

Схема включения вентильного разрядника для защиты изоляции электрооборудования от перенапряжения представлена на рисунке 1.1.

Для определения напряжения на разряднике удобно использовать метод эквивалентного генератора. Данный метод предусматривает переход от исходной схемы к эквивалентной, показанной на рисунке 1.2, где $E_{эКВ}$ и $Z_{эКВ}$ – соответственно напряжение холостого хода (при непробитом искровом промежутке разрядника) с учетом коэффициента преломления падающего

импульса и сопротивление относительно точек подключения разрядника при закороченном источнике. Эти величины равны:

$$E_{\text{экв}}(t) = U_{\text{пад}}(t) \cdot 2Z_2 / (Z_1 + Z_2) = U [2Z_2 / (Z_1 + Z_2)] [\exp(-t/T_1) - \exp(-t/T_2)]. \quad (1.2)$$

Здесь $2Z_2 / (Z_1 + Z_2)$ – коэффициент преломления падающей волны.

$$Z_{\text{экв}} = Z_1 Z_2 / (Z_1 + Z_2). \quad (1.3)$$

До момента пробоя искрового промежутка РВ напряжение на защищаемом оборудовании равно $E_{\text{экв}}(t)$.

После пробоя искрового промежутка напряжение на разряднике будет равно:

$$U_p(t) = E_{\text{экв}}(t) - I_p(t) Z_{\text{экв}} = U_{\text{пад}}(t) \cdot 2Z_2 / (Z_1 + Z_2) - I_p(t) Z_1 Z_2 / (Z_1 + Z_2), \quad (1.4)$$

где $I_p(t)$ – ток через разрядник.

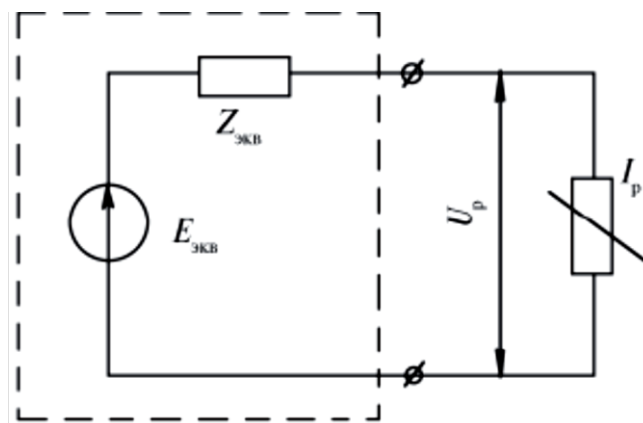


Рисунок 1.2 – Эквивалентная схема для расчета напряжения на разряднике

Уравнение (1.4) содержит нелинейный член, поэтому оно может быть решено графически или аналитически с применением, например, математического пакета Mathcad.

Максимальному напряжению на защищаемом объекте $U_{\text{макс}}$ соответствует максимальное значение $U_p(t)$, вычисленное по уравнению (1.4).

Чтобы определить момент времени t_m , когда импульс падающей волны достигает максимума, можно воспользоваться математическими законами определения экстремума. Для этого необходимо взять производную от $U_{\text{пад}}(t)$ согласно (1.1) и приравнять ее к нулю.

В результате математических действий получим:

$$t_m = (T_2 T_1 / T_1 - T_2) \ln(T_1 / T_2). \quad (1.5)$$

Применение уравнения (1.5) значительно упрощает графическое определение $U_{\text{макс}}$.

Заключение об эффективности применения данного разрядника для защиты высоковольтного оборудования делается на основе сравнения максимального значения на разряднике $U_{\text{макс}}$ (с учетом 30 % запаса) с минимальным разрядным напряжением оборудования, то есть для защиты оборудования данным разрядником должно выполняться неравенство:

$$U_{\text{макс}} \cdot 1,3 \leq U_{\text{мин}}. \quad (1.6)$$

Последовательность расчета:

1. В расчетно-пояснительной записке привести условие задачи и исходные данные выбранного варианта. Нарисовать схему включения вентильного разрядника и эквивалентную схему для расчета напряжения на разряднике.

2. При графическом решении уравнения (1.4) необходимо провести в прямоугольной системе координат следующие построения.

2.1. В первом квадранте построить вольт-секундную характеристику падающей волны с учетом коэффициента преломления, то есть:

$$E_{\text{экр}}(t) = U_{\text{пад}}(t) 2Z_2 / (Z_1 + Z_2) = U [2Z_2 / (Z_1 + Z_2)] [\exp(-t/T_1) - \exp(-t/T_2)].$$

Значения U , Z_1 , Z_2 , T_1 , T_2 для каждого варианта приведены в таблице 1.1 и 1.3. При определении $E_{\text{экр}}(t)$ значение переменной величины t с шагом 0,2 мкс рассчитывается до $t = 2$ мкс.

2.2. Во втором квадранте построить:

– вольт-амперную характеристику разрядника $U_p = f(I_p)$, заданную в таблице 1.2;
– падение напряжения на эквивалентном сопротивлении $Z_1 Z_2 / (Z_1 + Z_2)$ при значениях тока, указанных в таблице 1.2.

– суммарное падение этих составляющих в зависимости от тока, протекающего через разрядник, то есть $U_p + I_p Z_1 Z_2 / (Z_1 + Z_2)$, что равно $E_{\text{экр}}(t)$ после пробоя искрового промежутка разрядника.

3. Построить график изменения значений напряжения на разряднике в зависимости от времени $U_p(t)$ и в первом квадранте.

До момента пробоя искрового промежутка РВ – точка A на кривой в первом квадранте (рисунок 1.3) – напряжение на защищаемом оборудовании по форме и значению соответствует $E_{\text{экр}}(t)$. При $E_{\text{экр}}(t_1) = U_{\text{пр}} = 100$ кВ происходит пробой искровых промежутков РВ и через разрядник начинает протекать ток. На графике это соответствует параллельному переносу значения $E_{\text{экр}}(t_1)$ из первого квадранта во второй квадрант на кривую суммарного падения напряжения (точка B). Вертикальный спуск с точки B на кривую вольт-амперной характеристики разрядника (точка C) соответствует решению уравнения (1.4).

С этого момента изменение значения падающей волны или $E_{\text{экр}}(t)$ приведет к изменению тока через разрядник, а напряжение на защищаемом объекте будет равно напряжению на разряднике $U_p = f(I)$.

Для построения зависимости напряжения на защищаемом объекте во времени $U_p = f(t)$ необходимо значение напряжения с вольт-амперной характеристики разрядника перенести в первый квадрант на соответствующее время t . Для точки C вольт-амперной характеристики разрядника это время равно t_1 . Как следует из графического построения (рисунок 1.3), в момент пробоя искровых промежутков происходит резкое изменение напряжения на защищаемом объекте (точка D).

Дальнейшее построение зависимости $U_p = f(t)$ проводится в такой же последовательности при изменении значений $E_{\text{экр}}(t)$.

При $E_{\text{экр}}(t_m)$ значение $U_p = f(t_m) = U_{\text{макс}}$, то есть соответствует максимальному значению напряжения на защищаемом объекте.

4. По неравенству (1.6) сделать вывод об эффективности применения вентильного разрядника с заданной вольт-амперной характеристикой для защиты изоляции высоковольтного оборудования подстанции.

Пример решения

1. В расчетно-пояснительной записке привести условие задачи и исходные данные выбранного варианта. Нарисовать схему включения вентильного разрядника и эквивалентную схему для расчета напряжения на разряднике (рисунок 1.1, рисунок 1.2).

2. При графическом решении уравнения (1.4) необходимо провести в прямоугольной системе координат следующие построения.

2.1. В первом квадранте построить вольт-секундную характеристику падающей волны с учетом коэффициента преломления, то есть:

$$E_{\text{ЭКВ}}(t) = U_{\text{пад}}(t) 2Z_2/(Z_1 + Z_2) = U[2Z_2/(Z_1 + Z_2)][\exp(-t/T_1) - \exp(-t/T_2)].$$

Значения U , Z_1 , Z_2 , T_1 , T_2 для каждого варианта приведены в таблице 1.1 и таблице 1.3. При определении $E_{\text{ЭКВ}}(t)$ значение переменной величины t с шагом 0,2 мкс рассчитывается до $t = 0,2-2$ мкс.

При $t = 0,2$	$E_{\text{ЭКВ}}(t) = 98$ кВ
При $t = 0,4$	$E_{\text{ЭКВ}}(t) = 126$ кВ
При $t = 0,6$	$E_{\text{ЭКВ}}(t) = 150$ кВ
При $t = 0,8$	$E_{\text{ЭКВ}}(t) = 275$ кВ
При $t = 1,0$	$E_{\text{ЭКВ}}(t) = 380$ кВ
При $t = 1,2$	$E_{\text{ЭКВ}}(t) = 576$ кВ
При $t = 1,4$	$E_{\text{ЭКВ}}(t) = 798$ кВ
При $t = 1,6$	$E_{\text{ЭКВ}}(t) = 507$ кВ
При $t = 1,8$	$E_{\text{ЭКВ}}(t) = 318$ кВ
При $t = 2$	$E_{\text{ЭКВ}}(t) = 121$ кВ

2.2. Во втором квадранте построить:

2.2.1. Вольт-амперную характеристику разрядника $U_p = f(I_p)$, заданную в таблице 1.2.

Ток разрядника I_p , кА	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	1,0	2,0	3,0	5,0	6,0
Напряжение разрядника U_p , кВ	44	51	53	56	59	62	67	73	80	92

Падение напряжения на экв. сопротивления, то есть:

$$\Delta U = I_p Z_{\text{ЭКВ}}.$$

$$Z_{\text{ЭКВ}} = Z_1 Z_2 / (Z_1 + Z_2) = 122 \text{ Ом.}$$

При $I_p = 0,2$ кА	$\Delta U = 24,4$ кВ
При $I_p = 0,3$ кА	$\Delta U = 36,6$ кВ
При $I_p = 0,4$ кА	$\Delta U = 48,8$ кВ
При $I_p = 0,5$ кА	$\Delta U = 61$ кВ
При $I_p = 0,6$ кА	$\Delta U = 73,2$ кВ
При $I_p = 1,0$ кА	$\Delta U = 122$ кВ
При $I_p = 2,0$ кА	$\Delta U = 244$ кВ
При $I_p = 3,0$ кА	$\Delta U = 366$ кВ
При $I_p = 5,0$ кА	$\Delta U = 610$ кВ
При $I_p = 6,0$ кА	$\Delta U = 732$ кВ

2.2.2. Суммарное падение этих составляющих в зависимости от тока, протекающего через разрядник, то есть $U_p + I_p Z_1 Z_2 / (Z_1 + Z_2)$, что равно $E_{\text{ЭКВ}}(t)$ после пробоя искрового промежутка разрядника.

$$E_{\text{ЭКВ}}(t) \text{ после пробоя} = U_p + I_p Z_1 Z_2 / (Z_1 + Z_2).$$

$E_{\text{ЭКВ}}(t) = 68,4$ кВ	$U_p = 44$ кВ
$E_{\text{ЭКВ}}(t) = 87,6$ кВ	$U_p = 51$ кВ
$E_{\text{ЭКВ}}(t) = 101$ кВ	$U_p = 53$ кВ
$E_{\text{ЭКВ}}(t) = 117$ кВ	$U_p = 56$ кВ
$E_{\text{ЭКВ}}(t) = 132$ кВ	$U_p = 59$ кВ
$E_{\text{ЭКВ}}(t) = 184$ кВ	$U_p = 62$ кВ
$E_{\text{ЭКВ}}(t) = 311$ кВ	$U_p = 67$ кВ
$E_{\text{ЭКВ}}(t) = 439$ кВ	$U_p = 73$ кВ
$E_{\text{ЭКВ}}(t) = 690$ кВ	$U_p = 80$ кВ
$E_{\text{ЭКВ}}(t) = 824$ кВ	$U_p = 92$ кВ

3. Построить график изменения значений напряжения на разряднике в зависимости от времени $U_p(t)$ и в первом квадранте.

После пробоя искрового промежутка напряжение на разряднике равно:

$$U_p(t) = E_{\text{экр}}(t) - I_p(t)Z_{\text{экр}} = U_{\text{пад}}(t)2Z_2/(Z_1 + Z_2) - I_p(t)Z_1Z_2/(Z_1 + Z_2).$$

При $t = 0,2$ $U_p(t) = 73,6$ кВ

При $t = 0,4$ $U_p(t) = 89$ кВ

При $t = 0,6$ $U_p(t) = 101$ кВ

При $t = 0,8$ $U_p(t) = 107$ кВ

При $t = 1,0$ $U_p(t) = 123$ кВ

При $t = 1,2$ $U_p(t) = 125$ кВ

При $t = 1,4$ $U_p(t) = 122$ кВ

При $t = 1,6$ $U_p(t) = 103$ кВ

При $t = 1,8$ $U_p(t) = 98$ кВ

При $t = 2$ $U_p(t) = 67$ кВ

В результате математических действий получим:

$$t_m = (T_2T_1/T_1 - T_2)\ln(T_1/T_2) = 1,503 \text{ мкс.}$$

Применение уравнения (1.5) значительно упрощает графическое определение $U_{\text{макс}} = 798$ кВ.

Заключение об эффективности применения данного разрядника для защиты высоковольтного оборудования делается на основе сравнения максимального значения на разряднике $U_{\text{макс}}$ (с учетом 30 % запаса) с минимальным разрядным напряжением оборудования, то есть для защиты оборудования данным разрядником должно выполняться неравенство:

$$U_{\text{макс}} \cdot 1,3 \leq U_{\text{мин.}}$$

$$798 \cdot 1,3 > 110 \text{ кВ.}$$

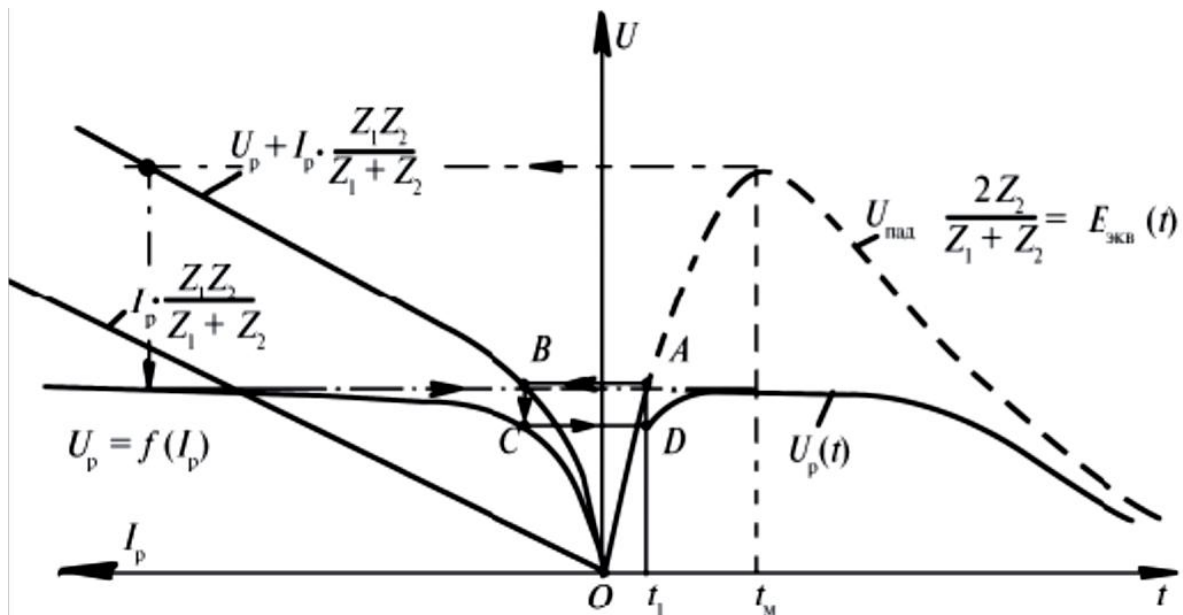


Рисунок 1.3 – Графическое определение напряжения на разряднике и защищаемом объекте

По результатам расчета вентильный разрядник не эффективен для защиты высоковольтного оборудования, так как максимальное значение напряжения на разряднике больше, чем минимальное разрядное напряжение.

Задача 2. Методы профилактического контроля внутренней изоляции высоковольтного оборудования по абсорбционным явлениям и по тангенсу угла диэлектрических потерь

Условие задачи и исходные данные

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 $T_0 = 20$ °С равен $tg\delta_0$; 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 °С до 100 °С и приложении переменного напряжения $U = 10$ кВ с частотой 50 Гц.

Значения всех переменных параметров для соответствующих вариантов приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1

Параметры	Вариант (последняя цифра учебного шифра)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$R_1, 10^6, \text{Ом}$	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145
$C_1, 10^{-6}, \text{Ф}$	3,3	3,2	3,1	3,0	2,9	2,8	2,7	2,6	2,5	2,4
$R_2, 10^6, \text{Ом}$	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9
$C_2, 10^{-6}, \text{Ф}$	35	33	31	29	27	25	23	21	19	17
$tg\delta_0, 10^{-3}$	4,2	4,0	3,8	3,6	3,4	3,2	3,0	2,8	2,6	2,4
$\alpha, 10^{-3}, \text{°C}^{-1}$	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19

Примечание. Например, при последней цифре шифра 1 сопротивление $R_1 = 100 \cdot 10^6$ Ом.

Методические указания к выполнению задачи

В процессе эксплуатации высоковольтного оборудования из-за перегрева, увлажнения, механических повреждений и перенапряжений 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 сильных 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 ускоряет 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 характеристики 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 рисунке 2.1.

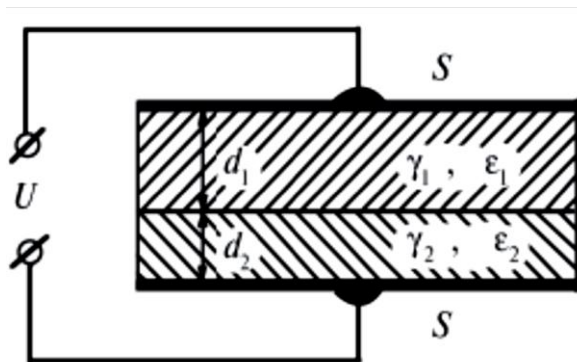


Рисунок 2.1 – Модель двухслойного диэлектрика

Для анализа процессов в модели двухслойной изоляции можно использовать схемы замещения, показанные на рисунке 2.2.

В схеме на рисунке 2.2, a сопротивление утечки первого и второго слоев в установившемся режиме соответственно равны:

$$R_1 = d_1/\gamma_1 S \text{ и } R_2 = d_2/\gamma_2 S, \quad (2.1)$$

а емкости этих слоев равны:

$$C_1 = \epsilon_0 \epsilon_1 S/d_1 \text{ и } C_2 = \epsilon_0 \epsilon_2 S/d_2, \quad (2.2)$$

где γ_1 и γ_2 – удельные проводимости слоев; $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м – электрическая постоянная; ϵ_1 и ϵ_2 – диэлектрические проницаемости слоев; d_1 и d_2 – толщина слоев; S – площадь электродов и границы между слоями.

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.

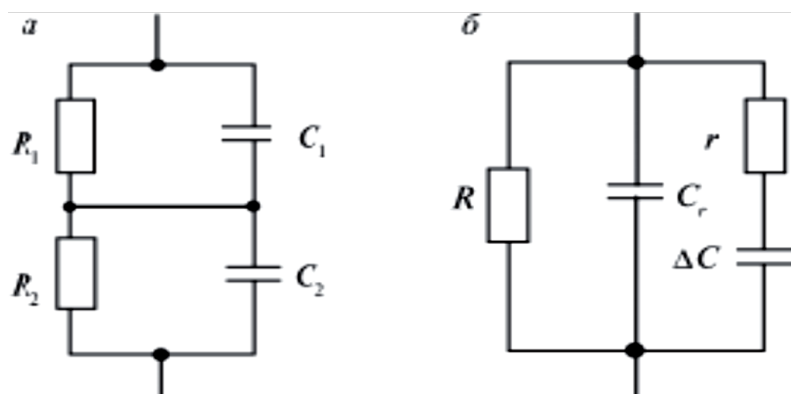


Рисунок 2.2 – Схема замещения двухслойного диэлектрика

Схема, представленная на рисунке 2.2, б, эквивалентна схеме на рисунке 2.2, а. В этой схеме замещения сопротивление утечки всей изоляции в установившемся режиме равно:

$$R = R_1 + R_2, \quad (2.3)$$

геометрическая емкость изоляции равна:

$$C_r = C_1 C_2 / (C_1 + C_2). \quad (2.4)$$

Ветвь « $r - \Delta C$ » отражает накопление заряда абсорбции, параметры ее определяются из условия равенства полных сопротивлений обеих схем замещения:

$$r = R_1 R_2 (R_1 + R_2)(C_1 + C_2)^2 / (R_1 C_1 - R_2 C_2)^2; \quad (2.5)$$

$$\Delta C = (R_1 C_1 - R_2 C_2)^2 / (R_1 + R_2)^2 (C_1 + C_2). \quad (2.6)$$

Если изоляция однородна, то есть $R_1 C_1 = R_2 C_2$ или $\epsilon_1 / \gamma_1 = \epsilon_2 / \gamma_2$, то $r = \infty$ и $\Delta C = 0$, то есть заряд абсорбции в этом случае не накапливается.

Из схемы замещения на рисунке 2.2, б следует, что при подключении неоднородной изоляции к источнику постоянного напряжения ток, проходящий через изоляцию (без учета кратковременного тока заряда геометрической емкости C_r), изменяется во времени в соответствии с выражением:

$$I(t) = (U/R) + (U/r) \exp(-t/\tau), \quad (2.7)$$

$$\text{где } \tau = r \Delta C = R_1 R_2 (C_1 + C_2) / (R_1 + R_2). \quad (2.8)$$

При этом изменяется и сопротивление изоляции:

$$R(t) = U/I(t) = R/[1 + (R/r) \exp(-t/\tau)]. \quad (2.9)$$

Как следует из (2.8) и (2.9), пределы и скорость изменения $R(t)$ определяются всеми параметрами обоих слоев изоляции.

При сильном увлажнении, загрязнении или растрескивании изоляции из-за различной способности материалов к увлажнению или загрязнению объемное сопротивление одного из слоев

резко падает. Диэлектрическая проницаемость при этом увеличивается незначительно. Вследствие этого сопротивление утечки изоляции $R(t)$ и постоянная времени τ уменьшаются.

На практике оценка состояния изоляции производится по значениям сопротивления $R(t)$, измеренным через 15 и 60 с после включения постоянного напряжения. В качестве источника постоянного тока используются переносные приборы – мегаомметры, имеющие напряжение 500, 1000 или 2500 В. Заключение о качестве изоляции делается по значению R_{60} и коэффициенту абсорбции:

$$k_{\text{абс}} = R_{60}/R_{15}. \quad (2.10)$$

Для изоляции в нормальном состоянии характерны высокие значения R_{60} (не менее 1 МОм на 1 кВ номинального напряжения).

Опытным путем установлено, что при $R_{60}/R_{15} < 1,3$ изоляция недопустимо увлажнена.

Если к двухслойному диэлектрику прикладывается переменное напряжение, то оказывается, что емкость неоднородного диэлектрика зависит от частоты. Данная зависимость выражается формулой:

$$C(\omega) = C_r + \Delta C / (1 + \omega^2 \tau^2), \quad (2.11)$$

где ω – круговая частота приложенного напряжения.

Контроль степени увлажнения при переменном токе производится путем измерения емкости изоляции на различных частотах. Емкость изоляции с ростом частоты изменяется тем сильнее, чем больше степень неоднородности изоляции, то есть чем больше степень увлажнения.

На практике измерения емкостей производятся с помощью приборов контроля влажности (ПКВ) при двух частотах: 2 Гц и 50 Гц.

Заключение о степени увлажнения изоляции делают по значению отношения C_2/C_{50} или $\Delta C/C_r$.

На основе опыта установлено, что для изоляции в нормальном состоянии допустимые значения составляют $C_2/C_{50} \leq 1,2-1,3$.

Изоляция недопустимо увлажнена, если измеренные значения различаются более, чем в 1,3 раза, то есть если $C_2/C_{50} > 1,3$.

Под воздействием переменного напряжения в диэлектрике возникают токи проводимости и смещения, которые обуславливают так называемые диэлектрические потери. Величина диэлектрических потерь является хорошим показателем состояния диэлектрика, так как появление всякого рода примесей, газовых включений и увлажнения диэлектриков приводят к заметному их увеличению.

Мощность потерь в диэлектрике при неизменной температуре равна:

$$P = U^2 \omega C \operatorname{tg} \delta, \quad (2.12)$$

то есть мощность потерь пропорциональна тангенсу угла диэлектрических потерь.

В связи с этим в качестве количественного показателя, характеризующего потери в диэлектрических материалах на переменном напряжении, на практике используется не непосредственно угол диэлектрических потерь $\delta = 90^\circ - \psi$, а его тангенс – $\operatorname{tg} \delta$.

Напомним, что ψ – угол фазового сдвига между током и напряжением в диэлектрике.

Величину тангенса диэлектрических потерь $\operatorname{tg} \delta$ при профилактических испытаниях обычно измеряют с помощью моста переменного тока (моста Шеринга) при напряжении 10 кВ независимо от номинального напряжения, если $U_{\text{ном}} > 10$ кВ.

В лабораториях определяют зависимость $\operatorname{tg} \delta = f(U)$ в интервале $(0,5-1,5)U_{\text{раб}}$. У изоляции нормального качества значение $\operatorname{tg} \delta$ при напряжении до $1,5U_{\text{раб}}$ в большинстве случаев остается практически неизменным. Если же при повышении напряжения $\operatorname{tg} \delta$ начинает быстро возрастать,

то это свидетельствует о возникновении частичных разрядов в газовых включениях, которые приведут к ухудшению свойств изоляции.

Отметим, что диэлектрические потери пропорциональны частоте приложенного напряжения. Измерение $tg\delta$ при частоте 50 Гц является одним из наиболее распространенных методов контроля изоляции электрооборудования высокого напряжения.

Оценка состояния изоляции по значениям $tg\delta$ предусматривается Правилами устройств электроустановок (ПУЭ) почти для всех видов изоляции.

В справочниках и ПУЭ даны нормированные значения $tg\delta_0$ в абсолютных значениях или в процентах для диэлектрических материалов и отдельных видов электрооборудования.

Удельная проводимость γ диэлектриков, а следовательно, и $tg\delta$ достаточно сильно зависят от температуры, тогда как диэлектрическая проницаемость в небольшом интервале температур можно считать независимой от температуры. От $tg\delta$ зависит мощность диэлектрических потерь и, следовательно, температурный режим работы изоляции. Для большинства материалов зависимость $tg\delta = f(T)$ может быть хорошо описана экспоненциальным законом:

$$tg\delta = tg\delta_0 \exp[\alpha(T - T_0)], \quad (2.13)$$

где $tg\delta$ – тангенс угла диэлектрических потерь при температуре T ; $tg\delta_0$ – то же при температуре T_0 ; α – постоянный коэффициент, характеризующий материал.

Последовательность расчета:

1. В расчетно-пояснительной записке привести условие задачи и исходные данные выбранного варианта. Нарисовать обе схемы замещения двухслойного диэлектрика.
2. По формулам (2.3) – (2.6) вычислить параметры схемы замещения (рисунок 2.2, б) по данным, приведенным в таблице 2.1, и при уменьшении значения R_1 в сто раз.
3. По формуле (2.9) определить сопротивление изоляции при приложении постоянного напряжения в течение 60 и 15 с, когда R_1 соответствует данным, приведенным в таблице 2.1 и $0,01R_1$.
4. Вычислить коэффициент абсорбции по формуле (2.10) и по коэффициенту абсорбции и значению сопротивления R_{60} сделать заключение о состоянии изоляции, когда R_1 соответствует таблице 2.1 и $0,01R_1$.
5. По формуле (2.13) рассчитать зависимость $tg\delta$ от температуры с шагом 20 °С. Результаты привести на графике.
6. Рассчитать по формуле (2.12) и изобразить графическую зависимость мощности потерь от температуры. Расчетные точки взять из пункта 5.

Пример решения

1. В расчетно-пояснительной записке привести условие задачи и исходные данные выбранного варианта. Нарисовать обе схемы замещения двухслойного диэлектрика.

2. Вычислить параметры схемы замещения:

$$R_1' = R_1 + R_\alpha = 125 \cdot 10^6 + 1,5 \cdot 10^6 = 187,5 \cdot 10^6 \text{ Ом};$$

$$C_T = C_1 C_\alpha / (C_1 + C_\alpha) = 2,51 \cdot 10^{-6} \text{ Ф};$$

$$r_1 = R_1 R_2 (R_1 + R_\alpha) (C_1 + C_\alpha) \alpha / (R_1 C_1 - R_\alpha C_\alpha) \alpha = 1884 \cdot 10^{12};$$

при уменьшении R_1 в 100 раз

$$r_2 = 4,0 \cdot 10^{13} \text{ Ом};$$

$$R_2' = 1,87 \cdot 10^6 \text{ Ом}.$$

При $R_1 = 125 \cdot 10^6 \text{ Ом}$

$$\chi C = (R_1 C_1 - R_2 C_2) \alpha / (R_1 + R_\alpha) \alpha (C_1 + C_\alpha) = 0,089 \text{ Ф}.$$

3. Определить сопротивление изоляции при $R(t) = U/I(t) = R / (1 + (R/r) \exp(-t/\tau))$:

$$\tau = r \chi C = R_1 R_2 (C_1 + C_2) / (R_1 + R_2);$$

$$\text{при } R_1 = 125000000 \text{ Ом } \tau = 167,6 \cdot 10^{12} \text{ с};$$

$$R(t) = 187,5 \cdot 10^6 / (1 + 187,5 \cdot 10^6 / 1884 \cdot 10^{12});$$

$$\exp(-60/167,6 \cdot 10^{12}) = 156,6 \cdot 10^6;$$

$$R(t) = 187,5 \cdot 10^6 / (1 + 187,5 \cdot 10^6 / 1884 \cdot 10^{12});$$

$$\exp(-15/167,6 \cdot 10^{12}) = 126,6 \cdot 10^6.$$

$$K_{\text{абс}} = \frac{R(60)}{R(15)} = 5,18;$$

5,18 > 1,3 – изоляция не увлажнена.

$$\tau = 40 \cdot 10^{12} \cdot 0,445 = 17,8 \cdot 10^{12}.$$

$$R_{60} = 52,9 \cdot 10^6 \text{ Ом};$$

$$R_{15} = 78,1 \cdot 10^6 \text{ Ом};$$

$$K_{\text{абс}} = 0,67,$$

0,67 < 1,3 – изоляция недопустимо увлажнена.

4. Вычислить коэффициент абсорбции по формуле (2.10) и по коэффициенту абсорбции и значению сопротивления R_{60} сделать заключение о состоянии изоляции, когда R_1 соответствует таблице 6.1 и $0,01R_1$.

5. Рассчитать зависимость $\text{tg}\delta$ от температуры с шагом 20 °С.

$$\text{tg}\delta = \text{tg}\delta_0 \exp(\alpha(T - T_0));$$

$$A = 15 \cdot 10^3;$$

$$\text{tg}\delta_0 = 3,2 \cdot 10^{-3}.$$

$$\text{При } T_0 = 200 \text{ tg}\delta = 3,2 \cdot 10^{-3} \exp(1,5 \cdot 10^{-3} (20 \cdot 200)) = 0,98 \cdot 10^{-3};$$

$$\text{при } T_0 = 220 \text{ tg}\delta = 2,3 \cdot 10^{-3};$$

$$\text{при } T_0 = 240 \text{ tg}\delta = 3,1 \cdot 10^{-3}.$$

$$6. P = U^2 \cdot \omega \text{ tg}\delta.$$

$T, \text{ }^\circ\text{C}$	$\text{tg}\delta$	$P, \text{ кВт}$
220	$2,3 \cdot 10^{-3}$	13
240	$3,1 \cdot 10^{-3}$	17,2
260	$3,9 \cdot 10^{-3}$	18,1
280	$4,7 \cdot 10^{-3}$	23,3
300	$5,5 \cdot 10^{-3}$	29,8

ВОПРОСЫ К ЗАЩИТЕ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ № 2

1. Чем определяется максимальная амплитуда падающей волны на подстанционное оборудование?
2. От чего зависит коэффициент преломления падающей волны?
3. Каков принцип защиты высоковольтного оборудования подстанций с помощью РВ и ОПН?
4. Из каких основных элементов состоят РВ и ОПН?
5. Каковы основные характеристики вентильных разрядников?
6. Каковы основные недостатки применения РВ?
7. Как делается вывод о защите оборудования данным разрядником?
8. Чем отличаются разрушающие от неразрушающих методов испытания изоляции?
9. Каковы основные методы неразрушающих испытаний применяющихся для профилактического контроля внутренней изоляции?
10. Почему существует ток абсорбции?
11. Как оценивается состояние изоляции по коэффициенту абсорбции?
12. Какие основные методы контроля изоляции при использовании переменного напряжения?
13. Почему диэлектрические потери измеряются по тангенсу угла диэлектрических потерь?

14. Как зависят диэлектрические потери от величины и частоты приложенного напряжения и от температуры диэлектрика?

РЕКОМЕНДОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Техника высоких напряжений. Изоляция и перенапряжения в электрических системах: Учебник для вузов/Под общ. ред. В.П. Ларионова. – М.: Энергоатомиздат, 1986.
2. Радченко В.Д. Техника высоких напряжений устройств электрической тяги. – М.: Транспорт, 1975.
3. Ларионов В.П. Основы молниезащиты. – М.: Знак, 1999.
4. Базелян Э.М., Райзер Ю.П. Физика молнии и молниезащиты. – М.: Физматлит, 2001.
5. Правила устройств электроустановок. Разд. 1. 7-е изд. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2004.
6. Рябкова Е.Я. Заземления в установках высокого напряжения. – М.: Энергия, 1978.
7. Серебряков А.С. Техника высоких напряжений. Перенапряжения в электрических системах и защита от них: Уч. пос. – М.: РГОТУПС, 2000.
8. Ограничители перенапряжений в электроустановках 6-750 кВ. Методическое и справочное пос. / Под ред. М.А. Аронова. – М.: Знак. 2001.
9. Серебряков А.С. Электротехническое материаловедение. Электроизоляционные материалы: Уч. пос. для вузов ж.д. транспорта. – М.: Маршрут, 2005.
10. Серебряков А.С. Техника высоких напряжений. Профилактический контроль и испытания изоляции: Уч. пос. – М.: РГОТУПС, 1997.
11. ГОСТ 1516.2-97 Электрооборудование и электроустановки переменного тока на напряжение 3 кВ и выше. Общие методы испытаний электрической прочности изоляции.



Негосударственное образовательное учреждение
высшего образования
Московский технологический институт

Факультет Техники и современных технологий
Кафедра Энергетики
Уровень образования Бакалавриат
Направление Электроэнергетика и электротехника
Профиль _____

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 2
по дисциплине: «Техника высоких напряжений»

Выполнил:
Студент ___ курса
_____ формы обучения
ИНС: _____
(ФИО)
Проверил _____
(ФИО)

Москва 201__ г.

Таблица значений критерия Стьюдента (*t*-критерия)

Таблица П2 – Критические значения коэффициента Стьюдента (*t*-критерия) для различной доверительной вероятности *p* и числа степеней свободы *f*

<i>f</i>	<i>p</i>							
	0.80	0.90	0.95	0.98	0.99	0.995	0.998	0.999
1	3.0770	6.3130	12.7060	31.820	63.656	127.656	318.306	636.619
2	1.8850	2.9200	4.3020	6.964	9.924	14.089	22.327	31.599
3	1.6377	2.35340	3.182	4.540	5.840	7.458	10.214	12.924
4	1.5332	2.13180	2.776	3.746	4.604	5.597	7.173	8.610
5	1.4759	2.01500	2.570	3.649	4.0321	4.773	5.893	6.863
6	1.4390	1.943	2.4460	3.1420	3.7070	4.316	5.2070	5.958
7	1.4149	1.8946	2.3646	2.998	3.4995	4.2293	4.785	5.4079
8	1.3968	1.8596	2.3060	2.8965	3.3554	3.832	4.5008	5.0413
9	1.3830	1.8331	2.2622	2.8214	3.2498	3.6897	4.2968	4.780
10	1.3720	1.8125	2.2281	2.7638	3.1693	3.5814	4.1437	4.5869
11	1.363	1.795	2.201	2.718	3.105	3.496	4.024	4.437
12	1.3562	1.7823	2.1788	2.6810	3.0845	3.4284	3.929	4.178
13	1.3502	1.7709	2.1604	2.6503	3.1123	3.3725	3.852	4.220
14	1.3450	1.7613	2.1448	2.6245	2.976	3.3257	3.787	4.140
15	1.3406	1.7530	2.1314	2.6025	2.9467	3.2860	3.732	4.072
16	1.3360	1.7450	2.1190	2.5830	2.9200	3.2520	3.6860	4.0150
17	1.3334	1.7396	2.1098	2.5668	2.8982	3.2224	3.6458	3.965
18	1.3304	1.7341	2.1009	2.5514	2.8784	3.1966	3.6105	3.9216
19	1.3277	1.7291	2.0930	2.5395	2.8609	3.1737	3.5794	3.8834
20	1.3253	1.7247	2.08600	2.5280	2.8453	3.1534	3.5518	3.8495
21	1.3230	1.7200	2.2.0790	2.5170	2.8310	3.1350	3.5270	3.8190
22	1.3212	1.7117	2.0739	2.5083	2.8188	3.1188	3.5050	3.7921
23	1.3195	1.7139	2.0687	2.4999	2.8073	3.1040	3.4850	3.7676
24	1.3178	1.7109	2.0639	2.4922	2.7969	3.0905	3.4668	3.7454
25	1.3163	1.7081	2.0595	2.4851	2.7874	3.0782	3.4502	3.7251
26	1.315	1.705	2.059	2.478	2.778	3.0660	3.4360	3.7060
27	1.3137	1.7033	2.0518	2.4727	2.7707	3.0565	3.4210	3.6896
28	1.3125	1.7011	2.0484	2.4671	2.7633	3.0469	3.4082	3.6739
29	1.3114	1.6991	2.0452	2.4620	2.7564	3.0360	3.3962	3.8494

30	1.3104	1.6973	2.0423	2.4573	2.7500	3.0298	3.3852	3.6460
32	1.3080	1.6930	2.0360	2.4480	2.7380	3.0140	3.3650	3.6210
34	1.3070	1.6909	2.0322	2.4411	2.7284	3.9520	3.3479	3.6007
36	1.3050	1.6883	2.0281	2.4345	2.7195	9.490	3.3326	3.5821
38	1.3042	1.6860	2.0244	2.4286	2.7116	3.9808	3.3190	3.5657
40	1.303	1.6839	2.0211	2.4233	2.7045	3.9712	3.3069	3.5510
42	1.320	1.682	2.018	2.418	2.6980	2.6930	3.2960	3.5370
44	1.301	1.6802	2.0154	2.4141	2.6923	3.9555	3.2861	3.5258
46	1.300	1.6767	2.0129	2.4102	2.6870	3.9488	3.2771	3.5150
48	1.299	1.6772	2.0106	2.4056	2.6822	3.9426	3.2689	3.5051
50	1.298	1.6759	2.0086	2.4033	2.6778	3.9370	3.2614	3.4060
55	1.2997	1.673	2.0040	2.3960	2.6680	2.9240	3.2560	3.4760
60	1.2958	1.6706	2.0003	2.3901	2.6603	3.9146	3.2317	3.4602
65	1.2947	1.6686	1.997	2.3851	2.6536	3.9060	3.2204	3.4466
70	1.2938	1.6689	1.9944	2.3808	2.6479	3.8987	3.2108	3.4350
80	1.2820	1.6640	1.9900	2.3730	2.6380	2.8870	3.1950	3.4160
90	1.2910	1.6620	1.9867	2.3885	2.6316	2.8779	3.1833	3.4019
100	1.2901	1.6602	1.9840	2.3642	2.6259	2.8707	3.1737	3.3905
120	1.2888	1.6577	1.9719	2.3578	2.6174	2.8598	3.1595	3.3735
150	1.2872	1.6551	1.9759	2.3515	2.6090	2.8482	3.1455	3.3566
200	1.2858	1.6525	1.9719	2.3451	2.6006	2.8385	3.1315	3.3398
250	1.2849	1.6510	1.9695	2.3414	2.5966	2.8222	3.1232	3.3299
300	1.2844	1.6499	1.9679	2.3388	2.5923	2.8279	3.1176	3.3233
400	1.2837	1.6487	1.9659	2.3357	2.5882	2.8227	3.1107	3.3150
500	1.2830	1.6470	1.9640	2.3330	2.7850	2.8190	3.1060	3.3100