

**ИМПУЛЬСНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРОЧНОСТЬ  
И ИЗБИРАТЕЛЬНОСТЬ ПУТИ РАЗРЯДА В НЕОДНОРОДНОМ  
ТВЕРДОМ ДИЭЛЕКТРИКЕ**

В. И. КУРЕЦ

(Представлена научным семинаром кафедры техники высоких напряжений)

Электрическая прочность твердой изоляции в значительной мере определяется однородностью структуры диэлектрика. Наличие в твердой изоляции посторонних включений, имеющих удельные сопротивления и диэлектрические проницаемости, отличные от этих же характеристик самой изоляции, приводит к изменению напряженностей на поверхности включения или внутри его, что должно сказаться на величине средних пробивных градиентов и направлении пути разряда в твердом диэлектрике.

Неоднородности (поры, включения) в твердой изоляции, в высоковольтных аппаратах и устройствах зачастую встречаются вследствие несовершенства технологии и изготовления изоляционного материала, а также в процессе эксплуатации при развивающихся ионизационных процессах внутри диэлектрика. Таким образом, исследования влияния металлического включения на электрическую прочность и путь электрического разряда в твердом диэлектрике представляют значительный практический интерес.

В связи с изложенным в данной работе были проведены исследования по оценке влияния проводящих включений в твердом диэлектрике на средние пробивные градиенты и направления пути разряда в нем.

Методика экспериментов. В качестве источника высокого напряжения использовался генератор импульсных напряжений (ГИН) на 240 кВ с емкостью в разряде 1700 пФ. Длина фронта волны импульсного напряжения составляла  $0,2 \cdot 10^{-6}$  сек. Электрическая схема импульсного генератора и схема измерения напряжения приведена на рис. 1. Измерение импульсного напряжения производилось с помощью электронного осциллографа ОК-19М и омического делителя с сопротивлением 6000 Ом. В исследованиях в качестве твердого диэлектрика применялся парафин, проводящее включение в диэлектрике имитировалось дробью, вплавленной в образец. При изготовлении образцов специальный температурный режим позволял получать парафиновые образцы без наличия крупных воздушных пор и с электрической прочностью порядка 15 кВ/мм. В исследовании применялись образцы размером  $40 \times 30 \times 25$  мм. В опытах по пробое образцы погружались в трансформаторное масло прочностью 30 кВ в стандартном пробойнике с целью исключения перекрытия образцов по поверхности. Электрода-

ми служили латунная плоскость диаметром 100 мм и заостренный стержень с углом в вершине  $30^\circ$ . Плоскость заземлялась, а на стержневой электрод подавались импульсы напряжения положительной полярности.

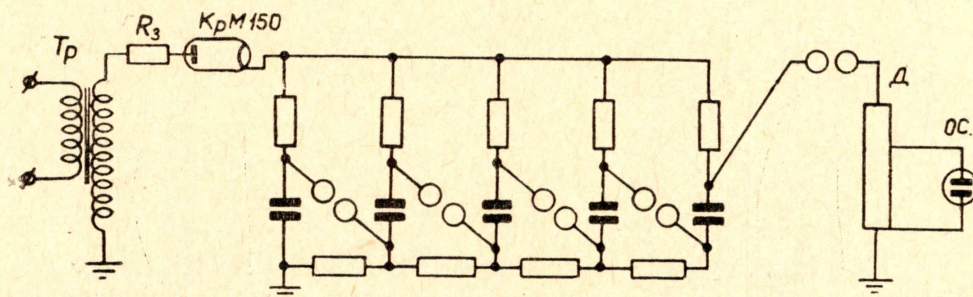


Рис. 1. Электрическая схема генератора импульсов.

При исследовании влияния металлического включения на снижение пробивных градиентов диэлектрика острое стержня устанавливалось по оси расположения металлического включения, а при исследовании изменения пути разряда острое смещалось от вертикальной оси расположения металлического включения.

Пробой образцов проводился на фронте одиночного импульса напряжения. Каждая точка в приводимых ниже опытных зависимостях построена по результатам пробоя 4 ÷ 6 образцов. Разброс в величинах пробивных напряжений не превышал  $\pm 20\%$  от среднего значения.

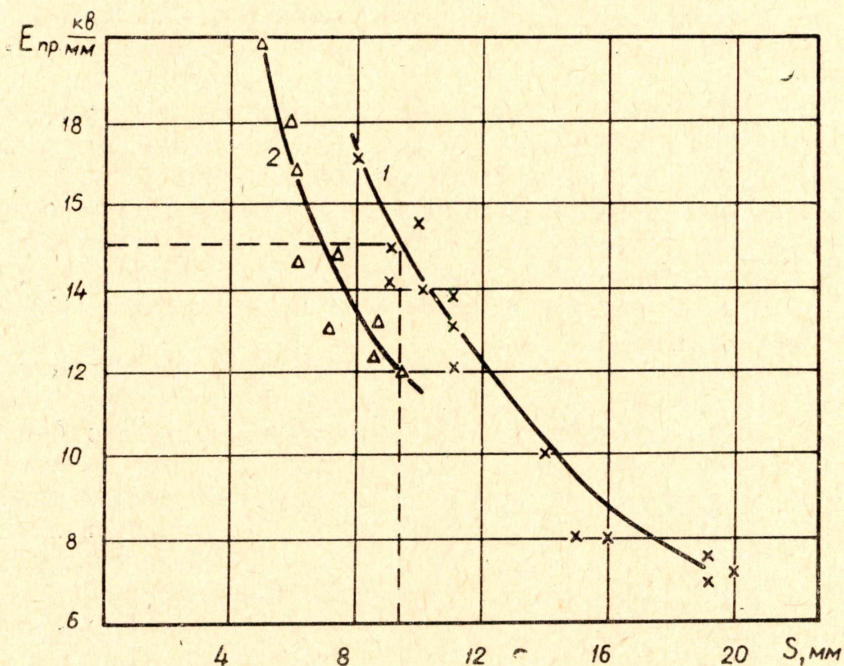


Рис. 2. Зависимость средних пробивных градиентов от толщины образца.

1 — образцы не содержат металлического включения, 2 — образцы содержат металлическое включение.

Результаты эксперимента. На рис. 2 представлена зависимость средних пробивных градиентов от толщины диэлектрика для образцов, содержащих 2 и не содержащих 1 металлического включе-

ния. Подсчет средних пробивных градиентов для образцов, содержащих металлическое включение, проводился по формуле

$$E_{\text{ср. пр}} = \frac{U}{S-d},$$

где  $U$  — напряжение пробоя образца,  
 $S$  — толщина образца,  
 $d$  — диаметр металлического включения.

Таким образом, размер металлических включений в расчете средних пробивных градиентов не учитывался. Как видно из графика рис. 2, в обоих случаях средние пробивные градиенты уменьшаются с ростом толщины, однако их значения для образцов без металлического включения на 25 ÷ 30% выше, чем в образцах, содержащих включение. Таким образом, наличие местной повышенной напряженности электрического поля на поверхности проводящего включения привело к относительному снижению величины импульсного пробивного напряжения.

В работе проведены исследования изменения средних пробивных градиентов в образце с проводящим включением при различном относительном увеличении разрядного пути, исследовалось также избирательное направление импульсного разряда в твердом диэлектрике.

На рис. 3 представлено изменение средних пробивных градиентов при различной величине смещения высоковольтного электрода от сети расположения металлического включения. Из графика на рис. 3 видно,

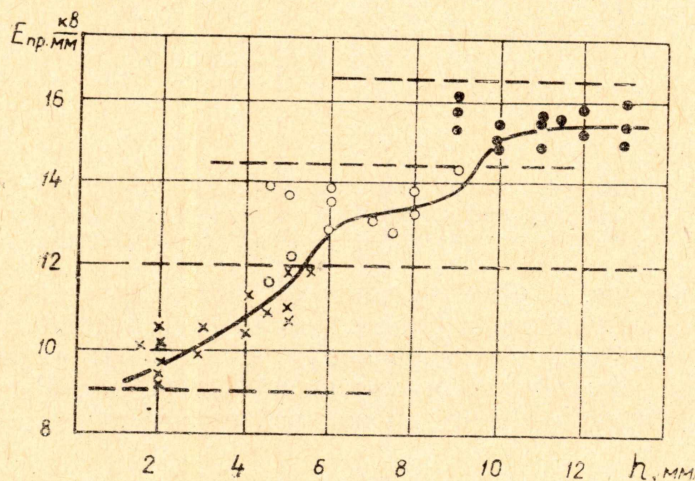


Рис. 3. Зависимость средних пробивных градиентов от величины смещения высоковольтного электрода от расположения вертикальной оси металлического включения.

что средние пробивные градиенты группируются в три области, соответствующие различным направлениям пути разряда. В области малых смещений от 2 до 5 мм имеют место относительно низкие значения пробивных градиентов (10 кВ/мм), которые возрастают с увеличением смещения высоковольтного электрода. В этой области каждый импульсный разряд проходит через проводящее включение. Вторая область от 5 до 9 мм соответствует разрядам, которые под действием повышенных напряженностей на поверхности металлического включения изменяют свой путь, склоняясь в сторону проводящего включения. Величины средних пробивных градиентов при этом изменяются от 11 кВ/мм до 15 кВ/мм. При дальнейшем увеличении смещения (более 9 мм) влияние

металлического включения не сказывается на путь разряда и средние пробивные градиенты остаются постоянными и соответствующими электрической прочности парафина без наличия включений.

В опытах было установлено, что при значительном смещении высоковольтного электрода сохраняется селективное направление разряда через металлическое включение. На рис. 4 представлен график изменения процентного количества разрядов, проходящих через металлическое включение, от относительного увеличения разрядного пути. Как видно

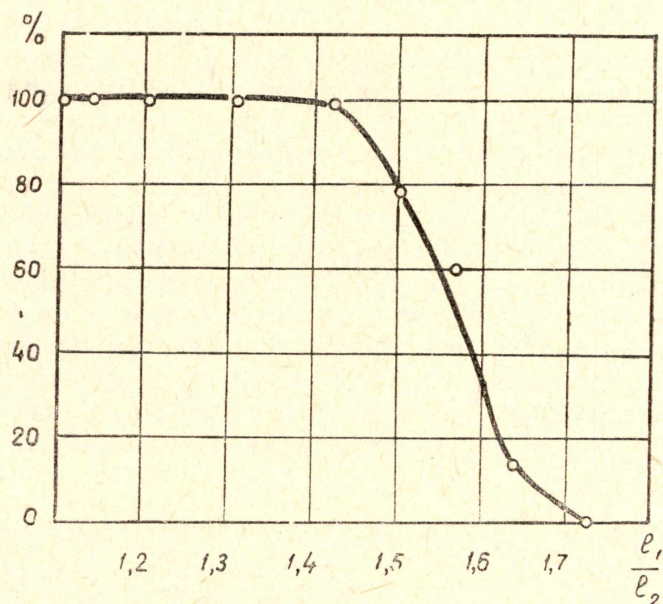


Рис. 4. Зависимость процентного количества разрядов, прошедших через металлическое включение от относительного увеличения пути разряда.

из графика на рис. 4, относительное увеличение пути разряда до 30% не приводит к изменению избирательности пути разряда в твердом диэлектрике и все 100% разрядов проходят через металлическое включение, даже при относительном увеличении пути разряда до 1,5 около 80% разрядов проходят через проводящее включение.

### Выводы

1. Экспериментально показано, что наличие проводящих включений в твердом диэлектрике приводит к местным усилениям напряженности электрического поля на поверхности включения, что снижает значение средних пробивных градиентов в неоднородных диэлектриках.

2. Наличие проводящего включения в твердом диэлектрике приводит к селективному направлению пути разряда в толще диэлектрика.