

13. ИЗМЕРЕНИЕ ВЫСОКИХ НАПРЯЖЕНИЙ

Цель работы: изучение методов измерения высокого постоянного и переменного напряжения.

1. Общие сведения

Измерение высоких напряжений является одной из сложных проблем в высоковольтной технике. Сложность измерения высоких напряжений обусловлена тем, что на точность измерения оказывают влияние факторы, имеющие сложные и случайные зависимости от частоты, напряжения, тепловых явлений и внешних условий. К ним относятся емкостные связи между элементами измерительной системы, сопротивление утечки, коронный разряд, частичные разряды, зависимость сопротивления резисторов от напряжения и температуры и т.п. Влияние этих факторов невозможно полностью исключить, поэтому их необходимо учитывать при конструировании измерительных устройств и приборов.

Существующие высоковольтные измерительные устройства и методы измерения можно разбить на две основные группы.

1. Методы и устройства, позволяющие измерить полную величину напряжения.
2. Методы и устройства, позволяющие измерять часть напряжения и определять полное напряжение по коэффициенту пропорциональности устройства.

Наиболее широкое распространение при измерении переменных, постоянных и импульсных напряжений получили шаровые измерительные разрядники, электростатические киловольтметры и делители напряжений в сочетании с низковольтными регистрирующими и измерительными приборами.

2. Требования к шаровому разряднику

Шаровой измерительный разрядник имеет простое устройство и приемлемую для практики точность при измерениях с соблюдением требований ГОСТ 17512-82 «Электрооборудование и электроустановки на напряжение 3 кВ и выше. Методы измерения при испытаниях высоким напряжением».

Измерение шаровыми разрядниками основано на известной зависимости пробивного напряжения воздушного промежутка между электродами от расстояния между ними. Для измерения следует использовать промежутки с однородным или слабонеоднородным полем, в которых напряжения возникновения самостоятельного разряда и искрового пробоя близки и практически линейно зависят от расстояния.

Напряжение, при котором произошел пробой, определяется по таблицам ГОСТ 17512-82 (таблицы П1-П2), в которых приведены амплитудные значения пробивных напряжений для нормальных атмосферных условий: давление 760 мм.рт.ст. и температура 20 °С. Погрешность измерения не превышает $\pm 3\%$, если расстояние между шарами $S \leq 0,5D$, где D – диаметр шаров.

Шаровые разрядники могут иметь горизонтальное и вертикальное включение (рисунок 1). При вертикальном расположении один шар всегда заземлен, а при горизонтальном расположении один шар может заземляться или оба быть незаземленными. При измерении напряжения необходимо соблюдать требования, которые обеспечивают достаточную точность измерения.

1. Конструктивное исполнение измерительных разрядников и размеры шаров должны соответствовать ГОСТ 17512-82.
2. Расстояние между электродами должно соответствовать соотношению $S \leq 0,5D$.
3. Шаровые разрядники должны быть удалены от окружающих предметов (таблица 1).
4. Шары должны иметь гладкую поверхность и сферичность.
5. Напряжение должно подводиться к стержню крепления шара на расстоянии от шара не меньше его диаметра. Подводящие провода должны быть расположены по оси шарового разрядника или перпендикулярно ей.

При измерении напряжений меньше 50 кВ шарами любого диаметра и любых напряжений шарами диаметром меньше 12,5 см следует облучать межэлектродный промежуток радиоактивными препаратами или кварцевыми ртутными лампами.

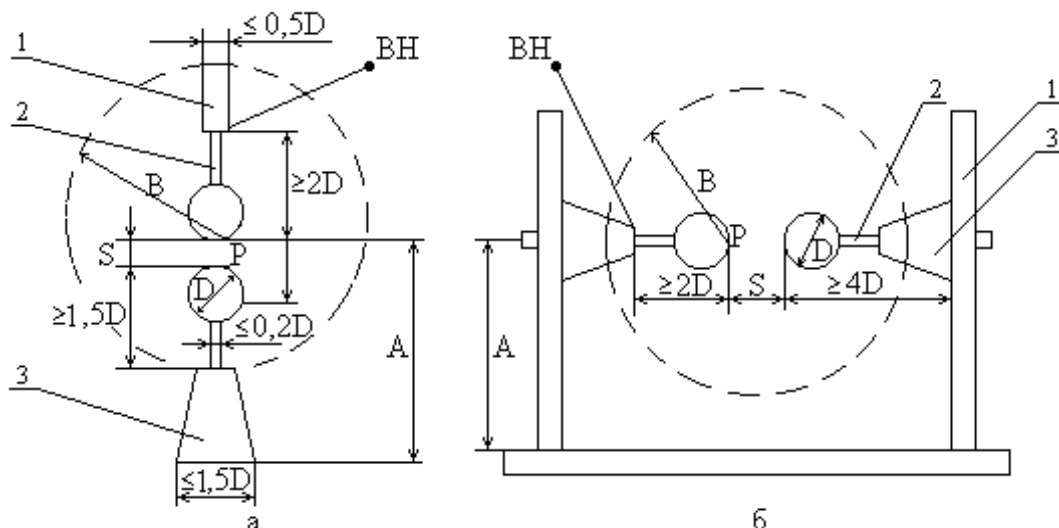


Рисунок 1 – Шаровой измерительный разрядник:

а – вертикальное расположение; *б* – горизонтально расположение. 1 – изоляционная конструкция крепления шаров; 2 – стержень крепления шаров; 3 – механизм перемещения шаров; P – место развития разряда; A и B – расстояния до окружающих предметов.

Таблица 1. Расстояния от измерительных шаров до заземленных объектов

D, см	A (наименьшее)	A (наибольшее)	B (наименьшее)
до 6,25	7D	9D	14S
от 10 до 15	6D	8D	12S
200	3D	4D	6S

3. Измерение шаровым разрядником

Измерение постоянных и переменных напряжений шаровыми разрядниками осуществляется двумя способами.

1. Устанавливается заведомо большое расстояние между шарами и на них подается напряжение. Затем шары сближаются до возникновения разряда и регистрируется расстояние *S* в момент разряда.
2. Устанавливается фиксированное расстояние *S* между шарами. Напряжение поднимают до 1/3 от разрядного с произвольной скоростью, а затем со скоростью, позволяющей провести отсчет показания прибора в момент разряда.

Напряжение определяется по таблицам по расстоянию между шарами данного диаметра как среднее из трех последовательных измерений с интервалом не менее 1 минуты. Перед началом измерения проводят несколько предварительных разрядов.

Для получения истинного значения напряжения в условиях эксперимента необходимо ввести поправку на относительную плотность воздуха δ .

$$\delta = \frac{0,386 \cdot P}{273 + T}, \quad (1)$$

где *P* – давление воздуха, мм рт. ст., *T* – температура воздуха, °C. При относительной плотности от 0,95 до 1,05 пробивное напряжение равно

$$U_{\text{экс}} \approx \delta \cdot U_{\text{таб}}. \quad (2)$$

4. Устройство электростатического киловольтметра

Для прямого измерения высокого напряжения применяют электростатические киловольтметры, принцип работы которых основан на измерении сил электрического поля, возникающих между заряженными электродами (рисунок 2).

Под воздействием напряжения U , приложенного к пластинам 1 и 2, между ними возникает сила притяжения, пропорциональная квадрату напряжения:

$$F = \frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot S}{2d^2} U^2 = KU^2,$$

где S – площадь электродов, образующих плоский конденсатор, d – расстояние между электродами.

Перемещение подвижной пластины 3 уравнивается механической силой системы ее крепления. Измерение действующего значения напряжения производится при помощи оптического устройства, регистрирующего отклонение электрода 3 от положения равновесия. Для равномерности шкалы электрод 3 и отверстие в электроде-экране 2 имеют специальную форму.

Электростатические киловольтметры имеют погрешность $\pm(1,0 \div 1,5)\%$, входную емкость порядка 18 пФ и позволяют измерять постоянное и переменное напряжения с частотой от 20 Гц до единиц МГц. При измерении необходимо следить за тем, чтобы окружающие заземленные предметы находились на расстоянии, оговоренном спецификацией прибора.

При технических измерениях используются электростатические киловольтметры С-196 и С-197 (трехпредельный – 7,5, 15, 30 кВ), С-100 (симметричный, трехпредельный – 25, 50, 75 кВ).

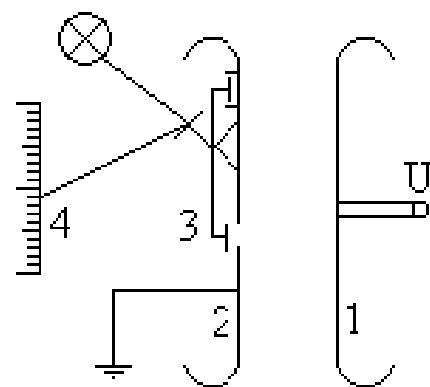


Рисунок 2 – Устройство электростатического киловольтметра:

1 – высоковольтный электрод; 2 – заземленный электрод; 3 – подвижный электрод; 4 – шкала

5. Порядок выполнения работы

1. Собрать схему установки для измерения переменного напряжения (рис. 3, а).
2. Проверить расположение шарового разрядника в схеме на соответствие ГОСТ 17512-82 (таблица 1).
3. Между электродами поочередно устанавливать расстояния S (0,5–2,5 см с шагом 0,5 см), включать установку и плавно увеличивать напряжение до тех пор, пока не произойдет пробой шарового разрядника. Фиксировать напряжение пробоя по киловольтметру U_{kV} и делителю напряжения $U_{дн}$. Для каждого расстояния S провести три измерения и результаты занести в таблицу 2.
4. Рассчитать среднее $U_{ср}$ и амплитудное $U_{макс}$ значение напряжения пробоя для каждого расстояния S .
5. По таблице П1 ГОСТ 17512-82 определить пробивное напряжение шарового разрядника при известном диаметре шаров D и расстоянии S . Измерить температуру и давление воздуха в помещении и ввести поправку на относительную плотность воздуха по формулам (1) и (2).
6. Собрать схему установки для измерения постоянного напряжения (рис. 3, б).
7. Выполнить измерения напряжения по п. 3, результаты занести в таблицу 2.
8. Рассчитать среднее $U_{ср}$ значение напряжения пробоя для каждого расстояния S .
9. Определить пробивное напряжение шарового разрядника, ввести поправку на относительную плотность воздуха.

6. Содержание отчета

1. Привести цель работы, электрическую схему установки (рисовать самостоятельно), порядок проведения эксперимента, результаты измерений и расчетов.
2. По данным таблицы 2 построить в одних осях градуировочные кривые делителя и киловольтметра для переменного напряжения ($U_{экср} = f(U_{приб макс})$). По графикам рассчитать поправочный коэффициент $K_{приб} = U_{экср}/U_{приб}$ для каждого прибора.

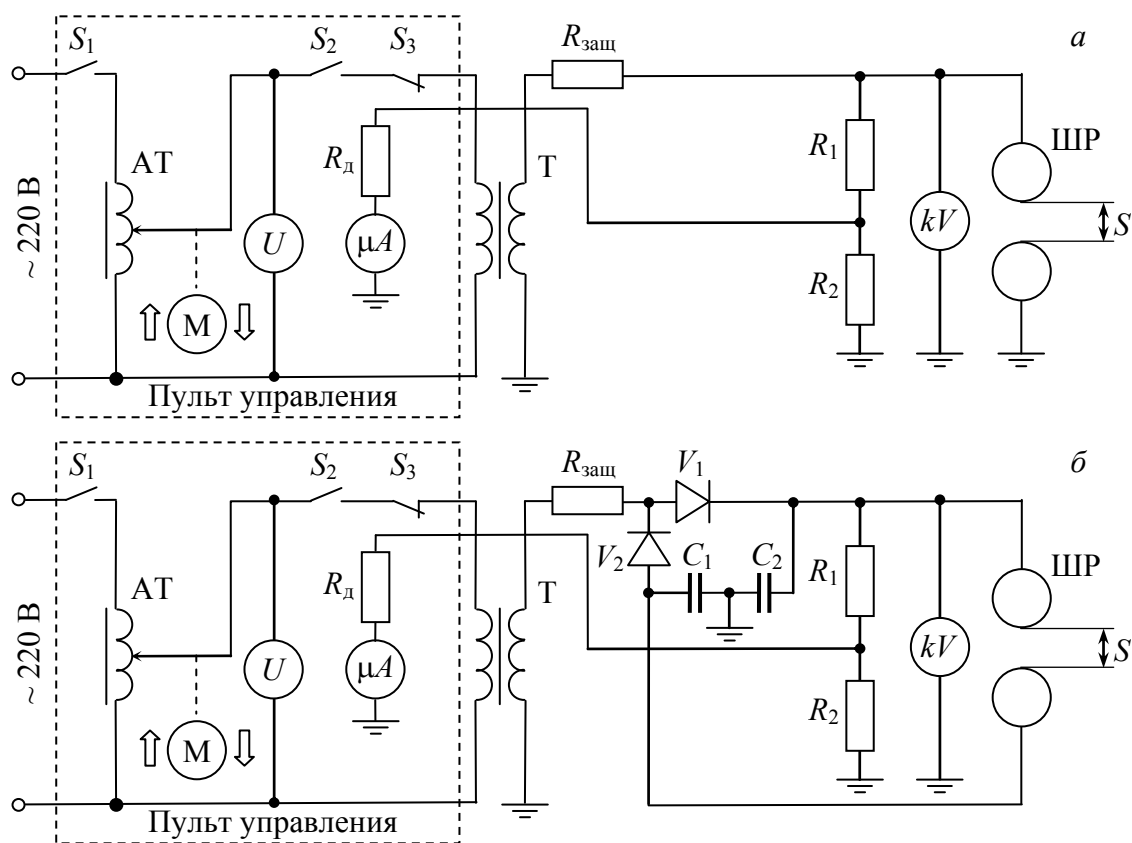


Рисунок 3 – Электрическая схема установки для измерения переменного (а) и постоянного (б) напряжения:

АТ – автотрансформатор; Т – высоковольтный трансформатор; $R_{\text{заш}}$ – защитное сопротивление; V_1, V_2 – выпрямители; C_1, C_2 – конденсаторы; U – вольтметр; μA – микроамперметр; R_d – добавочное сопротивление; R_1, R_2 – делитель напряжения; kV – электростатический киловольтметр; ШР – измерительный шаровой разрядник; S_1 – пакетный выключатель; S_2 – кнопка «Вкл.»; S_3 – кнопка «Выкл.»; М – электродвигатель

- По данным таблицы 2 построить в одних осях градуировочные кривые делителя и киловольтметра для постоянного напряжения ($U_{\text{эксп}} = f(U_{\text{приб ср}})$). По графикам рассчитать поправочный коэффициент $K_{\text{приб}} = U_{\text{эксп}}/U_{\text{приб}}$ для каждого прибора.
- Сравнить точность измерения разными приборами и удобство их использования.

Таблица 2

Таблица 2														Примечание
S, см	ШР		Киловольтметр					Делитель напряжения						
	Переменное напряжение													
	U _{таб} , кВ	U _{эксп} , кВ	U _{кV} , кВ				U _{кV макс} , кВ	U _{дн} , кВ				U _{дн макс} , кВ		
			1	2	3	U _{ср}		1	2	3	U _{ср}			
0,5													D =	
...														
2,5														
S, см	Постоянное напряжение												T =	
			1	2	3	U _{кV ср}	1	2	3	U _{дн ср}				
0,5												P =		
...														
2,5													δ =	

7. Контрольные вопросы

- В чем заключается принцип измерения напряжения шаровым разрядником? Электростатическим киловольтметром? Делителем напряжения?
- Требования, предъявляемые к шаровым разрядникам.
- Порядок измерения напряжения шаровым разрядником.
- Какие факторы влияют на точность измерения разными устройствами, способы уменьшения воздействия этих факторов.