

# ВЛИЯНИЕ ДЛИНЫ КАТОДА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ГЕНЕРАЦИИ ВЧ-ГЕНЕРАТОРА НА ОСНОВЕ РАЗРЯДА С ПОЛЫМ КАТОДОМ

Д. В. Вялых, А. Е. Дубинов, И. Ю. Корнилова, И. Л. Львов, С. А. Садовой

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

Принцип функционирования генераторов высокочастотного (ВЧ) излучения на основе разряда с полым катодом [1–5] заключается в том, что при соблюдении определенных условий при зажигании газового разряда с полым катодом происходит ВЧ-модуляция разрядного напряжения, и при подключении параллельно разрядному контуру электрической нагрузки на ней генерируются мощные электрические ВЧ-колебания. Наиболее вероятным механизмом формирования модуляции в разряде с полым катодом является неустойчивость прикатодного слоя разряда, тем не менее окончательно решенным данный вопрос на сегодняшний момент считать нельзя. Так что при создании приборов подобного типа с конкретными техническими характеристиками ориентироваться приходится пока что большей частью не на теоретические, а на эмпирические модели.

Данные экспериментальных исследований ВЧ-генераторов на основе разряда с полым катодом свидетельствуют о том, геометрические параметры катодной полости оказывают весьма существенное влияние на функционирование и технические характеристики генераторов. Одним из условий возникновения ВЧ-модуляции является выполнение определенного соотношения между геометрическими параметрами полости катода (полость имеет форму цилиндра, анод расположен возле одного из оснований цилиндра). На основе проведенных ранее исследований авторы пришли к выводу, что для возникновения устойчивой модуляции необходимо, чтобы длина полости была не меньше диаметра полости. Также экспериментально установленным и доказанным является тот факт, что диаметр полости оказывает существенное влияние на технические характеристики генератора, например, зависимость частоты генерации от диаметра имеет достаточно четко выраженную обратную зависимость.

Целью настоящей работы являлось исследование влияния длины катодной полости на характеристики генерации ВЧ-генератора. Для этого авторами был проведен ряд экспериментов, в которых исследовались и сравнивались характеристики генератора, диаметр катодной полости которого был фиксирован, а длина могла варьироваться.

Схема газоразрядной камеры представлена на рис. 1. Открытый торец полого катода закрыт изолятором, на котором установлен плоский анод диаметром 40 мм. Внутри полого катода размещалась проводящая дискообразная вставка, которую можно

перемещать вдоль полого катода. На торцах вставки размещены пружинные контакты, которые обеспечивают надежное электрическое соединение с полым катодом. Перемещая проводящую вставку вдоль боковой поверхности полого катода, можно изменять длину его полости. Диаметр полости составлял 65 мм, максимально возможная длина – 120 мм. Для проведения ряда экспериментов предусмотрена возможность замены проводящей вставки на диэлектрическую, выполненную из фторопласта. Наличие диэлектрической вставки позволяет уменьшать длину и объем полости катода, исключая при этом влияние проводящего дна полого катода на процессы в генераторе.

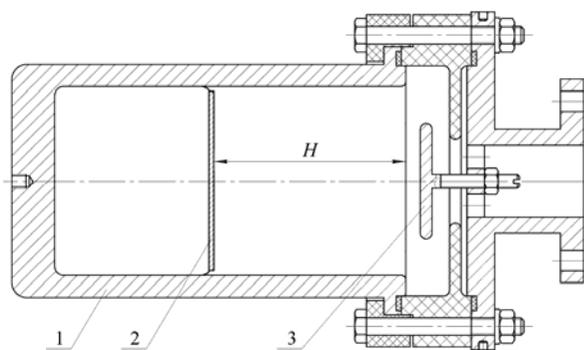


Рис. 1. Схема газоразрядной камеры с изменяемой длиной полого катода. Цифрами обозначено: 1 – полый катод; 2 – проводящая вставка; 3 – анод

Схема цепи подключения генератора при проведении экспериментов показана на рис. 2. Принцип работы цепи заключается в следующем. После включения блока питания (на рис. 2 не показан) начинается зарядка емкости  $C$  и, соответственно, рост напряжения между катодом и анодом. После того, как это напряжение превысит напряжение пробоя в газоразрядной камере, начинается формирование газового разряда. Если при этом выполнены условия генерации, то напряжение, падающее на газоразрядном промежутке, подвергается сильной модуляции. Через разделительный конденсатор  $C_{\phi}$  осцилляции анодного потенциала поступают на сопротивление нагрузки  $R_n$ . Наличие разделительного конденсатора не позволяет шунтировать катод-анодный промежуток активной составляющей сопротивления нагрузки. Рабочим газом являлся воздух в диапазоне давлений 0,06–0,1 Торр.

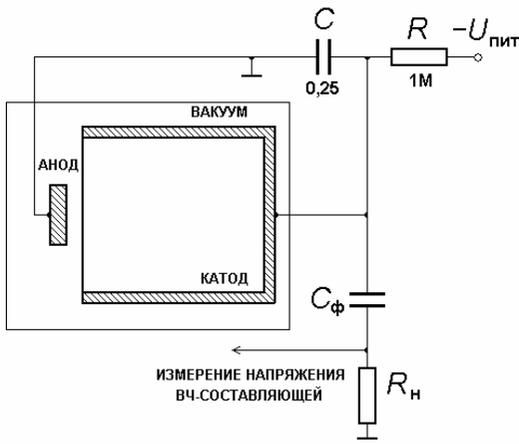


Рис. 2. Схема электрической цепи подключения ВЧ-генератора

Проведенные ранее исследования показали, что ВЧ-генераторы такого типа функционируют только в определенном диапазоне рабочих напряжений, то есть существуют некоторое пороговое значение, ниже которого генерация отсутствует, и некоторое предельное значение, выше которого длительность генерации становится равной нулю. При проведении данной работы было обнаружено, что диапазон рабочих напряжений зависит от длины полости катода. На рис. 3 представлены зависимости диапазона рабочего напряжения ВЧ-генератора от длины полости катода для диэлектрического и проводящего дна катода. Область, в которой происходит генерация, на рисунке заштрихована. По мере уменьшения длины катода сужается диапазон рабочего напряжения, при котором возможна модуляция разрядного напряжения.

На рис. 4 представлены полученные зависимости, демонстрирующие влияние длины полого катода на характеристики ВЧ-генератора. Зависимости рис. 4 а, б

демонстрируют уменьшение выходной мощности генерации по мере уменьшения длины полого катода. Предполагая, что формирование генерации вызывается процессами, происходящими в прикатодном слое газового разряда, данные зависимости можно легко объяснить тем, что уменьшение внутренней площади полого катода и, соответственно, уменьшение площади прикатодного слоя приводит к увеличению внутреннего сопротивления ВЧ-генератора, и, как следствие, к уменьшению максимальной выходной мощности.

Рис. 4 в, г демонстрируют сильную зависимость длительности генерации от длины полого катода. Дополнительно обращает на себя внимание факт, что диэлектрическое дно полого катода (диэлектрическая вставка) увеличило длительность генерации в 4–6 раз. Согласно предыдущим исследованиям авторов, длительность рабочего импульса генераторов такого типа ограничивается временем горения разряда в объемной форме, окончанию импульса генерации соответствует переход разряда из объемной стадии в шнуровую, т. е. из тлеющей формы в дугу. Исследования рабочих поверхностей катодов показали, что дуга в большинстве случаев формируется в области середины дна катодной полости. Значит, сделав дно непроводящим, можно, предотвратить или, во всяком случае, замедлить процесс шнурования разряда, что, в свою очередь, позволит повысить длительность импульса генерации. Таким образом, факт значительного увеличения длительности генерации при использовании диэлектрического дна достаточно просто объясняется на основе результатов более ранних исследований.

По мере уменьшения длины полости катода не очень сильно, но явно возрастает частота генерации, это наглядно видно на рис. 4 д, е. Можно заключить, что изменяя длину полости катода, можно осуществлять подстройку (небольшое изменение) частоты генерации.

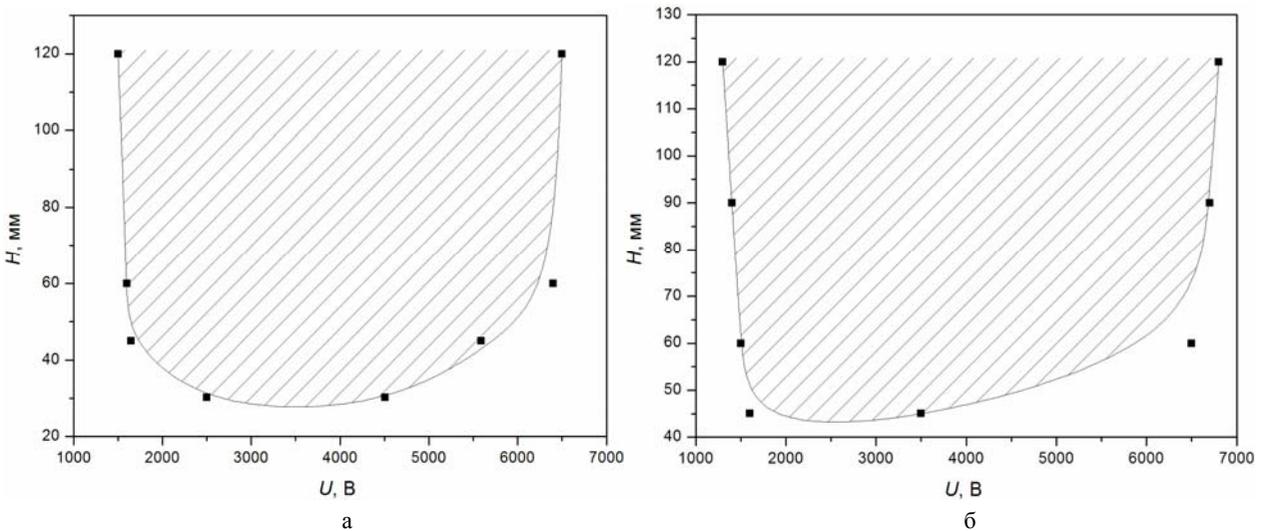
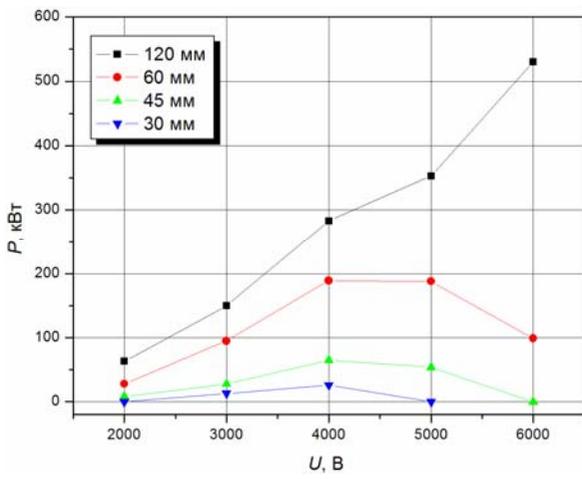
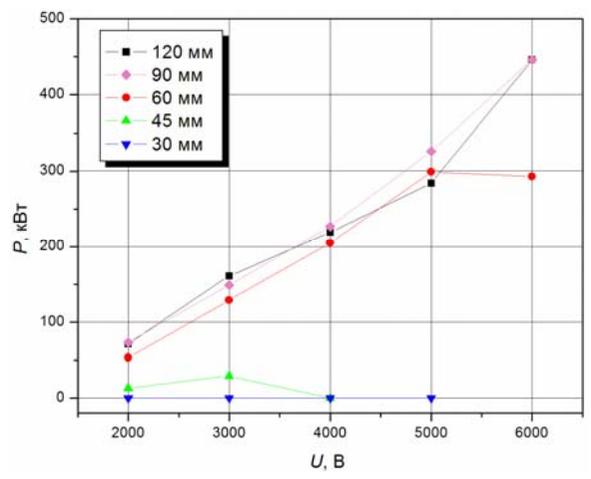


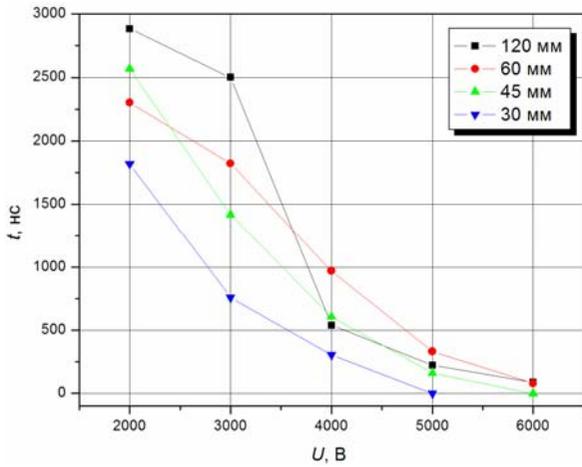
Рис. 3. Зависимость диапазона рабочего напряжения ВЧ-генератора от глубины полого катода: а – диэлектрическая вставка; б – проводящая вставка. Заштрихована область, в которой происходит генерация



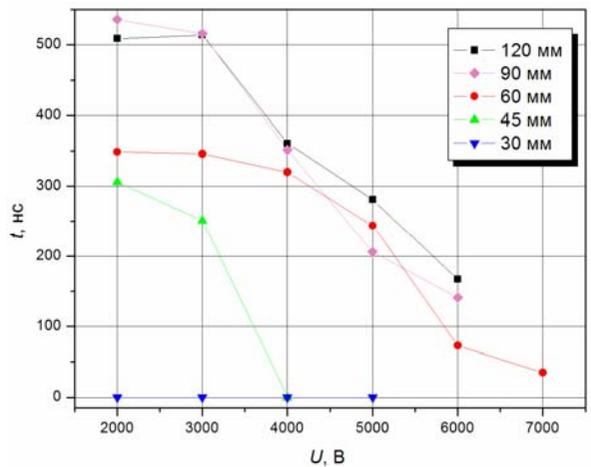
а



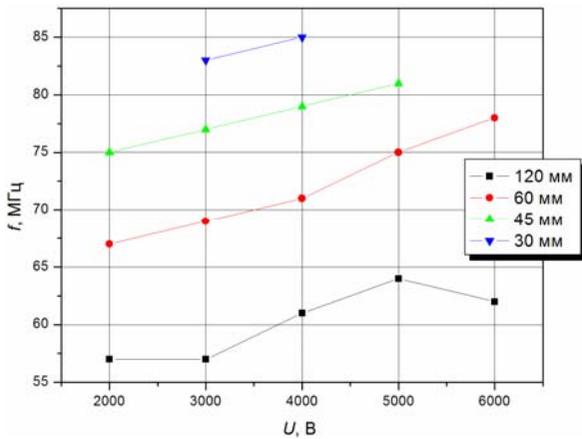
б



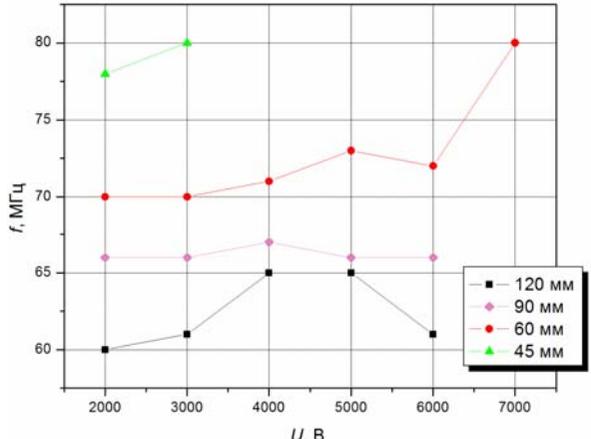
в



г



д



е

Рис. 4. Влияние глубины полового катода на характеристики (выходная действующая мощность; длительность генерации; частота генерации) ВЧ-генератора: а, в, д – диэлектрическая вставка; б, г, е – проводящая вставка

Таким образом, при разработке конструкции ВЧ-генератора на основе разряда с полым катодом с конкретными техническими характеристиками можно руководствоваться следующими установленными фактами. Для получения максимально возможной ВЧ-мощности необходимо, чтобы длина полости катода явно превышала его диаметр. Наличие диэлектриче-

ского дна полового катода может увеличить длительность генерации в несколько раз. Получить нужную частоту ВЧ-генерации можно путем варьирования не только диаметра (резкая подстройка), но и длины катодной полости (более плавная подстройка).

Работа выполнена в рамках проекта РФФИ № 10-02-00137.

## Литература

1. Felsteiner J., Ish-Shalom S., Slutsker Ya. Z. Optimized performance of a powerful hollow-cathode RF oscillator // Journal of applied physics. 1998. Vol. 83, N 6. P. 2940.

2. Bliokh Yu. P., Felsteiner J., Slutsker Ya. Z., Vaisberg P. M. Characteristics of a High-Power RF Oscillator Based on a Pulsed Hollow-Cathode Discharge // IEEE Transactions on plasma science. 2001. Vol. 29, N 6. P. 895.

3. Вялых Д. В., Дубинов А. Е., Львов И. Л., Садовой С. А., Селемир В. Д. Генератор мощных высокочастотных импульсов на основе разряда с полым катодом // ПТЭ. 2005, № 1. С. 86.

4. 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 // Известия вузов. Радиофизика. 2006. Т. 49, № 4. С. 300.

5. Булычев С. В., Вялых Д. В., Дубинов А. Е., Жданов В. С. и др. Результаты исследований генераторов мощных ВЧ-импульсов на основе разряда с полым катодом // Физика плазмы. 2009. Т. 35, № 11. С. 1019.