

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой»



А. Л. Адамович
К. В. Шпак

ТЕХНИКА ВЫСОКИХ НАПРЯЖЕНИЙ

Методические указания
к выполнению лабораторных работ
для студентов специальности
1-43 01 03 «Электроснабжение»

Текстовое электронное издание

Новополоцк
Полоцкий государственный университет
имени Евфросинии Полоцкой
2022

Об издании – 1, 2

1 – дополнительный титульный экран – сведения об издании

УДК 539.3(075.8)

Одобрено и рекомендовано к изданию методической комиссией
факультета компьютерных наук и электроники
в качестве методических указаний (протокол № 10 от 21.06.2022 г.)

Кафедра энергетики и электроники

2 – дополнительный титульный экран – производственно-технические сведения

Для создания текстового электронного издания «Техника высоких напряжений» использованы текстовый процессор Microsoft Word и программа Adobe Acrobat XI Pro для создания и просмотра электронных публикаций в формате PDF.

Технические требования:

1 оптический диск.

Системные требования:

PC с процессором не ниже Core 2 Duo;

2 Gb RAM; свободное место на HDD 2 Mb;

Windows XP/7/8/8.1/10

привод CD-ROM/DVD-ROM;

мышь

Редактор *Т. А. Дарьянова*

Подписано к использованию 28.11.2022.

Объем издания 1,0 Мб. Заказ 584.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования «Полоцкий государственный университет
имени Евфросинии Полоцкой».

Свидетельство о государственной регистрации
издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/305 от 22.04.2014, перерегистрация от 24.08.2022.

ЛП № 02330/278 от 27.05.2004.

211440, ул. Блохина, 29,
г. Новополоцк,
Тел. 8 (0214) 59-95-41, 59-95-44
<http://www.psu.by>

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа 1 ПРОБОЙ ВОЗДУШНОГО ПРОМЕЖУТКА В ОДНОРОДНЫХ И НЕОДНОРОДНЫХ ПОЛЯХ.....	5
Лабораторная работа 2 ИЗУЧЕНИЕ ПРОБОЯ ВОЗДУШНОГО ПРОМЕЖУТКА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВИДА ЭЛЕКТРОДОВ, РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ ЭЛЕКТРОДАМИ, ВИДА И ПОЛЯРНОСТИ НАПРЯЖЕНИЯ	13
Лабораторная работа 3 ИЗУЧЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПРОБОЯ ОТ ДАВЛЕНИЯ ВОЗДУХА И ВИДА НАПРЯЖЕНИЯ	15
Лабораторная работа 4 РАЗРЯДНИКИ И ОГРАНИЧИТЕЛИ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ	18
Лабораторная работа 5 ВЫСОКОВОЛЬТНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ИЗОЛЯЦИИ СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ	25
Лабораторная работа 6 ОПОРНЫЕ И ЛИНЕЙНЫЕ ИЗОЛЯТОРЫ	29
Лабораторная работа 7 ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ	34

Лабораторная работа 1

ПРОБОЙ ВОЗДУШНОГО ПРОМЕЖУТКА В ОДНОРОДНЫХ И НЕОДНОРОДНЫХ ПОЛЯХ

Цель: изучить опытным путем особенности пробоя воздуха в однородном и неоднородном электрическом поле на постоянном и переменном напряжении.

Оборудование: испытательная установка АИД 70/50, стенд для размещения электродов, электроды «диск» и «стержень».

Аппарат АИД-70/50 (рисунок 1.1) предназначен для испытаний изоляции силовых кабелей и твердых диэлектриков выпрямленным электрическим напряжением до 70 кВ, а также для испытания твердых диэлектриков синусоидальным электрическим напряжением до 50 кВ частотой 50 Гц.

Аппарат конструктивно выполнен в виде двух переносных блоков – БУ (блок управления) (рисунок 1.2) и БВН (блок высокого напряжения) (рисунок 1.3).



Рисунок 1.1. – Внешний вид аппарата АИД-70/50

Технические характеристики аппарата АИД-70/50 приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1. –Технические характеристики

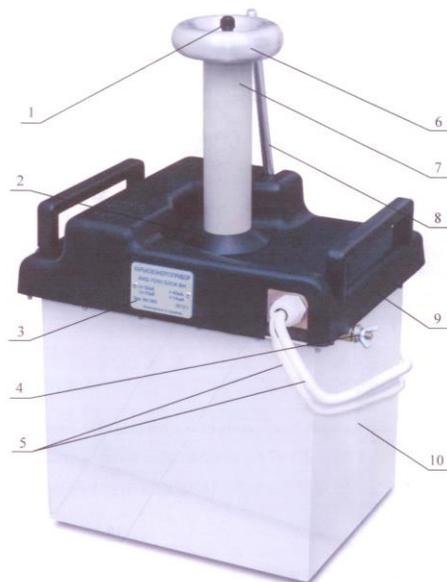
Наибольшее рабочее напряжение (действующее значение), кВ	70 (50)
Максимальный рабочий ток, мА	14 (20)
Диапазон измерения испытательного напряжения, кВ	10–70 (5–50)
Диапазоны измерения испытательного тока, мА	0,1–1,0; 1,0–14
Приведенная погрешность измерения выходного напряжения и тока, %, не более	±3
Потребляемая мощность, кВА, не более	3

Примечание. В скобках указаны значения для переменного напряжения.



1 – кнопка переключателя диапазонов измерения тока; 2 – разъем присоединения кабеля питания; 3 – держатели предохранителей; 4 – разъем присоединения силового кабеля от ВВП; 5 – клемма заземления; 6 – разъем присоединения сигнального кабеля от ВВП; 7 – измеритель выходного тока; 8 – рукоятка регулятора выходного напряжения; 9 – измеритель выходного напряжения; 10 – кнопка с фиксацией переключателя характера нагрузки «Х.ХОД / КАБЕЛЬ»; 11 – кнопка «СТОП» выключения режима «ИСПЫТАНИЕ»; 12 – переключатель вида испытательного напряжения с замком « ~ / 0 / = »; 13 – кнопка «ИСПЫТАНИЕ» включения режима «ИСПЫТАНИЕ»

Рисунок 1.2. – Внешний вид блока БУ



1 – клемма фиксации высоковольтного провода; 2 – резиновый пыльник; 3 – табличка; 4 – клемма заземления (низковольтный вывод); 5 – кабели присоединения к БУ; 6 – высоковольтный вывод; 7 – проходной изолятор; 8 – штанга короткозамыкателя; 9 – защитный кожух; 10 – маслонаполненный бак

Рисунок 1.3. – Внешний вид блока БВН

На левой боковой панели БУ расположены разъем для присоединения кабеля питания, клемма заземления и два разъема для присоединения кабелей от БВН.

Вид испытательного напряжения задается положением переключателя режима работы « ~ / 0 / = ». С целью обеспечения безопасной эксплуатации аппарата переключатель режима работы имеет замок. Включить питание или переключить режим работы аппарата возможно только при наличии ключа, который должен находиться у ответственного по работе с аппаратом. Если рукоятка переключателя вида испытательного напряжения находится в положении « 0 » – питание аппарата выключено.

После включения питания, когда рукоятка переключателя вида испытательного напряжения переведена в положение « ~ » или « = », штанга короткозамыкателя отходит от высоковольтного вывода и подсвечивается кнопка «СТОП», что сигнализирует о готовности аппарата к проведению высоковольтных испытаний.

Регулировка выходного напряжения осуществляется поворотом рукоятки регулятора напряжения.

Нажатием кнопки «ИСПЫТАНИЕ» осуществляется включение режима «ИСПЫТАНИЕ». Включить режим «ИСПЫТАНИЕ» возможно только тогда, когда рукоятка регулятора напряжения находится в положении «нулевого» напряжения. Выключается режим «ИСПЫТАНИЕ» нажатием кнопки «СТОП», при этом перестает подсвечиваться кнопка «ИСПЫТАНИЕ».

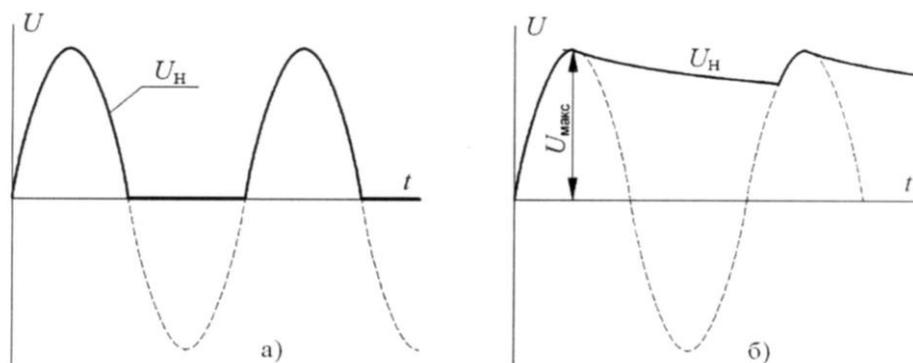
Контроль выходного тока осуществляется миллиамперметром, который имеет две шкалы. Измерения тока до 1 мА проводятся по верхней шкале, если кнопка «1 мА» нажата. Измерения тока до 15 мА проводятся по нижней шкале, если кнопка «1 мА» отжата.

Контроль выходного напряжения осуществляется киловольтметром, который имеет две шкалы. Верхняя шкала, проградуированная до 70 кВ, предназначена для измерения выходного выпрямленного напряжения. Нижняя шкала, проградуированная до 50 кВ, – для измерения выходного переменного напряжения.

Следует отметить, что киловольтметр измеряет напряжение на объекте испытания даже после выключения режима «ИСПЫТАНИЕ», когда аппарат прекращает выдавать испытательное напряжение. Это свойство аппарата следует иметь в виду при работе с емкостной нагрузкой, у которой после проведения испытаний остается опасное для жизни остаточное напряжение.

Для более точных измерений при испытаниях объектов, имеющих активный или емкостной характер нагрузки, следует перевести переключатель

характера нагрузки нажатием кнопки «Х. ХОД / КАБЕЛЬ» в соответствующее положение. Если характер нагрузки активный, форма испытательного напряжения будет соответствовать осциллограмме, приведенной на рисунке 1.4, а, при этом кнопка «Х. ХОД / КАБЕЛЬ» должна быть нажатой. Если характер нагрузки емкостной, форма испытательного напряжения будет соответствовать осциллограмме, приведенной на рисунке 1.4, б, при этом кнопка «Х. ХОД / КАБЕЛЬ» должна быть отжатой.



а – работа с активной нагрузкой; **б** – работа с емкостной нагрузкой;
 U_n – напряжение на объекте испытания; U_{\max} – максимальное напряжение

Рисунок 1.4. – Осциллограммы выходного напряжения аппарата:

К эксплуатации аппарата допускается электротехнический персонал в составе не менее двух человек не моложе 18 лет, имеющий группу по электробезопасности не ниже III свыше 1000 В, один из которых с группой IV свыше 1000 В, прошедших предварительный медосмотр, а также инструктаж по охране труда и производственной санитарии. Прежде чем приступить к работе на аппарате, необходимо: удалить БУ от БВН на расстояние не менее 3 м; надежно заземлить БУ и БВН гибкими медными проводами сечением не менее 4 мм² из комплекта поставки.

Каждый блок должен заземляться на шину заземления отдельным проводником. Запрещается: эксплуатировать аппарат без заземления; последовательное соединение БУ и БВН по заземлению; работать с аппаратом с неисправными клеммами заземления, органами управления и световой сигнализацией; работать с аппаратом со снятыми крышками корпуса; находиться ближе трех метров от БВН в момент включения аппарата в сеть, а также при включенном испытательном напряжении; производить присоединение и отсоединение проводов от объекта испытания к БВН без отключения от сети питания аппарата; оставлять при неработающем аппарате ключ

в переключателе вида испытательного напряжения с замком « ~ / 0 / = »; производить переключения вида испытательного напряжения при поданном на объект испытания напряжении.

Прежде чем отсоединить испытуемый объект от БВН, необходимо **ОБЯЗАТЕЛЬНО** убедиться в том, что: с аппарата снято сетевое напряжение; стрелка киловольтметра аппарата находится на отметке шкалы «0 кВ»; штанга короткозамыкателя касается высоковольтного вывода БВН; остаточное напряжение снято внешней разрядной высоковольтной штангой (в комплект поставки не входит).

Теоретические сведения

Пробой газа в однородном поле. Однородное поле реализуется между плоскими электродами с закругленными краями, а также между сферами, если расстояние между ними не более их диаметра. В таком поле длительность подготовки пробоя газа (для промежутка 1см) составляет $10^{-7} \dots 10^{-8}$ с при достижении напряжением строго определенного значения, зависящего от температуры и давления газа. Между электродами внезапно возникает искра, которая затем переходит в дугу, если источник напряжения имеет достаточную мощность. При нормальных условиях, т.е. при давлении 0,1 МПа и температуре 20 °С, электрическая прочность воздуха при расстоянии между электродами в 1см составляет около 32 кВ/см.

При малых расстояниях между электродами электрическая прочность значительно увеличивается, что объясняется трудностью формирования разряда. При небольших частотах амплитудное значение пробивного напряжения совпадает со значением пробивного напряжения при постоянном токе.

Пробой газа в неоднородном поле. Пробой газа в неоднородном и однородном полях заметно различается. Неоднородное поле возникает между двумя остриями, острием и плоскостью, проводами, между сферическими поверхностями при расстоянии между ними, превышающем радиус сферы и т. д. Особенностью пробоя газа в неоднородном поле является возникновение частичного разряда в виде короны в местах, где напряженность поля достигает критических значений, с дальнейшим переходом короны в искровой разряд и дугу при возрастании напряжения.

В случае несимметричных электродов игла–плоскость и положительной полярности на игле пробой происходит при меньшем напряжении, чем

при обратной полярности (рисунок 1.5, а). Это объясняется следующим образом. Ионизация газа при любой полярности на электродах происходит в районе иглы, где существуют наибольшие напряженности электрического поля. В результате ионизации образуются электроны и ионы, причем электроны быстро нейтрализуются на аноде, а вблизи иглы остаются малоподвижные положительно заряженные ионы. «Облако» объемного заряда изменяет первоначальное распределение потенциала. При положительной полярности на игле (рисунок 1.5, б) объемный заряд ослабляет напряженность поля вблизи иглы и, наоборот, усиливает ее в неионизированной области. Создаются благоприятные условия для дальнейшей ионизации газа, т.е. дальнейшего прорастания объемного заряда в направлении к катоду. В рассматриваемом случае объемный заряд фактически является продолжением иглы и сокращает эффективную длину разрядного промежутка.

При отрицательной полярности на игле (рисунок 1.5, в) облако положительного заряда уменьшает напряженность поля в неионизированной области. Поэтому дальнейшая ионизация газа возможна лишь при более высоком напряжении на электродах. Таким образом, в данном случае объемный положительный заряд играет роль экрана, сглаживающего максимальные неоднородности поля в разрядном промежутке.

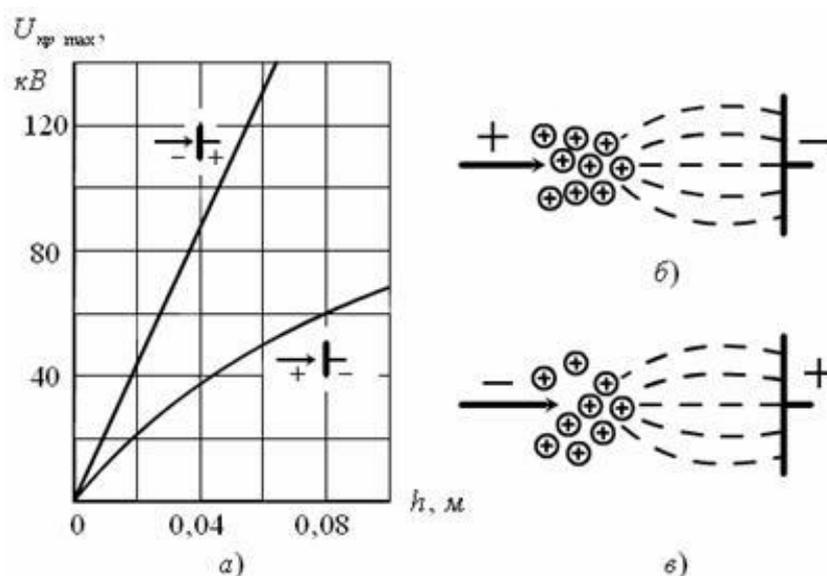


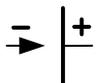
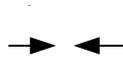
Рисунок 1.5. – Зависимости пробивного напряжения воздуха от расстояния между электродами в неоднородном поле (а) и модель объемного заряда в разрядном промежутке при положительной (б) и отрицательной (в) полярности на игле

Задача лабораторной работы заключается в определении напряжения начала коронирования (по слышимому треску) и пробивного напряжения в системах электродов «диск–диск», «диск–стержень» и «стержень–стержень» на постоянном и переменном напряжении.

Порядок проведения работы

Подготовить таблицу. Пример представлен ниже.

Таблица. – Напряжение начала слышимого коронирования и пробоя промежутка, кВ

Напряжение	Однородное поле		Неоднородное поле и полярность в электродах					
								
	коронирование	пробой	коронирование	пробой	коронирование	пробой	коронирование	пробой
Постоянное								
Переменное 50Гц								

Однородное поле электродов «диск–диск»

1. Установить электроды «диск–диск» на расстоянии 3 см друг от друга при помощи шаблона.
2. Подключить провод заземления и высоковольтный провод испытательной установки к электродам. Полярность не имеет значения.
3. Установить режим испытания **постоянным напряжением**. Убедиться, что в зоне испытания не находятся люди и дверь закрыта. Очень плавно увеличивая напряжение (не более 2 кВ/с), отметить в таблице напряжение, при котором начинается слышимый треск, а затем напряжение пробоя промежутка. Результат записать в таблицу. При необходимости повторить измерения. Уменьшить напряжение до нуля, выключить установку, убедиться в срабатывании короткозамыкателя.
4. Установить режим испытания **переменным напряжением** и аналогично сделать измерения.

Неоднородное поле электродов «диск–стержень»

1. Заменить один из электродов стержневым, отрегулировать расстояние между ними в 3 см.
2. Подключить высоковольтный провод к дисковому электроду (+), а заземление (-) к стержневому. Сделать измерения на постоянном, а затем на переменном напряжении. Выключить установку.
3. Изменить полярность подключения электродов. Сделать измерения на постоянном, а затем на переменном напряжении. Выключить установку.

Неоднородное поле электродов «стержень–стержень»

1. Заменить электроды на стержневые, отрегулировать расстояние между ними в 3 см. Полярность подключения не имеет значения.
2. Сделать измерения на постоянном и переменном напряжении. Выключить установку.

Вопросы для письменного ответа

1. Сделайте сравнение напряжению начала коронирования при различных сочетаниях электродов и полярностей для постоянного напряжения.
2. Сделайте сравнение напряжений пробоя при различных сочетаниях электродов и полярностей для постоянного напряжения.
3. Сделайте сравнение напряжения начала коронирования и пробоя в системе электродов «стержень–диск» при различной полярности на постоянном напряжении.
4. Почему напряжение пробоя промежутка в неоднородном поле заметно ниже напряжения пробоя в однородном поле?
5. Почему полярность постоянного напряжения с электродами «стержень–диск» влияет на напряжение пробоя?

Лабораторная работа 2
ИЗУЧЕНИЕ ПРОБОЯ ВОЗДУШНОГО ПРОМЕЖУТКА
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВИДА ЭЛЕКТРОДОВ,
РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ ЭЛЕКТРОДАМИ, ВИДА
И ПОЛЯРНОСТИ НАПРЯЖЕНИЯ

Цель: изучить влияние расстояния между электродами на пробивное напряжение воздуха.

Оборудование: испытательная установка АИД 70/50 (см. рисунок 1.1), стенд для размещения электродов, электроды «диск» и «стержень».

Порядок проведения работы

Подготовить таблицу. Пример представлен ниже.

Таблица. – Результат измерений пробоя воздушного промежутка

№ п/п	Электроды и полярность	Напряжение	Значение напряжений начала коронирования / пробоя, кВ при расстоянии между электродами, <i>t</i>			
			10 мм	20 мм	30 мм	40 мм
1		Переменное				
		Постоянное				
2		Переменное				
		Постоянное				
3		Переменное				
4		Постоянное				
5		Постоянное				

Пробой в однородном поле

1. Убедиться, что испытательная установка отключена.
2. Установить электроды «диск–диск» на расстоянии 10 мм. При установке межэлектродного расстояния пользоваться шаблонами.
3. Включить установку на испытание переменным напряжением и, медленно его увеличивая, определить напряжение начала коронирования по слышимому треску, а затем пробивное напряжение. Записать эти значения в таблицу.

4. Повторить то же на переменном напряжении. Отключить установку, убедиться в срабатывании короткозамыкателя.

5. Сделать аналогичные измерения при расстояниях между электродами 10, 20, 30, 40 мм согласно таблице.

Пробой в резконеоднородном поле

1. Сделать аналогичные измерения при других электродах типа «стержень–стержень» и «стержень диск» согласно таблице.

Вопросы для письменного ответа

1. Построить на общих осях графики зависимости пробивного напряжения от расстояния между электродами, вида электродов:

а) «диск–диск» и «стержень–стержень» при переменном и постоянном напряжении;

б) «стержень–диск» при переменном напряжении и разной полярности постоянного напряжения.

2. При каких электродах:

а) напряжения коронирования и пробоя наиболее близки;

б) напряжения коронирования и пробоя больше всего отличаются;

в) напряжение пробоя наиболее низкое;

г) пробивные напряжения на постоянном и переменном напряжении наиболее близки;

д) пробивные напряжения выше на переменном напряжении?

Лабораторная работа 3

ИЗУЧЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПРОБОЯ ОТ ДАВЛЕНИЯ ВОЗДУХА И ВИДА НАПРЯЖЕНИЯ

Цель: изучить пробой воздушного промежутка в зависимости от давления воздуха.

Оборудование: испытательный аппарат АИД 70/50 (см. рисунок 1.1), стенд с герметичной емкостью, электродами, манометром и вентилем, насос для создания давления или разряжения.

Теоретические сведения

Напряжение, при котором наступает полная ионизация газового пространства между электродами, называется напряжением пробоя газа. Оно зависит от природы самого газа, его давления, влажности, температуры, в большой степени от формы электродов и расстояния между ними, однородности электрического поля, воздействующего на газ, а также от того, действует постоянное, переменное или импульсное напряжение.

В 1889 г. немецкий физик Фридрих Пашен, исследуя разряды между параллельными плоскостями, экспериментальным путем получил зависимость значений разрядных напряжений от длины промежутка и давления газа. Согласно закону Пашена, при неизменной температуре пробивное напряжение газа в промежутке с однородным полем является функцией произведения давления на расстояние между электродами при соблюдении подобия разрядных промежутков. Другими словами, если пропорционально увеличению расстояния между электродами уменьшать давление, то разрядное напряжение не изменится.

Вид этой зависимости (рисунок 3.1) можно объяснить исходя из физических представлений. При расстоянии между электродами $S = \text{const}$ увеличение давления больше значения, соответствующего минимуму кривой, приводит к увеличению числа столкновений электрона с нейтральными атомами и молекулами и, как следствие, к уменьшению его энергии, накапливаемой на длине свободного пробега. Следовательно, для возникновения ударной ионизации необходимо увеличение напряжения $U_{\text{пр}}$.

С другой стороны, при давлениях, меньших, чем значение, соответствующее минимуму, увеличиваются длина свободного пробега и накапливаемая электроном энергия, но уменьшается количество столкновений, что

уменьшает вероятность ударной ионизации. Для ее увеличения необходимо, чтобы как можно большее число столкновений заканчивалось ионизацией. Для этого следует увеличивать энергию электрона на длине свободного пробега, т.е. увеличивать $U_{пр}$.

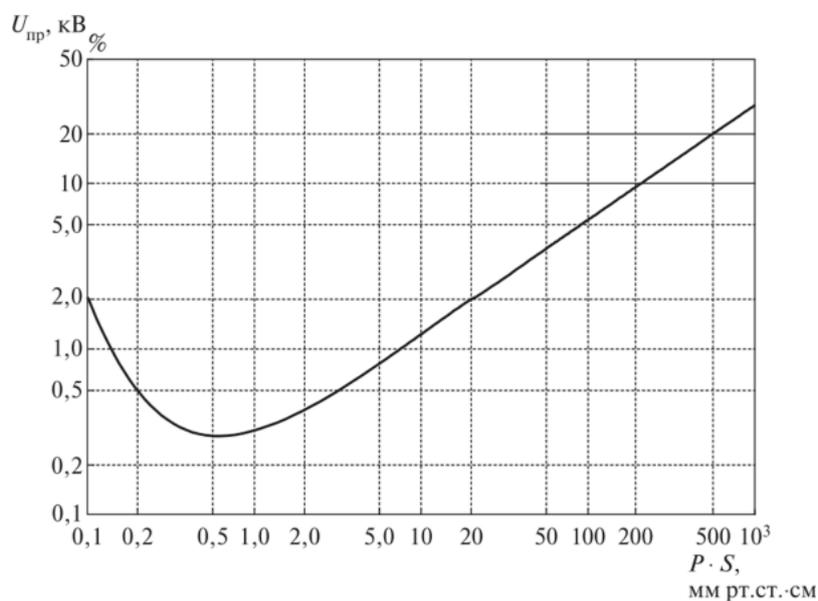


Рисунок 3.1. – Кривая Пашена для воздуха

Экспериментальная кривая Пашена отличается от полученной расчетом как в области очень малых значений $P \cdot S$, так и в области очень больших значений $P \cdot S$. В области очень малых значений $P \cdot S$ отличие объясняется приближением к вакуумному пробую, при котором основную роль играют процессы на поверхности электродов, а не в объеме газа. При больших значениях $P \cdot S$ отличие объясняется увеличением степени неоднородности поля с возрастанием S .

Следствием закона Пашена являются способы повышения пробивного напряжения газов: необходимо или увеличение давления выше атмосферного, или уменьшение давления до значений, меньших, чем давление, соответствующее минимуму кривой, вплоть до вакуума. В однородном поле при атмосферном давлении электрическая прочность воздуха составляет 30 кВ/см.

Порядок проведения работы

Подготовить таблицу. Пример представлен ниже.

Таблица. – Значения пробивного напряжения, кВ, при различном давлении

Напряжение	Давление, P , атм						
	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6
	Давление по манометру, МПа						
	- 0,06	- 0,04	- 0,02	0	0,02	0,04	0,06
Постоянное							
Переменное 50 Гц							

1. Подключить провода аппарата АИД 70/50 к электродам камеры.
2. Убедиться, что спускной вентиль открыт – ручка в горизонтальном положении. Определить пробивные напряжения при атмосферном давлении $P = 1$ атм (на манометре 0 МПа) на постоянном и переменном напряжении. Выключить аппарат. Записать значения в таблицу.
3. Перекрыть вентиль, установив ручку в вертикальное положение. Для испытаний при давлениях ниже или выше атмосферного необходимо подключить шланг к штуцеру «Разрежение» или «Нагнетание» насоса, предварительно спустив воздух вентилем. Откачивание или нагнетание воздуха в камеру производится вращением ручки насоса.
4. После окончания опытов обязательно открыть вентиль для спуска воздуха – ручка в горизонтальном положении, иначе из насоса будет вытекать масло.
5. Построить на общих осях графики зависимости пробивного напряжения от давления воздуха $U_{пр}(P)$ при пробое постоянным и переменным напряжением, где P – давление в атм.

Вопросы для письменного ответа

1. Как пробивное напряжение зависит до давления воздуха в вашем эксперименте? Почему пробивное напряжение зависит от давления?
2. Перечислите от чего в общем случае зависит значение пробивного напряжения между электродами?
3. Что показывают кривые Пашена?
4. При каких давлениях воздуха напряжение пробоя наиболее велики?

Лабораторная работа 4 РАЗРЯДНИКИ И ОГРАНИЧИТЕЛИ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ

Цель: изучить устройство, принцип работы разрядников и ОПН, провести высоковольтные испытания и определить основные их характеристики.

Оборудование: установка АИД 70/50, вентильный разрядник РВС-10 (10 кВ), ограничители перенапряжения НДА-06 (6кВ), ОПНп-10 (10 кВ).

Теоретическая часть

Вентильные разрядники. Разрядники РВС-10 У1 предназначены для защиты от атмосферных перенапряжений изоляции электрооборудования в сетях переменного тока частотой 50 Гц напряжением 10 кВ. Разрядники РВС-10 У1 изготавливаются для сетей с любой системой заземления нейтрали. Структура условного обозначения разрядника РВС-10 У1: Р – разрядник, В – вентильный, С – стационарный, 10 – класс напряжения сети, кВ; У1 – климатическое исполнение и категория размещения. Разрядники предназначены для работы в районах с умеренным климатом и промышленной атмосферой, как в закрытом помещении, так и на открытом воздухе. Рабочая температура – от -45 °С до +45 °С для исполнения У1 и от -10 °С до +50 °С для исполнения Т1. Высота установки ограничителей – не более 1000 м над уровнем моря. Относительная влажность воздуха – 100% при температуре +28 °С. Срок службы разрядника РВС-10 У1 – не менее 20 лет. Гарантийный срок – 3 года.

Разрядник РВС-10 (рисунок 4.1) представляет собой защитный аппарат опорно-подвесного исполнения, содержащий последовательно соединенные искровые промежутки и резисторы, заключенные в герметичный фарфоровый корпус, надежно защищающий внутренние элементы разрядника от воздействия внешней среды в течение всего срока эксплуатации. Технические характеристики разрядника РВС-10 представлены в таблице 4.1.

Защитное действие разрядника обусловлено нелинейной вольт-амперной характеристикой резистора, а именно резким уменьшением его сопротивления при импульсных перенапряжениях. Поэтому при появлении опасного для изоляции электрооборудования импульсе перенапряжения через разрядник протекает значительный импульсный ток, а напряжение сети снижается до уровня, безопасного для изоляции защищаемого оборудования. На рисунке 4.2 представлена вольт-амперная характеристика РВС-10.

Вентильный разрядник РВС состоит из искровых промежутков (1) и нелинейных резисторов (2), заключенных в герметично закрытую фарфоровую покрывку (3), которая защищает внутренние элементы разрядника от воздействия внешней среды и обеспечивает стабильность характеристик. Рабочий резистор разрядника изготовлен из спецмассы «Вилит» и обладает нелинейной вольтамперной характеристикой.

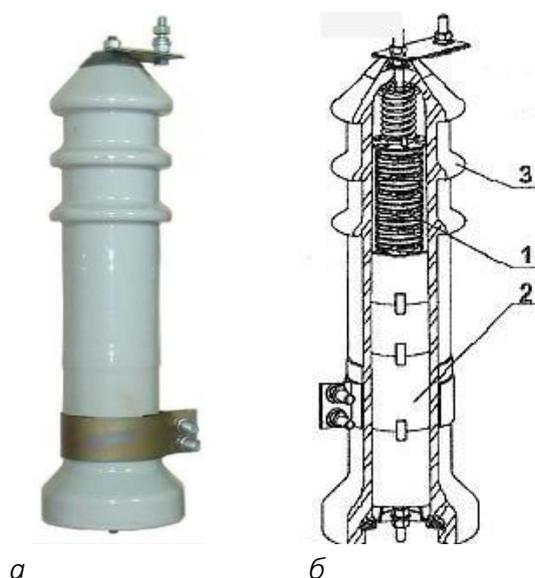


Рисунок 4.1. – Внешний вид (а) и устройство (б) вентильного разрядника РВС-10

Таблица 4.1. – Технические характеристики разрядника РВС-10

Наименование	Значение
Класс напряжения сети, кВ	10
Наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение, $U_{нр}$, кВ, действующее значение	12,7
Пробивное напряжение в сухом состоянии и под дождем, min/max, кВ	26/30,5
Импульсное пробивное напряжение при предразрядном времени от 2 до 20 мкс, кВ, не более	48
Остающееся напряжение, при грозовом импульсе тока 8/20 мкс с амплитудой, А, не более:	
3000	43
5000	45
Токовая пропускная способность (количество воздействий), число раз:	
при импульсе тока длительностью 16/40 мкс амплитудой 5 кА	20
при импульсе тока длительностью 2000 мкс амплитудой 75 А	20
Длина пути утечки внешней изоляции разрядника, см, не менее	36
Ток утечки, мкА	6

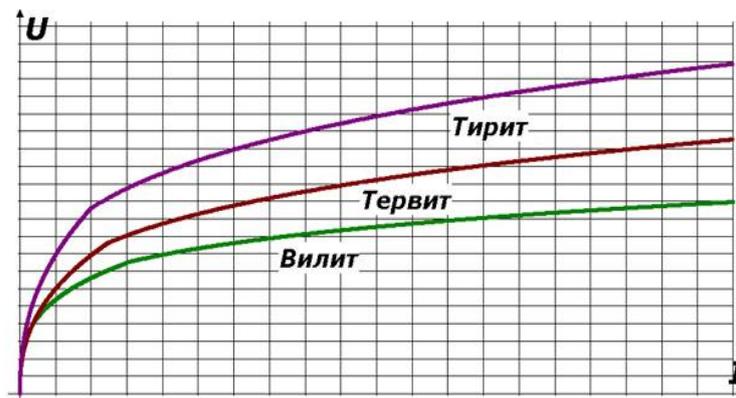


Рисунок 4.2. – Вольт-амперная характеристика вентильных разрядников

К основным параметрам вентильных разрядников относят:

- номинальное напряжение $U_{нр}$ – наибольшее допустимое напряжение промышленной частоты (действующее значение) на зажимах разрядника, при котором гарантируется его правильная работа;
- номинальный разрядный ток I_p – максимальное значение грозового разрядного тока, имеющего форму волны 8/20 мкс, которое используется для классификации разрядника;
- импульсное пробивное напряжение – наибольшее значение импульсного напряжения на разряднике до пробоя его искровых промежутков;
- пробивное напряжение разрядника при частоте 50 Гц – наибольшая величина напряжения частоты 50 Гц (действующее значение), плавно нарастающего до момента пробоя искровых промежутков;
- остающееся напряжение разрядника $U_{ост}$ – наибольшее значение напряжения на разряднике при протекании через него импульсного тока с данной амплитудой и длиной фронта;
- ток проводимости – ток через разрядник при приложении к нему напряжения постоянного тока заданного значения – для разрядника, искровые промежутки которого шунтированы;
- ток утечки – для разрядников, не имеющих шунтирующих сопротивлений.

Ограничители перенапряжения. Ограничители ОПН (рисунок 4.3) относятся к современному типу защитных устройств. Конструктивно ограничители перенапряжения представляют собой нелинейное сопротивление – резистор или варистор – в герметизированном высокопрочном полимерном корпусе.

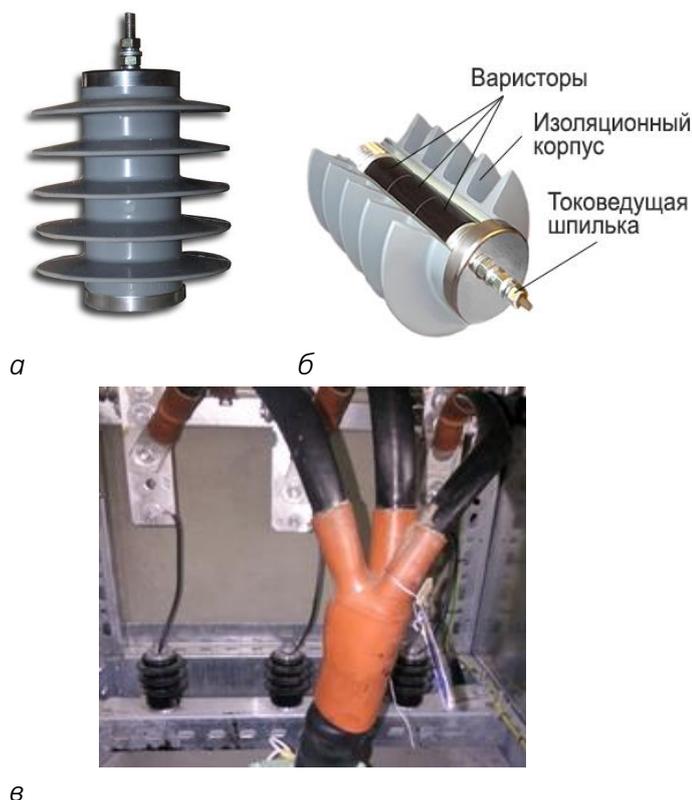


Рисунок 4.3. – Внешний вид (а), устройство (б) и размещение ОПН в ячейке 10кВ (в)

При возникновении перенапряжения сопротивление варисторов мгновенно уменьшается на несколько порядков (от МОм до десятков Ом), соответственно возрастает сила тока от миллиампер (при рабочем напряжении) до тысяч ампер (при воздействии перенапряжения). На рисунке 4.4 представлена вольт-амперная характеристика ограничителя перенапряжения. Таким образом происходит сброс импульсного перенапряжения. Благодаря быстрой срабатывания, повышенной пропускной способности и резко нелинейной вольтамперной характеристики ограничителя ОПНп позволяют реализовать низкий защитный уровень для всех видов перенапряжений. Это позволяет исключить из конструкции ограничителей искровые промежутки, характерные для традиционных вентильных разрядников типа РВО и РВС. Отсутствие искрового промежутка обеспечивает постоянное подключение ограничителей перенапряжений к защищаемому оборудованию.

Структура условного обозначения:

ОПНп–10/12/10/500 УХЛ1: ОПНп – ограничитель перенапряжений нелинейный в полимерном корпусе; 10 – класс напряжения сети, кВ; 12 – наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение $U_{нр}$, кВ; 10 – номинальный разрядный ток, кА; 550 – ток пропускной способности ОПН, А; УХЛ1 – климатическое исполнение и категория размещения.

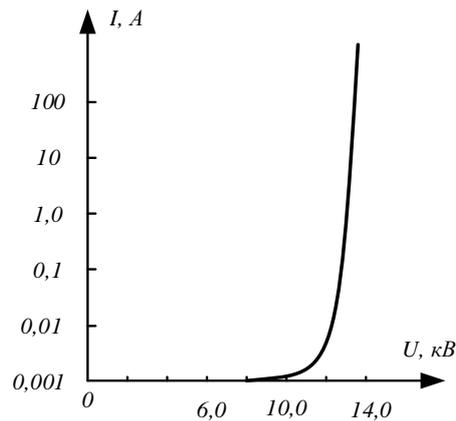


Рисунок 4.4. – Вольт-амперная характеристика ОПН

Разрядники типа РДИП. Разрядник типа РДИП (разрядник длинно-искровой петлевой) предназначен для защиты от удара молнии и возникновения индуктированных грозовых перенапряжений на линиях электропередач от 6 до 10 кВ. РДИП рассчитан на нормальную работу при температуре окружающей среды в пределах от $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Срок службы – 30 лет.

Разрядник РДИП-10 (рисунок 4.5) представляет собой петлю с изолированным металлическим стержнем, на поверхности которой закреплены промежуточные кольцевые электроды. Изоляция выполнена из полиэтилена высокого давления. В зажиме крепления зафиксированы концы петли с изоляцией. С помощью этого зажима разрядник крепится к штырю самого изолятора на опоре линии электропередач. Сверху изоляции в средней части петли находится трубка из металла. Непосредственно на проводе линии, напротив этой трубки, устанавливается универсальный зажим, позволяющий создать искровой промежуток необходимого размера (2...4 см).

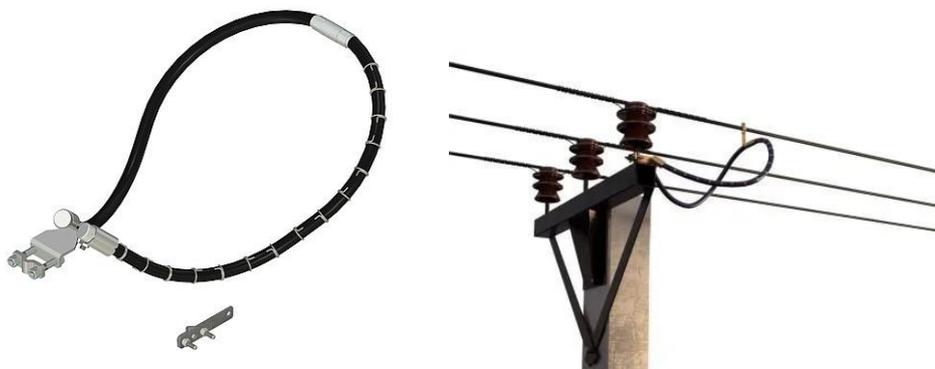


Рисунок 4.5. – Внешний вид РДИП и его положение на линии

Технические характеристики разрядника РДИП-10 приведены в таблице 4.2.

В основе принципа работы разрядника лежит эффект скользящего разряда. Разряд сопровождается большой длиной импульсного перекрытия, проходящего по разряднику и за счет этого, предотвращается переход из импульсного перекрытия в силовую дугу тока. Таким образом, исключается короткое замыкание, провода не повреждаются, линия электропередач не выходит из строя.

Индуктированный грозовой импульс на проводах линии пробивает искровой воздушный промежуток между проводом и металлической трубкой разрядника. После этого напряжение переходит к изоляции, которая находится между трубкой разрядника и стержнем петли, который имеет потенциал опоры. Скользящий разряд проходит благодаря воздействию импульсного напряжения по поверхности петли от трубки до зажима, крепящего разрядник.

Разрядник типа РДИП устанавливается по одному на каждую опору с попеременным чередованием фаз.

Таблица 4.2. – Технические характеристики РДИП-10

Параметр	Значение
Класс напряжения, кВ	10
Длина перекрытия по поверхности, см	78
Внешний искровой воздушный промежуток, см	2–
Импульсное 50% разрядное напряжение, кВ, не более: на положительной полярности	110
на отрицательной полярности	90
Выдерживаемое напряжение промышленной частоты, кВ, не менее: в сухом состоянии	42
под дождем	28
Множественно выдерживаемый импульсный ток 8/20 мкс, кА, не менее	40

Порядок проведения работы

Подготовить таблицу. Пример представлен ниже.

Таблица. – Результат измерений тока утечки

Марка разрядника, ОПН		Ток утечки (проводимости), мА при выпрямленном напряжении, кВ					Пробивное напряжение, кВ
		U_n	$1,2 \cdot U_n$	$1,4 \cdot U_n$	$1,6 \cdot U_n$	$1,8 \cdot U_n$	
ОПНп-10	кВ	10	12	14	16	18	
	мА						

1. К ограничителю перенапряжения ОПН-10 подключить проводники аппарата: высоковольтный – к верхнему электроду, заземляющий – к нижнему.

2. Режим испытания – напряжением выпрямленного тока. Медленно увеличивать напряжение (до 2кВ/с), начиная с номинального напряжения. При этом записывать ток утечки. Для токов утечки до 1мА нажать кнопку «1мА» и контролировать ток утечки по верхней шкале. Напряжение по возможности увеличивать до пробоя ОПН. Выключить аппарат.

3. Построить графики ВАХ $I(U)$ для ОПН-10.

Вопросы для письменного ответа

1. Для чего используются разрядники, ОПН и где устанавливаются?
2. Как устроен вентильный разрядник?
3. Как устроен ОПН?
4. Перечислите основные электрические характеристики разрядников, ОПН.

Лабораторная работа 5 ВЫСОКОВОЛЬТНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ИЗОЛЯЦИИ СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ

Цель: научиться проводить высоковольтные измерения и испытания изоляции силовых кабелей.

Оборудование: испытательный аппарат АИД 70/50 (см. рисунок 1.1), мегаомметр Е6-24 со щупами, закорачивающие зажимы, образцы кабелей напряжением до 1 кВ и 10 кВ: АВВГ 4х70 (0,66 кВ, ПВХ), ААБ 3х50 (6 кВ, БПИ), АПвПу 1х120 (10 кВ, СПЭ) (рисунок 5.1).

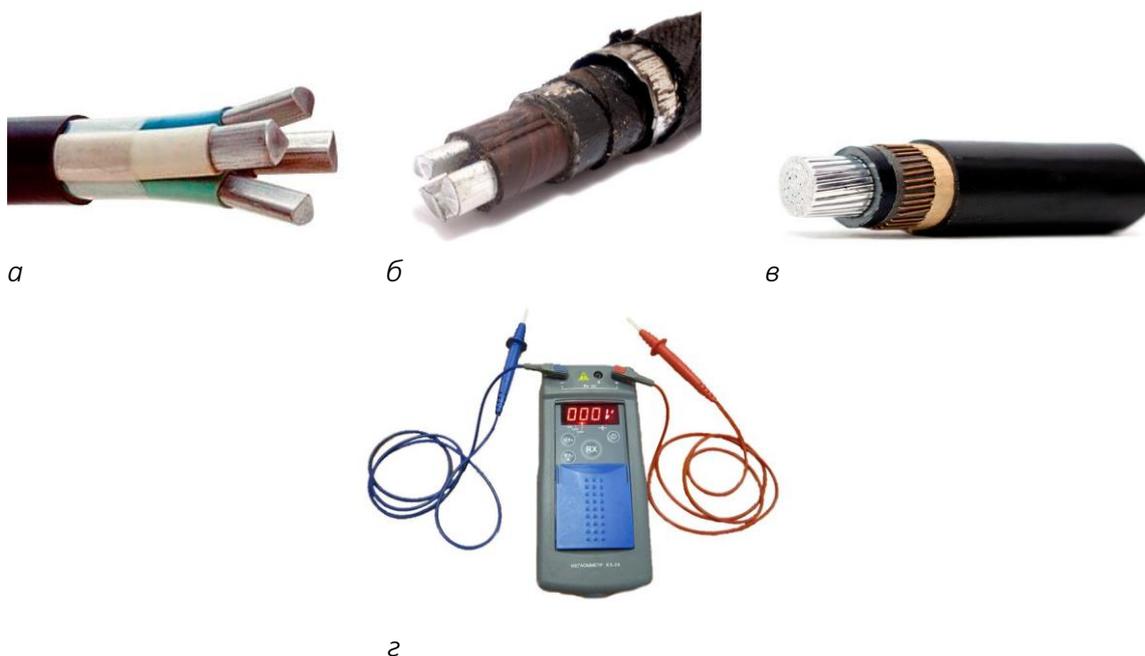


Рисунок 5.1. – Внешний вид проверяемых кабелей (а–в) и мегаомметра Е6-24 (г)

Теоретические сведения

Испытание кабелей проводятся при вводе их в эксплуатацию, при капитальном ремонте и в межремонтный период. Приложение повышенного напряжения создает в испытываемой изоляции увеличенную напряженность электрического поля, что позволяет обнаруживать дефекты, вызвавшие недопустимое для дальнейшей эксплуатации высоковольтного кабеля снижение электрической прочности его изоляции, не обнаруживаемые другими способами (например, мегаомметром). При испытании повышенным напряжением постоянного тока особенно отчетливо выявляются местные сосредоточенные дефекты. В большинстве случаев кабельные линии выходят из строя именно из-за появления в них местных дефектов (механические повреждения,

коррозия, монтажные и заводские дефекты), поэтому регулярные испытания кабельных линий повышенным напряжением постоянного тока получили наиболее широкое распространение.

В процессе испытания обращают внимание на характер изменения тока утечки. Кабельные линии считаются выдержавшими испытания, если не произошло пробоя и толчков тока утечки или его нарастания после того, как ток достиг установившегося значения.

Испытания кабелей повышенным напряжением совмещают с измерением сопротивления их изоляции мегаомметром, которое проводится до и после испытания повышенным напряжением.

Методы испытаний силовых кабельных линий должны соответствовать требованиям ГОСТ 23286, ГОСТ 18410, ГОСТ 16442 и ГОСТ 433, а также ТКП 181-2009 (п.Б.30). Методы испытания кабелей переменным электрическим напряжением – по ГОСТ 2990.

Кабели испытываются повышенным напряжением выпрямленного тока (кроме кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена). Испытательное напряжение принимается в соответствии с таблицей.

Таблица 5.1. – Испытательное выпрямленное напряжение, кВ, для силовых кабелей (при вводе в эксплуатацию) [ТКП 181, Б.30]

С бумажной изоляцией на напряжение, кВ		С пластмассовой изоляцией на напряжение, кВ				С резиновой изоляцией на напряжение, кВ	
6	10	0,66	1	6	10	6	10
40	60	3,5	5,0	36	60	12	20

Для кабелей на напряжение до 35 кВ с **бумажной** и **пластмассовой изоляцией** длительность приложения полного испытательного напряжения при приемосдаточных испытаниях составляет 10 мин.

Для кабелей с **резиновой изоляцией** на напряжение 3–10 кВ длительность приложения полного испытательного напряжения – 5 мин. Кабели с резиновой изоляцией на напряжение до 1 кВ испытаниям повышенным напряжением не подвергаются.

Не допускается проводить испытание повышенным напряжением выпрямленного тока кабелей с **изоляцией из сшитого полиэтилена** из-за возникновения необратимых процессов в изоляции кабеля, ведущих к потере изоляционной стойкости. Испытание кабелей повышенным напряжением производится переменным напряжением частотой 0,1 Гц в течение 15 мин. При отсутствии установок переменного тока частотой 0,1 Гц допускается испытание

постоянным током напряжением $4U_0$ (рабочее напряжение на изоляции кабеля) в течение 15 мин, приложенным между жилой и металлическим экраном. Напряжение на изоляции соответствует фазному, поэтому U_0 для кабелей на напряжение 6 кВ и 10 кВ составляет 3,5 кВ и 6 кВ соответственно.

При проведении испытаний кабелей 2–35 кВ необходимо обращать внимание на характер изменения токов утечки и асимметрии их по фазам. Абсолютное значение тока утечки и коэффициент асимметрии не являются браковочными показателями, но должны учитываться при оценке состояния изоляции, увеличении времени испытаний, сокращении периодичности. Кабели с удовлетворительной изоляцией имеют стабильные значения тока утечки. Коэффициент асимметрии тока утечки по фазам $I_{\max}/I_{\min} < 2...3$.

Порядок проведения работы

Подготовить протокол испытаний (смотри ниже).

Испытания кабеля высоким напряжением выпрямленного тока

1. Заполнить графу 1 протокола. Выбрать значение испытательного напряжения и длительность его приложения для испытуемых кабелей и записать в таблицу. Показать таблицу преподавателю.

2. Подключить высоковольтный провод испытательного аппарата к фазе А кабеля, остальные жилы (и металлическую оболочку, если есть) закоротить и присоединить к заземляющему проводу. Следить, чтобы проводник высокого напряжения был как можно дальше от проводников заземления, пола, металлических частей и корпуса высоковольтного трансформатора.

3. Перевести аппарат в режим испытания выпрямленным напряжением. Очень медленно поднять напряжение до испытательного, следить за током утечки (минимальное и максимальное значения) в процессе всего времени испытания. При необходимости удерживать кнопку «1 мА». Записать в таблицу максимальное и минимальное значения тока утечки (при его наличии). В лабораторной работе продолжительность испытания можно сократить в два раза.

4. По истечении времени испытания медленно снять напряжение и выключить аппарат. Убедиться в полном срабатывании короткозамыкателя аппарата.

5. Повторить испытания для других фаз (жил) кабеля.

6. Повторить для других кабелей.

Лабораторная работа 6 ОПОРНЫЕ И ЛИНЕЙНЫЕ ИЗОЛЯТОРЫ

Цель: научиться проводить высоковольтные испытания изоляторов

Оборудование: аппарат АИД 70/50, опорный изолятор, гирлянда изоляторов (см. рисунок 1.1).

Теоретические сведения

Электрические изоляторы предназначены для крепления шин, проводов и прочих токоведущих элементов к корпусу электроустановки, консолям опор и другим конструкциям. Помимо этого, они изолируют проводники при прохождении через стены, позволяют отделить электроустановки друг от друга и пр. Конструкция и размеры изоляторов определяются прикладываемыми к ним механическими нагрузками, электрическим напряжением установок и условиями их эксплуатации. Все электрические изоляторы классифицируются по следующим параметрам.

По напряжению. Все изоляторы изготавливаются на определенные классы напряжения (U_n , кВ): 1; 6; 10; 15; 20; 35; 110; 150; 220; 330; 400; 500; 750; 1150. Чем выше U_n изоляторов, тем больше их габариты и масса, тем они сложнее в изготовлении, монтаже и эксплуатации.

По условиям работы. Изоляторы наружной установки, работающие на открытом воздухе, изготавливаются для районов умеренного (У), холодного (Х) и тропического (Т) климата, имеют сильно развитую поверхность юбки с большим количеством ребер. Ребра служат для увеличения длины пути тока утечки с целью повышения разрядных напряжений изоляторов под дождем и в условиях увлажненных загрязнений. Изоляторы внутренней установки (для работы в помещениях) имеют гладкую поверхность или небольшие ребра, изготавливаются на напряжения 35 кВ и ниже. Для закрытых РУ (ЗРУ) более высоких классов напряжения (110 и 220 кВ) используются изоляторы наружной установки на соответствующие номинальные напряжения.

По назначению и расположению токоведущей части. *Опорные изоляторы* – предназначены для изоляции и крепления токоведущих частей в электрических аппаратах и распределительных устройствах.

Шинные изоляторы типа «бочонок» применяются для крепления токопроводящих шин внутри силовых шкафов или других устройств, для неподвижной фиксации и изоляции частей, находящихся под напряжением,

от корпуса и панелей сборки с последующим подключением силовых проводников для распределения электроэнергии внутри щита. Крепление шинного изолятора осуществляется с помощью болта.

Изоляторы опорно-стержневые наружной установки предназначены для изоляции и крепления токоведущих частей в электрических аппаратах и распределительных устройствах электрических станций и подстанций переменного тока напряжением 10–35 кВ при температуре окружающего воздуха от –600 °С до +50 °С в районах 1–4 степени загрязнения.

Опорно-штыревые изоляторы применяются для наружных установок в тех случаях, когда требуется высокая механическая прочность и опорно-стержневые применены быть не могут. Штыревые линейные изоляторы на напряжение 6–10 кВ состоят из фарфоровой или стеклянной изолирующей детали, в который ввертывается металлический крюк или штырь. Механическая прочность изолятора такого типа определяется прочностью его штыря, а не изоляционного тела, т.к. изгибающий момент из-за малого плеча много меньше изгибающего момента, приложенного к штырю.

Изоляторы проходные внутренней установки предназначены для устройства переходов токоведущих линий сквозь стены либо для ввода электрических проводов внутрь блоков различной аппаратуры, для изоляции и соединения токоведущих частей закрытых распределительных устройств с открытыми распределительными устройствами. Изоляторы тупиковые внутренней установки — частный случай проходного изолятора. Конструктивно тупиковые изоляторы похожи на проходные, но вместо сквозных отверстий в них предусматривается глухая стенка с торцевыми креплениями для закрепления проводников. Изоляторы тупиковые применяются в крайних ячейках секции КРУ для фиксации сборных шин.

Изоляторы проходные для установки на открытом воздухе – штыревые, стержневые, тарельчатые. Проходные изоляторы внешней установки имеют более развитую поверхность той части изолятора, которая располагается вне помещения. Они предназначены для изоляции от токоведущих частей закрытых распределительных устройств.

Линейные изоляторы служат для изоляции проводов и тросов и крепления их к опорам линии электропередачи. В условиях эксплуатации изоляторы находятся под электрическим напряжением и одновременно воспринимают механическую нагрузку от массы проводов, гололедных отложений, напора ветра, вибрации, «пляски», а также тяжения проводов. Поэтому линейные изоляторы наряду с электрической должны обладать достаточной

механической прочностью, которая обычно характеризуется допустимой механической нагрузкой. По конструкции линейные изоляторы производятся штыревые, тарельчатые, стержневые, орешковые, анкерные.

По материалу изготовления. Фарфоровые изоляторы изготавливаются из электротехнического фарфора, поверх которого наносится слой глазури. Стекланные изоляторы производятся из особого закаленного стекла. В отличие от фарфоровых изоляторов они обладают высокой механической прочностью, меньшими весом и габаритными размерами, большим сроком эксплуатации. Для производства полимерных изоляторов используются особые пластические массы: стекловолокно, резины и т.п.

Высоковольтные испытания изоляторов. В соответствии с требованиями ПУЭ проводятся следующие работы:

- измерение сопротивления изоляции многоэлементных и подвесных изоляторов;
- испытания с помощью повышенного напряжения промышленной частоты одноэлементных опорных изоляторов и многоэлементных опорных и подвесных изоляторов.

Измерение сопротивления изоляции. Все измерения проводятся на протяжении одной минуты при помощи мегаомметра на напряжение 2,5 кВ и только при положительной температуре. Процедура проводится строго перед установкой изоляторов в распределительное устройство. При измерении поверхность изолятора должна быть сухой и чистой, а сопротивление каждого изолятора, или его элемента, не менее 300 МОм.

Испытание повышенным напряжением одноэлементных опорных изоляторов. Испытательные напряжения указаны в таблице. Длительность испытания – 1 мин.

Таблица 6.1. – Испытательное напряжение изоляторов

Испытываемые изоляторы	Испытательное напряжение, кВ, для номинального напряжения электроустановки, кВ					
	3	6	10	15	20	35
Отдельные	25	32	42	57	68	100
Установленные в цепях шин и аппаратов	24	32	42	55	65	95

Испытание повышенным напряжением многоэлементных опорных и подвесных изоляторов. Данное испытание проводится напряжением 50 кВ, время приложения меняется в зависимости от элемента и составляет:

- при изоляции из твердых органических материалов – 5 мин;
- при керамической изоляции – 1 мин.

Стекланные изоляторы испытаниям не подвергаются, все недостатки наблюдаются при визуальном осмотре. Необязательными подобные испытания являются и для опорно-стержневых изоляторов.

Если не произошло нагрева изоляции или пробоя, зафиксированного амперметрами, испытания считаются пройденными. Поверхностное перекрытие изоляции является следствием искажения кривой испытательного напряжения, а не браком.

Порядок проведения работы

Испытание опорного изолятора

Подготовить таблицу.

Состояние изолятора	Ток утечки, мА при напряжении, кВ								Напряжение перекрытия, кВ
	10	15	20	30	40	50	60	70	
Сухой									
Влажный									

1. *Опорный изолятор 10 кВ.* Измерить при помощи мерной ленты длину изолятора: по кратчайшему расстоянию (L_1) и по ребристой поверхности (L_2).

2. Подключить проводники испытательного аппарата к изолятору: высоковольтный провод на верхний электрод, заземляющий – на нижний.

3. Испытательное напряжение – выпрямленное постоянное. Плавно увеличивая напряжение, снимать ток утечки (при необходимости нажать кнопку «1 мА»). Напряжение увеличивать до перекрытия изолятора, записать напряжение перекрытия. Выключить аппарат.

4. Увлажнить изолятор при помощи опрыскивателя и повторить опыт. Выключить аппарат, отсоединить проводники.

5. Построить графики изменения тока утечки на одних осях для сухого и влажного изолятора.

Испытание гирлянды изоляторов

Подготовить таблицу.

Изолятор (мокрый)	Ток утечки, мА при напряжении, кВ								Напряжение перекрытия, кВ
	10	20	30	30	40	50	60	70	
Один изолятор									
Гирлянда									

1. *Гирлянда изоляторов*. В сухом состоянии в исправных изоляторах ток утечки очень мал, поэтому опыт будет проводиться на мокрых изоляторах. Смочить любой один изолятор. Подключить проводники аппарата к изолятору: высоковольтный провод – на нижний электрод, заземляющий – на верхний.

2. Испытательное напряжение – выпрямленное постоянное. Плавно увеличивая напряжение, снимать ток утечки. Напряжение увеличивать до перекрытия изолятора, записать напряжение перекрытия. Выключить аппарат.

3. Смочить всю гирлянду. Подключить проводники аппарата: высоковольтный к нижнему электроду гирлянды, заземляющий – к траверсе. Плавно увеличивая напряжение, снимать ток утечки. Напряжение увеличивать до перекрытия изолятора, записать напряжение перекрытия. Выключить аппарат.

4. Выключить аппарат, отсоединить проводники.

Вопросы для письменного ответа

1. Каково назначение и какие виды изоляторов существуют? Где они устанавливаются?

2. Какие неисправности изоляторов существуют?

3. Почему в увлажненном состоянии изолятор имеет повышенные токи утечки?

4. Какой разряд возникает при увеличении напряжения на изоляторе до его перекрытия?

5. Почему происходит перекрытие изоляторов?

6. Какой изолятор в гирлянде имеет наибольший ток утечки, какой наименьший? У какого изолятора напряжение перекрытия меньше, у какого больше?

Лабораторная работа 7

ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ

Цель: научиться измерять сопротивление изоляции кабелей.

Оборудование: мегаомметр Е6-24, образцы кабелей (см. рисунок 5.1).

Теоретические сведения

Измерение изоляции кабелей проводится мегаомметром Е6-24 на напряжение 2500 В.

Сопротивление изоляции кабелей до 1 кВ должно быть не менее 0,5 МОм, кабелей выше 1 кВ – не нормируется. Из опыта эксплуатации кабелей напряжением выше 1 кВ сопротивление не менее 10 МОм достаточно нормально.

Измерение сопротивления проводится для изоляции каждой жилы относительно других, соединенных вместе между собой, а также с металлической оболочкой или броней, если есть. Для одножильных кабелей с экраном (оболочкой, броней) сопротивление измеряется между жилой и экраном (оболочкой, броней) кабеля.

Измерение изоляции производится через 15 и 60 с, затем вычисляется коэффициент абсорбции как

$$K_{аб} = R_{60} / R_{15}.$$

Эти параметры являются браковочными для изоляции кабеля.

Коэффициент абсорбции определяет увлажнение изоляции. Если изоляция сухая, то коэффициент абсорбции намного больше единицы, если влажная – близок к единице. Физическая сущность коэффициента абсорбции: всякая электрическая изоляция обладает электрической емкостью. Приложенное к изоляции напряжение мегомметра обуславливает проникновение через точку изоляции токов, которые как бы «насыщают» изоляцию. Эти токи названы токами абсорбции. Времени для проникновения тока в изоляцию требуется тем больше, чем больше геометрические размеры и лучше качество изоляции, препятствующей этому. Из этого следует, что тем больше изоляция увлажнена, тем коэффициент абсорбции будет меньше.

Как правило, по нормативам коэффициент составляет не меньше 1,3. При сухой изоляции этот показатель превышает 1,4. У влажной изоляции коэффициент близок к 1, и изоляцию нужно сушить. На результат измерений влияет температура изоляции. При проведении испытаний температура должна быть не ниже +10 °С и не выше +35 °С.

Электрическое сопротивление изоляции, пересчитанное на 1 км длины и температуру 20 °С, должно быть не менее указанного в таблице.

Таблица. – Электрическое сопротивление изоляции кабелей

Кабель	Электрическое Сопротивление изоляции, МОм, не менее
С пропитанной бумажной изоляцией и изоляцией, пропитанной нестекающим составом на напряжение: – 0,6/1 и 3 кВ – 6 кВ и выше	100 200
С изоляцией из резины / резины повышенной теплостойкости	50 / 100
С изоляцией из поливинилхлоридного пластика на напряжение: – 0,66 и 0,6/1 кВ – 3 кВ – 6 и 10 кВ	7–12 12 50
С изоляцией из полиэтилена на напряжение: – до 6 кВ – 10-35 кВ	150 200

Порядок проведения работы

Подготовить протокол измерений (вычертить в тетради или использовать готовую форму).

1. Подключить щуп мегаомметра к жилам кабеля:
 - для четырех- и трехжильных кабелей один щуп – к одной жиле кабеля, например, фазы А, остальные жилы (и оболочку, если есть) закоротить и подключить к другому щупу;
 - для одножильных кабелей с экраном – к жиле и экрану кабеля.
2. Включить мегаомметр. Установить напряжение 2500 В.
3. При использовании мегаомметра Е6-24 сопротивления через 15 и 60 с и коэффициент абсорбции запоминаются автоматически, для этого необходимо дважды нажать кнопку «R_x». Последуют измерения в течение 1 мин с автоматическим запоминанием сопротивлений через 15 и 60 с и вычислением коэффициента абсорбции.
4. После окончания измерений вывести на экран мегаомметра измеренные значения. Записать в протокол.
5. Повторить измерения сопротивления изоляции других кабелей.

