



**Некоммерческое  
акционерное  
общество**

**АЛМАТИНСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ  
ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ  
ИМЕНИ ГУМАРБЕКА  
ДАУКЕЕВА**

кафедра электроэнергетических  
систем

## **ТЕХНИКА ВЫСОКИХ НАПРЯЖЕНИЙ**

Методические указания к выполнению лабораторных работ для студентов  
специальности 5В071800 – Электроэнергетика

Алматы 2021

СОСТАВИТЕЛИ: Б.К. Курпенов, Д.М. Тойбазар, Е.Т. Эмитов Техника высоких напряжений. Методические указания к выполнению лабораторных работ для студентов специальности 5В071800 – Электроэнергетика. Алматы: АУЭС, 2021. - 91 с.

Представленные лабораторные работы содержат описания к выполнению лабораторных работ в процессе изучения дисциплины «Техника высоких напряжений».

Методические указания к выполнению лабораторных работ предназначен для студентов специальности 5В071800 – Электроэнергетика. Ил. – 32, табл. – 2, библиогр. – 11 назв.

Рецензент: к.т.н., доцент И.В. Казанина

Печатается по плану издания некоммерческого акционерного общества «Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева» на 2021г.

© НАО «Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева», 2021 г.

## Введение

Основным назначением лабораторных работ является закрепление теоретического материала курса техники высоких напряжений, ознакомление с основными источниками получения больших амплитуд переменного, постоянного, импульсного напряжений, а также освоение некоторых элементов высоковольтного оборудования, используемого при производстве высоковольтных испытаний.

Настоящие методические указания преследуют своей целью научить студентов технике самостоятельного проведения экспериментов в условиях лаборатории высокого напряжения с соблюдением необходимых мер предосторожности, техники безопасности, привить студентам навыки обработки, критической оценки и оформления полученных результатов.

Настоящие методические указания содержат описания общего порядка выполнения лабораторных работ, оформления отчетов по ним, а также правил техники безопасности.

Описание каждой лабораторной работы состоит из следующих основных разделов: цель работы, программа работы, порядок выполнения работы, контрольные вопросы. Приведенные контрольные вопросы способствуют сосредоточению внимания студентов на узловых вопросах, более целенаправленному подходу к выполнению лабораторных работ, лучшему пониманию физической сущности изучаемой темы и подготовке к защите отчетов по выполненным работам. Методические указания к данным лабораторным работам составлены так, чтобы их отдельные пункты можно отнести к учебно-исследовательской работе студентов.

### ***Порядок выполнения лабораторных работ***

До начала выполнения лабораторной работы студент обязан ознакомиться с теоретической частью предстоящих исследований по материалам учебной, методической литературы, а также с настоящими методическими указаниями. В результате студент должен четко и ясно представлять основную физическую сущность работы, программу работы и ожидаемые результаты лабораторных экспериментов.

Лабораторные работы должны выполняться бригадой студентов, состоящей из 3-4 человек. Предварительно должны быть распределены обязанности между отдельными членами бригады. При выполнении последующих работ каждый член бригады должен взять на себя другие функции. Каждый студент должен иметь рабочую тетрадь, куда заносятся данные опытов, необходимые для оформления отчета.

Перед сборкой электрической схемы испытательной установки студент обязан ознакомиться с материальной частью данной работы: с высоковольтным оборудованием, с контрольно-измерительными приборами и пускорегулирующей аппаратурой.

После сборки схемы рукоятки всех аппаратов следует установить в пусковые положения. Собранный схема должна быть предложена для проверки преподавателю или лаборанту, ведущим занятие, и только с их разрешения может быть подключена к источнику питания.

Данные, полученные во время эксперимента, нужно нанести в определенном масштабе на листок клетчатой бумаги и построить черновик кривой. Рекомендуется

рабочие записи и черновой график по каждому опыту показывать преподавателю и после его одобрения переходить к проведению следующего этапа работы.

Разбирать схему работы можно только после проверки преподавателем всех опытных данных работы и с его разрешения.

### ***Порядок оформления отчетов по лабораторным работам***

Отчет по выполненной лабораторной работе составляется каждым студентом на бумаге стандартного формата А4-210x297 мм

В состав отчета входят:

- титульный лист с указанием названия университета, кафедры, лабораторной работы, шифра группы, фамилий и инициалов студента и преподавателя, даты выполнения работы;

- краткое описание работы;

- перечень приборов, оборудования, аппаратуры с указанием их технических характеристик;

- электрическая схема установки;

- табличные данные измеренных и вычислительных величин и единицы измерения;

- расчетные формулы;

- графики полученных характеристик;

- выводы по работе.

Отчет должен быть оформлен аккуратно, таблицы, схемы, графики выполняются с использованием чертежных принадлежностей.

Графики характеристик должны выполняться на вкладыше из миллиметровой бумаги. Оси координат должны иметь буквенные обозначения величин, определяющих характеристики, с указанием их единиц измерения. На кривых характеристик должны быть нанесены точки измеренных и вычисленных величин, приведенных в таблице. Если в одних и тех же осях координат строятся несколько зависимостей, то точки каждой характеристики должны иметь различные условные обозначения (например, точки, кружки, треугольники, квадратики, крестики и т.д.). При этом рекомендуется разные характеристики изображать кривыми разного цвета. Часто нанесенные точки не ложатся на предполагаемую кривую. Это не означает, что зависимость имеет вид ломаной линии, а объясняется недостаточно тщательно проведенными измерениями во время опыта, погрешностью самих приборов, погрешностью расчетов, а также внешними помехами. В таких случаях характеристики нужно проводить вначале от руки так, чтобы примерно одинаковое количество точек легло по обе стороны кривой. После этого кривая обводится по лекалу.

В выводах по отчету должны быть указаны основные результаты работы и даны им соответствующие объяснения. При этом необходимо использовать методические указания к выполнению лабораторных работ, учебники, конспекты лекций.

### ***Правила техники безопасности***

В отличие от других электротехнических лабораторий лабораторные работы по технике высоких напряжений проводятся с применением установок высокого напряжения, т.е. напряжения выше 1000 В. В связи с этим при выполнении экспериментов в данной лаборатории, надо соблюдать особую осторожность.

В лаборатории ТВН высокой амплитуды переменных, постоянных, импульсных напряжений получают с помощью испытательных высоковольтных трансформаторов. Плавное регулирование входного напряжения испытательного трансформатора осуществляется посредством автотрансформатора, включенного со стороны обмотки низкого напряжения.

Перед включением высоковольтной установки ручка автотрансформатора левым вращением должна быть установлена в крайнее положение. Этим ликвидируется возможность появления высокого напряжения на высоковольтной установке при производстве тех или иных работ (смена электродов, проведение переключений в схеме и т.п.) внутри камеры.

Во избежание случайного прикосновения или приближения к токоведущим частям, находящимся под высоким напряжением, все установки имеют металлические ограждения с блокировкой на дверях, т.е. при открывании двери выключателем автоматически снимается напряжение с высоковольтной установки.

Перед пуском высоковольтной испытательной установки необходимо:

1. снять переносное заземление о установки;
2. закрыть плотно дверь ограждения;
3. все ручки управления поставить в нулевое положение;
4. рукоятку автотрансформатора повернуть по стрелке "Убавить" до крайнего положения.

Разрешение на включение установки дает непосредственно преподаватель, ведущий занятие.

Оператор должен:

1. надеть диэлектрические боты;
2. надеть диэлектрические перчатки;
3. стоять на резиновом коврик.

Эти меры предосторожности применяются в связи с возможностью появления высокого напряжения на ручках управления при пробое изоляции между высоковольтной и низковольтной обмотками трансформатора.

При электрических разрядах на установке не рекомендуется долго держать высоковольтную установку в таком режиме ввиду перегрузки испытательного трансформатора. Поэтому оператор, не дожидаясь отключения автоматического выключателя, должен сам отключить трансформатор нажатием кнопки "отключено" магнитного пускателя.

При выполнении всех видов работ все члены бригады наблюдают за правильностью действий оператора и делают ему замечания в случае неправильных операций, могущих привести к несчастному случаю.

Перед включением установки оператор громко должен предупредить: "Включаю высокое напряжение". Сначала автоматическим выключателем включается автотрансформатор. При этом загорается сигнальная лампа "Включено низкое напряжение". Затем с помощью магнитного пускателя подается напряжение на обмотку низкого напряжения испытательного трансформатора. При выполнении этой операции загорается сигнальная лампа "Включено высокое напряжение". Плавным вращением рукоятки автотрансформатора в сторону стрелки, "Подъем напряжения"

устанавливают требуемое значение высокого напряжения, которое контролируется с помощью киловольтметра на щите управления.

Операции по снятию напряжения производятся в обратном порядке. После отключения высоковольтной установки на токоведущих частях остаются заряды в течение некоторого времени. Поэтому во избежание несчастного случая, оператор, войдя в камеру, прежде, чем прикоснуться к элементам установки, должен наложить переносное заземление на те части установки, на которых может появиться высокое напряжение. Также надо убедиться в том, что переносное заземление установлено на те части установки, на которых может появиться высокое напряжение. Предварительно надо убедиться в том, что переносное заземление имеет надежный контакт с "землей", т.е. с контуром заземления.

После проведения всех необходимых работ в камере оператор проверяет правильность собранной схемы и снимает переносное заземление с установки. В противном случае, при повторном включении испытательной установки будет короткое замыкание, что может привести к выходу из строя высоковольтного трансформатора.

## **1 Лабораторная работа №1 Распределение напряжения по элементам гирлянды изоляторов**

Цель работы:

Определение распределения напряжения по элементам гирлянды изоляторов состоящей из стеклянных и фарфоровых изоляторов, ознакомление с методами и способами выравнивания напряжения вдоль гирлянды изоляторов.

### **1.1 Описание лабораторного стенда**

*Общие указания.* Выполнение лабораторной работы осуществляется на высоковольтной установке, которая состоит из автотрансформатора (регулируемого) TV, однофазного высоковольтного испытательного трансформатора  $T_1$  (с номинальным вторичным напряжением  $U_{2н} = 80\text{кВ}$  макс. и мощностью  $S = 10\text{кВ}\cdot\text{А}$ ), вольтметра PV, буферного (токоограничивающего) резистора  $R_1$  и исследуемой гирлянды из подвесных тарельчатых изоляторов. Для определения распределения напряжения по изоляторам гирлянды используются измерительная штанга с электростатическим киловольтметром в первом случае, стандартный шаровой разрядник FV для определения влияния «нулевого» изолятора на распределение напряжения по гирлянде изоляторов, а также «экранов» для выравнивания электрического поля вдоль гирлянды. Общее питание на высоковольтную установку подается от имеющегося в лаборатории распределительного устройства путем включения автоматического выключателя QF<sub>ЛБЗ</sub>. На рисунке 1 приводится общий вид гирлянды из подвесных тарельчатых изоляторов со стандартным шаровым

разрядником и экраном для выравнивания распределения напряжения вдоль гирлянды.

## 1.2 Описание работы высоковольтной установки

При закрывании двери срабатывает блокировка ( $B$ ) и загорается зеленая сигнал – лампочка. Включение установки под напряжение осуществляется автоматическим выключателем ( $AB$ ), при этом загорается красная лампочка. Регулятор напряжения ( $TV$ ) служит для регулирования напряжения первичной цепи высоковольтного трансформатора ( $T$ ).

Вольтметр ( $PV$ ) предназначен для регистрации действующего значения первичного напряжения. Высоковольтный трансформатор служит для получения высокого напряжения промышленной частоты. Выпрямление высокого напряжения осуществляется с помощью кенотронной приставки, состоящей из трансформатора накала ( $TH$ ) кенотрона ( $K$ ). Защитное сопротивление состоит из водяного (буферного) сопротивления и предназначенного для ограничения токов короткого замыкания.

Шаровой измерительный разрядник предназначен для непосредственного измерения высокого напряжения.



Рисунок 1.1 – Общий вид гирлянды из подвесных изоляторов со стандартным шаровым разрядником и экраном для выравнивания распределения напряжения вдоль гирлянды

На рисунке 1.2 приведена принципиальная упрощенная схема высоковольтной установки для определения распределения напряжения по изоляторам гирлянды.

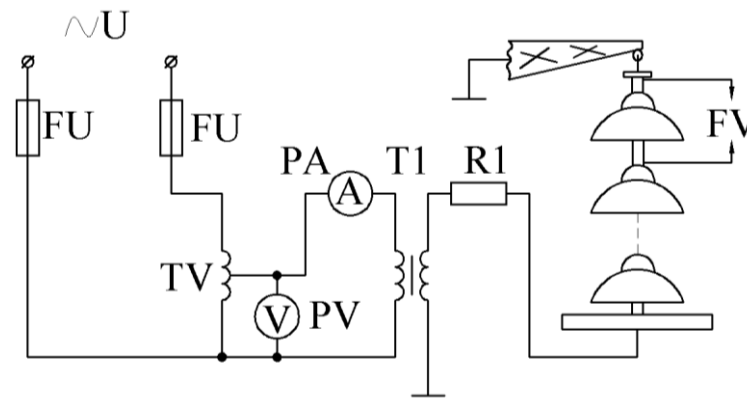


Рисунок 1.2 – Принципиальная электрическая схема для исследования распределения напряжения по изоляторам гирлянды

### 1.3 Исследование распределения напряжения по изоляторам гирлянды из подвесных изоляторов с помощью шарового разрядника

Экспериментальные исследования и расчеты произвести для случаев:

- без «нулевого» изолятора;
- с «нулевым» изолятором;
- с защитной арматурой (экраном), без «нулевого» изолятора.

«Нулевой» изолятор в условиях эксперимента имитирует дефектный изолятор не несущий на себе нагрузки, т.е. пробитый или разрушенный в условиях эксплуатации. При испытаниях «нулевой» изолятор можно получить путем наложения шунта (закоротки) на любой изолятор гирлянды, например, в середине гирлянды из подвесных изоляторов.

1.3.1 Проверить отключенное положение установки. Ключи управления QA и QA1 поставить в положение "0". Проверить отключенное положение автоматического выключателя QF<sub>ЛБЗ</sub>. Открыть дверь ограждения высоковольтной установки.

1.3.2 В диэлектрических перчатках и диэлектрических ботах войти за ограждение. Разрядной штангой снять остаточный заряд на зажимах высоковольтного трансформатора T<sub>1</sub>, а затем наложить разрядную штангу на один из выводов высоковольтного трансформатора T<sub>1</sub>.

1.3.3 Подключить высоковольтный вывод трансформатора T<sub>1к</sub> на имитируемый токонесущий провод гирлянды изоляторов. Вторым потенциалом считать траверсу высоковольтной опоры, т.е. «земля»

а) первую серию опытов произвести для гирлянды без «нулевого» изолятора.

б) вторую серию опытов произвести для гирлянды с «нулевым» изолятора.

г) третью серию опытов произвести для гирлянды с защитной арматурой без «нулевого» изолятора.



1.3.4 Установить шаровой разрядник на верхний изолятор гирлянды из подвесных изоляторов.

1.3.5 Выполнение лабораторной работы выполняется в диэлектрических ботах, в диэлектрических перчатках.

1.3.6 Войти в ячейку снять разрядную штангу с вывода трансформатора, выйти за пределы ограждения, **дверь ограждения закрыть на ключ.**

1.3.7 Включить автоматический выключатель QF<sub>ЛБЗ</sub>. Ключи управления QA, QA1 поставить в положение "1", при этом должны загореться три сигнальные лампы на щите управления и одна сигнальная лампа на двери ограждения. Сигнальные лампы не горят, если нет контакта в блокировке на двери ограждения (дверь не закрыта), или если рукоятка автотрансформатора TV не стоит в положении "0".

1.3.8 При помощи автотрансформатора TV плавно повышать напряжение на гирлянде изоляторов до пробоя шарового разрядника FV. По вольтметру PV определить первичное напряжение высоковольтного трансформатора T<sub>1</sub> при пробое шарового разрядника FV и записать показания в протокол испытаний. Из-за разброса разрядных напряжений опыт повторить 3 раза, по полученным данным определить среднее значение пробивного напряжения U<sub>1сн</sub>(В).

1.3.9 Поставить рукоятку автотрансформатора TV в положение "0".

1.3.10 Поставить ключи управления QA, QA1, в положение "0". Отключить автоматический выключатель QF<sub>ЛБЗ</sub>.

1.3.11 Открыть дверь ограждения и в диэлектрических ботах, в диэлектрических перчатках наложить разрядную штангу на незаземленный вывод высоковольтного трансформатора T<sub>1</sub>. Установить шаровой разрядник на следующий изолятор гирлянды из подвесных изоляторов.

1.3.11 В вышеизложенном порядке исследования с шаровым разрядником произвести по всем изоляторам гирлянды без «нулевого» изолятора, а также для случаев: с «нулевым» изолятором; с защитной арматурой, без «нулевого» изолятора. Данные измерений занести в таблицу 1.

Таблица 1.1

Номер изолятора.	1	2	3	4	5	6	7
Напряжение без «0» изолятора							
Напряжение с «0» изолятором							
Напряжение с защитным экраном							

После завершения серии опытов отключить высоковольтную установку, открыть дверь ограждения высоковольтной установки, выполнить мероприятия по технике безопасности: **наложить разрядную штангу на**

**незаземленный вывод высоковольтного трансформатора  $T_1$  и снять разрядник с гирлянды изоляторов.**

Определение максимального значения высокого напряжения при его измерении шаровым измерительным разрядником ( $D=25\text{ см}$ ) осуществляется по таблице 1.

Таблица 1.2 – Табличные значения напряжения при нормальных условиях ( $P_0=760\text{ мм}$ ,  $T_0=293\text{ К}$ )

S, см	1	1,2	1,5	1,6	2,0	2,4	2,8	3,0	4,0	5,0	6,0
U, кВ	31,7	37,4	45,5	48,1	59,0	70,0	81,0	86,0	112	137	161

При определении значения напряжения необходимо воспользоваться формулами интерполяции

$$U_i = U_{i-1} + \frac{U_{i+1}-U_{i-1}}{l_{i+1}-l_{i-1}} \cdot (l_i - l_{i-1}) = U_{i+1} - \frac{U_{i+1}-U_{i-1}}{l_{i+1}-l_{i-1}} \cdot (l_{i+1} - l_i), (1.1)$$

где  $l_i$  – измеренное значение расстояния между шарами;

$U_{i+1}; U_{i-1}; l_{i+1}; l_{i-1}$  – табличные значения расстояния между шарами и соответствующие им напряжения до и после измеренного значения  $l_i$ .

Приведение табличного значения напряжения к истинным значениям осуществляется по формуле

$$U_{\text{п.ст}} = \delta U, (1.2)$$

где  $\delta = 0.386 \frac{P(\text{мм.рт.ст})}{273+t^{\circ}\text{C}}$  – относительная плотность воздуха.

Если измеренное значение расстояние между шарами меньше 1 см, соответствующие ему напряжения определяются как

$$U = 24.5l + 6.4\sqrt{\delta \cdot l} (1.3)$$

Кроме того, установка снабжена образцами из диэлектрических материалов с различной гигроскопичностью, макетом, моделирующим опорный и проходной изолятор, набором стержней и плоскостей, моделирующих изоляционные промежутки провод-земля, провод-провод, барьером из диэлектрического материала, конденсатором Роговского ( $D=20\text{ см}$ ).

*Порядок включения и отключения установки.*

1.3.12 Открыть вход в электроустановку и наложить временное заземление на высоковольтный выход трансформатора.

1.3.13 Произвести необходимые электрические соединения:

- а) для переменного напряжения высоковольтный вывод трансформатора соединяется с испытуемым объектом;
- б) для постоянного напряжения высоковольтный вывод трансформатора соединяется с катодом кенотрона, накал которого питается от накального трансформатора ТН с усиленной изоляцией, а анод кенотрона соединяется с испытуемым объектом;
- в) произвести необходимые переключения на испытательном поле;
- г) снять временное заземление;
- д) убедиться, что ручка регулятора напряжения находится в крайнем левом положении;
- е) подать на стенд напряжение со щита управления;
- ж) включить автоматический выключатель;
- з) подать необходимое значение напряжения на испытуемый объект с помощью регулятора напряжения;
- и) после производства опытов вывести регулятор напряжения в крайнее левое положение (при выполнении данной работы регулятор не выводится в крайнее левое положение);
- к) отключить стенд с помощью автоматического выключателя;
- л) при необходимости производства работ на испытательном поле, открыть вход в установку и наложить временное заземление на высоковольтный вывод трансформатора с помощью заземляющей штанги;
- м) при наложении временного заземления и производства работ на испытательном поле необходимо пользоваться диэлектрическими перчатками и ботами;
- н) после окончания работ отключить стенд со щита управления.

## 1.4 Подготовка к работе

1.4.1 Студенты допускаются к работе после ознакомления с описанием стенда, изучения инструкций по технике безопасности, прохождения инструктажа на рабочем месте и с росписью в журнале по ТБ.

1.4.2 Величина приложенного напряжения и число элементов в гирлянде задаются преподавателем.

1.4.3 Производятся необходимые электрические соединения, обеспечивающие подачу на гирлянду изоляторов переменного напряжения промышленной частоты.

1.4.4 Расчет напряжения на элементе от провода производится по формуле

$$U = \frac{U_0}{C_i + C_1} \left[ C_2 + C_1 \frac{\operatorname{sh} \alpha(n-i)}{\operatorname{sh} \alpha \cdot n} C_2 \frac{\operatorname{sh} \alpha}{\operatorname{sh} \alpha \cdot n} \right] (1.4)$$

где  $U_0$  – напряжение, приложенное к гирлянде;

$C_1$  – паразитные емкости на землю ( $5n\Phi$ );

$C_2$ – паразитные емкости на провод( $0,5n\Phi$ );  
 $K$ – собственная емкость изолятора( $40n\Phi$ );  
 $n$ – число элементов в гирлянде.

Относительное значение напряжения на  $k$  элементе определится как:

$$\Delta U_k = \frac{U_k}{U_0} \cdot 100\% (1.5)$$

Коэффициент неравномерности равен

$$K_n = \frac{U_{\max}}{U_{\text{cp}}} (1.6)$$

где  $U_{\max}$ – максимально загруженный элемент гирлянды;  
 $U_{\text{cp}} = U_0/n$ – среднее падение напряжения на элементе гирлянды.

1.4.6 После обработки опытных данных дать физическое истолкование полученных результатов.

## 1.5 Выполнение работы

1.5.1 Ознакомиться с описанием лабораторного стенда.

1.5.2 Определить распределение напряжения по гирлянде изоляторов.

1.5.3 Определить распределение напряжения по элементам гирлянды с выравнивающим экраном.

1.5.4 Определить относительное распределение напряжения по гирлянде изоляторов и коэффициент неравномерности распределения.

1.5.5 Определить зависимость коэффициента неравномерности распределения от числа элементов в гирлянде.

1.5.6 Построить зависимости относительного распределения напряжения по элементам гирлянды и сравнить с расчетными данными.

1.5.7 Построить зависимость коэффициента неравномерности распределения от числа элементов в гирлянде.

### *Выводы*

Выводы должны содержать краткий анализ произведенной работы и полученных результатов, а также возможность использования полученных результатов на практике, в производственных условиях и исследовательской работе.

## Контрольные вопросы

1 Общие сведения об изоляторах: электрические, механические характеристики; материалы для изготовления изоляторов.

2 Какие выделяют характерные расположения твердых диэлектриков (изоляторов) в электрическом поле?

3 Объяснить процесс развития разряда вдоль поверхности твердого диэлектрика (изолятора) в однородном поле.

4 Как и почему на величину разрядного напряжения влияет адсорбируемая на поверхности твердого диэлектрика (изолятора) влага?

5 Как и почему на величину разрядного напряжения влияет неплотное прилегание диэлектрика изолятора к электродам?

6 Указать причины неравномерного распределения напряжения по гирлянде из подвесных изоляторов.

7 Объяснить схему замещения гирлянды из подвесных изоляторов.

8 Объяснить влияние емкости металлических элементов изоляторов относительно заземленных частей опоры.

9 Объяснить причины перекрытия изоляторов гирлянды и пути развития разряда по гирлянде изоляторов.

10 Какие средства применяются для выравнивания распределения напряжения вдоль гирлянды?

11 Как будет влиять увеличение собственной емкости изоляторов на распределение напряжения вдоль гирлянды?

12 Дайте полную схему замещения гирлянды изоляторов.

13 Объясните влияние емкостей  $C_1$  и  $C_2$  на распределение напряжения по элементам гирлянды.

14 Расскажите про устройства подвесных и стержневых изоляторов.

15 Расскажите про устройства линейных изоляторов тарельчатого типа.

16 Объясните механизм пробоя по загрязненной и увлажненной поверхности изоляторов.

17 Как можно повысить грязеразрядные напряжения изоляторов?

18 Как производится измерение высокого напряжения с помощью шаровых разрядников?

## **2 Лабораторная работа №2 Исследование электрических разрядов в воздухе**

Цель работы:

Исследование электрической прочности воздушных промежутков, создаваемых электродами различной формы при переменном напряжении промышленной частоты и постоянном напряжении.

### **2.1 Теоретические сведения**

Электрическая прочность – основная характеристика воздуха как изоляционной среды, поэтому ее изучению в технике высоких напряжений уделяется особое внимание. Под электрической прочностью воздушного

промежутка понимают минимальное значение напряженности электрического поля, при котором происходит пробой воздушного промежутка, т.е. потери им изоляционных свойств. Причиной пробоя является электрический разряд.

Основной причиной возникновения электрического разряда в газе является ударная ионизация, которая возникает под действием электронов, ускоряемых электрическим полем. В электроположительных газах, в которых невозможно образование отрицательных ионов, интенсивность этого процесса характеризуется коэффициентом ударной ионизации  $a$ , который определяет число актов ионизации, совершаемых электроном на пути в 1 см вдоль силовых линий электрического поля. В электроотрицательных газах помимо увеличения числа электронов при ударной ионизации происходит также потеря электронов за счет «прилипания» к нейтральным частицам с образованием отрицательных ионов. Этот процесс характеризуется коэффициентом прилипания  $h$ , поэтому в электроотрицательных газах интенсивность процесса увеличения числа электронов определяется эффективным коэффициентом ударной ионизации  $a_{эф} = a - h$ .

Коэффициент  $a_{эф}$  (или  $a$ ) зависит от напряженности электрического поля  $E$ , давления  $p$  и абсолютной температуры  $T$ . Для воздуха при давлении и температуре, близких к нормальным, эта зависимость может быть представлена в виде:

$$\frac{\alpha}{\rho} = 0,257^3 \sqrt{\frac{E}{\rho}} \cdot e^{-\left(\frac{29700}{Ei\rho}\right)} \quad (2.1)$$

При неучете процессов вторичной ионизации – фотоионизации в объеме газа, фотоэффекта с катода, выбивания электронов с катода положительными ионами, условие самостоятельности разряда в газе может быть представлено в виде  $a_{эф} > 0$ .

Полагая для однородного поля  $E = \frac{U}{S}$ , получим математическое выражение закона Пашена:

$$\rho S = \frac{e^{\left(\frac{\rho S}{U_{пр}}\right)}}{\left(\frac{U_{пр}}{\rho S}\right)} \quad (2.2)$$

Закон Пашена гласит: при неизменной температуре пробивное напряжение газа в однородном поле является функцией произведения давления на расстояние между электродами.

При условиях, близких к нормальным, пробивное напряжение воздуха в однородном поле составит:

$$U_{пр} = 24,5\delta \cdot S + 6,4 \cdot \sqrt{\delta \cdot S}, \quad (2.3)$$

где  $S$  – расстояние между электродами, см;  
 $d=0,3655p/T$  – поправка на относительную плотность воздуха.

В неоднородном поле выполнение условия самостоятельности разряда не обязательно означает полный пробой промежутка, в отличие от однородного или слабо неоднородного поля. Если степень неоднородности очень велика, то ионизационные процессы концентрируются вблизи электрода с наименьшим радиусом, в результате чего и может образоваться особый вид самостоятельного разряда, в данном случае означает появление коронного разряда, и соответствующее напряжение должно быть существенно повышено.

Для слабо неоднородных полей начальное напряжение может определяться по формуле

$$U_0 = \frac{\alpha_0 \cdot \delta \cdot S}{K_n} \cdot \left[ 1 + \frac{C}{(\delta \cdot r_0)^{0.38}} \right], \quad (2.4)$$

где  $r_0$  – радиус кривизны электрода с большей кривизной;  
 $K_n$  – коэффициент неоднородности электрического поля;  
 $C$  – коэффициент, зависящий от рода газа и формы электрического поля.

В промежутках с резко неоднородными полями полярность сильно влияет не только на начальные, но и на пробивные напряжения. Это объясняется тем, что при положительной полярности электрода с меньшим радиусом новые электроны могут образовываться только в объеме газа за счет фотоионизации. При отрицательной полярности того же электрода новые электроны могут возникать в объеме газа и освободиться с поверхности электрода за счет фотоэффекта и при бомбардировке положительными ионами. Кроме того, наличие объемных зарядов, появляющихся после прохождения первичной лавины, приводит к резкому снижению зоны ионизации у отрицательного электрода с наименьшим радиусом, а при положительном заряде того же электрода – к прорастанию зоны высокой напряженности в межэлектродное пространство.

## 2.2 Описание лабораторного стенда

Источником высокого напряжения испытательной установки переменного тока, принципиальная схема которой показана на рисунке 2.1, служит испытательный трансформатор Т2. Питание на него подается от сети - 220 В с помощью автоматического выключателя  $QF$  и двух контакторов  $KM1$  и  $KM2$ . Управление контакторами производится кнопками управления  $SB1$  -  $SB4$  (рисунок 2.1, 6). Нормально разомкнутый контакт  $KM1$  в цепи катушки контактора  $KM2$  задаст необходимую последовательность их

работы. Включение контактора  $KM2$  после  $KM1$  обеспечивает возможность контроля с помощью вольтметра  $PV$  напряжения, подаваемого на первичную обмотку испытательного трансформатора  $T2$ . Питание схемы управления установкой осуществляется через блокировочные дверные контакты  $SB5$ , замыкающиеся при закрывании двери в ограждении установки. При входе на испытательную площадку установки блок-контакты  $SB5$  размыкают цепи питания соленоидов  $KM$  и  $KM2$ , что предотвращает возможность их включения при открытой двери ограждения. Включение установки производится следующим образом: при замкнутых контактах  $SB5$  замыкание кнопки управления  $SB1$  (контакты кнопки управления  $SB2$  нормально замкнуты) приводит к срабатыванию контактора  $KM1$ . Его замкнувшиеся главные контакты подключают к источнику регулятор напряжения  $T$  (автоматический выключатель  $QF$  включается предварительно). Одна пара вспомогательных контактов  $KM$  готовит цепь управления контактором  $KM2$ , а другая осуществляет блокирование кнопки управления  $SB1$ , и контактор остается включенным при отпущенной кнопке. При замыкании кнопки управления  $SB3$  происходит срабатывание контактора  $KM2$ , блокирующего своими вспомогательными контактами кнопку  $SB3$  и подающего через главные контакты напряжение на первичную обмотку испытательного трансформатора.

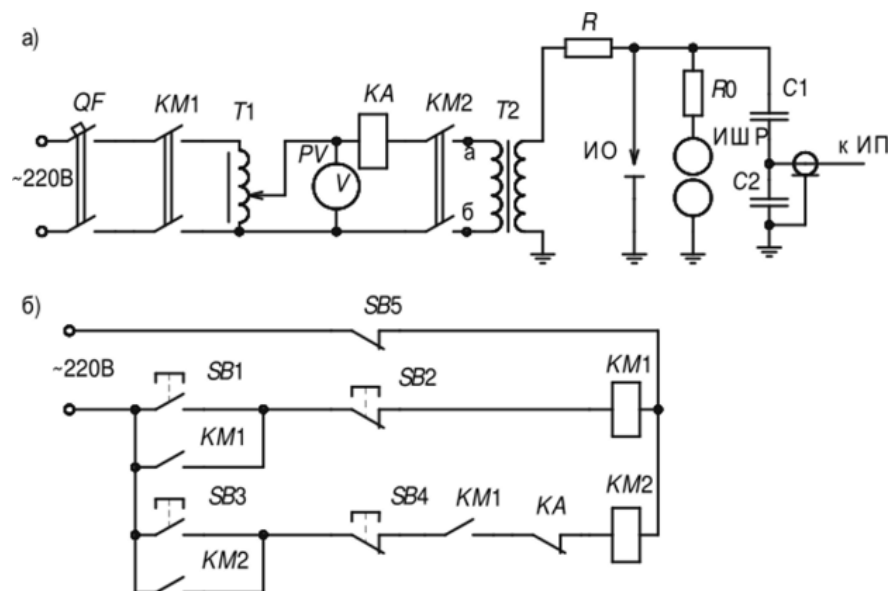


Рисунок 2.1 – Принципиальные схемы: *а* – установки переменного тока; *б*— ее управления

Отключение установки производится контакторами и автоматическим выключателем  $QF$ . Контакторы  $KM$  и  $KM2$  обесточиваются при размыкании нормально замкнутых контактов кнопок управления  $SB2$  и  $SB4$ . Следует отметить, что отключение контактора  $KM2$  происходит при нажатии любой кнопки  $SB2$  или  $SB4$ .



Основными элементами испытательной установки переменного тока (см. рисунок 2.1, *a*) являются испытательный трансформатор  $T2$  и регулятор напряжения  $T1$ . Защитный резистор  $R$  предназначен для ограничения тока короткого замыкания и защиты трансформатора при крутых срезах напряжения после пробоя испытуемой изоляции. Минимальное допустимое значение сопротивления резистора устанавливается заводом-изготовителем. Введение защитного резистора нежелательно при влагоразрядных испытаниях, когда падение напряжения на  $R$  от тока утечки по изолятору может быть сравнимо с падением напряжения на испытуемом объекте ИО. Современные трансформаторы на напряжение 100-200кВ, как правило, допускают возможность проведения таких испытаний без защитного резистора.

Вольтметр  $PV$  служит для контроля напряжения на испытательном трансформаторе  $T2$ . Представляется целесообразным устанавливать его на выходных зажимах регулятора напряжения  $T$ , отделенного от  $T2$  контактами  $KM2$ . Такая установка вольтметра позволяет определить положение регулятора напряжения при разомкнутых контактах  $KM2$  и исключить возможность включения напряжения толчком на первичную обмотку испытательного трансформатора. Кроме того, такое включение вольтметра даст возможность приблизительно оценить разрядное напряжение после пробоя или перекрытия изоляции и отключения высокого напряжения с помощью реле максимального тока  $K A$ , что особенно важно в случае повреждения изоляции, когда повторение опыта оказывается невозможным.

Изменение напряжения на низковольтной обмотке испытательного трансформатора осуществляется с помощью регулятора напряжения. Регулятор должен обладать достаточной мощностью, т. е. малой реактивностью, давать при всех возможных режимах работы испытательного трансформатора неискаженную форму кривой напряжения, а также плавно изменять напряжение, поскольку резкие скачки сопровождаются неустановившимися режимами, приводящими к снижению точности измерений и нарушению условий испытаний. Регулятор напряжения должен быть снабжен устройством, допускающим включение толчком напряжения, равного примерно 30-50% от испытательного, а затем плавное повышение его со скоростью 2-3% в секунду.

### **2.3 Подготовка к работе**

Перед началом работы ознакомиться со схемой установки и расположением ее элементов.

2.3.1 Заземлить при помощи заземляющей штанги высоковольтный вывод испытательного трансформатора, произвести соединения, обеспечивающие подачу на электроды необходимого по программе испытаний напряжения (постоянного или переменного).

2.3.2 Закрепить в держателе электроды, свести их до соприкосновения, установить указатель расстояния на «нуль», проверить совмещение электродов по центрам, развести на заданное расстояние.

2.3.3 Снять с высоковольтного вывода заземление, закрыть дверь ограждения, проверить положение рукоятки регулировки напряжения.

2.3.4 Нажатием кнопки «включено» включить аппарат.

2.3.5 Плавно поднять напряжение до пробоя, произвести замер начального и пробивного напряжения. Большое значение имеет скорость подъема напряжения на испытуемом образце. Для правильной оценки величины разрядного или пробивного напряжения необходимо, чтобы нарастание испытательного напряжения производилось плавно. С другой стороны, для сокращения времени на проведение испытаний целесообразно иметь возможность быстрого подъема напряжения вблизи нуля, т. е. при напряжениях, значительно меньших разрядного напряжения.

2.3.6 Для каждой точки снимаемых характеристик измерения следует производить трижды и напряжение определять, как среднее арифметическое.

2.3.7 Снизить напряжение до нуля и нажатием кнопки отключить аппарат.

2.3.8 Замена электродов должна производиться при полностью отключенном питании аппарата и только после наложения временного заземления на высоковольтный вывод.

2.3.9 Для испытаний на постоянном напряжении подключить с высокой стороны кенотронную приставку к трансформатору и подать питание на цепь накала кенотрона.

## **2.4 Выполнение работы**

2.4.1 Произвести паспортизацию оборудования, вычислить коэффициент трансформации высоковольтного трансформатора.

2.4.2 Определить начальные и пробивные напряжения для следующих промежутков:

- на переменном напряжении – шар-шар; стержень-стержень; плоскость-плоскость;

- на постоянном напряжении – шар-шар; положительный стержень-плоскость; отрицательный стержень-плоскость.

Результаты занести в таблицу 2.1

2.4.3 При измерениях разрядного напряжения расстояние между электродами всех типов менять от опыта к опыту через 0,5 см.

2.4.4 Испытание проводить до расстояния 3 см для промежутка шар-шар; 5 см – для остальных промежутков.

2.4.5 По результатам испытаний построить кривые для указанных промежутков.

Таблица 2.1

Тип промежутка	S, см	Величина начального и пробивного напряжения							
		1 опыт		2 опыт		3 опыт		$U_{н.ср}$	$U_{пр.ср}$
		$U_{н1}$	$U_{пр1}$	$U_{н2}$	$U_{пр2}$	$U_{н3}$	$U_{пр3}$		
Шар-шар	0,5								
	1,0								
	1,5								
	2,0								
	2,5								
	3,0								
Плоскость – плоскость	0,5...5,0								
Стержень – стержень	0,5...5,0								
Плоскость – стержень	0,5...5,0								
Стержень – плоскость	0,5...5,0								

### *Выводы*

Выводы должны содержать краткий анализ произведенной работы и полученных результатов, а также возможность использования полученных результатов на практике, в производственных условиях и исследовательской работе.

## **2.5 Контрольные вопросы**

2.5.1 Что такое электрические разряды? Виды разрядов.

2.5.2 В чем различия между несамостоятельным и самостоятельным разрядами? В чем состоит физический смысл уравнения самостоятельности разряда?

2.5.3 В чем различие однородного, слабонеоднородного и резконеоднородного электрических полей?

2.5.4 Как влияет полярность напряжения на начальное и пробивное напряжения промежутков с однородным, слабонеоднородным и резконеоднородным электрическими полями?

2.5.5 Как объяснить влияние барьера на электрическую прочность промежутка игла-плоскость?

## **3 Лабораторная работа № 3 Генератор импульсных напряжений (ГИН)**

Цель работы:

Ознакомление со схемой ГИНа и способами регулирования амплитуды, формы импульса, коэффициента использования ГИНа.

*Порядок выполнения работы*

1. Собрать схему генератора импульсного напряжения, основанную на принципе автоматического переключения предварительно заряженных конденсаторов из параллельного соединения в последовательное (схема Аркадьева-Маркса) согласно рисунку 3.1.

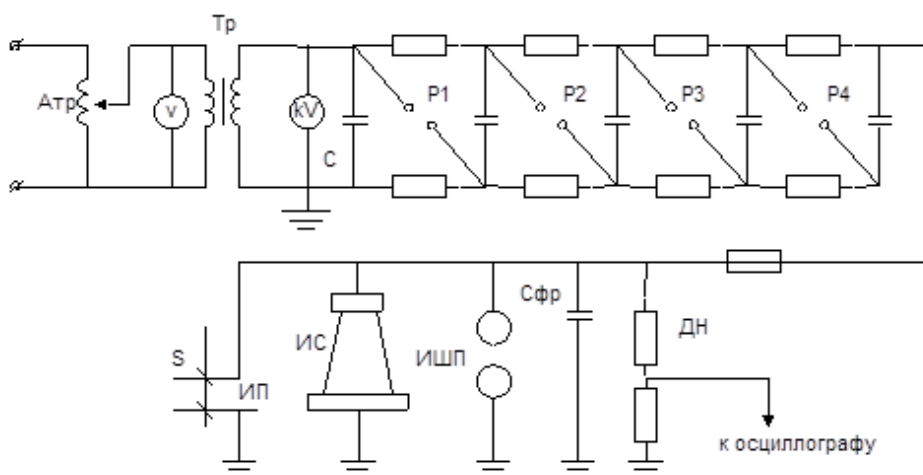


Рисунок 3.1 – Схема Генератора Импульсного напряжения Аркадьева – Маркса

Атр– автотрансформатор;Тр– высоковольтный испытательный трансформатор; V – вольтметр;В – высоковольтный кремниевый выпрямитель;кV– киловольтметр электростатический;С – емкость одной ступени ГИНа, мкФ;R4 – защитное сопротивление, Ом;

P1, P4 – коммутирующие разрядники; PШП – разделительный шаровой промежуток; гф.р. – фронтовое сопротивление, Ом; Сф – фронтная емкость, мкФ; ДН – делитель напряжения; ИШП – измерительный шаровой промежуток; ИО – испытуемый объект.

2. Снять градуировочную кривую ГИНа, т.е. зависимость выходного напряжения генератора  $U_{\text{вых.}}$  (кВ), от максимального отклонения импульса  $\ell$  (мм) на экране осциллографа. Данные заносить в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 – Градуировочная кривая ГИНа

U.В	Uзар,кВ	I, мм	S,мм	Uвнх.,кВ	$\eta$	Примечания

Данные таблицы 3.1.:

$U$  – напряжение промышленной частоты на выводах автотрансформатора, В (предельное значение 20 В);

$U_{зар.}$  – зарядное напряжение на выходе высоковольтного выпрямителя, кВ;

$\ell$  – максимальное отклонение импульсного напряжения на экране осциллографа, мм (см, рис. 3.2);

$S$  – расстояние между измерительными шарами, мм

$U_{вых}$  – выходное напряжение ГИНа, определяемое по табличным данным (диаметр измерительных шаров равен 12,5 см);

$\eta$  – коэффициент использования ГИНа;

$\eta = U_{вых} / (n \cdot U_{зар.})$ , где  $n$  – число ступеней ГИНа,  $n=5$ .

Снятие градуировочной кривой необходимо производить следующим образом:

а) установить между всеми коммутирующими разрядниками ГИНа расстояние, приблизительно равное 1.5 – 2 мм, и добиться стабильной работы ГИНа (одновременного срабатывания всех разрядников);

б) изменяя расстояние между измерительными шарами ИШП, добиться 50% количества разрядов от общего числа срабатываний ГИНа;

в) по таблице разрядных напряжений шаровых промежутков при отрицательной полярности импульса и диаметре шаров ( $D_{ш} = 12,5$  см) определить выходное напряжение  $U_{вых.}$  по найденному расстоянию в ИШП.

г) посредством наложения миллиметровой сетки на экран осциллографа определить максимальную амплитуду импульса  $\ell$  в миллиметрах;

д) увеличить расстояние между всеми коммутирующими разрядниками путем поворота шаров на  $90^\circ$  вокруг горизонтальной оси и повторить измерения по пунктам б, в, г;

ж) для снятия градуировочной кривой ГИНа сделать не менее пяти измерений выходного напряжения  $U_{вых.}$  и максимального отклонения импульса на осциллограмме  $\ell$ ;

в) при каждом расстоянии между коммутирующими разрядниками измерить зарядное напряжение ступени  $U_{зар.}$  С помощью электростатического киловольтметра, при этом для исключения повреждения киловольтметра за счет индуктируемых напряжений при разрядах необходимо развести измерительные шары ИШП на расстояние не менее 5 см.

3. Снять зависимость коэффициента использования ГИНа  $\eta$  от числа ступеней  $n$ :  $\eta = f(n)$ . Число ступеней  $n$  необходимо изменять путем увеличения расстояния между коммутирующими разрядниками. Например, при  $n=4$  должен быть раздвинут разрядник Р1, а остальные разрядники Р2, Р3, Р4, должны одновременно срабатывать; при  $n=3$  должны быть разведены разрядники Р1, Р2 и т.д. Результаты измерений заносить в таблицу 3.2.

Таблица 3.2 – Зависимость коэффициента использования ГИНа

№	$U, В$	$U_{зар.} кВ$	$S, мм$	$U_{вых} кВ$	$\eta$	Примечание
---	--------	---------------	---------	--------------	--------	------------

2						
3						
4						
5						

4. Снять осциллограммы полной волны импульсного напряжения при различных значениях фронтового сопротивления  $r_{фр}$ , фронтовой емкости  $C_{фр}$  (по указанию преподавателя) и определить их параметры (рисунок 3.2):

- максимальную амплитуду импульсного напряжения,  $U_{max}$ ;
- длину фронта волны,  $\tau_{фр}$ , мкс;
- длину волны,  $\tau_b$ , мкс.

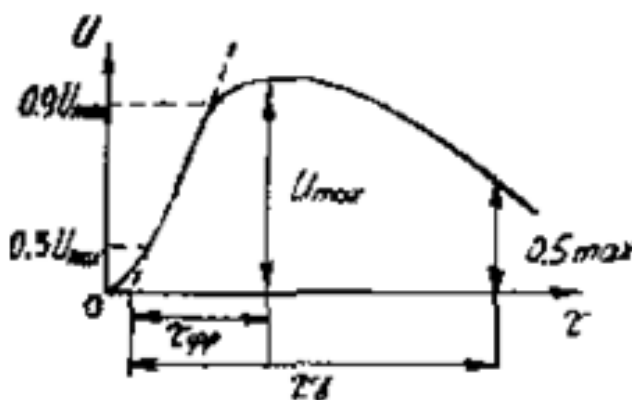


Рисунок 3.2

5. Снять осциллограммы срезанной волны импульсного напряжения при различных значениях (по указанию преподавателя)  $\tau_{фр}$ ,  $C_{фр}$  (см рис 3,3) и определить их параметры аналогично п.4.

Здесь:  $\tau_{ср}$ - длина врезанной волны импульсного напряжения, мкс.

6. Снять зависимость импульсного разрядного напряжения ( $U_{разр}$ ) от длины промежутка  $S$  на искровом промежутке ИП (рис. 3,1). Для этого необходимо:

а) установить на ГИНе наибольшее напряжение (При стабильной работе ГИНа на щитовом вольтметре должно быть около 18-20 В);

б) установить на ИП расстояние  $S=0,5$  см

в) подать напряжение от ГИНа;

г) по осциллограмме определить максимальное отклонение импульса, мм;

д) по градуировочной кривой по максимальному отклонению импульса на осциллограмме определить величину разрядного напряжения  $U_{разр}$ ;

е) повторить работы по пунктам б.в,г,д при расстоянии на ИП. равном 0,5 см; 1 см; 1,5 см; 2 см и т.д. до тех пор, пока будет пробиваться промежуток ИП.

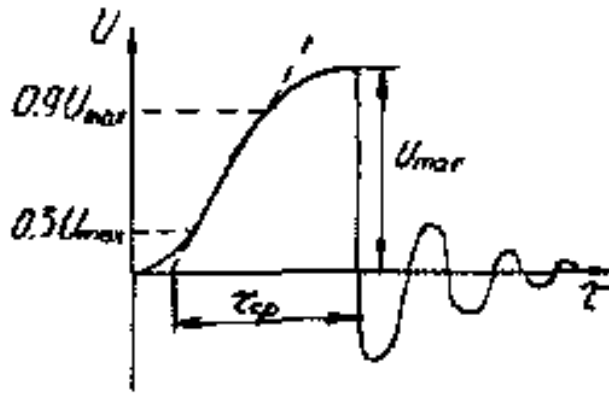


Рисунок 3.3

Здесь:  $\tau_{ср}$  - длина срезанной волны импульсного напряжения, мкс.

7. По полученным данным построить соответствующие графики, объяснить полученные результаты.

### Контрольные вопросы

1. Основной принцип получения высокого импульсного напряжения по схеме Аркадьева-Маркса.
2. Как измеряется амплитуда импульсного напряжения с помощью измерительного шарового промежутка?
3. Назначение делителей напряжения в схемах генераторов импульсных напряжений.
4. Разновидности делителей напряжения в схемах измерения импульсных напряжений.
5. Как регулируются параметры импульсной волны на генераторе импульсного напряжения?
6. Назвать основные элементы генераторов импульсного напряжения.
7. Каким образом можно определять амплитуду импульсного напряжения по осциллограмме?
- в. Как определяется коэффициент использования генератор импульсного напряжения?
9. Рассказать о характере изменения коэффициента использования ГИНа в зависимости от числа ступеней.
10. Как определяется величина разрядного импульсного напряжения на испытуемом объекте?

## 4 Лабораторная работа № 4. Исследование разряда вдоль поверхности твердого диэлектрика

Цель работы:

Изучить закономерности электрического разряда по поверхности некоторых твердых диэлектриков при различной конфигурации электрического поля.

### 4.1 Порядок выполнения работы

1. Собрать электрическую схему установки (рисунок 4.1):
2. Снять зависимость разрядного напряжения  $U_{\text{разр}}$  от длины перекрытия по поверхности твердого диэлектрика  $l_{\text{пер}}$  в однородном поле (рисунок 4.1).

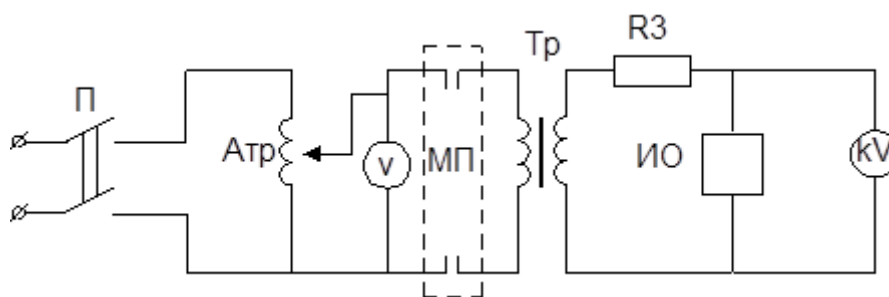


Рисунок 4.1 – Схема установки

П - пакетный выключатель; Атр - автотрансформатор; V - вольтметр на стороне низкого напряжения, отградуированный в киловольтах, кВ; МП - магнитный пускатель; Тр - высоковольтный испытательный трансформатор;

Rз- защитное сопротивление; ИО - испытуемый объект; kV - электростатический киловольтметр

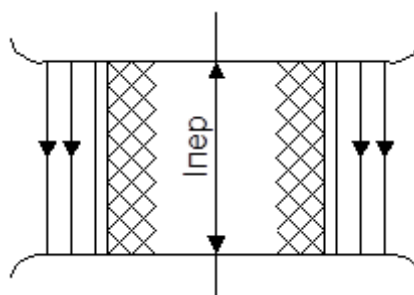


Рисунок 4.2

В качестве твердого диэлектрика взять:

- а) гетинакс;
- б) дерево;
- в) стекло.



Зависимость  $U_{\text{разр.}}=f(\ell_{\text{пер.}})$  снимать с интервалом  $\ell_{\text{пер.}}=0,5\text{ см}$ ; т.е. при  $\ell_{\text{пер.}}=0,5\text{ см}; 1,0; 1,5\text{ см}$  и т.д. до  $U_{\text{разр.}}=30\text{ кВ}$ .

Снять зависимость разрядного напряжения  $U_{\text{разр}}$  от длины перекрытия  $\ell_{\text{пер.}}$  на макете опорного изолятора (рисунок 4.3), когда тангенциальная составляющая напряженности поля составляющую  $E_t$  превышает нормальную составляющую  $E_n$ .

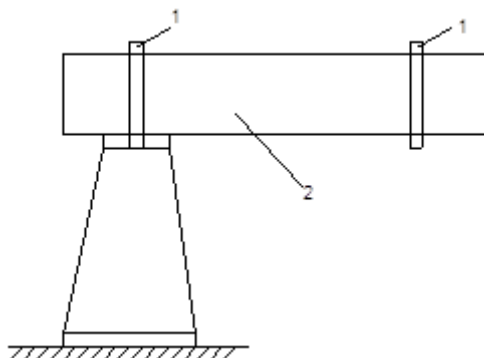


Рисунок 4.3 – Макет опорного изолятора: 1 - электроды; 2 - твердый диэлектрик.

Работы по п. 3 проводить с использованием следующих материалов:

- а) стекло;
- б) текстолит.

4. Исследовать зависимость разрядного напряжения  $U_{\text{разр}}$  от длины перекрытия  $\ell_{\text{пер.}}$  на макете проходного изолятора (рисунок 4.4.), когда  $E_n > E_t$ .

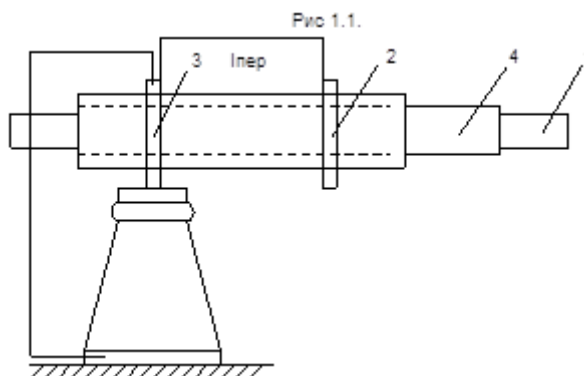


Рисунок 4.4 –Макет проходного изолятора:  
1-внутренний металлический стержень; 2- электрод для подключения заземления; 3- электрод для подключения высокого напряжения; 4- твердый диэлектрик

5. Исследовать влияние удельной поверхностной емкости на развитие разряда с помощью устройства, показанного на рисунке 4.5.

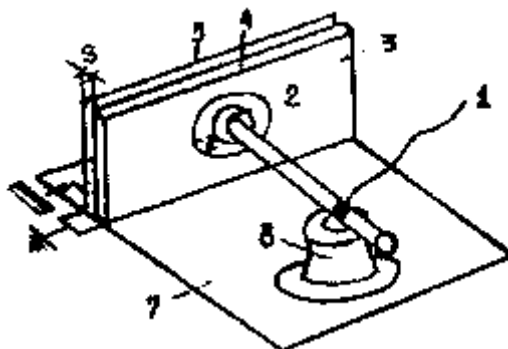


Рисунок 4.5 – Устройство для изучения влияния удельной поверхностной емкости на развитие разряда:

- 1 - электрод высокого напряжения; 2 - полусфера; 3 - заземленный электрод;  
 4 - твердый диэлектрик; 5 - заземленная металлическая пластина;  
 6 - измерительная линейка; 7 - диэлектрическое основание; 8 - изолятор

Работы по п. 5, т.е. перекрытия твердого диэлектрика по пути  $\ell$  (рис. 4.5), производить при следующих значениях расстояния между пластинами 5 и 4:  $S=0$ ; 0,25; 0,5; 1; 1,5; 2; 3 см.

6. По полученным экспериментальным данным построить графики и объяснить полученные результаты.

### Контрольные вопросы

1. Как изменяется разрядное напряжение по поверхности твердого тела в зависимости от степени неоднородности поля?
2. Как объяснить снижение разрядного напряжения по поверхности твердого диэлектрика по сравнению с пробивным напряжением чистого воздушного промежутка тех же размеров?
3. Объяснить механизм разряда по поверхности твердого диэлектрика, когда преобладает нормальная составляющая напряженности электрического поля.
4. Как изменяется разрядное напряжение по поверхности твердого диэлектрика в зависимости от гигроскопичности материала?
5. Изобразить характер изменения разрядного напряжения по поверхности твердого диэлектрика в зависимости от длины перекрытия в условиях однородного, неоднородного полей.
6. Какие существуют методы повышения разрядного напряжения по поверхности твердого диэлектрика?

## 5 Лабораторная работа № 5. Определение сухоразрядных и мокроразрядных характеристик изоляторов

Цель работы

Изучить методы определения напряжения короны, сухоразрядного и мокроразрядного напряжения изоляторов и факторы, влияющие на эти величины напряжений.

*Порядок выполнения работы*

1. Собрать схему испытательной установки с изолятором (тип изолятора называется преподавателем).

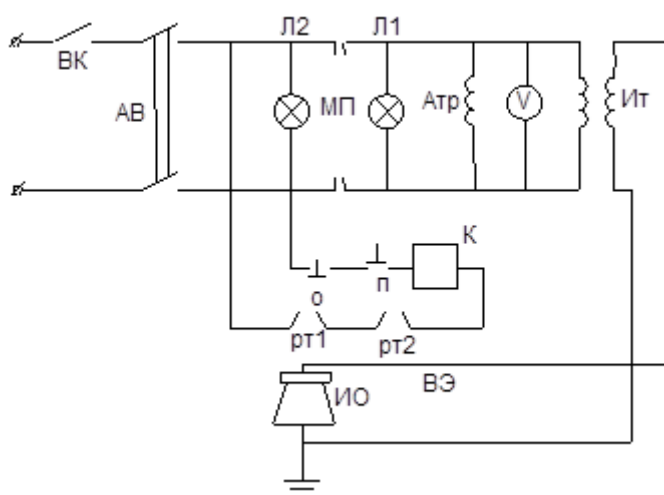


Рисунок 5.1 – Схема установки.

П - кнопка пуска высокого напряжения; ВК - конечный выключатель двери ограждения; АВ - автоматический выключатель; Л1 - сигнальная лампа "включено низкое напряжение"; МП - контакты магнитного пускателя;

О - кнопка выключения высокого напряжения; К - катушка магнитного пускателя; РТ1, РТ2 - тепловые реле; Л2 - сигнальная лампа "включено высокое напряжение"; Атр - автотрансформатор; ИТ - испытательный трансформатор;

ДУ - дождевальная установка; ВР - высоковольтный электрод; V - вольтметр, отградуированный в киловольтах.

2. Определить атмосферные условия эксперимента.

3. Определить напряжение короны  $U_{к}$  изоляторов в следующем порядке: а) напряжение на изоляторе поднимают до тех пор, пока на изоляторе не образуется отчетливо видимая корона, а затем медленно снижают напряжение до погасания светящихся точек. Это напряжение отмечают, как напряжение начала короны. Полученные значения напряжения начала короны надо привести к номинальным атмосферным условиям по формуле:

$$U_k = \frac{U_{cp.k}}{\sigma}, \quad \text{кВ} \quad (5.1)$$

где  $U_{cp.k}$  - среднее значение напряжения начала короны из трех измерений; кВ.

$\sigma$ -относительная плотность воздуха в момент испытания, определяемая по формуле:

$$\sigma = \frac{0,386P}{273+t^0}, \quad (5.2)$$

где  $P$  - атмосферное давление, мм.рт.ст.;

$t$  - температура окружающего воздуха, °С.

б) определить напряжение, при котором появляется характерный треск коронного разряда при плавном подъеме напряжения

$$U^k = \frac{U_{cp.k}}{\sigma}, \quad \text{кВ} \quad (5.3)$$

в) определить напряжение появления видимой короны при плавном повышении напряжения

$$U^k = \frac{U_{cp.k}}{\sigma}, \quad \text{кВ} \quad (5.4)$$

г) определить напряжение, при котором исчезает характерный треск коронного разряда:

$$U^k = \frac{U_{cp.k}}{\sigma}, \quad \text{кВ} \quad (5.5)$$

Полученные данные свести в таблице 5.1. Объяснить полученные результаты

Таблица 5.1

П/П	Ик	Ик`	Ик``	Ик```
1				
2				
3				
Среднее напряжение с учетом $\delta$				

4. Определить сухоразрядное напряжение  $I_{cp}$  изоляторов при их сухой и чистой поверхности в условиях приложения напряжения промышленной частоты. Измеренное значение сухоразрядного напряжения  $I_{cp}$  необходимо привести к нормальным атмосферным условиям по формуле с учетом поправки на влажность воздуха:

$$U_{\text{ср.н}} = (U_{\text{ср}} / \delta) \cdot (1 + \Delta K), \text{ кВ} \quad (5.6)$$

где  $K$  – поправка на влажность воздуха, определяемая по номограмме рисунка 5.1.

Полученные значения  $U_{\text{ср.н}}$  следует сравнить с расчетной величиной сухоразрядного напряжения

$$U_{\text{ср.расч.}} = E_{\text{ср}} \ell_{\text{из}}, \text{ кВ} \quad (5.7)$$

где  $E_{\text{ср}}$  – средняя напряженность поля вдоль пути разряда по поверхности изолятора,  $E_{\text{ср}} = 4 \text{ кВ/см}$ ;

$\ell_{\text{из}}$  – кратчайшее расстояние по воздуху между электродами изолятора, см.

Следует иметь в виду, что формула (5.6) справедлива при относительных влажностях воздуха не более 80%.

5. Определить разрядные постоянные изоляторов, которые находятся из выражения

$$k = \frac{U_{\text{ср.н}}}{\sqrt{H \cdot D}}, \quad (5.8)$$

где  $H$  – строительная высота изолятора, см;

$D$  – наибольший диаметр, см.

6. Построить зависимости  $U_{\text{ср.н}} = f(K)$  и проанализировать полученные результаты.

7. Определить экспериментальным путем мокроразрядные напряжения изоляторов и привести их к нормальным атмосферным условиям по формуле:

$$U = 0.5 \cdot U_{\text{м.р}} \cdot (1 + P/760), \quad (5.9)$$

где  $U_{\text{м.р}}$  – мокроразрядное напряжение, приведенное к нормальным атмосферным условиям, кВ;

$U$  – измеренное значение разрядного напряжения, кВ;

$P$  – атмосферное давление, мм. рт. ст.

Следует иметь в виду, что мокроразрядное напряжение изолятора определяется при воздействии напряжения промышленной частоты в условиях "стандартного дождя", когда дождевые капли падают на изолятор под углом  $45^\circ$  с интенсивностью  $3 \text{ мм/мин}$  когда сопротивление воды при  $20^\circ \text{C}$  составляет  $(9,5-10,5) \cdot 10^2 \text{ Ом} \cdot \text{см}$  (ГОСТ).

Измерение мокроразрядного напряжения следует начинать после минутного включения дождевальной установки. В течении этого времени испытываемые изоляторы должны находится под напряжением, равным половине мокроразрядного напряжения.

8. После снятия разрядных напряжений все данные свести в таблицу 5.2 и сравнить их с данными по ГОСТу (таблицы 5.3; 5.4; 5.5).

Таблица 5.2

Тип изоляторов				
	Из опыта	1		
		2		
		3		
		4		
	по ГОСТу			

### Контрольные вопросы

1. Назовите электрические характеристики изоляторов.
2. Перечислите геометрические размеры изоляторов.
3. Назовите механические характеристики изоляторов.
4. Укажите пути разряда для одиночного изолятора и изолятора в гирлянде.
5. Как влияет на напряжение перекрытия по поверхности изолятора условия его работы?
6. Какие существуют методы для повышения разрядного напряжения изоляторов высокого напряжения?
7. При каких условиях определяется мокроразрядное напряжение изоляторов?
8. Насколько приблизительно различаются мокроразрядное и сухоразрядное напряжения изоляторов.

Таблица 5.3 Штыревые изоляторы

Тип изолятора	Размеры, мм		Механическая прочность на изгиб, кг	Ис.р., кВ действ.	Им.р., кВ действ.	Ии, кВ	
	Высота Н, мм	Диаметр Д, мм				При 2 мкс	50%
ШС-6	94	126	1400	30	28	109	83
ШС-10	110	147	1400	60	34	130	101
ШС-10 (стекл.)	110	150	1800	60	36	-	-
ШС-20	190	185	3500	68	64	170	132

Таблица 5.4 Подвесные линейные изоляторы

Тип изолятора	Размеры, мм		Вес, кг	Эф.длина путигучки, См	Им. р. в гирлянде, кВ/см
	Высота, Н /мм/	Диаметр. А /мм/			

П-4,5	170	270	6,4	25	2.95
П-11	21,5	350	14,2	34	2.95
ПС-4,5	130	255	4.0	25	3.7
СТ-110/4,5	1270	75	23,0	185	3.6

Таблицы 5.5 Опорные изоляторы

Тип изолятора	Класс напряжения, В	Высота, Н, мм	Диаметр А, мм	Разрядное напряжен, кВ		50% Им, кВ
ОА-6	6	165	66	30	---	62
ОВ-10	10	225	130	63	---	105
ОМА-6	6	100	77	5С	---	---
ОМА-10	10	120	82	57	---	---
ШН-Ю	10	188	160	73	36	96
ШТ-35	35	400	370	135	85	205
ВТВ-35	35	400	430	145	88	230
СТ-110	110	1030	160	330	240	500
3х ШТ-35	110	1200	370	330	240	575
5х ШТД-35	220	2000	430	610	460	930

## 6 Лабораторная работа № 6 Изучение устройства защитных искровых промежутков, разрядников и ОПН

Цель работы:

Изучить конструкции, принцип действия и назначение искровых промежутков, разрядников и нелинейных ограничителей перенапряжений.

### 6.1 Краткие теоретические сведения

Защитные искровые промежутки, трубчатые и вентильные разрядники и нелинейные ограничители перенапряжений (ОПН) предназначены для защиты электроустановок от перенапряжений. Принцип действия их состоит в том, что они предотвращают появление на электроустановке импульсов перенапряжений, опасных для ее изоляции, не препятствуют работе электроустановки при рабочем напряжении.

Простейшим защитным устройством является искровой промежуток, включенный параллельно изоляционной конструкции. Для предупреждения пробоя изоляции вольт-секундная характеристика защитного искрового промежутка должна лежать ниже вольт-секундной характеристики защищаемой изоляции.

Конструктивно защитные промежутки выполняются в виде стрержневых электродов (рогов). Один из электродов промежутка присоединяют к фазному проводу, а другой заземляют. При набегании импульса напряжения происходит пробой защитного промежутка. Вслед за импульсным током через защитный промежуток по ионизированному пути течет ток, обусловленный напряжением промышленной частоты, – сопровождающий ток. При работе электроустановки в сети с заземленной нейтралью или, если пробой промежутка произошел в двух или трех фазах, дуга сопровождающего тока может не погаснуть и пробой переходит в устойчивое короткое замыкание. Поэтому для повышения надежности электроснабжения защитные искровые промежутки применяют в сочетании с автоматическим повторным включением (АПВ) линий.

Защитный промежуток не обеспечивает надежную работу грозозащиты, так как он не гасит электрической дуги сопровождающего тока. Защитные аппараты, обеспечивающие не только защиту изоляции от перенапряжений, но и гашение дуги сопровождающего тока в течение времени меньшего, чем время действия релейной защиты, получили название защитных разрядников. Имеются два различных способа гашения дуги: в трубчатых разрядниках гашение происходит в результате интенсивного продольного дутья, в вентильных разрядниках – благодаря снижению значения сопровождающего тока с помощью сопротивления, включенного последовательно с искровым промежутком.

Основу трубчатого разрядника составляет трубка из газогенерирующего материала 1 (рисунок 6.1). Один конец трубки закрывается металлической крышкой, на которой укреплен внутренний электрод 2. На открытом конце трубки расположен другой электрод в виде кольца 3. Промежуток ИП1 между стержневым и кольцевым электродами называется внутренним или дугогасящим промежутком. Трубка отделяется от провода фазы внешним искровым промежутком ИП2, иначе газогенерирующий материал трубки постоянно разлагался бы под действием токов утечки.

При пробое наружного и внутреннего промежутков трубчатого разрядника фазный провод соединяется через разрядник с заземлением, и таким образом волна перенапряжения отводится в землю. Электрическая дуга сопровождающего тока разлагает стенки трубки, обеспечивая интенсивное газообразование, создающее в трубке высокое давление. Под действием этого давления горячие газы устремляются к выхлопному отверстию, создают продольное дутье, в результате чего дуга гасится при первом же прохождении тока через нулевое значение. Срабатывание разрядника сопровождается выхлопом раскаленных газов и звуком, напоминающим выстрел.



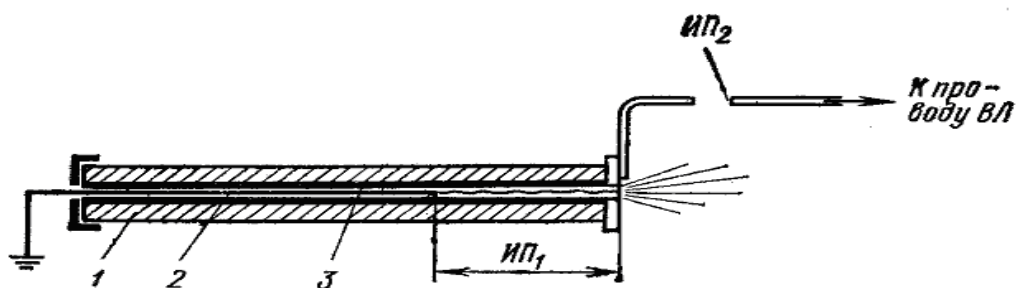


Рисунок 6.1 – Устройство трубчатого разрядника

В качестве газогенерирующего материала в трубчатых разрядниках используют фибробакелит или винипласт.

В зависимости от этого выпускают разрядники серии РТФ или РТВ. В маркировке трубчатых разрядников указывают номинальные напряжения и пределы отключаемых токов. Например, марка РТВ 10/0,5-4 означает, разрядник трубчатый винипластовый на напряжение 10 кВ с пределами отключаемых токов 0,5-4 кА.

Так как работа трубчатых разрядников сопровождается выхлопом сильно ионизированных газов, расположение их на опоре должно быть таким, чтобы выхлопные газы не вызвали междуфазных перекрытий или перекрытий на землю. Для этого в зону выхлопа не должны попадать токоведущие части других фаз.

Наличие зоны выхлопа не позволяет использовать трубчатые разрядники для защиты оборудования на подстанциях. Основное их применение – это защита линейных подходов к подстанциям, электрооборудования маломощных подстанций 6-10 кВ и участков пересечения линий разного номинального напряжения.

При изучении конструкции фибровых разрядников следует обратить внимание на выполнение трубки разрядника. Для создания необходимой механической прочности дугогасительной трубки сверху ее обматывают слоем бакелизированной бумаги и затем подвергают термической обработке.

Разрядники сверху покрывают слоем изолирующего лака, чтобы увеличить электрическую прочность по поверхности трубки. Трубки винипластовых разрядников сверху не обрабатывают.

Вентильные разрядники до недавнего времени являлись основным средством защиты от перенапряжений станций и подстанций. Основными элементами вентильных разрядников являются многократные искровые промежутки и номинальные рабочие сопротивления, выполненные в виде дисков или столбиков из вилита. Основу вилита составляют зерна карборунда SiC. На поверхности карборунда имеется запорный слой толщиной порядка 100 мкм из окиси кремния SiO<sub>2</sub>, сопротивление которого нелинейно зависит от напряженности электрического поля. При малых напряженностях поля (при небольших напряжениях на резисторе) удельное сопротивление слоя составляет 10<sup>4</sup>-10<sup>6</sup> Ом·м, и практически все напряжение ложится на него, так

как удельное сопротивление самого карборунда значительно меньше – около 10-2 Ом·м. При повышении напряженности поля сопротивление запирающего слоя резко падает, и значение сопротивления нелинейного резистора начинает определяться собственно карборундом. Поэтому вилит обладает свойством резко менять свое сопротивление в зависимости от напряжения, обеспечивая пропускание очень больших токов при высоких напряжениях и очень малых при пониженном, это свойство материала называют “вентильным”. Отсюда и название аппарата: вентильный разрядник.

Работает вентильный разрядник следующим образом. Когда мгновенное значение волны перенапряжения  $U_n$  на разряднике достигает импульсного пробивного напряжения искровых промежутков, они пробиваются. Сопротивление разрядника при этом мало, и через него протекает значительный по величине импульсный ток  $I_p$ , который и определяет напряжение на разряднике. Наибольшее напряжение на разряднике при максимально допустимом импульсном токе через него  $I_u$ ,  $t_{max}$  называют остающимся напряжением  $U_{ост}$ . Это напряжение должно быть на 20...25% меньше импульсной прочности защищаемой изоляции. После прохождения импульсного тока через разрядник начинает протекать сопровождающий ток промышленной частоты  $I_{сопр}$ , обусловленной рабочим напряжением сети. Так как это напряжение значительно ниже амплитуды импульса перенапряжения, то сопротивление варистора резко возрастает, и величина сопровождающего тока ограничивается до величины, при которой дуга, разбитая в искровых промежутках на большое число отдельных дужек небольшой длины, гасится при первом же переходе сопровождающего тока через нуль.

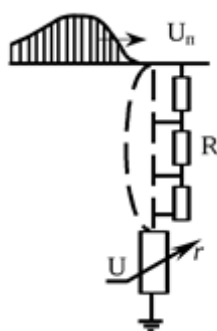


Рисунок 6.2 – Устройство и схема включения вентильного разрядника (пунктиром показан вариант ОПН)

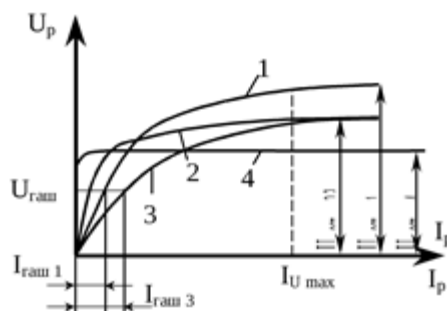


Рисунок 6.3 – Вентильная характеристика разрядника: 1,2,3 – разные степени нелинейности;  $I_{гаш1}$  и  $I_{гаш3}$  разные токи гашения; 4 – вольтамперная характеристика ОПН

Наибольшее действующее значение напряжения гашения дуги  $U_{гаш}$ , при котором надежно обрывается проходящий через разрядник ток, называемый током гашения  $I_{гаш}$ , должно быть выше максимально возможного напряжения на разряднике в момент гашения дуги, иначе разрядник может не погасить дугу сопровождающего тока при первом прохождении его через нуль и выйдет из строя.

$$U_{гаш} = K_3 \cdot U_{ном}, \quad (6.1)$$

где  $U_{ном}$  - номинальное линейное напряжение;  
 $K_3$  - коэффициент, зависящий от способа заземления нейтрали;  
 $K_3 = 0,8$  или  $1,1$  для установки с заземленной и изолированной нейтралью соответственно.

Важной характеристикой вентильных разрядников является коэффициент защиты:

$$K_{защ} = \frac{U_{ост}}{U_{гаш}}. \quad (6.2)$$

Так как  $U_{гаш}$  зависит от  $U_{ном}$  установки, то  $K_{защ}$  определяет значение  $U_{ост}$  разрядника, т.е. требуемый уровень изоляции. Снижение уровня изоляции при сохранении надежности защиты ее с помощью РВ может быть достигнуто путем применения разрядников или ОПН с более пологой вольтамперной характеристикой (рисунок 6.3, кривые 2,4) или путем увеличения тока гашения за счет улучшения дугогасящих свойств искровых промежутков (кривая 3).

Искровые промежутки вентильных разрядников делаются многократными, т.е. состоящими из большего числа последовательно соединенных единичных промежутков. Простейший единичный промежуток (рисунок 6.4) состоит из двух латунных электродов 1, разделенных

изолирующей шайбой 2. Электрическое поле между электродами близко к однородному, поэтому промежуток пробивается при коэффициенте импульса, близком к единице. Количество единичных промежутков в разряднике устанавливают из расчета примерно 1 промежуток на 1-2 кВ фазового номинального напряжения разрядника.

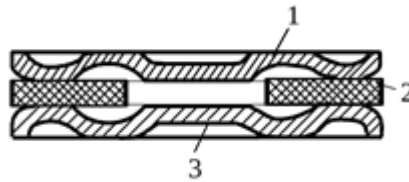


Рисунок 6.4 – Единичный искровой промежуток с неподвижной дугой

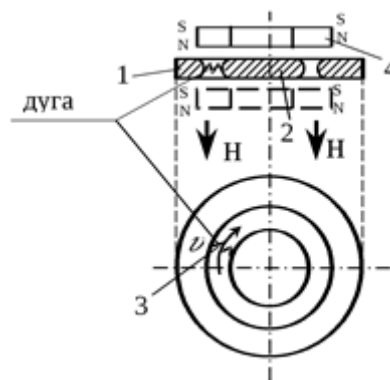


Рисунок 6.5 – Единичный искровой промежуток с вращающейся дугой

Таким образом, дуга сопровождающего тока оказывается разбитой на ряд дуг малой длины, что обеспечивает при токах  $I_{сопр}$  до 100 А надежное гашение дуги. Применяются такие промежутки в разрядниках РВП и РВС. При сопровождающих токах свыше 100 А применяются промежутки с подвижной дугой.

Такой промежуток (рисунок 6.5) представляет собой зазор между кольцом 1 и диском 2. Дуга 3, горящая между этими электродами, в результате взаимодействия с магнитным полем, создаваемым постоянным магнитом 4, перемещается с большой скоростью по кольцевому зазору, что обеспечивает ее гашение. Указанные промежутки надежно гасят дугу при  $I_{сопр}$  до 250...300 А.

Принцип действия искровых промежутков с растягивающейся дугой показан на рисунке 6.6. Два электрода 1 располагаются между стенками дугогасительной камеры 2 в магнитном поле  $H$ . в таком поле на дугу 4 сопровождающего тока действует сила  $F$ , в результате чего дуга перемещается и растягивается между перегородками 3 камеры 2, стремясь занять конечное положение 4, охлаждается и гаснет. Стенки камеры 2 изготавливаются из

дугогасительной керамики. Промежутки с растягивающейся дугой применяются в разрядниках РВТ и РВРД.

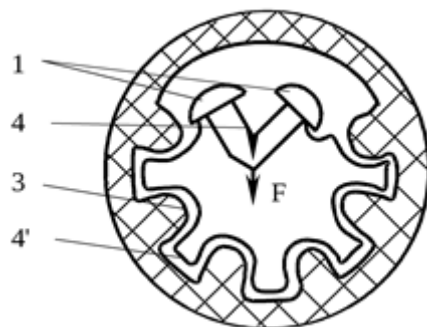


Рисунок 6.6 – Искровой промежутки с растягивающейся дугой

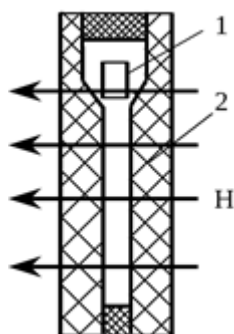


Рисунок 6.7 – Варисторы вентильных разрядников

Для увеличения пробивного напряжения разрядников при промышленной частоте и облегчения гашения дуги сопровождающего тока распределения напряжения по искровым промежуткам должно быть равномерным. Для этого искровые промежутки шунтируют резисторами  $R$  (рисунок 6.2), сопротивление которых выбирают так, чтобы через них протекал ток, превышающий в несколько раз емкостный ток искровых промежутков.

Волна перенапряжения в вентильных разрядниках гасится совместным действием искровых промежутков и вилитовых дисков: искровые промежутки пробиваются, сопротивление дисков уменьшается, и ток разряда отводится в землю.

Наибольшее напряжение промышленной частоты на разряднике, при котором надежно обрывается сопровождающий ток, называется напряжением гашения.

Комплект искровых промежутков и вилитовых дисков помещается в герметизированный фарфоровый чехол. Герметизация необходима для предохранения вилита от действия влаги и для обеспечения стабильности разрядных характеристик искровых промежутков.

Наша промышленность выпускает вентильные разрядники типов: РВС – стационарные, РВМ – для защиты вращающихся машин, РВМГ – с магнитным гашением дуги, РВО – облегченной конструкции, РС – для защиты электроустановок сельскохозяйственного назначения.

Основной недостаток вентильных разрядников связан с тем, что резисторы на основе карборунда обладают сравнительно невысокой нелинейностью.

Разрядники в качестве средств защиты от перенапряжений на вновь проектируемых подстанциях 110 кВ и выше не применяются.

ОПН выполняется в виде системы керамических резисторов на основе окиси цинка (ZnO) с высокой степенью нелинейности. Металлизированные с торцов диски (например, 4 параллельных колонки из дисков диаметром 28 мм и высотой 8 мм – ОПН 110) размещаются в геометрическом изолирующем корпусе. ОПН обеспечивают ограничение сопровождающего тока до 10-4...10-5 А при рабочем напряжении сети, обладая достаточно высокой пропускной способностью при перенапряжениях. Уровень ограничения грозовых перенапряжений с помощью ОПН составляет (2,0...2,2) Уф, коммутационных (1,68...1,8) Уф.

Расчетными величинами при выборе и установке ОПН являются длительность воздействия перенапряжения. В зависимости от длительности воздействия определяется параметр

$$T_c = \frac{Un(t)}{U_c}, \quad (6.3)$$

где  $U_c$  – напряжение на ОПН, которое он должен выдерживать как угодно долго;

$Un(t)$  – перенапряжение заданной длительности.

Типичная характеристика  $T_c=f[Un(t)]$  приведена на рисунке 6.8

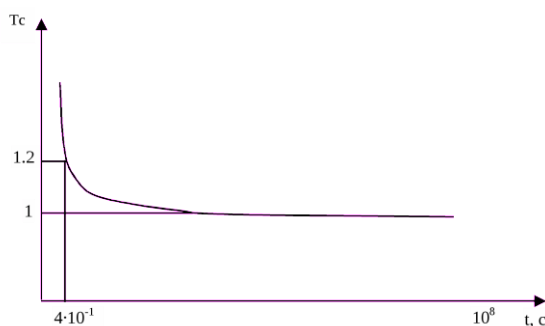


Рисунок 6.8 – Типичная характеристика  $T_c=f[Un(t)]$

Зависимость  $T_c = \frac{Un(t)}{U_c}$  эта характеристика необходима для корректного выбора уставок релейной защиты и других систем автоматики. Так же

расчетной величиной при выборе ОПН является количество импульсов заданной формы и максимальное значение импульсного тока. Соответствующее нормированному остающемуся напряжению  $U_{ост}$ . Типичная характеристика  $U_{опн}=f(I)$  приведена на рисунке 6.9

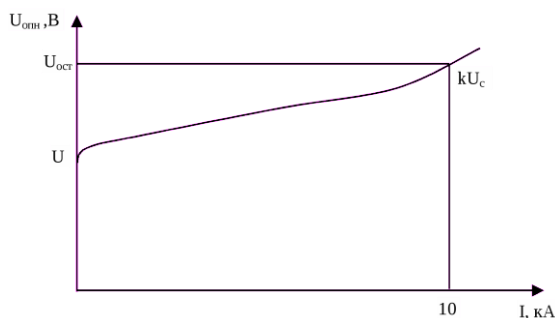


Рисунок 6.9 – Соотношение  $U_{ост}$  к  $U_c$  в зависимости от импульсного тока

В зависимости от типа и назначения ОПН  $K=2\div 4$ . При  $U_{опн} \leq U_c$ , ток протекающий через нелинейный резистор, составляет единицы мА и главной проблемой при эксплуатации ОПН является недопущение возрастания этого тока (разгерметизация и увлажнение конструкции и т.д.).

Методика расчета и выбора ОПН продолжает совершенствоваться, и со временем ОПН должны заменить все виды защитных разрядников.

Выпускаемые в настоящее время нашей промышленностью и за рубежом резисторы на основе окиси цинка обладают значительно большей нелинейностью, чем резисторы на основе карборунда. Это позволило создать новый тип защитного аппарата – нелинейный ограничитель перенапряжений (ОПН). Преимуществами ОПН являются возможность глубокого ограничения перенапряжений, в том числе междуфазных, малые габариты, позволяющие использовать их в качестве опорных изоляционных колонн.

Ограничители комплектуются в виде параллельно соединенных колонок из дисков. Торцы дисков металлизированы и обеспечивают контакт между дисками. В соответствии с пропускной способностью число параллельных колонок резисторов в ОПН варьируется в зависимости от напряжения. Под рабочим напряжением через ОПН протекает ток величиной доли миллиампер, ток носит емкостный характер. Повышение напряжения, при появлении импульса перенапряжения, вызывает снижения активного сопротивления резисторов ОПН. Ток через ОПН возрастает до сотен ампер при появлении коммутационных перенапряжений и до нескольких килоампер при воздействии грозových перенапряжений. После прохождения волны перенапряжения к ОПН вновь прикладывается рабочее напряжение, и он переходит в непроводящее состояние. Полупроводниковый характер проводимости ОПН обеспечивает практически мгновенный ( $< 1$  нс) переход из “закрытого” состояния в “открытое”, что выгодно отличает их от вентильных разрядников с искровым промежутком, обладающих временем действия до

нескольких микросекунд. Коэффициент нелинейности резисторов ОПН в области ограничения коммутационных перенапряжений имеет значение 0,03-0,05. При ограничении грозových перенапряжений, коэффициент нелинейности возрастает до 0,07-0,1. Такая высокая нелинейность позволяет исключить искровой промежуток и подключать резистор ОПН непосредственно к сети. Однако при постоянном подключении ОПН под напряжение возникает необходимость в обеспечении тепловой устойчивости его резистора при рабочих напряжениях, при сравнительно длительных повышениях напряжения частотой 50 Гц и при установившихся перенапряжениях.

Применительно к ОПН отсутствует понятие напряжения гашения. Однако длительное воздействие резонансных перенапряжений, связанных с прохождением через ОПН больших токов, может нарушить тепловую устойчивость аппарата и привести к аварии. В связи с этим для ОПН установлены допустимые длительности приложения повышенных напряжений, которые должны быть скоординированы с действием релейных защит.

Применение ОПН позволяет глубоко ограничивать также и междуфазные перенапряжения. В настоящее время нашей промышленностью выпускаются ОПН практически на все классы напряжения, начиная с напряжения 0,5 кВ, для установки со стороны обмотки низкого напряжения на трансформаторных подстанциях 10/0,4 кВ.

У ОПН нормируются следующие параметры:

1. Длительно допустимое наибольшее рабочее напряжение  $U_{\text{длит}}$ , которое неограниченно долго может быть приложено между выводами ОПН. Ток, протекающий через ОПН при воздействии этого напряжения, не более 1 мА.

2. Наибольшее допустимое напряжение  $U_{\text{доп.наиб}}$  промышленной частоты, которое ОПН должен выдержать в течение определенного времени. По стандарту МЭК ОПН должен выдерживать это напряжение в течение 10 с после предварительного нагрева до 60°C и воздействия энергетическим импульсом, соответствующим удельной энергоемкости данного типа ограничителя.

3. Временно допустимое повышение напряжения  $U_t$  промышленной частоты. Значение этого напряжения зависит от времени воздействия и, как правило, приводится в паспортных данных ОПН.

4. Энергоемкость ОПН – его способность поглощать энергию нормированных коммутационных перенапряжений, которая характеризуется удельной энергоемкостью.

Для нормальной работы ОПН необходимо, чтобы описанные выше параметры соответствовали параметрам сети, в которой предполагается его установка.

Таблица 6.1 Электрические параметры ОПН (ОПН/TEL)

Параметр	Тип ОПН			
	ОПН-6	ОПН-10	ОПН-35	ОПН-110
Класс напряжения сети, кВ	6	10	35	110



Наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение, КВ	6,0 - 6,9	10,5 - 12,0	40,5	73,0 -84,0
Пропускная способность, не менее, А	250		550	

## 6.2 Указание к выполнению работы

1. Записать технические данные выключателя, помещенные на табличке.
2. Разобрать устройство и конструкцию искровых промежутков, выполненных в виде рогов. Ознакомиться с правилами их установки на опорах воздушных линий.
3. Разобрать конструкцию трубчатых разрядников на 10 кВ типов РТФ и РТВ. Ознакомиться с правилами подключения разрядников.
4. Рассмотреть конструкцию вентильного разрядника. Ознакомиться с принципом его работы и способом установки.
5. Рассмотреть конструкцию ОПН. Ознакомиться с принципом его работы и способом установки.

## 6.3 Оформление отчета

Отчет должен содержать:

1. Цель работы.
2. Схему включения искрового промежутка.
3. Эскиз трубчатого разрядника.
4. Эскиз единичного искрового промежутка, вентильного разрядника.
5. Паспортные данные всех разрядников и ОПН, установленных в лаборатории.

## 6.4 Контрольные вопросы

1. Каково назначение разрядников и защитных искровых промежутков?
2. Чем определяются защитные свойства защитных искровых промежутков и разрядников?
3. Каков принцип гашения дуги в трубчатых разрядниках?
4. Для чего необходим внешний искровой промежуток при установке трубчатых разрядников?
5. Принцип работы и устройства вентильных разрядников.
6. Какие марки разрядников применяются для защиты сельских электроустановок?
7. Каково назначение нелинейного сопротивления в вентильном разряднике?
8. Разрешается ли располагать в зоне выхлопа трубчатых разрядников какие-либо элементы электроустановок?
9. Каково основное преимущество ОПН перед вентильными разрядниками?
10. Почему при реконструкции и проектировании новых подстанций вентильные разрядники необходимо заменять ОПН?

## Список рекомендованной литературы

1. Под ред. Д.В. Разевига. Техника высоких напряжений. - И.: ГРИ, 1963.
2. Под ред. М.В. Костенко. Техника высоких напряжений. - М.: Высшая школа, 1973.
3. Под ред. Д.В. Разевига. Техника высоких напряжений. - М.: Энергия, 1976.
4. Долгинов А.И. Техника высоких напряжений в электроэнергетике. - М.: Энергия, 1968.
5. Тиняков Н.А., Степанчук К.Ф. Техника высоких напряжений, - М.И. Высшая школа, 1971.
6. Стефанов Я.С. Техника высоких напряжений. -Л.: Энергия, 1967.
7. Бабилов М.А., Комаров Н.С., Сергеев А.С. Техника высоких напряжений. - И.: ГГИ, 1963.
8. Михалков А.В. Техника высоких напряжения в примерах и задачах. - М.: Высшая школа, 1965.
9. Иерусалимов М.Е., Орлов Н.Н. Техника высоких напряжений. – Изд-во. Киевского ун-та, 1967. ,
10. Александров Г.Н. Коронный разряд на линиях электропередачи. М-Л.: Энергия, 1964.
11. Лабораторные работы по технике высоких напряжений, Учебное пособие для ВУЗов, - М.: Энергия, 1974.

Курпенов Бахыт Касимович  
Тойбазар Дәулет Мейірұлы  
Амитов Ернар Таңірбергенұлы

## ТЕХНИКА ВЫСОКИХ НАПРЯЖЕНИЙ

Методические указания к выполнению лабораторных работ для студентов  
специальности 5В071800 – Электроэнергетика

Редактор: Жанабаева Е.Б.

Специалист по стандартизации: Ануарбек Ж.А.

Подпись в печать \_\_\_\_\_ 2021г  
Тираж \_\_ 50 \_\_ экз.  
Объем \_\_ 3.0 \_\_ уч.-изд. л.

Формат 60x84 1/16  
Бумага типографская № 1  
Заказ \_\_\_\_ Цена \_1320\_ тг

Копировально-множительное бюро  
некоммерческого акционерного общества  
«Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева»  
050013, Алматы, Байтұрсынұлы, 126\1