

ВЛИЯНИЕ ТВЕРДЫХ ДИЭЛЕКТРИКОВ НА ПРОБОЙ ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА НА ИМПУЛЬСНОМ НАПРЯЖЕНИИ

В. А. БУТЕНКО, Н. М. ТОРБИН

(Представлена научным семинаром научно-исследовательского института высоких напряжений)

В электроизоляционных конструкциях, работающих в трансформаторном масле, электроды, находящиеся под высоким напряжением, часто расположены таким образом, что при пробое масляного промежутка разряд частично перекрывает твердый диэлектрик.

Известно [1, 2], что при перекрытии твердых диэлектриков в трансформаторном масле пробивные градиенты в неоднородном поле при отсутствии нормальной составляющей вектора напряженности к поверхности диэлектрика близки к пробивным напряжениям чисто масляного промежутка.

На импульсном напряжении при малых временах воздействия напряжения в воздухе наблюдается пересечение вольтсекундных характеристик перекрытия гирлянды изоляторов и пробоя защитных промежутков [3]. Это указывает, что соотношение времен пробоя равнопрочных промежутков по поверхности твердого диэлектрика и воздушного промежутка может меняться в широких пределах в зависимости от крутизны воздействующего импульса напряжения.

Нами проведено исследование влияния твердых диэлектриков с различными диэлектрическими проницаемостями ϵ на пробой масляного промежутка, когда на некотором расстоянии от электродов располагался твердый диэлектрик, а разряд проходил частично через масляный зазор, частично по поверхности твердого диэлектрика.

Электроды острие — острие располагались над поверхностью твердого диэлектрика на расстояниях S , равных 3; 4, 5 и 6 мм, при расстояниях между электродами d от 5 до 25 мм. Импульсная волна прямоугольной формы положительной или отрицательной полярности с длиной фронта $\tau_{\phi} = 0,17; 0,34$ и $1,5$ мксек подавалась на один из электродов, другой электрод заземлялся. Пробой происходил на плоской части импульса. В качестве твердых диэлектриков использовались материалы с различными диэлектрическими проницаемостями (полиметилметакрилат $\epsilon = 3,5$, стекло $\epsilon = 6$ и тикондовая керамика $\epsilon = 1700$). В зависимости от условий опыта происходил пробой масляного промежутка или комбинированный пробой частично масляного промежутка и частично перекрытия по поверхности твердого диэлектрика.

Электродное устройство (рис. 1) помещалось в бачок из органического стекла, что позволило получить статические фотографии разряда и визуально наблюдать путь разряда. На основании 10—15 изме-

рений определялось среднеарифметическое время запаздывания пробоя и путь пробоя промежутка.

На рис. 2, 3, 4 представлены кривые изменения времени запаздывания разряда при изменении расстояния между электродами d и различным расположении электродов относительно поверхности твердых

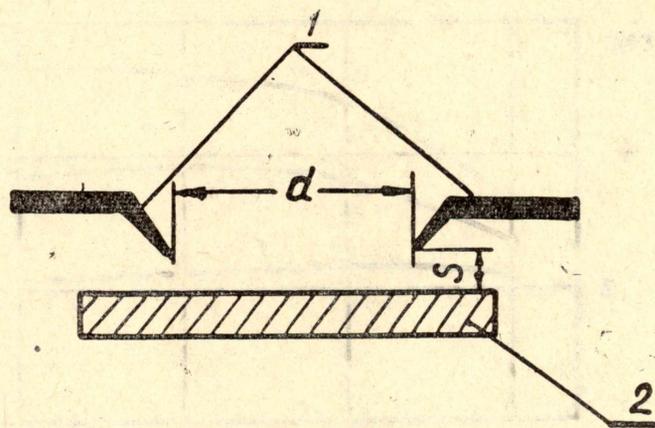


Рис. 1. Электродное устройство: 1 — электроды, 2 — диэлектрик

диэлектриков S при отрицательной импульсной волне с $\tau_{\phi} = 1,5$ мксек. для полиметилметакрилата, технического стекла и тикондовой керамики, соответственно. Из графиков видно, что $t_{\text{зап}}$ разряда в случае поли-

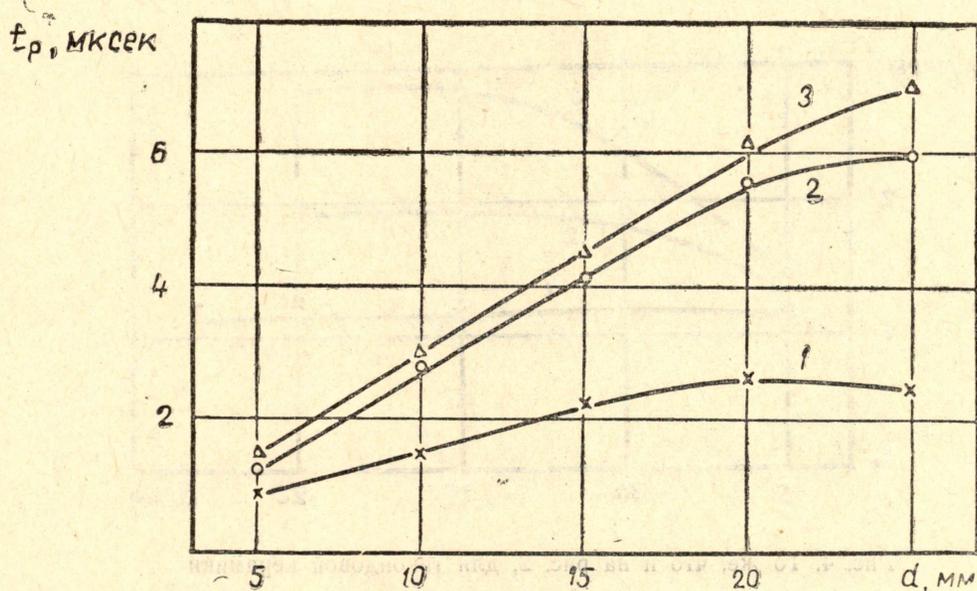


Рис. 2. Зависимость времени разряда t_p от расстояния между электродами d и расстояния от электродов до поверхности твердого диэлектрика S . В случае полиметилметакрилата $\tau_{\phi} = 1,5$ мксек. Импульс отрицательной полярности: 1 — $S = 3$ мм; 2 — $S = 4,5$ мм; 3 — $S = 6$ мм

метилметакрилата с увеличением d сначала увеличивается линейно. Начиная с $d = 15$ мм ($S = 3$ мм) и $d = 20$ мм (при $S = 4,5$ мм и больше), рост $t_{\text{зап}}$ с увеличением d значительно замедляется. Для технического стекла и особенно для тикондовой керамики при увеличении d

свыше 10 мм, а в случае, когда $S = 3$ мм, при d свыше 5 мм, $t_{\text{зап}}$ разряда остается практически одинаковым и, более того, с увеличением d свыше 20 мм ($S = 6$ мм) наблюдается даже некоторое снижение $t_{\text{зап}}$, разряда (рис. 5).

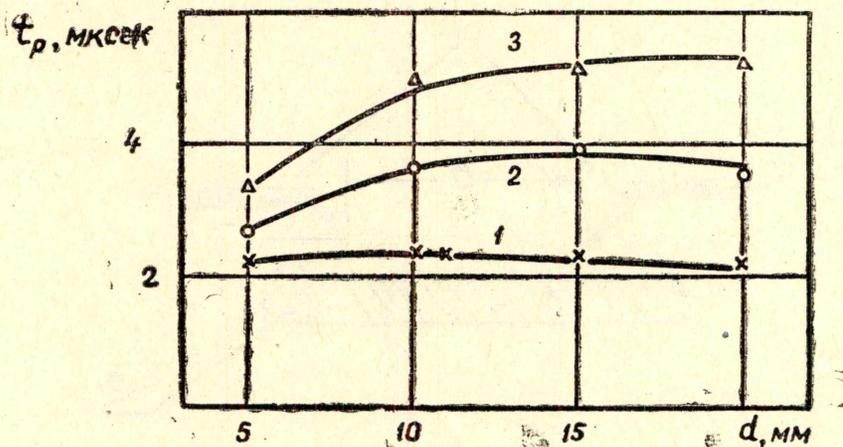


Рис. 3. То же, что и на рис. 2, для технического стекла

Фотографии и визуальные наблюдения позволили установить, что изменение $t_{\text{зап}}$ разряда связано с изменением пути разряда между электродами. Когда путь разряда проходит через масло $t_{\text{зап}}$ разряда

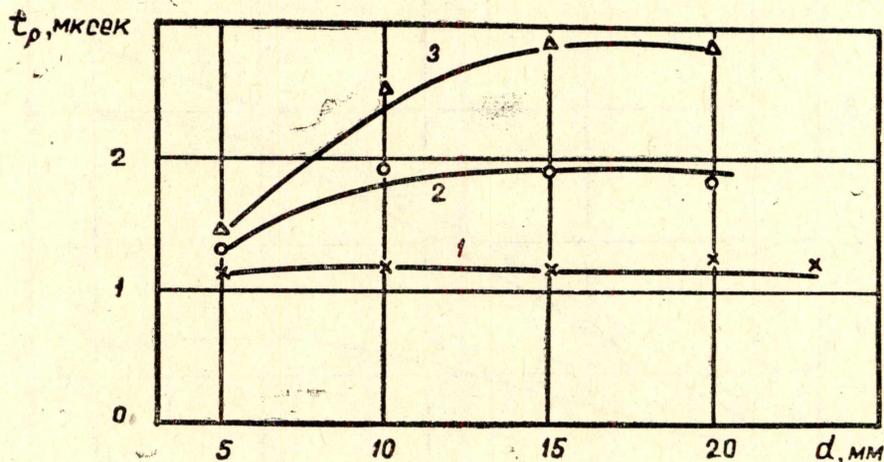


Рис. 4. То же, что и на рис. 2, для титановой керамики

с увеличением d увеличивается приблизительно линейно. Когда путь разряда частично проходит по поверхности твердого диэлектрика, рост $t_{\text{зап}}$ с увеличением d резко замедляется, а при $S = 3$ мм для стекла и керамики остается практически постоянным.

Как показали исследования, изменение пути пробоя промежутка зависит от d , S , ϵ твердого диэлектрика, полярности и скорости изменения напряжения на фронте импульса ($\tau_{\text{ф}}$), и, вероятно, физико-химических свойств жидкого диэлектрика (последнее нами не исследовалось).

При одних и тех же значениях S с увеличением d присутствие твердых диэлектриков с большими значениями ϵ приводит к более раннему перекрытию твердого диэлектрика и снижению $t_{\text{зап}}$ разряда.

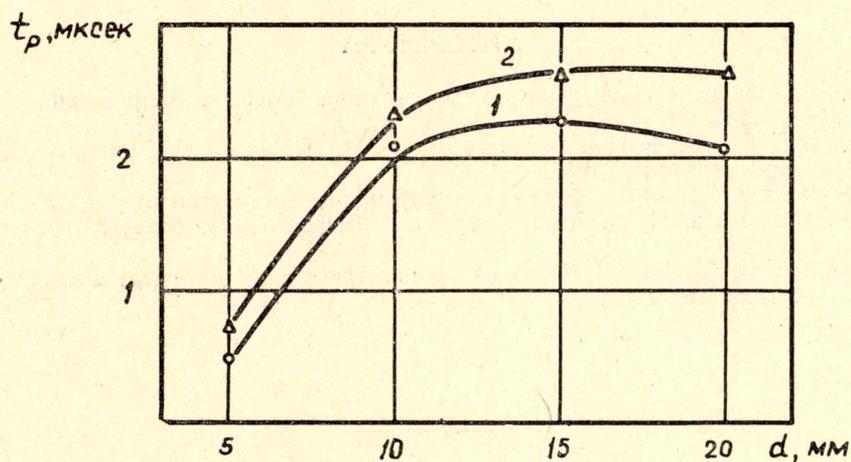


Рис. 5. То же, что и на рис. 4, для тикондовой керамики. Импульс отрицательной полярности, $\tau_{\text{дб}} = 0,17$ мксек; 1 — $S = 4,5$ мм, 2 — $S = 6$ мм

В табл. 1 приведены данные по измерению $t_{\text{зап}}$ разряда в присутствии твердых диэлектриков при $d = 20$ мм и $\tau_{\text{дб}} = 1,5$ мксек.

Таблица 1

Твердый диэлектрик	ϵ	Время запаздывания разряда (сек)		
		$S = 3$ мм	$S = 4,5$ мм	$S = 6$ мм
Полиметилметакрилат	3,5	$2,6 \cdot 10^{-6}$	$5,7 \cdot 10^{-6}$	$6 \cdot 10^{-6}$
Техническое стекло	6,0	$2,5 \cdot 10^{-6}$	$4,2 \cdot 10^{-6}$	$6,3 \cdot 10^{-6}$
Тикондов. керамика	1800	$1,2 \cdot 10^{-6}$	$1,9 \cdot 10^{-6}$	$2,8 \cdot 10^{-6}$

Как видно из рис. 2—5 и табл. 1, с увеличением ϵ диэлектрика время запаздывания разряда при одних и тех же параметрах S и d уменьшается более чем в 2 раза. Независимость $t_{\text{зап}}$ разряда при $d = 3$ мм в случае стекла и керамики объясняется тем, что разряд большую часть пути проходит по поверхности твердого диэлектрика, где скорость развития разряда значительно больше, чем при пробое чисто масляного промежутка.

Отклонение пути разряда от своего кратчайшего расстояния и уменьшение времени запаздывания разряда можно объяснить следующими обстоятельствами. Присутствие твердого диэлектрика искажает поле в промежутке за счет различия диэлектрических постоянных ϵ среды и твердого диэлектрика [4]. Чем больше различие в ϵ сред, тем в большей степени будет увеличиваться напряженность поля в промежутке острие — поверхность твердого диэлектрика и тем при больших значениях S разряд будет развиваться по поверхности твердого диэлектрика. Так как длина скользящих разрядов изменяется приблизительно в пятой степени в зависимости от амплитуды приложенного напряжения [5], то при развитии разряда по поверхности твердого диэлектрика время пробоя промежутка значительно сокращается. Эти

обстоятельства необходимо учитывать при конструировании изоляции электрических аппаратов. Наличие вблизи высоковольтных электродов твердых диэлектриков может привести к значительному снижению электрической прочности промежутка при воздействии импульсных напряжений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Под ред. Л. С. Сиротинского, «Техника высоких напряжений», часть II. Госэнергоиздат, 1955.
 2. Под ред. Ю. В. Корницкого и Б. М. Тареева, Электроизоляционные материалы. Госэнергоиздат, 1959.
 3. С. Уайтхед. Пробой твердых диэлектриков. Госэнергоиздат, 1957.
 4. Л. Р. Нейман, П. Л. Колонтаров. Теоретические основы электротехники. Госэнергоиздат, 1959.
 5. А. М. Залесский, Н. И. Бачурин. Изоляция аппаратов высокого напряжения. Госэнергоиздат, 1961.
-