

К ИЗМЕРЕНИЮ ИМПУЛЬСНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ШАРОВЫМ РАЗРЯДНИКОМ

С. С. ПЕЛЬЦМАН, Б. В. СЕМКИН

(Представлена научным семинаром научно-исследовательского института высоких напряжений)

Пробивное напряжение шарового разрядника в большом интервале времен не зависит от длительности приложения напряжения и закона его изменения во времени, однако при малых временах воздействия существенную роль играет запаздывание разряда. Существующие стандарты допускают использование калибровочных таблиц, когда время нарастания напряжения до максимального не менее 1 мксек, а время спада от максимального до половинного значения не менее 5 мксек, при этом погрешность измерения не должна превышать 3%. Изучению связи пробивного напряжения шарового разрядника с предпробивным временем посвящены многие исследования [1—5].

Белаши и Тэгю [1] изучали пробой ряда промежутков между шарами 6,25; 25 и 200 см и показали, что при времени до пробоя 1 мксек ошибки измерений превышают 3%.

Хагенгут [3—4] для шаров 25 см в промежутке длиной 4 см и скорости нарастания 1000 кв/мксек показал, что по отношению к предпробивному времени 2 мксек перенапряжения, необходимые для пробоя за 1; 0,5; 0,2 мксек, составляют соответственно 13; 54 и 91%. Подсветка промежутка ртутной лампой в этих экспериментах не влияла на результаты, и Хагенгут предположил, что перенапряжения при пробое за короткие времена определяются скорее процессом формирования искрового разряда, чем статистическим временем запаздывания.

Парк и Конэс [5] исследовали вольтсекундные характеристики пробоя промежутка 6 см для шаров диаметром 12,5 и 25 см на импульсах отрицательной полярности в широком интервале предпробивного времени (0,03—100 мксек).

Отклонения пробивных напряжений от значений, указанных в стандартах, при времени от момента приложения напряжения до возникновения пробоя 2 мксек достигали 10%.

Резюмируя предыдущее, необходимо отметить, что измерение импульсов с амплитудой, исчисляемой сотнями киловольт, с предпробивным временем менее 2 мксек с помощью шаровых промежутков не может гарантировать погрешностей в пределах 3%. Имеющиеся в литературе систематические данные [1] о перенапряжениях при пробое с малым предпробивным временем ($t < 1$ мксек) приведены относительно напряжения, вызывающего пробой спустя 2 мксек, когда время запаздывания разряда еще весьма существенно [5]. Данные о пробивном напряжении в широком интервале времени ограничены отдельными зна-

чениями межэлектродных расстояний [3—5]. Как было показано в [1], коэффициент импульса зависит от отношения длины промежутка к диаметру шара, что не позволяет экстраполировать результаты исследований [3—5] на другие межэлектродные промежутки.

В данной работе приведены результаты систематических измерений импульсных пробивных напряжений ряда промежутков для шаров диаметром 12,5 см при обеих полярностях импульса.

Скорость нарастания напряжения регулировалась при помощи напряжения генератора и изменения параметров разрядного контура. Для поддержания линейности нарастания напряжения вплоть до пробоя амплитуда импульса, генерируемого источником, примерно в два раза превышала пробивное напряжение промежутка.

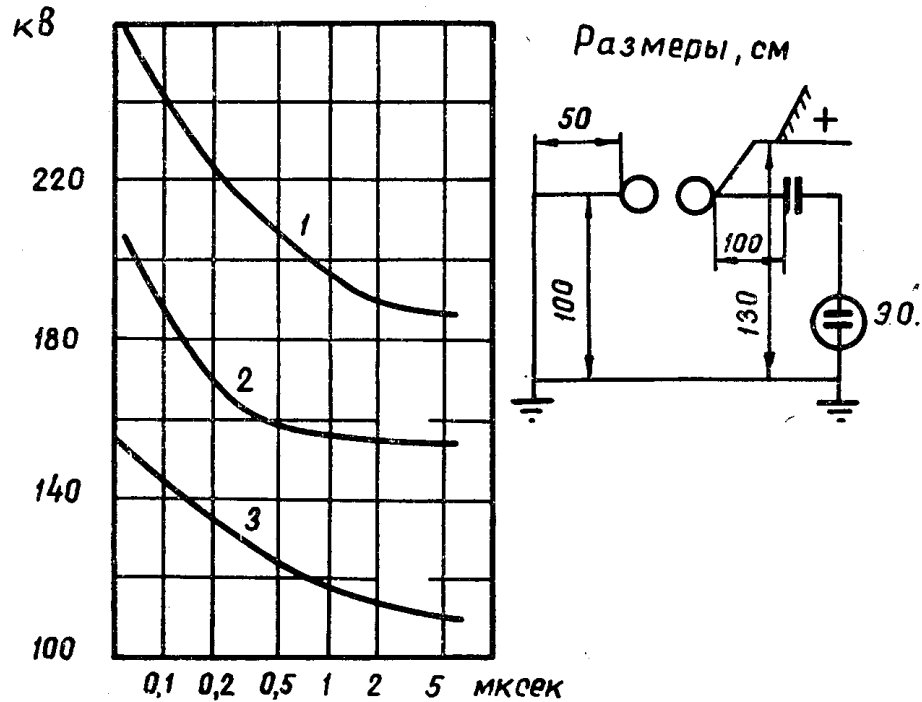


Рис. 1

Для регистрации использовались емкостный делитель напряжения и электронно-лучевой осциллограф ОК19-М2. В качестве источника ионизирующего излучения использовались разряды в искровых промежутках генератора как наиболее эффективное средство ионизирующей подсветки [6—7]. Пять искровых промежутков длиной 2 см были расположены друг над другом через 40 см. Расстояния от исследуемого промежутка до ближайшего ионизирующего составляло 150 см в соответствии с требованиями МЭК. Расположение шаровых измерительных промежутков относительно земли и посторонних объектов показано на рис. 1 и соответствует стандартным требованиям. Заземление выполнялось медной шиной шириной 50 мм.

Соблюдение стандартных условий и ввод поправки на температуру и плотность окружающей среды обеспечивают погрешность градуировки делителя не более $\pm 3\%$. Общая погрешность исследуемых значений пробивных напряжений шаровых промежутков не превышала $\pm 5,5\%$ для импульсов отрицательной полярности и $\pm 5\%$ для положительной.

Относительная ошибка значений, полученных при различной длительности напряжения до пробоя, составляла не более 2%.

Результаты экспериментов

На промежуток между сферами диаметром 12,5 см подавались импульсы напряжения с различной скоростью нарастания напряжения. Вольтсекундные характеристики, приведенные в настоящей работе, характеризуют средние значения, полученные по 20 точкам. Зависимости получены при изменении окружающей температуры в пределах 18—21°C, атмосферного давления 754—762 мм рт. ст., относительной влажности 50—60%. Свыше 90% всех точек отличались от построенных характеристик не более, чем на $\pm 2,5\%$. На рис. 1 показаны вольтсекундные характеристики сферического разрядника с диаметром сфер 12,5 см при положительной полярности высоковольтного электрода для промежутков длиной 8,6 и 4 см (кривые 1, 2, 3 соответственно).

На рис. 2 приведены вольтсекундные характеристики аналогичных промежутков при отрицательной полярности импульса. Пунктирной линией дана характеристика разрядника 12,5 см при расстоянии между электродами 6 см, полученная в [5].

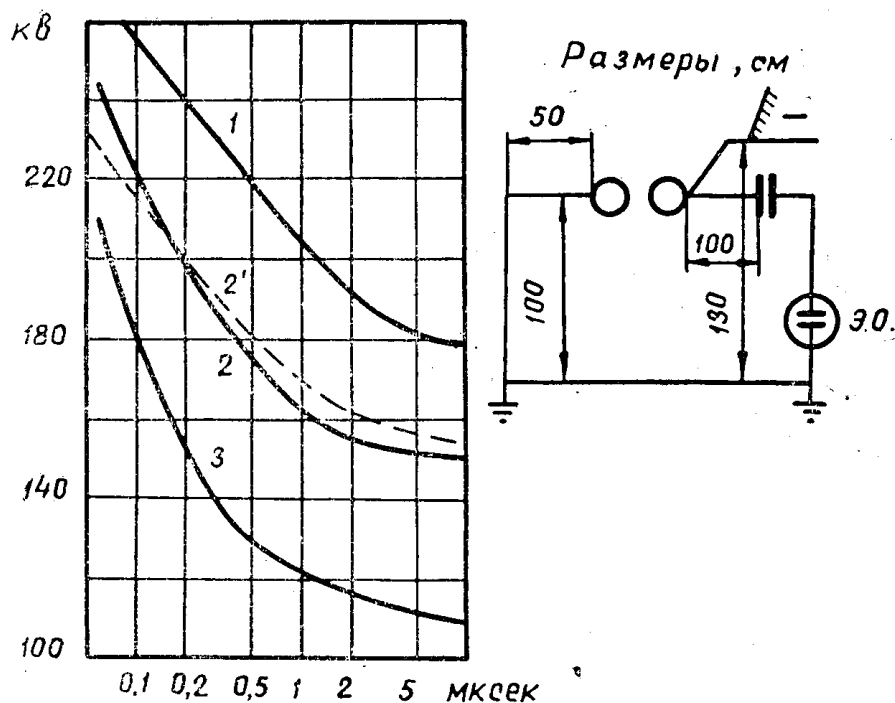


Рис. 2

По вольтсекундным характеристикам построены зависимости относительных перенапряжений при пробое шарового разрядника в диапазоне предпробивных времен (0,06 — 10 мксек), относительно пробивных напряжений, указанных в калибровочных таблицах и соответствующих значениям, к которым стремятся вольтвременные характеристики при возрастании предпробивного времени. Указанные зависимости приведены на рис. 3. Кривые 1, 2, 3 даны для промежутков 4, 6 и 8 см при импульсах отрицательной полярности, кривые 4, 5, 6 для тех же промежутков, но при положительной полярности импульса.

Коэффициент импульса — K при отрицательной полярности импульса существенно выше, чем при положительной. Этот факт объясняется тем, что поле в промежутке между шарами не строго однородно и полярность может влиять на развитие искрового разряда.

Своеобразно изменяется коэффициент импульса шарового разрядника при изменении отношения длины промежутка — S к диаметру шара — D . При положительной полярности высоковольтного электрода и малом расстоянии между шарами ($S = 4 \text{ см}$; $S/D = 32\%$) коэффициент импульса относительно высок за счет экранирования промежутка от источника излучения. Влияние облучения в таких промежутках дока-

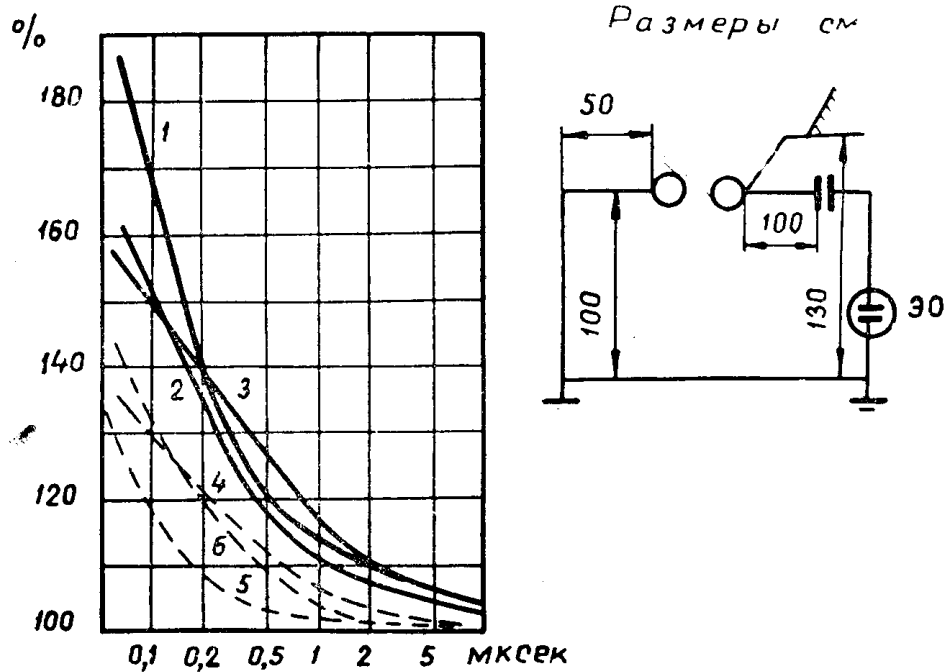


Рис. 3

зано Миком [6], показавшим отчетливую разницу в пробах облученных и необлученных промежутков длиной 3 см для шаров диаметром 12,5 см. С увеличением отношения S/D статистическое время запаздывания падает, а время формирования возрастает. При этом коэффициент импульса, достигая минимального значения при $S/D = 50\%$ ($S = 6 \text{ см}$), вновь возрастает и при $S = 8 \text{ см}$ близок к значению K при $S = 4 \text{ см}$.

При отрицательной полярности импульса с изменением S/D коэффициент импульса изменяется в менее широких пределах, чем при положительной полярности. Это вызвано более слабым влиянием ионизирующего излучения [6] при отрицательной полярности электрода. Лишь при уменьшении времени до пробы ниже 0,2 мксек K при $S = 4 \text{ см}$ растет несколько быстрее, чем для промежутков 6 и 8 см, так как статистическое запаздывание в малых промежутках с уменьшением предпробивного времени все же играет определенную роль.

Результаты проведенных нами экспериментов подтверждают, что время нарастания напряжения до пробы — 1 мксек и даже 2 мксек — не обеспечивает сохранения гарантированной в стандартах точности. Так, при отрицательной полярности импульса дополнительная ошибка в изменении напряжения, вызванная запаздыванием разряда, составляет до 10% для предпробивного времени — 2 мксек (по данным [5] до 11,5%). При положительной полярности значение погрешности за счет запаздывания разряда для времени приложения напряжения 2 мксек составляет около 4%.

Измерение высоковольтных импульсов при пробое на фронте линейно нарастающего напряжения с суммарной погрешностью 3,5% возможно для импульсов отрицательной полярности лишь при времени до пробоя $t \geq 20$ мксек, а для импульсов положительной полярности при $t \geq 8$ мксек. При этом погрешность за счет запаздывания разряда составит не более 0,5%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bellaschi P. L., McAuley P. H., *Electr. Journ.*, 31, 228 (1934).
 2. Bellaschi P. L., Teague W. L., *Electr. Journ.*, 32, 120 (1935).
 3. Hagenguth J. H., *Trans. Am. Inst. Electr. Eng.*, 56, 67 (1937).
 4. Hagenguth J. H., *Trans. Am. Inst. Electr. Eng.*, 60, 803 (1941).
 5. Park J. H., Cones H. N., Spark-gap flashover measurements for steeply rising voltage impulses. «*J. Res. Nat. Bur. Standards*», 1962, **C66**, № 3, 197—207.
 6. Meek J. M., *Journ. Inst. Electr. Eng.*, 93, 97 (1946).
 7. Garfitt D. E. M., *Proc. Phys. Soc.*, 54 109 (1942).
-