

5. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ РАЗРЯДЫ ПО ПОВЕРХНОСТИ ТВЕРДОГО ДИЭЛЕКТРИКА

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

1. Краткие сведения

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

Напряжение разряда вдоль поверхности твердых диэлектриков в воздухе всегда ниже разрядного напряжения воздушного промежутка такой же длины и конфигурации электрического поля. Величина напряжения поверхностного разряда определяется длиной разрядного канала, конфигурацией электрического поля в промежутке, электрофизическими характеристиками и состоянием поверхности твердого диэлектрика, температурой, давлением и влажностью воздуха.

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.

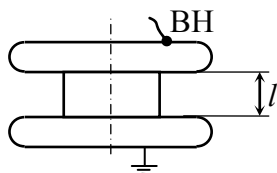


Рис. 1. Система электродов с равномерным полем

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.

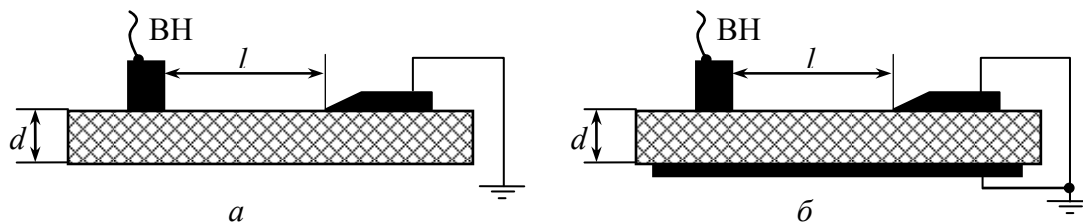


Рис. 2. Система электродов с преобладающей тангенциальной (а) и преобладающей нормальной (б) составляющей электрического поля

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. 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.

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.

Поверхностный разряд по мере увеличения приложенного напряжения проходит несколько стадий.

1. При относительно низких напряжениях на электродах возникает коронный разряд в виде полоски ровного неяркого свечения.
2. Увеличение напряжения приводит к расширению области коронирования и образованию на твердом диэлектрике многочисленных слабо светящихся каналов (стримеров), направленных к противоположному электроду. Характер разрядных процессов определяется величиной токов, текущих в разрядных каналах.
3. При дальнейшем увеличении напряжения, в случае преобладания нормальной составляющей напряженности, ток возрастает настолько, что становится возможной термическая ионизация в стримерных каналах. Эта форма стримерного разряда, называемая скользящим разрядом, характеризуется интенсивным свечением канала, резким уменьшением сопротивления канала и, следовательно, выносом потенциала в глубь промежутка.
4. Длина скользящих разрядов очень быстро увеличивается с повышением напряжения, и процесс завершается перекрытием промежутка между электродами.

Величина тока в любом канале в наибольшей степени определяется емкостью канала по отношению к противоположному электроду. В качестве величины, характеризующей емкость канала, принимается удельная поверхностная емкость, т.е. емкость единицы поверхности, по которой развивается разряд, по отношению к противоположному электроду.

Очевидно, что чем выше удельная поверхностная емкость, тем больше ток, протекающий по каналу на зарядку этой емкости, поэтому выше проводимость стримерного канала и потенциал на его конце, тем быстрее растет длина скользящего разряда и ниже напряжение разряда по поверхности.

Для приближенного расчета напряжения поверхностного разряда можно использовать следующие эмпирические выражения.

Действующее значение напряжения поверхностного разряда промежутка с преобладающей тангенциальной составляющей напряженности электрического поля описывается выражением

$$U_p = A + B \cdot l, \text{ кВ}, \quad (1)$$

где l – длина разрядного промежутка, см;

U_p – разрядное напряжение, кВ.

Напряжение начала скользящих разрядов в промежутке с преобладающей нормальной составляющей напряженности электрического поля описывается выражением

$$U_{\text{н.с.}} = K \left(\frac{d}{\varepsilon} \right)^{0,45}, \text{ кВ}, \quad (2)$$

где ε – относительная диэлектрическая проницаемость (для стекла $\varepsilon = 6$); d – толщина диэлектрика, см.

Разрядное напряжение по поверхности твердого диэлектрика в поле с преобладающей нормальной составляющей напряженности для плоского диэлектрика описывается выражением

$$U_{\text{р}} = K \left(\frac{d}{\varepsilon} \right)^{0,45} \cdot I^{0,2}, \text{ кВ}. \quad (3)$$

Для увеличения длины пути утечки тока по поверхности твердого диэлектрика и увеличения разрядного напряжения применяют ребристую поверхность.

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. 3), расположением ее элементов и объектов испытания, с порядком проведения измерений и правилами безопасности при работе на данной установке.

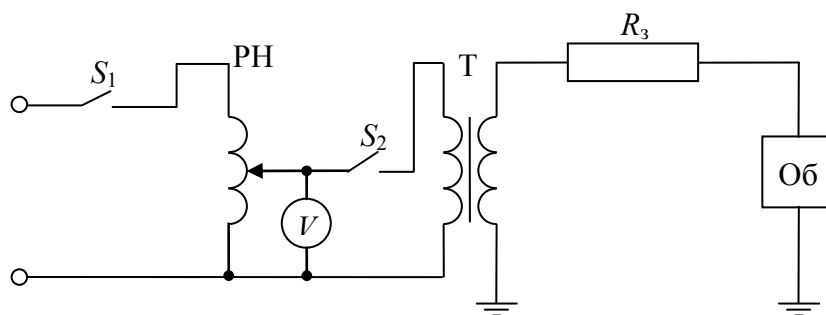


Рис. 3. Принципиальная электрическая схема установки:
 РН – регулятор напряжения, Т – высоковольтный трансформатор,
 R_3 – защитное сопротивление; S_1, S_2 – выключатели

2. Определить напряжение появления короны и напряжение перекрытия промежутков с преобладающей тангенциальной составляющей для 4–6 значений межэлектродного расстояния при воздействии переменного напряжения. Результаты занести в табл. 1.

3. Определить напряжение появления короны, скользящих разрядов и напряжение перекрытия для 4 – 6 значений межэлектродного расстояния при воздействии переменного напряжения в промежутке с преобладающей нормальной составляющей электрического поля.
4. Изменить толщину диэлектрика и повторить эксперименты по п.3.

Таблица 1

| l , см | d , см | U_k , кВ | $U_{ск}$, кВ | $U_{п}$, кВ | Примечания |
|----------|----------|------------|---------------|--------------|------------|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

3. Содержание отчета

1. Построить зависимости $U_k = f(l)$, $U_{ск} = f(l)$ и $U_{п} = f(l)$ от расстояния между электродами для различной конфигурации электрического поля и толщины диэлектрика.
2. Проанализировать влияние расстояния между электродами, конфигурации электрического поля и толщины диэлектрика на разрядные напряжения.

4. Контрольные вопросы

1. Почему происходит искажение электрического поля при помещении диэлектрика в однородное поле?
2. Какое влияние оказывает неплотное прилегание электродов на разрядное напряжение вдоль поверхности диэлектриков?
3. Для каких изоляционных конструкций характерно поле с преобладающей тангенциальной составляющей, для каких конструкций – с нормальной?
4. Что делается в реальных условиях работы изоляции для увеличения разрядных напряжений по поверхности изоляторов?