УДК 537.52

В. И. ЧУМАКОВ, д-р техн. наук, Ю. Я. ВОЛКОЛУПОВ, канд. физ.-мат. наук, М. А. КРАСНОГОЛОВЕЦ, д-р физ.-мат. наук, М. А. ОСТРИЖНОЙ, В. Л. БАСЕЦКИЙ, В. Г. НЕСТЕРЕНКО

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ В СИЛЬНОТОЧНОМ РАЗРЯДНИКЕ С ПЛАЗМЕННОЙ ПУШКОЙ

Разрядники, работающие в среде различных газов, остаются в настоящее время одним из наиболее надежных, доступных и недорогих устройств для коммутации высоковольтных и сильноточных цепей в ускорительной технике. Наиболее простыми являются воздушные разрядники, работающие при атмосферном давлении и не требующие дополнительных устройств для создания разрежения или избыточного давления в разрядном промежутке [1, 2].

Основным требованием к таким разрядникам является стабильность амплитудных и временных параметров в заданном диапазоне электрических величин и быстродействие при коммутации токов определенной величины. Реализация этих требований во многом зависит от выбора системы электродов и способа поджига разрядника.

В работе рассмотрены результаты экспериментальных исследований трехэлектродного разрядника с инициированием пробоя через отверстие в одном из электродов (рис. 1).

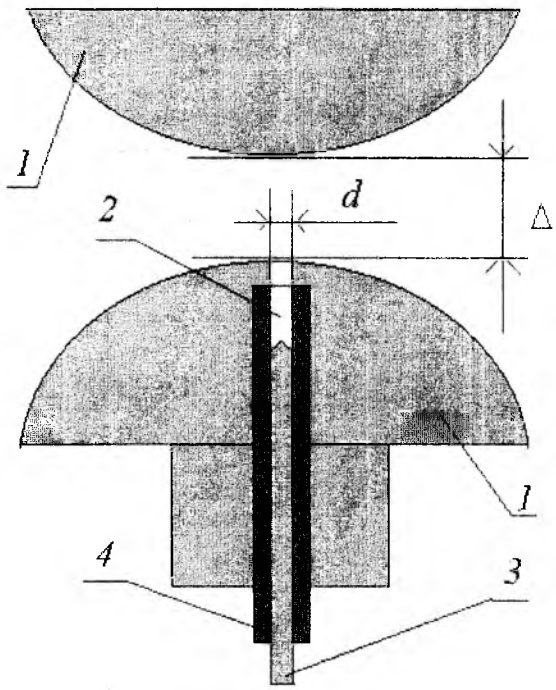


Рис. 1

В отличие от типовой тригатронной схемы газового коммутатора [1], в которой начальные «затравочные» электроны генерируются при пробое короткого промежутка между основным и управляющим электродом, а затем являются источником лавины в ходе развития самостоятельного разряда в рабочем промежутке, в данном случае источником первичной ионизации служит плазменный канал, впрыскиваемый в разрядный промежуток через отверстие в основном электроде.

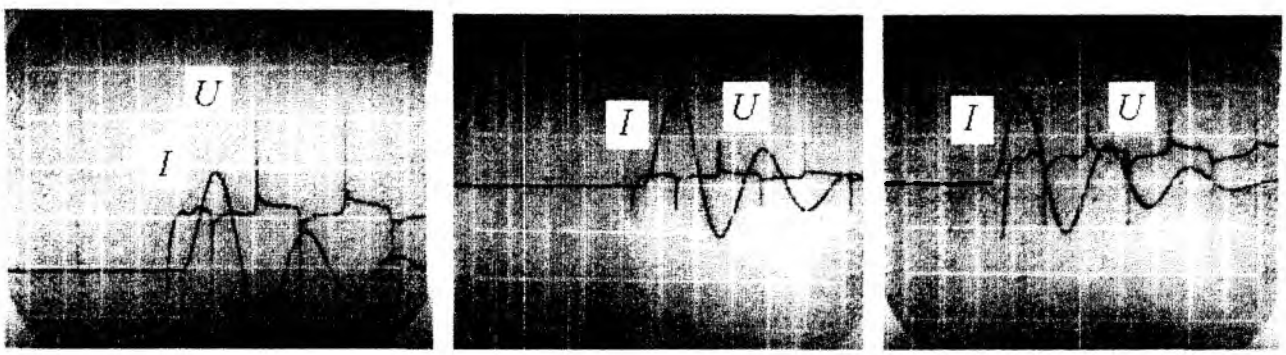
Рассмотрим конструкция разрядника с плазменной пушкой, приведенную на рис. 1. Коммутируемое напряжение приложено к основным электродам 1. Цилиндрическая камера 2, выполненная в одном из основных электродов, служит для формирования форплазмы и представляет собой плазменную пушку типа торцевого плазменного ускорителя, в которой в результате искрового разряда между вспомогательным электродом 3 и одним из основных электродов создается избыточное давление, выталкивающее плазму из камеры со скоростью, достаточной для перекрытия зазора Δ [3]. Изолятор 4 разделяет основной и вспомогательный электроды.

Временные диаграммы процессов в разряднике приведены на рис.2. В эксперименте зависимости разрядного тока емкостного накопителя C = 100мкФ от напряжения на рабочем промежутке при различных величинах зазора Δ (соответственно – 8мм, 12мм и 16мм на рис.2) оказываются линейными. Разряд имел колебательную форму с декрементом затухания δ =2,2 (рис. 2, масштаб: a, b – 20 μs/div, 600 V/div, 10 kA/div; c – 20 μs/div, 1,5 kV/div, 25 kA/div).

Расчет индуктивности разрядного контура $L = T^2/4\pi^2 C$ = 0,51 мкГн позволил оценить полное активное сопротивление разрядного контура $R_n \cong 0{,}08$ Ом, что близко по значению к

данным, которые получаются по измерениям тока. Импульсное напряжение поджига $U_n = 20$ кВ при диаметре камеры $d_к = 1$мм позволяло коммутировать рабочее напряжение $U_{раб} \geq 1$кВ (диапазон изменения рабочего напряжения 1 – 5 кВ). Энергия, вкладываемая в разряд в форплазменной камере, составляла $W_{под} = 5$ Дж.

В качестве измерителей тока и напряжения использовались пояс Роговского и резистивно-емкостный делитель, подключенные к потенциальному электроду конденсатора и параллельно разрядному промежутку соответственно. Осциллограммы напряжения на зазоре (рис. 2) показывают наличие в точках перехода тока через ноль резких бросков напряжения, вызванных разрывами разрядного промежутка вследствие прекращения тока (запаздывание импульсов тока из-за дифференцирования поясом Роговского учитывалось при обработке осциллограмм). В эти моменты времени возникает излучение коротких импульсов, которое было зарегистрировано датчиком, работающем в диапазоне дециметровых волн.



a) b) c)

Рис. 2

Визуализация разрядов проводилась фотографированием через оптические фильтры с последующей компьютерной обработкой фотографий по методике, описанной в [4]. В левой колонке рис. 3 приведены фотографии разряда в различных оптических фильтрах, в правой – их компьютерная обработка. Результаты экспериментов приведены для значений зазоров на разрядном промежутке Δ соответственно равных 12, 16, 12 и 8 мм. Оказалось возможным выделить до 10 градаций изменения температуры в области разрядного канала и окружающем пространстве. В ультрафиолетовом диапазоне (рис. 3 a, фильтр УФС–6, рис. 3 b, фильтр УФС–8) наблюдается канал разряда, дающий мощное плотное излучение. В области длин волн $200 < \lambda < 450$ нм на рис. 3,c видны характерные яркие высокотемпературные области свечения вблизи поверхностей электродов. Такие же эффекты наблюдались и в видимом диапазоне спектра (рис. 3 e, g, фильтры ТС-2, ЖЗС-17), однако их проявление более отчетливо наблюдается только при обработке изображений (рис. 3 f, h).

Следует отметить возникновение специфической пространственной конфигурации внешней поверхности плазменной шубы, окружающей канал разряда, которая наблюдается в различных диапазонах оптического спектра (рис. 3 a, c, e, g). Причем, как видно из рисунков, период внешней пространственной осцилляции $D \sim 1$см не зависит от величины разрядного промежутка Δ (рис. 2 б, c). При изменении Δ изменялось только число осцилляций.

Разрядник использовался в системе генерации форплазменного импульса для запуска магнитоплазменного компрессора, а также в схеме запуска ГИНа сильноточного ускорителя электронов [4, 5]. При этом коммутируемое напряжение подбиралось только путем регулировки разрядного промежутка. Стабильность и повторяемость параметров разрядника обеспечили достаточную устойчивость работы ускорительного комплекса.

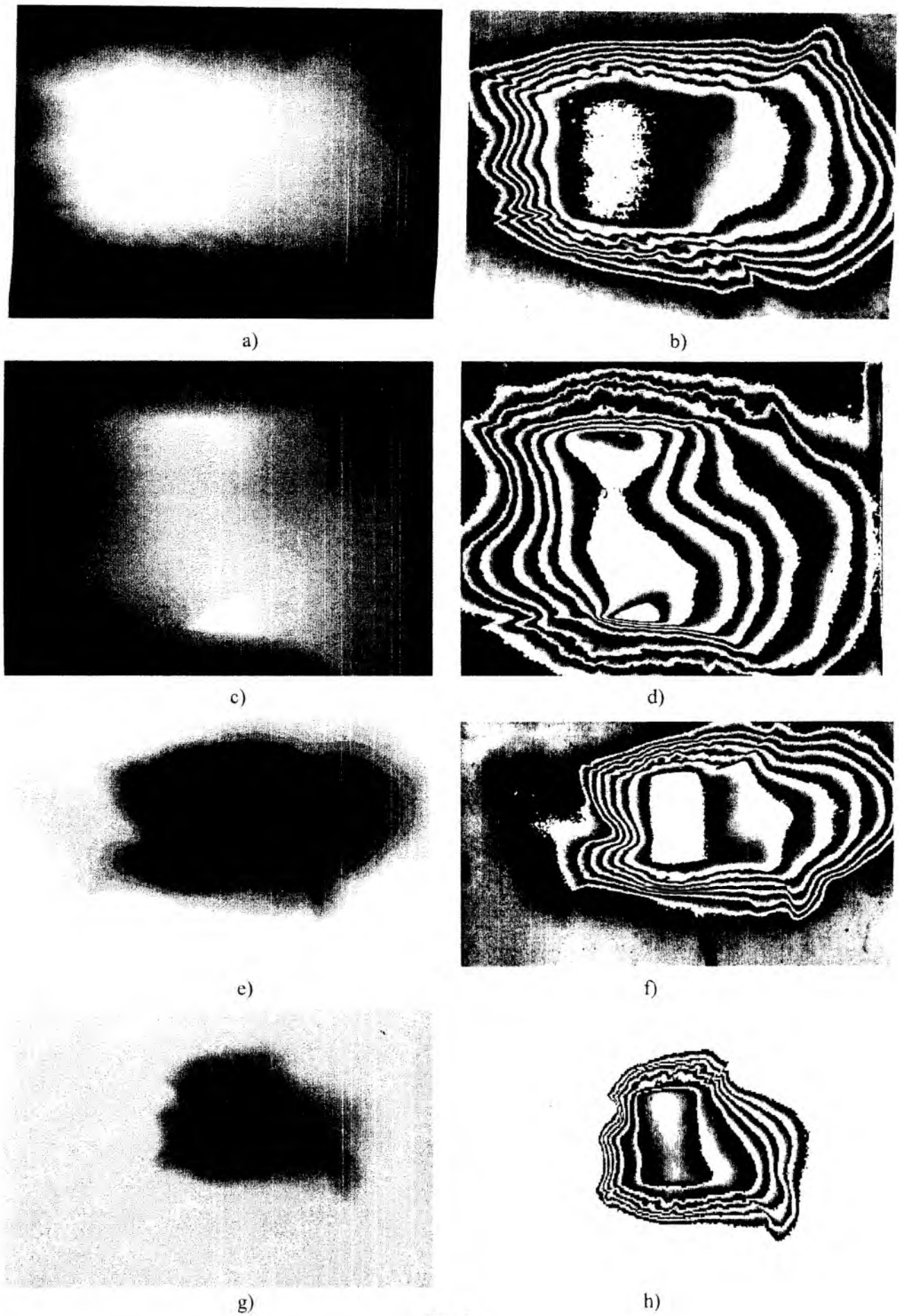


Рис. 3

Список литературы: 1. *Месяц. Г.А.* Генерирование мощных наносекундных импульсов. М.: Сов. радио, 1974. 256 с. 2. *Королев Ю.Д., Месяц Г.А.* Физика импульсного пробоя газов. М.: Наука, 1991. 224 с. 3. *Глебов А.И., Рутберг Ф.Г.* Мощные генераторы плазмы. М.: Энергоатомиздат, 1985. 4. *Чумаков В.И., Волколупов Ю.Я., Острижной М.А. и др.* Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.- техн. сб. 2000. Вып. 115. С.106 – 111. 5. *Чумаков В.И., Волколупов Ю.Я., Острижной М.А. и др.* Там же. 2000. Вып. 116. С. 169 – 172.

Харьковский национальный технический

университет радиоэлектроники

Поступила в редколлегию 24.04.2003