

## 2. РАЗРЯДЫ В ВОЗДУХЕ ПРИ ПЕРЕМЕННОМ НАПРЯЖЕНИИ

**Цель работы:** исследование влияния формы электродов и расстояния между ними на величину разрядного напряжения.

### 1. Краткие сведения

Основным диэлектриком для создания внешней изоляции ЛЭП и высоковольтного оборудования, работающего в открытых распределительных устройствах электрических станций и подстанций, является воздух при атмосферных условиях.

При нормальных атмосферных условиях электрическая прочность воздушных промежутков невелика и в однородном поле не превышает 30 кВ/см. Электрическое поле реальных изоляционных конструкций в большинстве случаев является неоднородным, и электрическая прочность воздушных промежутков значительно уменьшается. Это связано с особенностями развития разряда в неоднородных полях.

При приложении к воздушному промежутку высокого напряжения происходит эмиссия электронов из катода, их ускорение в электрическом поле и ионизация атомов и молекул воздуха, что приводит к появлению большого количества носителей зарядов в лавинах, которые преобразуются в стримеры. В результате этого при некоторой величине приложенного напряжения в воздухе формируется плазменный искровой канал, который перемикает промежуток. Минимальное напряжение, при котором происходит полная потеря диэлектриком изолирующих свойств называется разрядным напряжением ( $U_p$ ).

В неоднородных и резконеоднородных полях ионизация начинается только в части промежутка с наибольшей напряженностью поля. Возникший в этих областях самостоятельный разряд называется коронным разрядом, а начальное напряжение – напряжением зажигания коронного разряда. В слабонеоднородных полях ( $K_n = E_{max}/E_{cp} \leq 3$ ) коронный разряд неустойчив и быстро переходит в полный пробой промежутка. В таких полях напряжение зажигания коронного разряда близко или совпадает с  $U_p$ .

В резконеоднородных полях ( $K_n > 3$ ) ионизация и коронный разряд занимают незначительную часть промежутка вблизи электрода с меньшим радиусом, коронный разряд является устойчивым, и разрядное напряжение может быть существенно выше коронного. Возникновение стримерного коронного разряда сопровождается свечением области ионизации, потрескиванием и появлением запаха озона. Коронный разряд может иметь две формы – лавинную и стримерную. Лавинной называется такая форма разряда, при которой в промежутке развиваются

ся лавины электронов. При этом напряженность поля зарядов каждой из лавин значительно меньше напряженности внешнего поля. Зона ионизации при большом числе лавин имеет более или менее однородную структуру, что приводит к выравниванию электрического поля в промежутке за счет образующегося объемного заряда, знак которого совпадает со знаком "острого" электрода.

Число электронов в лавине, развивающейся от одного эффективно-го электрона, равно

$$n = e^{\alpha x}, \quad (1)$$

где  $n$  – число электронов в лавине;  $x$  – расстояние, пройденное лавиной;  $\alpha$  – эффективный коэффициент ударной ионизации.

Коэффициент ударной ионизации определяется

$$\alpha = \frac{0,2}{\delta} (E - 24,5\delta)^2, \quad (2)$$

где  $\delta$  – относительная плотность воздуха

$$\delta = \frac{P \cdot T_0}{P_0 \cdot T}, \quad (3)$$

где  $P$  и  $T$  – давление и температура в условиях опыта,  $P_0$  и  $T_0$  – нормальные атмосферные условия:  $P_0 = 760$  мм рт. ст.,  $T_0 = 293$  К,  $E$  – напряженность поля в области фронта лавины.

При более интенсивной, стримерной форме разряда, кроме лавин электронов в промежутке развиваются стримерные каналы. Если поле зарядов лавины становится соизмеримым с внешним электрическим полем в промежутке, то лавины электронов преобразуются в стример. У головки стримера происходит интенсивная ионизация, обеспечивающая прорастание стримера в глубь промежутка. Коронный разряд, распространяющийся только в части промежутка между электродами, еще не означает потерю электрической прочности, но приводит к значительным потерям энергии, коррозии провода, арматуры и изоляции, вызывает появление шума и радиопомех. Поэтому при работе высоковольтных установок интенсивность коронного разряда необходимо снижать.

Величина разрядного напряжения зависит от длины промежутка, размеров и формы электродов (рис. 1), способа их подключения, плотности и вида газа, полярности и времени воздействия напряжения. Расчет разрядного напряжения для некоторых форм электродов в сантиметровых промежутках можно проводить по приближенным формулам:

для электродов острие–плоскость

$$U_p = (7 + 3,36 S)\delta, \text{ кВ}, \quad (4)$$

для электродов острие–острие

$$U_p = (14 + 3,16 S)\delta, \text{ кВ}, \quad (5)$$

для электродов шар–шар

$$U_p = 27,2 \cdot \delta \cdot S \left(1 + \frac{0,54}{\sqrt{R\delta}}\right) / 0,25 \left[ \frac{S}{R} + 1 + \sqrt{\left(\frac{S}{R} + 1\right)^2 + 8} \right], \text{ кВ}, \quad (6)$$

где  $S$  – расстояние между электродами, см.

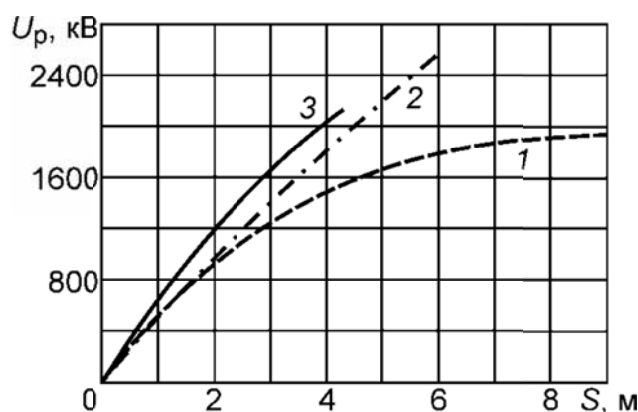


Рис. 1. Разрядные напряжения воздушных промежутков при переменном напряжении частотой 50 Гц:

1 – стержень–плоскость; 2 – стержень–стержень; 3 – провод–провод

В реальных условиях изоляционные конструкции имеют самые разнообразные конфигурации и размеры, а, следовательно, и различные электрические поля. Поэтому исследование разрядных напряжений и напряжений коронного разряда для различных форм электродов и разных расстояний между ними представляет большой практический интерес. Для точного сопоставления результатов измерений, проведенных при различных условиях внешней среды (давление, температура и влажность),  $U_p$  корректируют, приводя к нормальным условиям.

## 2. Порядок работы

1. Ознакомиться со схемой экспериментальной установки (рис. 2).
2. Установить в держателях электроды острие – плоскость.
3. При плавном повышении напряжения для различных расстояний  $S$  между электродами зафиксировать пробивное напряжение  $U_p$ . Для каждого расстояния  $S$  провести три измерения, результаты занести в

табл. 1. Рассчитать средние значения разрядного напряжения  $U_{cp}$  и напряженности поля  $E_{cp}$  для каждого расстояния  $S$ .

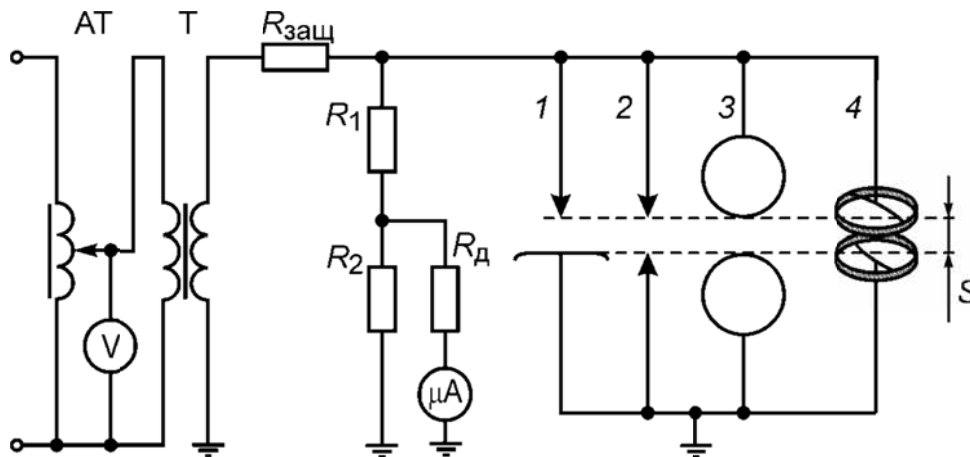


Рис. 2. Схема экспериментальной установки:

$AT$  – автотрансформатор;  $T$  – высоковольтный трансформатор;  $R_{зашщ}$  – защитное сопротивление;  $R_1, R_2$  – высоковольтный омический делитель;  $R_д$  – добавочное сопротивление;  $V$  – вольтметр;  $\mu A$  – микроамперметр; 1–4 – испытываемые электроды

Таблица 1

Форма электродов	$S, \text{ см}$	Эксперимент				Расчет		
		$U_p, \text{ кВ}$			$U_{p \text{ ср}}, \text{ кВ}$	$E_{cp}, \text{ кВ/см}$	$U_p, \text{ кВ}$	$E_{cp}, \text{ кВ/см}$
		1	2	3				
Острие–плоскость								
Острие–острие								
Коронирующие кольца						–	–	
						–	–	
						–	–	
Шар–шар								

4. Провести измерения по п. 2 для электродов острие–острие, шар–шар, коронирующие кольца.
5. Рассчитать разрядные напряжения и напряженность поля для электродов острие–плоскость, острие–острие, шар–шар.

### **3. Содержание отчета**

1. По опытным и расчетным данным построить на одном графике зависимости  $U_p = f(S)$  для различных систем электродов.
2. По опытным и расчетным данным построить зависимости  $E_{cp} = f(S)$ .
3. Объяснить зависимости  $U_p = f(S)$  и  $E_{cp} = f(S)$  для различных систем.
4. Объяснить расхождение между опытными и расчетными данными.
5. Ответить на контрольные вопросы.

### **4. Контрольные вопросы**

1. Для каких целей вводится поправка на относительную плотность воздуха?
2. Почему в однородном поле отсутствует коронная форма разряда?
3. Какие параметры электродной системы влияют на максимальную, а какие – на среднюю напряженность электрического поля?
4. Как классифицируется и чем определяется степень неоднородности электрического поля?