

ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ ФОРМИРОВАТЕЛЬ ИМПУЛЬСОВ ДЛЯ ГАЗОРАЗРЯДНОГО ВЧ-ГЕНЕРАТОРА

*Фешина Юлия Андреевна (selemir@vniief.ru), Вялых Дмитрий Викторович,
Львов Игорь Львович, Садчиков Евгений Александрович, Спиркина Людмила Евгеньевна*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Представлены результаты работы по разработке малогабаритного формирователя импульсов высокого напряжения, проводимых в рамках создания мобильных компактных радиочастотных излучателей на базе газоразрядных генераторов.

Представлен формирователь импульсов, в котором для коммутации энергии емкостного накопителя используется неуправляемый газоразрядный разрядник. Представлены технические параметры формирователя импульсов, достигаемые при использовании искровых разрядников РК2М-3,5; РК22-4,5; РК26-6. При использовании разрядника РК22-4,5 максимальная полученная частота следования импульсов ~ 5700 Гц с амплитудой напряжения до 3000 В, объем формирователя импульсов составляет ~ 100 см³.

Ключевые слова: ВЧ-генератор, газовый разряд, формирователь импульсов, газоразрядный генератор, искровой разрядник.

HIGH-VOLTAGE PULSE SHAPER FOR GAS-DISCHARGE HF-GENERATOR

*Feshina Yulia Andreyevna (selemir@vniief.ru), Vyalikh Dmitriy Viktorovich,
Lvov Igor Lvovich, Sadchikov Evgenii Aleksandrovich, Spirkina Liudmila Yevgenyevna*

FSUE «RFNC-VNIIEF», Sarov Nizhny Novgorod region

The investigation results of a small high-voltage pulse shaper are provided. There search works were performed in the frames of creation of a mobile compact radio-frequency oscillator based on gas-discharge high-frequency (HF) generators.

The pulse shaper is designed and fabricated. An uncontrolled gas-discharge arrester is used for energy commutation of the capacitive storage. Technical parameters of the shaper are investigated. They are achieved by using different switching elements (spark arresters RK2M-3,5; RK22-4,5; RK26-6). The output characteristics of HF-generators are determined; they are achieved by means of the tested shaper. The authors reached the pulse repetition rate of ~ 5700 Hz with the voltage amplitude up to 3000 V using the RK22-4,5 arrester.

Key words: HF-generator, HF-pulse, gas discharge, pulse shaper.

Введение

В настоящее время в РФЯЦ-ВНИИЭФ ведутся работы по созданию радиочастотных излучателей метрового диапазона длин волн на базе газоразрядных генераторов. Приборы данного типа являются уникальной разработкой ВНИИЭФ, не имеющей аналогов в Российской Федерации и за рубежом [1–9]. Основным элементом такого генератора является газоразрядная камера, в которой инициируются

импульсные сверхплотные газовые разряды низкого давления с полым катодом. Возникающие при этом ВЧ-модуляции разрядного напряжения [8–9] являются источником ВЧ-энергии.

Важным направлением в рамках создания радиочастотных излучателей, является разработка малогабаритных формирователей импульсов высокого напряжения. Известной схемой генерирования импульсов является схема с емкостным накоплением энергии (рис. 1) [10, 11]. Схема состоит из блока пи-

тания, с помощью которого конденсатор C заряжается до необходимого напряжения. После срабатывания коммутатора импульсы высокого напряжения поступают в нагрузку R_n . Частота следования импульсов определяется параметрами RC -цепочки и характеристиками коммутатора. Таким образом, одним из основных элементов определяющих технические характеристики формирователя импульсов, является коммутатор.

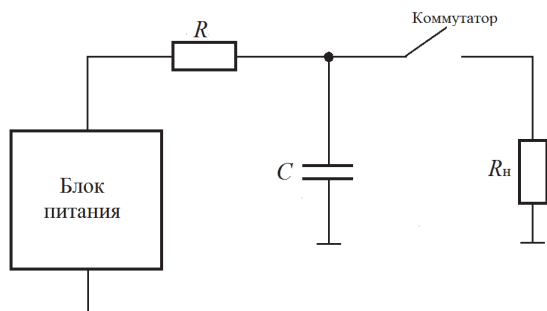


Рис. 1. Схема генерирования импульсов с емкостным накоплением энергии

Основными требованиями, предъявляемыми к коммутирующему элементу, являются:

- высокая скорость коммутации энергии накопителя в нагрузку;
- коммутация токов от единиц ампер до единиц кА;
- малые размеры приборов;
- большой ресурс работы;
- большой срок службы.

Анализ возможных коммутирующих элементов показал, что перспективными приборами в этой области являются искровые разрядники [12, 13, 15]. Это безнакальные двух- или трех- электродные приборы, способные под воздействием приложенного напряжения резко изменять свою проводимость и пропускать большие токи. По сравнению с другими приборами аналогичного назначения (импульсными тиратронами, тиристорами и тригatronами) они имеют ряд преимуществ:

- отсутствие накала;
- практически мгновенная готовность к работе;

- высокий КПД при больших уровнях коммутируемых энергий;
- высокие рабочие напряжения и токи коммутации при минимальных габаритных размерах и массе прибора;
- способность работать в широком интервале изменения температуры окружающей среды;
- устойчивость к значительным токовым перегрузкам;
- простота конструкции и технологии производства.

Значительный вклад в создание мощных коммутирующих искровых разрядников внесли работы ООО «Импульсные технологии» (г. Рязань) [12, 13]. Коммутирующие искровые разрядники, производства ООО «Импульсные технологии», обладают высокой электрической прочностью и долговечностью, малым разбросом по амплитуде напряжения пробоя, высокой временной стабильностью коммутируемых импульсов тока, а также технологически простой, экологически чистой конструкцией без применения радиоактивных изотопов [12].

Целью данной работы является определение основных технических параметров формирователя импульсов, при использовании в качестве коммутируемого элемента нового поколения искровых разрядников серии: РК2М, РК22, РК26, и определение выходных характеристик ВЧ-генераторов при использовании подобных формирователей импульсов.

Высоковольтный формирователь импульсов

Ранее в работе [7] в качестве коммутатора в цепи формирователя импульсов использовался разрядник EPCOS, при этом максимально достигнутая частота следования импульсов составила ~ 1000 Гц. В данной работе показана возможность использования в качестве коммутаторов – неуправляемых искровых разрядников РК2М-3,5; РК22-4,5; РК26-6. На рис. 2 представлен внешний вид этих коммутирующих элементов, а в табл. 1 представлены их основные электрические и массогабаритные параметры.

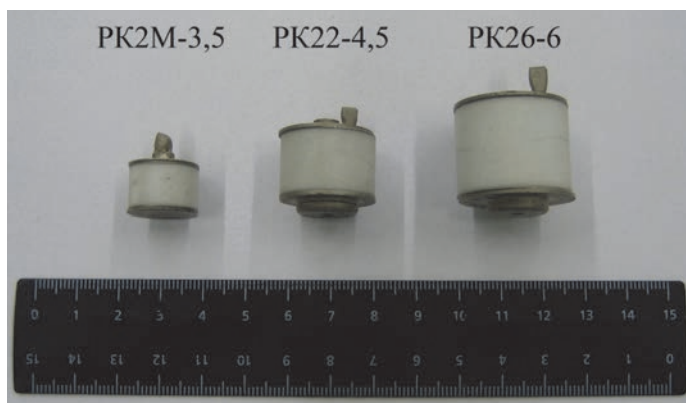


Рис. 2. Внешний вид искровых разрядников

Основные электрические и массогабаритные параметры коммутирующих элементов

Основные характеристики	Серия разрядника*		
	РК2М	РК22	РК26
Статическое напряжение пробоя, кВ	1÷5	1÷10	1÷10
Амплитуда тока, кА	1	1	1
Частота следования, кГц	0,3	0,3	0,3
Энергия в импульсе, Дж	10	10	10
Коммутируемая емкость, мкФ	1,0	0,25	0,25
Минимальная наработка, импульсов	3×10^6	3×10^6	3×10^6
Габариты, мм	19x18	22x55	26x64
Масса, гр	16	50	50

*Под серией разрядников подразумевается ряд приборов, различающихся по напряжению пробоя. При этом, в случае напряжения пробоя $U_{пр} = 4,5$ кВ, наименование разрядника рекомендуется указывать РК22-4,5.

На рис. 3 представлена схема формирователя импульсов. Схема состоит из источника питания, балластного сопротивления R_6 , накопительного конденсатора C_3 , разрядника-коммутатора и нагрузки R_n . В ходе испытаний, в качестве нагрузки использовалось резистивное сопротивление $R_n = 6$ Ом, величина зарядной емкости составляла $C_3 = 10$ нФ, 22 нФ, 47 нФ для каждого разрядника. Частота следования импульсов $f_{след}$ варьировалась с помощью величины балластного сопротивления R_6 и ограничивалась характеристиками коммутатора.

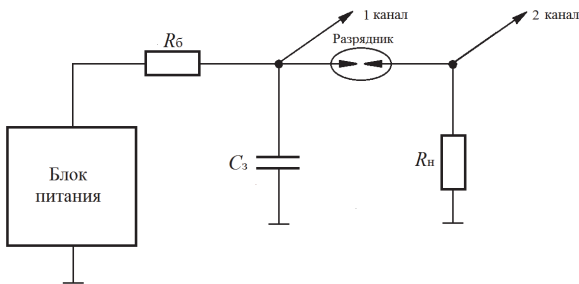
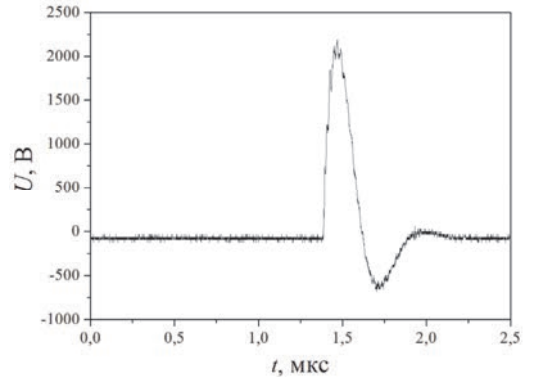
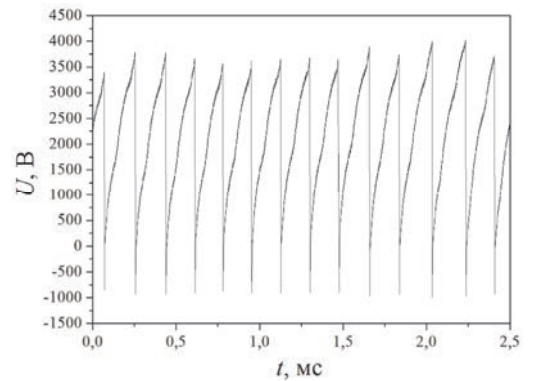


Рис. 3. Схема формирователя импульсов

В результате проведенных испытаний при использовании искровых разрядников РК2М-3,5; РК22-4,5; РК26-6 были достигнуты частоты следования импульсов ≈ 5700 Гц. На рис. 4 представлены типичные осциллограммы напряжения на нагрузке, рис.4, а, и осциллограмма демонстрирующая зарядку и разрядку конденсатора в импульсно-периодическом режиме, рис.4, б, при частоте следования импульсов $f_{след} = 5,7$ кГц с использованием разрядника РК22-4,5 и $C_3 = 10$ нФ.



а



б

Рис. 4. Типичные осциллограммы: а – напряжения на нагрузке, б – демонстрирующая зарядку и разрядку конденсатора в импульсном режиме при $f_{след} = 5,7$ кГц.

На рис. 5 показаны зависимости величины напряжения пробоя разрядника $U_{пр}$ от частоты следования импульсов $f_{след}$ при сопротивлении нагрузки $R_{н} = 6$ Ом для трех величин зарядной емкости $C_3 = 10$ нФ, 22 нФ и 47 нФ.

На представленных графиках видно, что с ростом частоты следования $f_{след}$ наблюдается определенное снижение напряжения пробоя разрядника $U_{пр}$. Этот эффект обуславливается временем восстановления электрической прочности междуэлектродного промежутка разрядника.

Процесс восстановления электрической прочности междуэлектродного промежутка можно представить следующим образом: после прекращения тока через разрядник концентрация заряженных частиц в положительном столбе высокоионизированного газа велика и под действием напряжения, приложенного к электродам, у катода образуется ионный слой. В это время электрическая прочность искрового разряда определяется электрической прочностью этого слоя, и пробой может произойти при напряжении ниже установленного напряжения пробоя [14].

Таким образом, представлен формирователь импульсов высокого напряжения, в котором в качестве коммутатора используется неуправляемый искровой разрядник нового поколения. Использование такого формирователя импульсов позволяет достигать частоты следования импульсов до 5700 Гц, объем формирователя составляет ≈ 100 см³. Характеристики описанного формирователя импульсов представлены в табл. 2.

Основным применением представленных формирователей импульсов является их использование в составе радиочастотных излучателей на базе газоразрядных генераторов. Поэтому проведены дополнительные исследования формирователей импульсов при использовании в качестве нагрузки газоразрядной камеры.

Применение нового формирователя импульсов позволило создать компактный излучатель на базе газоразрядного генератора и достичь частоты следования импульсов $f_{след} = 3000$ Гц. На рис. 6 представлены типичная осциллограмма ВЧ-импульса (рис. 6, а) и ее Фурье-образ (рис. 6, б) при использовании описанного формирователя импульсов.

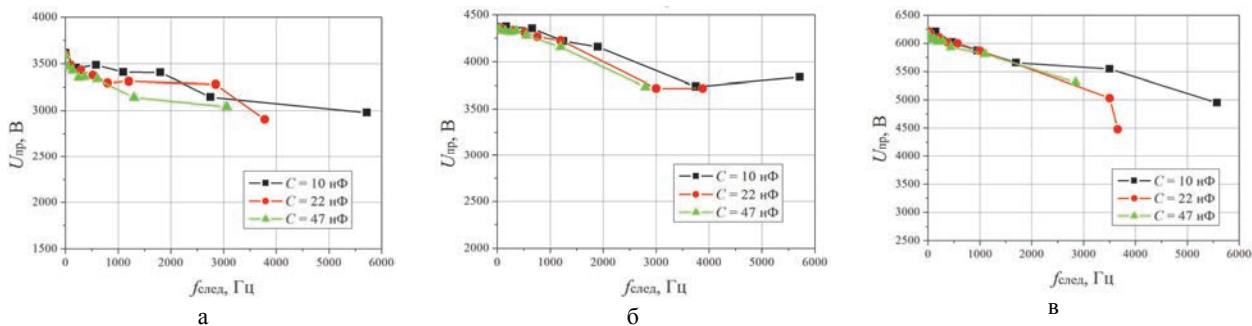


Рис. 5. Зависимость величины пробойного напряжения $U_{пр}$ от частоты следования импульсов $f_{след}$: а – разрядник РК2М-3,5; б – разрядник РК22-4,5; в – разрядник РК26-6

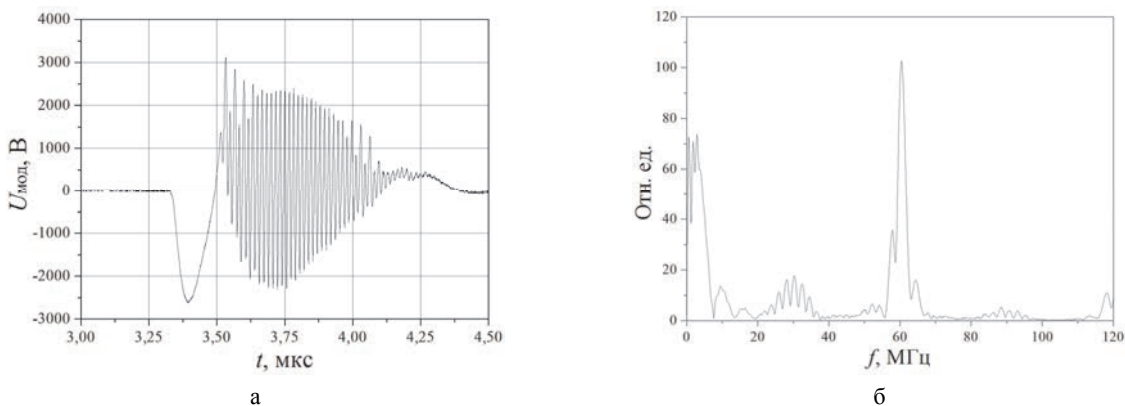


Рис. 6. Типичная осциллограмма: а – ВЧ-импульса, б – Фурье-образ

Характеристики формирователя импульсов

Характеристики	Используемый разрядник		
	PK2M-3,5	PK22-4,5	PK26-6
Объем формирователя импульсов, см ³	30	100	130
Рабочее напряжение, кВ	3,5	4,5	6
Максимальная частота следования импульсов, Гц	5760	5700	5600
Средний ток, А	0,2	0,25	0,35
Амплитуда тока в нагрузке, кА	1	1	1
Энергия в импульсе, Дж	0,15	0,25	0,4
Коммутируемая емкость, нФ	22	22	22
Масса, гр	70	100	100

Заключение

Использование неуправляемых искровых разрядников нового поколения, в качестве коммутатора, позволило создать формирователь импульсов высокого напряжения. Частота следования импульсов такого формирователя импульсов достигает $f_{\text{след}} = 5700$ Гц на резистивной нагрузке $R_n = 6$ Ом, при этом объем формирователя импульсов составляет ~ 100 см³.

Применение изготовленного формирователя импульсов в составе компактных радиочастотных излучателей на базе газоразрядного генератора позволило достичь частоты следования импульсов $f_{\text{след}} = 3000$ Гц.

Список литературы

1. Булычев С. В., Вялых Д. В., Дубинов А. Е., Жданов В. С., Корнилова И. Ю., Львов И. Л., Садовой С. А., Сайков С. К., Селемир В. Д. Результаты исследований генераторов мощных ВЧ-импульсов на основе разряда с полым катодом // Физика плазмы. 2009. Т. 35, № 11. С. 1019.
2. Вялых Д. В., Дубинов А. Е., Львов И. Л., Садовой С. А., Селемир В. Д. Генератор мощных ВЧ-импульсов на основе разряда с полым катодом // ПТЭ. 2005. № 1. С. 86.
3. Дубинов А. Е., Львов И. Л., Садовой С. А., Селемир В. Д., Вялых Д. В. Мощный импульсный высокочастотный генератор на основе разряда с полым катодом // Изв. вузов. Радиофизика. 2006. Т. 49, № 4. С. 300.
4. Селемир В. Д., Дубинов А. Е., Жданов В. С., Садовой С. А., Львов И. Л., Вялых Д. В. Мощный сверхминиатюрный беспучковый генератор в газоразрядной СВЧ электронике // Доклады академии наук. 2012. Т. 442. № 4. С. 465–467.

5. Dubinov A., Kornilova I., L'vov I., Sadovoy S., Selemir V., Vyalykh D., Zhdanov V. Generators of High-Power High-Frequency Pulses Based on Sealed-Off Discharge Chambers With Hollow Cathode // IEEE Transactions on plasma science. 2010. Vol. 38, N 11.

6. Bulychev S., Dubinov A., L'vov I., Sadovoy S., Selemir V., Valiulina V., Vyalykh D., and Zhdanov V. High-Power Compact P-Band UHF Oscillator Based on Hollow Cathode Discharge // IEEE Transactions on plasma science. 2015. Vol. 43, N 6.

7. Bulychev S., Dubinov A., L'vov I., Popolev V., Sadovoy S., Selemir V., Valiulina V., Vyalykh D., and Zhdanov V. Autonomous portable pulsed-periodical generator of high-power radiofrequency-pulses based on gas discharge with hollow cathode // Review of scientific instruments. 2016. Vol. 87, N 054707.

8. Дубинов А. Е., Львов И. Л., Садовой С. А., Сайков С. К., Селемир В. Д., Вялых Д. В., Жданов В. С., Бочков В. Д., Ушич В. Г. Отпаянная газоразрядная камера с полым катодом для генерации мощных ВЧ-импульсов // ПТЭ. 2011. № 1. С. 161–162.

9. Патент РФ 134697 H01J 17/02 Генератор высокочастотного излучения на основе разряда с полым катодом / Дубинов А. Е., Вялых Д. В., Львов И. Л., Жданов В. С., Садовой С. А., Селемир В. Д. Бюллетень изобретений. 2013. № 32.

10. Месяц Г. А. Импульсная энергетика и электроника. М.: Наука, 2004. С. 704.

11. Месяц Г. А., Пегель И. В. Введение в наносекундную импульсную энергетика и электронику. М.: ФИАН, 2009. С. 192.

12. Пат.108224, РФ, МПК H01T 1/20 Искровой разрядник // Бочков В. Д.; Панов П. В., 2011. № 7.

13. Пат.2608825, РФ, МПК H01T 1/00 Искровой разрядник // Бочков В. Д.; Панов П. В. Бюллетень изобретений. 2017. № 3.

14. Киселев Ю. В., Черепанов В. П. Искровые разрядники. М.: Сов.радио, 1976. С. 72.