

# ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ РАЗРЯДЫ ПО ПОВЕРХНОСТИ ТВЕРДОГО ДИЭЛЕКТРИКА НА ПОСТОЯННОМ И ПЕРЕМЕННОМ НАПРЯЖЕНИИ

**Цель работы:** изучение характеристик разряда по поверхности твердого диэлектрика в зависимости от конфигурации поля, расстояния между электродами и толщины диэлектрика при переменном и постоянном напряжении.

## 1. Краткие сведения

Необходимость изучения разрядов по поверхности твердого диэлектрика в воздухе связана с тем, что они обуславливают разрядные характеристики внешней изоляции.

Разряд в газе вдоль поверхности, называемый часто поверхностным разрядом или перекрытием, существенно отличается от разряда в чисто газовом промежутке. При этом напряжение перекрытия  $U_{пер}$  в зависимости от конкретных условий, может заметно отличаться от напряжения пробоя газа между электродами при отсутствии твердого диэлектрика. Как правило, напряжение перекрытия всегда меньше напряжения пробоя газа при одинаковом расстоянии между электродами. На величину напряжения перекрытия оказывают влияние: материал диэлектрика, состояние его поверхности и окружающей атмосферы, конфигурация электрического поля и ряд других факторов.

Все многообразие электрических полей изоляционных конструкций с твердым диэлектриком может быть сведено к трем характерным случаям.

1. Равномерное поле (рис. 1). Поверхность раздела двух диэлектрических сред расположена вдоль силовых линий электрического поля.

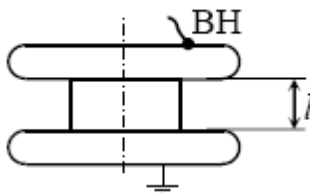


Рис. 1. Система электродов с равномерным полем

2. Неоднородное поле с преобладанием тангенциальной составляющей напряженности поля во всех точках поверхности диэлектрика (рис. 2, а).

3. Неоднородное поле с преобладанием нормальной составляющей напряженности электрического поля (рис. 2, б).

Диэлектрик, помещенный в равномерное поле, нарушает его однородность, и разряд происходит всегда по поверхности диэлектрика, при напряжении более низком, чем в воздушном промежутке.

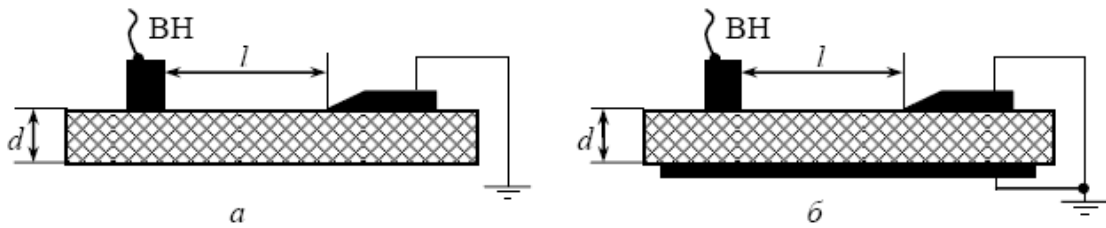


Рис. 2. Система электродов с преобладающей тангенциальной (а) и преобладающей нормальной (б) составляющей электрического поля

Значительную роль в снижении разрядных напряжений играет адсорбция диэлектриком влаги. Материалы, обладающие большой поверхностной гигроскопичностью (стекло, эбонит, оргстекло, бакелизированная бумага), дают большее снижение разрядных напряжений, чем малогигроскопичные материалы (парафин, винипласт). Под действием приложенного к электродам напряжения диссоциированные ионы, содержащиеся в адсорбированной диэлектриком влаге, перераспределяются по поверхности диэлектрика, искажая градиент потенциала вдоль его поверхности. В результате разрядное напряжение уменьшается. Чем более гигроскопичен диэлектрик, тем меньше его напряжение перекрытия. На импульсах поле в промежутке не успевает существенно исказиться из-за инерционности процесса перераспределения зарядов, поэтому разрядное напряжение снижается в меньшей мере. Кроме увлажнения поверхности диэлектрика, на величину разрядного напряжения существенное влияние оказывают воздушные прослойки между диэлектриком и электродами. В этих прослойках из-за отличия диэлектрических проницаемостей воздуха и твердого диэлектрика создается местное увеличение напряженности поля и, возможно, возникновение ионизационных процессов. Следовательно, в реальных изоляционных конструкциях твердый диэлектрик очень редко располагается в однородном поле.

Из-за малой скорости накопления объемных разрядов вблизи электродов  $U_{пер}$  в сильной степени зависит от длительности воздействующего напряжения (рис. 3).

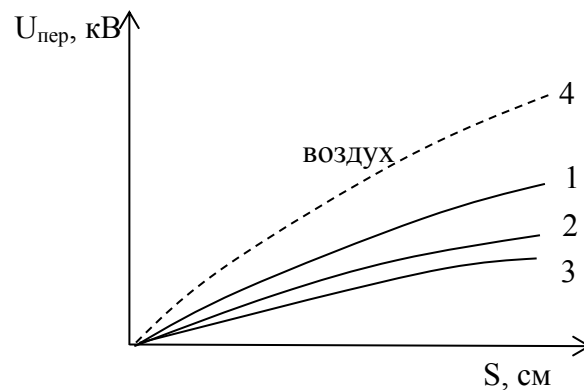


Рис. 3. Зависимость  $U_{пер}$  стекла в однородном поле: 1 – импульсное напряжение, 2 – постоянное, 3 – переменное, 4 – воздух

Неоднородное поле с преобладанием тангенциальной составляющей (рис.2, а) характерно для опорных изоляторов. Влияние гигроскопических свойств диэлектрика на величину разрядных напряжений в этом случае будет меньшим, так как искажения поля, обусловленные процессами на поверхности диэлектрика, лишь незначительно увеличивают и без того значительную неоднородность поля.

Конфигурация электрического поля с преобладанием нормальной составляющей напряженности (рис.2, б) характерна для конструкции проходного изолятора. Неоднородность поля в межэлектродном промежутке в этом случае выше, чем в рассмотренных ранее, и, следовательно, разрядные напряжения ниже.

Исследования показывают, что конструкция с преобладающей нормальной составляющей поля является конструкцией с самым малым значением  $U_{пер}$  из всех известных электродных систем при одинаковых условиях эксперимента. Резкое усиление поля вблизи электрода небольших размеров (заземленный фланец проходного изолятора) приводит к изменению механизма разряда и снижению  $U_{пер}$ .

При развитии разряда вдоль поверхности твердого диэлектрика с преобладающей нормальной составляющей  $E_N$  можно выделить три основных стадии: корона, скользящий разряд, перекрытие. Развитие разряда при этом в существенной мере связывают с наличием поверхностной емкости, т.е. емкости между верхней поверхностью диэлектрика и нижним электродом.

При некотором напряжении начинается коронирование у заземленного электрода (фланца). При дальнейшем росте напряжения разряд приобретает форму слабосветящихся нитей, распространяющихся по направлению к противоположному электроду. При повышении напряжения каналы разряда делаются ярче и их длина начинает расти быстрее приложенного напряжения. Этот вид разряда получил название скользящих разрядов.

Электрический ток, протекающий по каналам скользящих разрядов, замыкается через емкость канала относительно противоположного электрода. Поэтому, величина тока через диэлектрик в сильной степени должна зависеть от величины поверхностной емкости и от скорости изменения приложенного напряжения во времени. Величина емкости канала разряда пропорциональна величине емкости единицы поверхности диэлектрика относительно противоположного электрода и получила название удельной поверхностной емкости.

$$C_{уд} = \frac{C}{S}, \text{ Ф/см}^2 \quad (1)$$

где  $C$  – поверхностная емкость,  $\Phi$ ;  $S$  – площадь наружной поверхности диэлектрика,  $\text{см}^2$ . Чем больше удельное сопротивление  $C_{уд}$ , тем сильнее неравномерность поля и выше градиент у коронирующего электрода, а это ведет к снижению напряжения появления скользящих разрядов

$$U_{ск} = \frac{13,5 \cdot 10^{-5}}{C_{уд}^{0,45}}, \text{ кВ.} \quad (2)$$

Формула (2) справедлива при  $C_{уд} > 0,25 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/см}^2$ .

При постоянном напряжении ток каналах разряда не может замыкаться через поверхностную емкость. В результате заряды оседают на поверхности диэлектрика, приводя к выравниванию распределения напряжения. Удельная поверхностная емкость перестает играть определяющую роль и  $U_{пер}$  твердого диэлектрика приближается к  $U_{пер}$  воздушного промежутка. Стадия скользящих разрядов при постоянном напряжении практически отсутствует.

При воздействии импульсного напряжения длина скользящего разряда может быть определена из формулы:

$$l_{\text{ск}} = k C_{\text{уд}}^2 U^5 \sqrt{\frac{dU}{dt}}, \text{ см} \quad (3)$$

где  $k=33 \cdot 10^{-15}$  – для импульсов отрицательной полярности;  $k=39 \cdot 10^{-15}$  – для импульсов положительной полярности;  $dU/dt$  – скорость изменения напряжения.

Из формулы (3) следует, что  $l_{\text{ск}}$  в сильной степени зависит от амплитуды приложенного напряжения  $U$  и в значительно меньшей степени от скорости изменения напряжения  $dU/dt$ .

Когда скользящий разряд достигает второго электрода, происходит перекрытие.

Поэтому, если  $l_{\text{ск}}=S$ , то получим выражение для напряжения перекрытия

$$U_{\text{пер}} = \sqrt{\frac{S}{k C_{\text{уд}}^2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{\frac{dU}{dt}}} \quad (4)$$

Видно, что  $U_{\text{пер}}$  слабо возрастает с ростом  $S$ . Поэтому проходные изоляторы при всех прочих условиях имеют значительно большие линейные размеры по сравнению с другими типами изоляторов. Поэтому для уменьшения длины проходных изоляторов на высокие напряжения принимают специальные меры для выравнивания распределения напряжения между электродами.

Для увеличения разрядного напряжения изоляторов широко используется применение ребер, которые увеличивают длину разрядного пути и оказывают тормозящее влияние на развитие разрядных процессов.

В данной работе разрядные напряжения по поверхности диэлектрика в неоднородном поле изучаются на конструкциях, приведенных на рис. 2, а и б, в качестве диэлектрика используется силикатное стекло.

## 2. Порядок работы

1. Перед началом работы ознакомиться со схемой установки (рис. 4 и 5), расположением ее элементов и объектов испытания, с порядком проведения измерений и правилами безопасности при работе на данной установке.

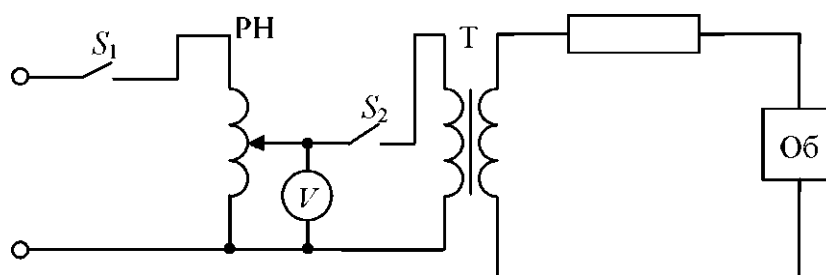


Рис. 4. Принципиальная электрическая схема установки (переменное напряжение): РН— регулятор напряжения, Т— высоковольтный трансформатор, Rз — защитное сопротивление; S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub> — выключатели

Схему установки на постоянном напряжении отобразить самостоятельно.

2. Определить напряжение перекрытия промежутков с преобладающей тангенциальной составляющей для 4 значений межэлектродного расстояния при воздействии переменного напряжения. Результаты занести в табл. 1.

3. Определить напряжение перекрытия промежутков с преобладающей тангенциальной составляющей для 4 значений межэлектродного расстояния при воздействии постоянного напряжения. Результаты занести в табл. 1.

4. Определить напряжение появления короны и напряжение перекрытия для 4 значений межэлектродного расстояния при воздействии переменного напряжения в промежутке с преобладающей нормальной составляющей электрического поля.

5. Определить напряжение появления короны и напряжение перекрытия для 4 значений межэлектродного расстояния при воздействии постоянного напряжения в промежутке с преобладающей нормальной составляющей электрического поля.

4. Изменить толщину диэлектрика и повторить эксперименты по п. 4 и 5.

$l, \text{ см}$	$d, \text{ см}$	$U_{\text{к}}, \text{ кВ}$	$U_{\text{пер}}, \text{ кВ}$	Примечания

### 3. Содержание отчета

1. Построить зависимости  $U_{\text{пер}} = f(l)$ ,  $U_{\text{ск}} = f(l)$  и  $U_{\text{п}} = f(l)$  от расстояния между электродами для различной конфигурации электрического поля и толщины диэлектрика на постоянном и переменном напряжении.

2. Проанализировать влияние расстояния между электродами, конфигурации электрического поля, толщины диэлектрика и вида напряжения на разрядные напряжения.

### 4. Контрольные вопросы

1. Есть ли разница в разрядных процессах при постоянном и переменном напряжении при разряде вдоль поверхности твердого диэлектрика. Если есть, в чем она заключается?

2. Почему происходит искажение электрического поля при помещении диэлектрика в однородное поле?

3. Какое влияние оказывает неплотное прилегание электродов на разрядное напряжение вдоль поверхности диэлектриков?

4. Для каких изоляционных конструкций характерно поле с преобладающей тангенциальной составляющей, для каких конструкций - с нормальной?

5. Что делается в реальных условиях работы изоляции для увеличения разрядных напряжений по поверхности изоляторов?

6. Какую роль играет удельная поверхностная емкость диэлектрика при разряде вдоль его поверхности на постоянном напряжении?