

3. ЭФФЕКТ ПОЛЯРНОСТИ И ВЛИЯНИЕ БАРЬЕРОВ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ПРОЧНОСТЬ ВОЗДУШНЫХ ПРОМЕЖУТКОВ НА ПОСТОЯННОМ НАПРЯЖЕНИИ

Цель работы: исследование влияния полярности электродов и влияния барьеров на пробивное напряжение воздушного промежутка острие-плоскость.

1. Краткие сведения

Воздушная изоляция играет важную роль в различных высоковольтных конструкциях, поэтому оценка величин разрядных напряжений в воздушных промежутках имеет большое значение в создании высоковольтной изоляции. Разрядные напряжения при данном расстоянии между электродами зависят от степени неравномерности электрического поля, времени воздействия напряжения, полярности электродов, атмосферных условий и других факторов. В слабонеоднородных полях, где максимальный и средний градиенты мало отличаются друг от друга, влияние полярности невелико. В сильнонеоднородном поле коронное напряжение намного ниже разрядного, полярность при несимметричных электродах существенно влияет на величину разрядного напряжения. В промежутке острие – плоскость формирование разряда зависит от полярности острия.

При положительной полярности острия имеющиеся в промежутке электроны, двигаясь к острию в область сильного поля, совершают ударную ионизацию и образуют лавину электронов. Когда лавина доходит до острия, электроны лавины нейтрализуются на аноде, а положительные ионы вследствие малой скорости движения остаются у острия и создают положительный объемный заряд, который обладает собственным электрическим полем. Взаимодействуя с внешним полем в промежутке, положительный объемный заряд ослабляет поле вблизи острия и усиливает его во внешнем пространстве (рис. 1).

Если напряжение между электродами достаточно велико, то возникает лавина электронов справа от объемного заряда, электроны которой, смешиваясь с положительными ионами объемного заряда, создают анодный стример, заполненный плазмой. Положительные заряды этой лавины будут располагаться на головке стримера и создавать область повышенной напряженности во внешнем пространстве. Наличие области сильного поля обеспечивает образование новых лавин, электроны которых втягиваются в канал стримера, постепенно удлиняя его. Стример прорастает к катоду, вызывая пробой промежутка при сравнительно малой величине разрядного напряжения.

При отрицательной полярности острия электрическое поле непосредственно у острия приводит к эмиссии электронов с катода, которые сразу попадают в сильное поле и производят ударную ионизацию, образуя большое число лавин. Электроны лавин, перемещаясь в слабое поле у анода, теряют скорость, захватываются нейтральными молекулами, становятся отрицательными ионами, рассеянными в пространстве.

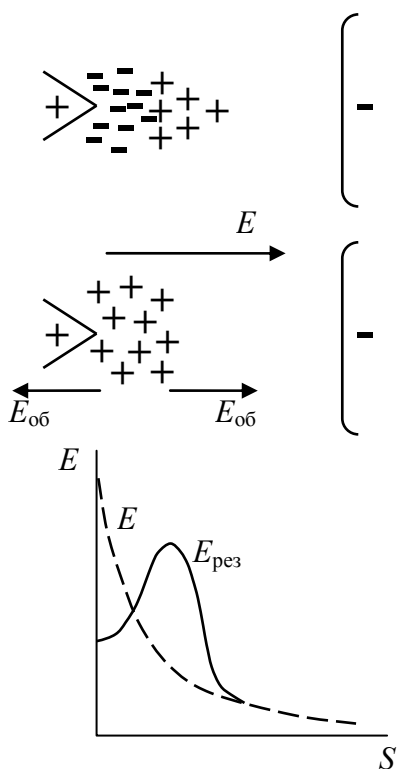


Рис. 1. Образование анодного стримера

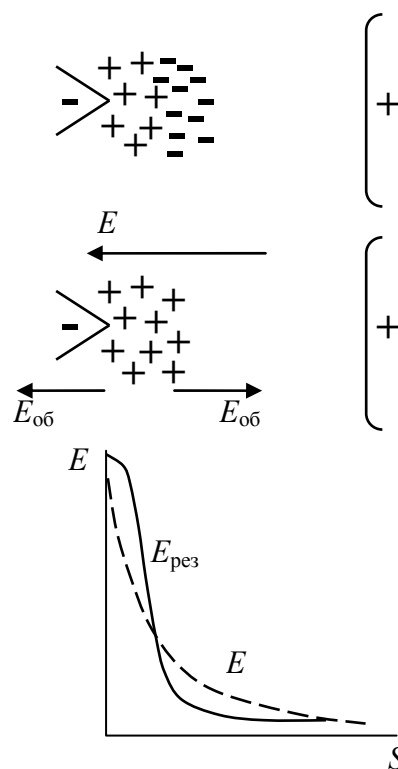


Рис. 2. Образование катодного стримера

E – напряженность внешнего поля;

$E_{об}$ – напряженность объемного положительного заряда;

$E_{рез}$ – результирующая напряженность в промежутке после ионизации

Положительные ионы лавин образуют объемный заряд у острия, который, взаимодействуя с внешним полем, будет увеличивать напряженность непосредственно у острия и уменьшать во внешнем пространстве (рис. 2). Усиленное поле у острия приводит к усилению эмиссии электронов с поверхности катода, которые, смешиваясь с положительным объемным зарядом, образуют у катода катодный стример. Следовательно, коронный разряд у катода зажигается при напряжении несколько меньшем, чем при положительной полярности острия.

Вследствие большого числа начальных лавин у катода плазменный канал здесь представляет собой узкий слой высокой напряженности поля, где осуществляется лавинный процесс и рождаются электроны, выносимые во внешнее пространство.

Уменьшение напряженности электрического поля во внешнем пространстве приводит к тому, что для дальнейшей ионизации в этой части промежутка необходимо значительно увеличить разность потенциалов между электродами.

При дальнейшем увеличении напряжения происходит ионизация справа от плазменного слоя, большое число образующихся лавин приводит к удлинению стримера. Средняя скорость продвижения катодного стримера меньше, чем анодного.

В силу рассмотренных выше особенностей развитие стримера при отрицательном острие происходит с большими трудностями, поэтому разрядное напряжение при отрицательной полярности острия больше, чем при положительной полярности (в 2 – 2,5 раза).

На практике увеличение разрядных напряжений изоляционных промежутков достигается помещением в промежуток барьеров из твердого диэлектрика (электрокартон, гетинакс и др.). При положительном острие положительные ионы оседают на барьер и растекаются по его поверхности тем равномернее, чем дальше от острия расположен барьер. Это приводит к более равномерному распределению напряженности в промежутке между барьером и плоскостью и, следовательно, к значительному увеличению разрядного напряжения (рис. 3).

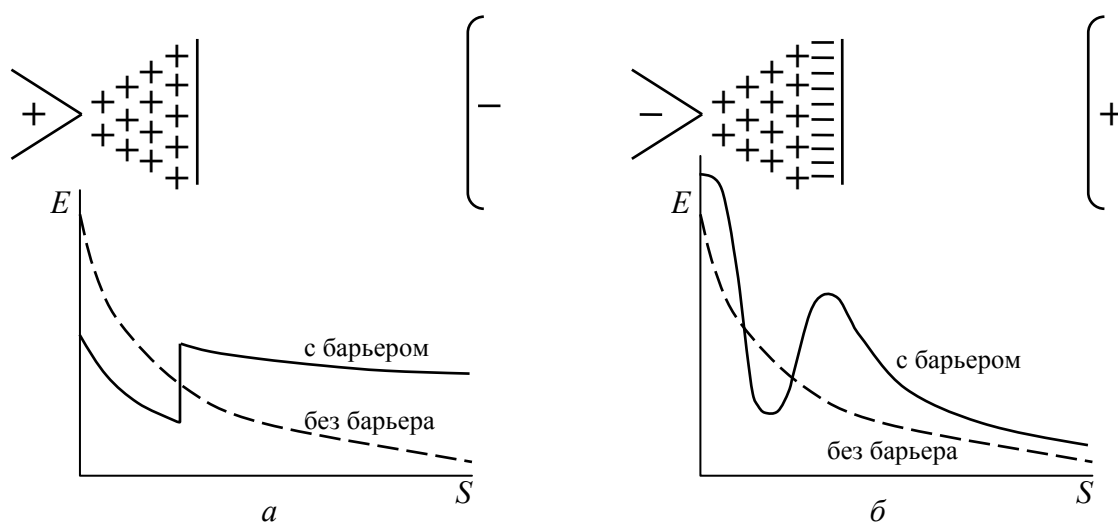


Рис. 3. Распределение напряженности поля в промежутке при наличии барьера:
 а – положительная полярность острия;
 б – отрицательная полярность острия

При отрицательной полярности остря электроны, двигаясь от остря, попадают на барьер, теряют скорость, и большинство из них становятся отрицательными ионами. На барьере в этом случае появляется концентрированный отрицательный заряд, увеличивающий напряженность поля не только между положительным объемным зарядом у остря и барьером, но и во внешнем пространстве. Степень влияния отрицательного концентрированного заряда будет тем больше, чем дальше от остря установлен барьер.

Поэтому при отрицательной полярности остря увеличение разрядного напряжения в промежутке при наличии барьера будет незначительным, а если барьер установлен ближе к плоскости, то разрядное напряжение будет даже меньше, чем в промежутке без барьера. При расположении барьера в средней части промежутка разрядные напряжения при отрицательной и положительной полярностях близки.

Таким образом, барьеры в промежутке устанавливаются на таком оптимальном расстоянии от остря, при котором разрядные напряжения максимальны ($1/5 - 1/6$ длины промежутка между электродами), причем при положительной полярности остря разрядное напряжение может увеличиться в $2 - 2,5$ раза по сравнению с промежутком без барьера, а при отрицательной полярности коронирующего электрода – в $1,2 - 1,3$ раза. Если могут коронировать оба электрода разрядного промежутка, то барьеры устанавливаются вблизи обоих электродов.

При расположении барьера в непосредственной близости от положительного остря роль его уменьшается вследствие резкой неравномерности распределения зарядов на барьере. Напряженность поля оказывается достаточной для того, чтобы ионизационные процессы проходили по другую сторону барьера.

Упрочняющий эффект барьеров имеет место при постоянном, переменном и импульсном напряжениях. Однако при импульсных напряжениях барьерный эффект выражен слабее, так как барьер не успевает за короткое время зарядиться.

Барьеры широко используются в высоковольтных конструкциях, работающих как в воздухе, так и в масле (высоковольтные вводы, трансформаторы и др.).

2. Порядок работы

1. Собрать электрическую схему экспериментальной установки (рис. 4).
2. Для 4 – 6 значений межэлектродного расстояния S определить величину разрядного напряжения U_p для каждой полярности электродов.

Опыты повторить по 3 раза на каждое расстояние. Данные занести в табл. 1.

- Для 4–6 значений расстояния между барьером и острием S_1 определить величину разрядного напряжения между электродами в промежутке с барьером. Опыты повторять по 3 раза на каждое расстояние и каждую полярность электродов, и данные занести в табл. 2. Расстояние между электродами постоянное ($S = \text{const}$).

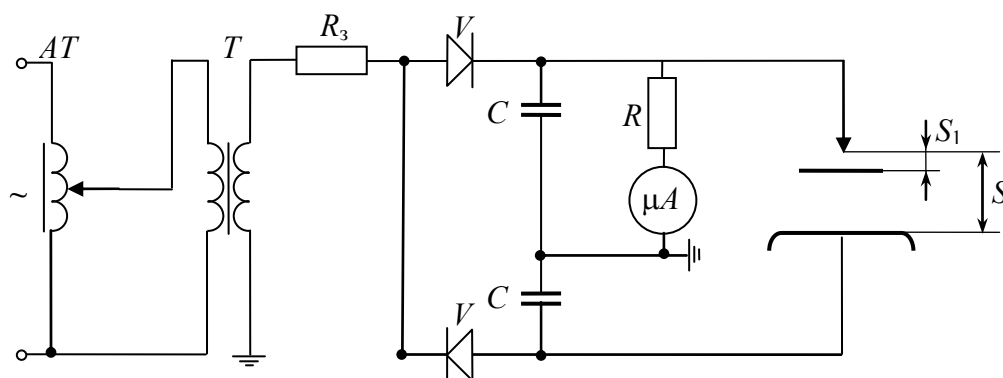


Рис. 4. Электрическая схема установки:

AT – автотрансформатор; T – высоковольтный трансформатор;
 R_3 – защитное сопротивление; V – выпрямитель; C – конденсатор;
 R – токоограничивающее сопротивление;
 μA – прибор для измерения высокого напряжения

Таблица 1

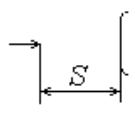
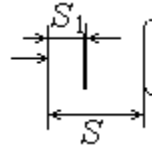
S , см				Полярность острия
	U_p , кВ		$U_{p. cp}$	
	1	2	3	

Таблица 2

S_1 , см				Полярность острия
	U_p , кВ		$U_{p. cp}$	
	1	2	3	

3. Содержание отчета

- Построить на графике зависимости $U_p = f(S)$ при положительном острие и $U_p = f(S)$ при отрицательном острие.
- Построить на графике зависимости $U_p = f(S_1)$ при положительном острие и $U_p = f(S_1)$ при отрицательном острие. На этом же графике провести линии, соответствующие разрядному напряжению для неизменного расстояния между электродами ($S = \text{const}$) без барьера в промежутке S для каждой полярности острия.

3. Объяснить влияние полярности электродов на разрядное напряжение.
4. Объяснить влияние барьеров при разной полярности электродов на разрядное напряжение.

4. Контрольные вопросы

1. От каких факторов зависят разрядные напряжения промежутков?
2. В каких электродных системах полярность электродов влияет на величину разрядного напряжения?
3. Как можно увеличить разрядные напряжения изоляционных промежутков?
4. Из какого материала выполняется барьер?
5. На каком оптимальном расстоянии от острия устанавливается барьер в межэлектродном промежутке?