

## ОБ ЭНЕРГОВЫДЕЛЕНИИ В КАНАЛЕ ИМПУЛЬСНОГО РАЗРЯДА ПРИ ПРОБОЕ ТВЕРДЫХ ДИЭЛЕКТРИКОВ

Ю. Н. ЛЕОНТЬЕВ

(Представлена научным семинаром кафедры техники высоких напряжений)

### Введение

В связи с широким техническим использованием ударных волн, возникающих при импульсном электрическом разряде в диэлектрической среде, представляет интерес изучение некоторых энергетических характеристик канала импульсного разряда в твердых диэлектриках. Электрофизические параметры канала импульсного разряда в газах изучены достаточно полно [1—4]. Имеется ряд работ по изучению канала разряда при импульсном пробое в жидкой диэлектрической среде [5, 6, 7]. Энергетические характеристики канала импульсного разряда в твердых диэлектриках мало изучены [8].

Возникающие при импульсном разряде ударные волны приводят к взрывному разрушению диэлектрической среды как в месте пробоя, так и на некотором расстоянии от канала разряда. Общее разрушающее действие ударной волны характеризуется полной энергией, выделяющейся в канале разряда. В настоящей работе приводятся результаты исследования параметров канала и процесса энерговыделения при импульсном электрическом пробое. На основе осциллографирования изменения напряжения на образце и тока в послепробойный период получены некоторые данные по выделению энергии в канале импульсного разряда и его параметров.

### Установка и методика эксперимента

В качестве источника высокого напряжения в работе был использован генератор импульсных напряжений (ГИН). Емкость генератора в разряде составляла  $C = 1660$  пкф. Индуктивность контура составляла величину  $L = 8,5 \cdot 10^{-6}$  гн. Генератор импульсных напряжений разряжался на омический делитель с сопротивлением  $R_g = 6000$  ом. Образцы помещались между электродами «острие» — «острие» заземленное и «острие» — «плоскость» заземленная». На электрод «острие» подавался импульс положительной полярности с амплитудой до  $U_m = 300$  кВ и длительностью фронта импульса порядка  $\tau_f = 0,2 \cdot 10^{-6}$  сек. Для устранения перекрытия образцов по поверхности они помещались в бак с трансформаторным маслом. Для осциллографирования кривой напряжения на образце падение напряжения на сопротивлении  $r = 35$  ом, делителя напряжения, подавалось на пластины явления трубки осцилло-

графа ОК-19М. Регистрация тока в канале производилась с помощью ленточного шунта с активным сопротивлением  $R_{ш} = 0,285$  ома. Падение напряжения на активном сопротивлении шунта подавалось на пластины явления второй трубки осциллографа ОК-19М. Одновременное осциллографирование напряжения и тока позволяло определить выделяющуюся энергию в канале импульсного разряда.

$$W_k = \int_0^{\infty} U(t) \cdot I(t) \cdot dt,$$

а также мгновенные мощности и сопротивление канала разряда. Энергия, запасенная в электрическом поле конденсаторов, определялась как

$$W_0 = \frac{C_p U_0^2}{2},$$

где  $C_p$ —емкость в разряде,  
 $U_0$ —амплитудное напряжение импульса.

### Результаты эксперимента

По данным обработки осциллограмм тока и напряжения было установлено, что за время первого полупериода колебания тока в канале выделяется от 30% до 60% энергии импульса, это еще раз подтверждает данные работы [8]. Были получены и некоторые другие данные по

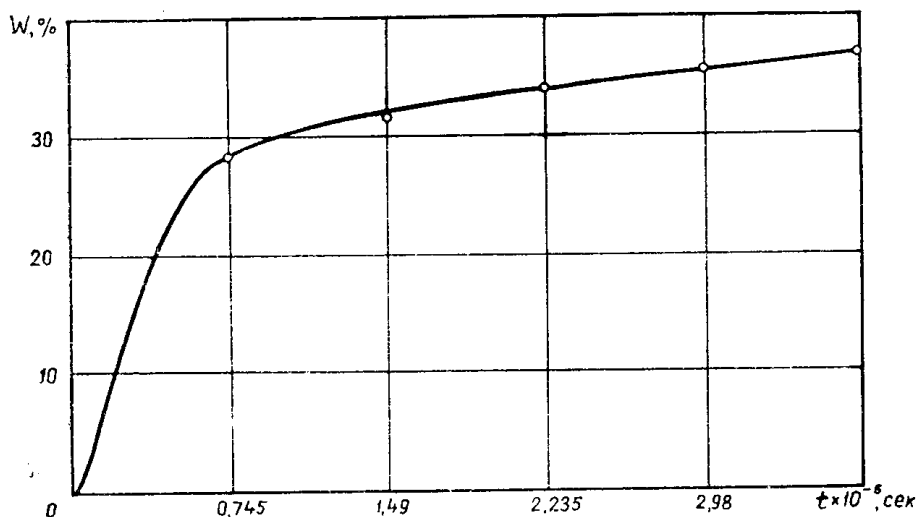


Рис. 1. Изменение количества энергии, выделившейся в канале искры, от времени.

процессу энерговыделения в канале импульсного разряда. На рис. 1 представлена зависимость выделения энергии в канале разряда в твердом диэлектрике от времени. Из рис. 1 видно, что за время первого полупериода, равное  $t = 0,745 \cdot 10^{-6}$  сек, в канале разряда выделяется 70 ÷ 80% всей энергии, которая выделяется в канале за весь период разряда. Как видно из рис. 1, начиная со времени  $t = 3,725 \cdot 10^{-6}$  сек, в канале за каждый последующий полупериод колебания тока выделяется не более 0,1 дж, т. е 2% от энергии импульса. Причем выделение энергии в последующее время резко снижается, и, можно считать, что в канале выделяется вся энергия ко времени  $t = 3,725 \cdot 10^{-6}$  сек. Таким

образом, определяющим можно считать время первого полупериода, т. е. на взрывное разрушающее воздействие оказывает влияние энергия, выделившаяся в канале за время первого полупериода колебания тока.

Изменение минимального сопротивления канала разряда показано на рис. 2. Из этого рисунка видно, что с уменьшением перенапряжения сопротивление канала растет, а следовательно, возрастает доля энергии,

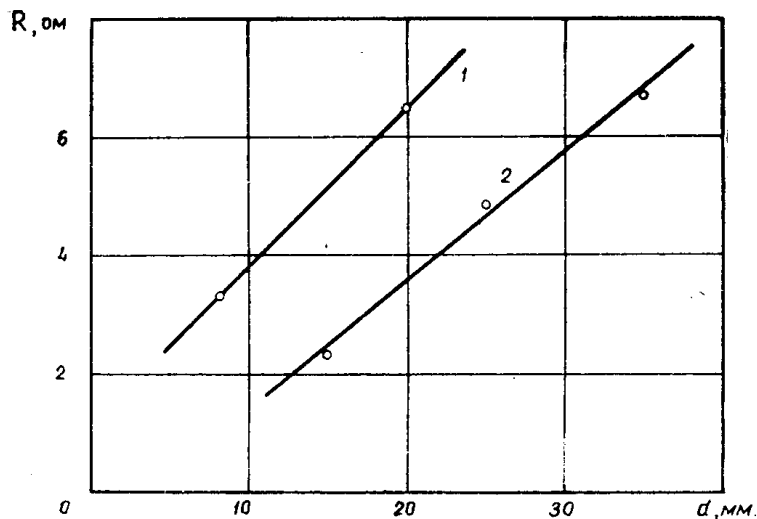


Рис. 2. Изменение минимального сопротивления канала искры от толщины образца.  
1 — оргстекло, 2 — парафин.

выделяющейся в канале. Оценки сопротивления канала дают величину  $R_k = 1,8 \div 2,2$  ома при толщине образцов  $d = 10$  мм. Оценки по декременту затухания показывают, что сопротивление канала в послепробойный период снижается до некоторой минимальной величины и остается почти неизменным в течение нескольких полупериодов.

На рис. 3 показано изменение количества энергии, выделяющейся в канале искры, от напряжения, за время первого полупериода. Кривые 1 и 2 получены для параметров контура:

$L = 8,5 \cdot 10^{-6}$  гн,  $C_p = 1660$  пкф и электроды „острие“ — „плоскость“.

Кривые 3, 4 и 5 получены для параметров контура:

$L = 18 \cdot 10^{-6}$  гн,  $C_p = 0,01 \cdot 10^{-6}$  ф и электроды „острие“ — „острие“.

При пробое образцов через воздушный капилляр (капилляр  $\varnothing 0,25$  мм) энергия, выделяющаяся в канале за первый полупериод, (кривая 2) меньше, чем при пробое сплошных образцов. Это объясняется, вероятно, тем, что сопротивление канала при пробое через воздушный капилляр меньше, чем сопротивление канала при пробое сплошных образцов. Это видно и по кривым 4 и 5.

При электрическом пробое парафиновых образцов через взрывающуюся проволочку (кривая 3) наблюдается лучшее выделение энергии в канале, чем при пробое сплошных образцов (кривая 4) и образцов с воздушным капилляром (кривая 5).

В качестве взрывающейся проволочки был использован нихром диаметром 0,1 мм и сопротивлением 130 ом/м. Максимальные мгновенные мощности, развиваемые в канале при пробое образцов через взрывающуюся проволочку, в 2—3 раза больше, чем при пробое сплошных образцов, и почти на порядок больше, чем при пробое образцов с воздушным капилляром. Так, максимальная мощность при

пробое образцов через воздушный капилляр была  $N_m = 8 \cdot 10^6$  вт, в то время как при пробое сплошных образцов она была  $N_m = (15 \div 20) \cdot 10^6$  вт, а при пробое через взрывающуюся проволочку порядка:  $N_m = (50 \div 60) \cdot 10^6$  вт при  $U = 200$  кв  $L = 18 \cdot 10^{-6}$  гн и  $C_p = 0,01 \cdot 10^{-6}$  ф.

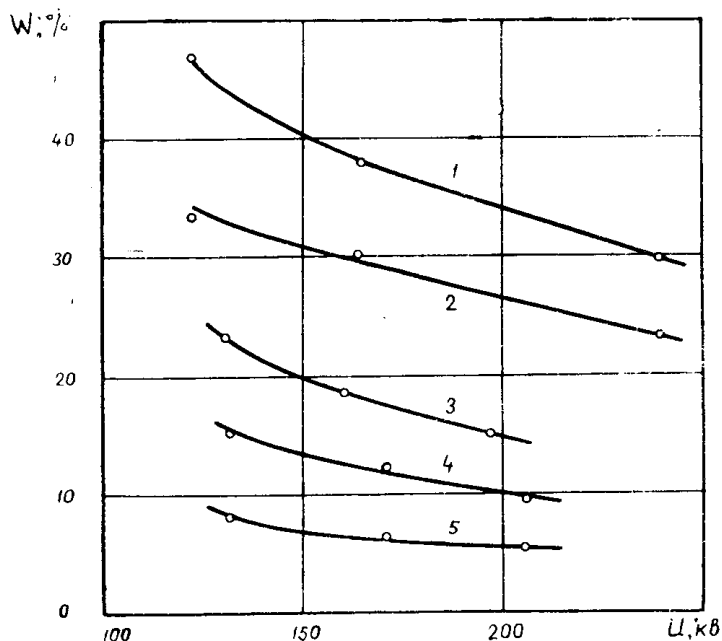


Рис. 3. Изменение количества энергии, выделяющейся в канала искры, от напряжения. Парафин  $d = 10$  мм.

1—образцы сплошные  $L=8,5$  мкгн,  $C_p = 1660$  пкф,  
2—образцы с воздушным капилляром  $L=8,5$  мкгн,  
 $C_p = 1660$  пкф.

3—Образцы с взрывающейся нихромовой проволочкой диаметром 0,1 мм,  $L = 18$  мкгн,  
 $C_p = 0,01$  мкф.

4—Образцы сплошные  $L=18$  мкгн,  $C_p = 0,01$  мкф.

5—Образцы с воздушным капилляром  $L=18$  мкгн,  
 $C_p = 0,01$  мкф.

### Выводы

1. Было установлено, что за время первого полупериода колебания тока в канале выделяется до  $70 \div 80\%$  энергии, выделившейся за весь период импульсного разряда.

2. Мгновенные максимальные мощности, развиваемые в канале разряда при импульсном пробое твердых диэлектриков через взрывающуюся проволочку, в  $2 \div 3$  раза выше, чем при пробое сплошных образцов, и почти на порядок выше, чем при пробое образцов с воздушным капилляром.

3. Эксперименты показали, что сопротивление канала импульсного разряда при достижении минимальной величины остается почти неизменным в течение времени первого и нескольких последующих полупериодов колебания тока.

### ЛИТЕРАТУРА

1. С. И. Андреев, М. П. Венюков, А. Б. Комолов. Развитие канала искрового разряда. ЖТФ, т. 32, вып. 1, 1962.

2. И. С. Абрамсон, Н. М. Гегечкори. Осциллографические исследования искрового разряда. ЖТФ, т. 21, вып. 4, 1951.

3. В. В. Ларионов. Энергетические характеристики высоковольтной изоляции при импульсных напряжениях. Известия вузов СССР, Энергетика, № 8, 1960.
  4. В. Kühn. Ann. d. Phys. (7), 3, 1959.
  5. В. С. Комельков, Ю. В. Скворцов. Расширение канала мощной искры в жидкости. ДАН СССР, т. 129, № 6, 1959.
  6. Н. А. Рой, Д. П. Фролов. Об электрическом к. п. д. искрового разряда в воде. ДАН СССР, т. 18, № 4, 1958.
  7. A. Edward. Martin Appl Phys. 31, № 2, 1960.
  8. И. И. Каляцкий, А. Г. Синябрюхов. Об энергетических характеристиках импульсной искры в твердых диэлектриках. Известия вузов СССР. Энергетика, № 3, 1963.
-