

ГЕНЕРАТОР ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ НАНОСЕКУНДНЫХ ИМПУЛЬСОВ НА ОСНОВЕ БАРЬЕРНОГО РАЗРЯДА

© 2013 г. В. В. Андреев, Ю. П. Пичугин, В. Г. Телегин, Г. Г. Телегин

Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова

Россия, 428015, Чебоксары, Московский просп., 15

E-mail: andreev_vsevolod@mail.ru

Поступила в редакцию 21.05.2012 г.

Одной из специфических особенностей барьерного электрического разряда является кратковременность микроразрядных процессов, длящихся порядка десятков наносекунд. Представлен разработанный на основе барьерного электрического разряда генератор высоковольтных наносекундных импульсов. На электроды разрядной ячейки обычно подается напряжение в десятки киловольт. Пиковые значения импульса тока могут достигать весьма высоких значений — от единиц до десятков ампер. Представленный генератор высоковольтных наносекундных импульсов, имея достаточно простую конструкцию, обеспечивает вполне хорошую стабильность следования импульсов, возможность в случае необходимости легко перестраивать характеристики импульсов и частоту их следования путем изменения геометрических, электрических и физико-химических параметров установки.

DOI: 10.7868/S0032816213030191

В последнее время проявляется существенный интерес к исследованию барьерного электрического разряда [1–3]. Характерной особенностью барьерного разряда является кратковременность отдельных микроразрядных процессов, из серий которых такой разряд состоит [4]. При этом каждый микроразряд длится около десятков наносекунд. На электроды разрядных ячеек часто подается напряжение в десятки киловольт. Пиковые значения импульса тока могут достигать десятков ампер. Все эти свойства барьерного электрического разряда позволяют ставить вопрос о создании генератора высоковольтных наносекундных импульсов на его основе.

В работе [5] был исследован в воздухе при атмосферном давлении барьерный электрический разряд, возникающий между неподвижным и вращающимся электродами. В экспериментальной установке вращающийся электрод покрыт слоем диэлектрика. Особенностью барьерного разряда, возникающего в разрядном промежутке между вращающимися электродами, является то, что он поддерживается при постоянном напряжении на электродах [5–8]. При этом вследствие вращения барьера достигается стабильная структура барьерного электрического разряда, хотя каждый отдельный микроразряд длится от единиц до десятков наносекунд.

В данной работе исследован барьерный электрический разряд, возникающий в воздухе при атмосферном давлении в установке, аналогичной описанной в работе [5] и представленной на рис. 1.

Это устройство содержит диэлектрический вращаемый электродвигателем 5 барьер-диск 1, три электрода (2 — для визуализации структуры барьерного разряда; 3, имеющий скользящий контакт с барьером 1; 8 — сплошной металлический) и высоковольтный источник постоянного напряжения 4, к которому подключены эти электроды.

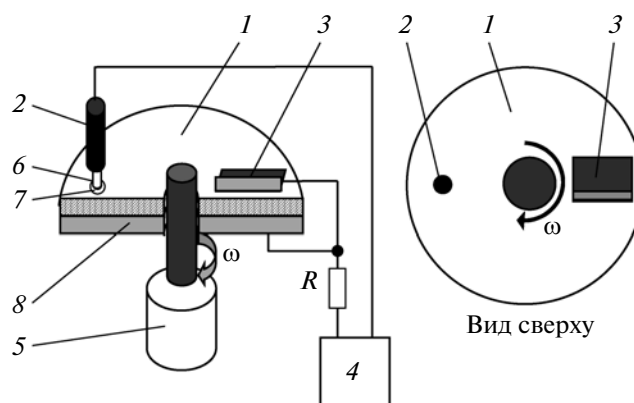


Рис. 1. Схематическое изображение электрогазодинамического устройства с подвижным сплошным электродом, который непосредственно примыкает к вращающемуся барьеру. 1 — барьер-диск (диэлектрик); 2 — металлический электрод; 3 — скользящий металлический электрод; 4 — высоковольтный источник постоянного напряжения; 5 — электродвигатель; 6 — канал микроразряда; 7 — приборьежное пятно (расширенная часть канала микроразряда); 8 — сплошной металлический электрод.

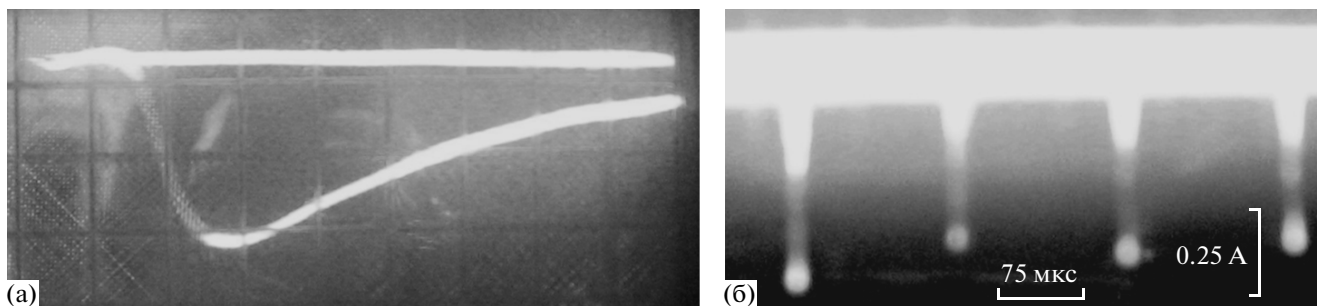


Рис. 2. Осциллограммы: а – тока через нагрузку R (масштаб по вертикали 0.25 А/деление, по горизонтали – 75 мкс/деление); б – серии импульсов на нагрузке R .

Электроды 2 и 3 расположены по одну сторону барьера, а с другой стороны к вращающемуся барьеру непосредственно примыкает подвижный сплошной электрод 8. При этом электроды 3 и 8 имеют одинаковый потенциал. В установке на рис. 1, в отличие от электрогазоразрядного устройства, описанного в работе [5], в качестве электрода 2 использован цилиндрический проводник $\varnothing 1$ мм. В результате под электродом 2 формируется только один канал разряда, что способствует получению стабильных результатов. Каждый отдельный микрозаряд в канале разряда состоит из канала микрозаряда 6 и прибарьерного пятна 7, являющегося расширенной частью канала микрозаряда (см. рис. 1).

Благодаря вращению барьера-диска 1 возникающий в разрядном промежутке между электродами 2 и 8 барьерный разряд поддерживается при постоянном напряжении на указанных электродах. В экспериментах на электроды подавалось постоянное электрическое напряжение 10 кВ, а электрод 2 находился под отрицательным потенциалом. Расстояние от неподвижного электрода 2 до барьера 1 равнялось 3.5 мм. Вращающийся барьер 1 был изготовлен из стеклотекстолита толщиной 2 мм.

Рассмотрим работу этого устройства. При достаточной напряженности электрического поля в зазоре между вращающимся барьером 1 и электродом 2 возникает барьерный электрический разряд, состоящий из канала микрозаряда 6 и прибарьерного пятна 7. Такой разряд состоит из отдельных микрозарядов, имеющих характерную длительность от единиц до десятков наносекунд.

В данном устройстве стабильному повторению картины микрозарядов способствует электрод 3, имеющий скользящий контакт с вращающимся диэлектрическим барьером 1. В результате из-за практического отсутствия газоразрядных процессов на границе скользящий электрод 3 – барьер 1 отсутствует влияние пробивного напряжения и напряжения гашения газоразрядного промежутка, а также их статистических характеристик на перезарядные процессы диэлектрика 1. Более то-

го, с противоположной стороны барьера 1, где расположен подвижный сплошной электрод 8, перезарядный ток определяется только емкостной составляющей.

В этом случае электрическая цепь состоит [5] из высоковольтного источника постоянного напряжения 4, электрода 2, исследуемого разрядного промежутка, первой барьерной емкости, токопроводящего сплошного электрода 8, второй барьерной емкости. Первая барьерная емкость определяется площадью соприкосновения прибарьерного пятна 7 с диэлектриком 1 и характеристиками барьера (такими, как толщина и диэлектрическая проницаемость), вторая – площадью соприкосновения скользящего контакта 3 с диэлектриком 1.

Одним из дополнительных элементов в экспериментальной установке (см. рис. 1) по сравнению с исследованной в работе [5] является сопротивление нагрузки R , которое, кроме того, может быть включено с согласующим трансформатором. Трансформатор позволяет изменять амплитуду импульсов и ликвидировать постоянную составляющую. С сопротивления R сигнал подается на осциллограф. В экспериментальной установке сопротивление нагрузки $R = 10$ кОм.

Были получены осциллограммы токов, типичный пример представлен на рис. 2а. На этой осциллограмме амплитуда тока составляет примерно 0.5 А, фронт не более 5 нс, длительность импульса около 50 нс. Для данного случая осциллограмма серии однополярных импульсов при более медленной развертке представлена на рис. 2б. Промежуток времени между отдельными импульсами составляет порядка нескольких микросекунд и определяется по формуле

$$T_{\text{имп}} = d/\omega r,$$

где r – радиус от оси вращения диска 1 до центра прибарьерного пятна 7 (см. рис. 1); d – диаметр прибарьерного пятна 7; ω – угловая скорость вращения диска 1. В экспериментальной установке эти параметры имели следующие значения: $\omega \approx$

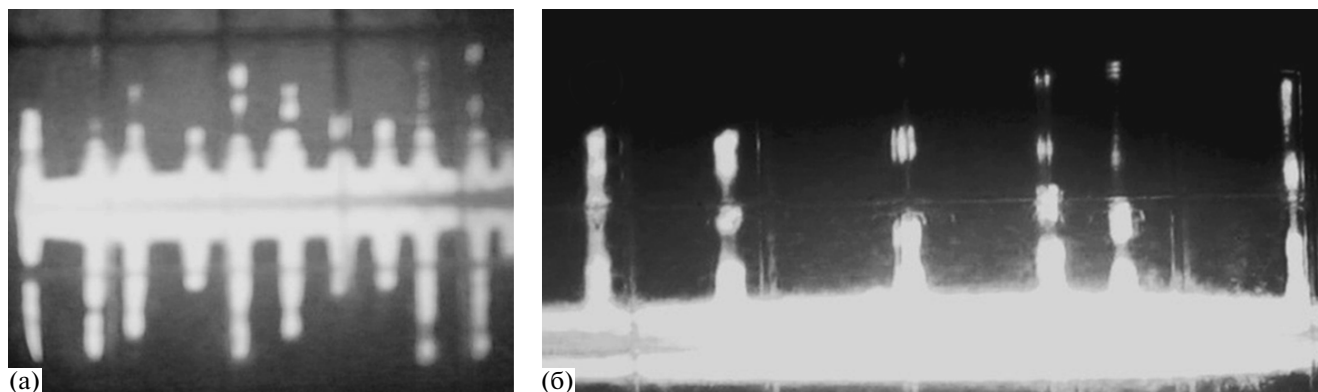


Рис. 3. Осциллограммы серий импульсов: **а** — с вторичной обмотки согласующего трансформатора; **б** — при использовании протяженного электрода длиной 5 см вместо электрода 2 (рис. 1). Масштаб по вертикали 0.25 А/деление, по горизонтали — 75 мкс/деление.

≈ 300 рад/с, $r = 9$ см, $d = 4$ мм. Соответственно имеем $T_{\text{имп}} \cong 150$ мкс.

На рис. 3а представлены осциллограммы, полученные с вторичной обмотки согласующего трансформатора при тех же прочих условиях, что и осциллограммы на рис. 2. При этом его первичная обмотка подключена параллельно сопротивлению нагрузки R (см. рис. 1). В этом случае на выходе согласующего трансформатора имеем двухполярные импульсы.

Аналогичные эксперименты были проведены также, когда вместо электрода 2 цилиндрической формы (см. рис. 1) использовался протяженный электрод, как в работе [5]. Протяженный электрод длиной 5 см был установлен вдоль радиуса диска 1. Как видно из осциллограммы на рис. 3б, при этом частота следования импульсов становится выше по сравнению с использованием электрода 2 цилиндрической формы из тонкой проволоки (см. рис. 2б).

Также следует отметить, что интервал времени между импульсами на осциллограмме рис. 2б практически одинаков, а на осциллограмме рис. 3б импульсы следуют не через одинаковые интервалы времени. Последнее является следствием того, что при использовании протяженного электрода 2 (см. рис. 1), расположенного вдоль радиуса диска 1, одновременно возбуждаются несколько каналов серий микроразрядов [5].

Таким образом, использование подвижных электродов позволяет преобразовать постоянное напряжение и получать последовательность импульсов без длительных пауз.

Следует отметить, что в качестве рассматриваемого генератора высоковольтных наносекундных импульсов будет работать и неподвижная электродная система, питаемая от напряжения промышленной частоты. При этом получится ин-

вертор, преобразующий синусоидальное напряжение промышленной частоты в импульсы наносекундной длительности. Причем импульсы должны идти сериями с паузами. Тогда частота пауз определяется промышленной частотой питающего установку напряжения.

Представленный генератор высоковольтных наносекундных импульсов, имея достаточно простую конструкцию, обеспечивает вполне хорошую стабильность следования импульсов. В данном генераторе в случае необходимости можно легко перестраивать характеристики импульсов и частоту их следования путем изменения геометрических размеров (например, изменением расстояния между электродом 2 и диэлектриком 1), электрических и физико-химических параметров установки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гибалов В.И., Ткаченко И.С., Лунин В.В. // Журн. физ. химии. 2008. Т. 82. № 6. С. 1156.
2. Соловьев В.Р., Кончаков А.М., Кривцов В.М., Александров Н.Л. // Физика плазмы. 2008. Т. 34. № 7. С. 648.
3. Шибков В.М., Александров А.Ф., Ершов А.П. и др. // Физика плазмы. 2005. Т. 31. № 9. С. 857.
4. Лунин В.В., Попович М.П., Ткаченко С.Н. Физическая химия озона. М.: Изд-во МГУ, 1998.
5. Андреев В.В., Пичугин Ю.П., Телегин В.Г., Телегин Г.Г. // Физика плазмы. 2011. Т. 37. № 12. С. 1130.
6. Андреев В.В., Васильева Л.А., Кравченко Г.А. и др. // Нелинейный мир. 2009. Т. 7. № 11. С. 811.
7. Андреев В.В., Васильева Л.А., Матюнин А.Н., Пичугин Ю.П. // Прикладная физика. 2011. № 1. С. 52.
8. Andreev V.V., Vasilyeva L.A., Matyunin A.N., Pichugin Yu.P. // Plasma Physics Reports. 2011. V. 37. № 13. P. 1190.