

ПРИБОРЫ, ИЗГОТОВЛЕННЫЕ  
В ЛАБОРАТОРИЯХ

УДК 621.373.4

СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ ГЕНЕРАТОР  
НА ОСНОВЕ МАГНЕТРОНА БЫТОВОЙ ПЕЧИ

© 2019 г. Ю. Д. Черноусов<sup>a,b</sup>, И. В. Шеболаев<sup>a,b</sup>, И. М. Икрянов<sup>a</sup>, В. А. Болотов<sup>b</sup>,  
Ю. Ю. Танашев<sup>b</sup>, Л. Э. Медведев<sup>c</sup>, Р. В. Воскобойников<sup>c</sup>

Поступила в редакцию 06.05.2019 г.

После доработки 22.05.2019 г.

Принята к публикации 31.05.2019 г.

DOI: 10.1134/S003281621906003X

Магнетроны, применяемые в бытовых печах, относят к сверхвысокочастотным (с.в.ч.) приборам непрерывного режима работы и в паспорте обычно указывают величину “средней” генерируемой с.в.ч.-мощности, которая, как правило, составляет до 1 кВт [1, 2]. Однако в бытовой печи при питании от стандартного выпрямителя магнетроны фактически работают не в непрерывном, а в импульсном режиме со скважностью 3–4 [3]. Наблюдается режим “пичковой” генерации с временем включения и выключения не более 1 мкс [3]. Эти данные указывают на то, что при импульсном питании таких (бытовых) магнетронов можно получать с.в.ч.-мощность в импульсе не менее 3–4 кВт с возможностью регулировки длительности, частоты следования импульсов и уровня с.в.ч.-мощности в широком диапазоне.

Бытовые магнетроны – наиболее распространенные, легко доступные, имеющие наименьшую цену с.в.ч.-приборы S-диапазона. Исходя из общей численности населения мировой парк таких приборов можно оценить приблизительно в  $10^8$ – $10^9$  штук, цена за прибор лежит в диапазоне 20–50\$, что поясняет целесообразность использования бытовых магнетронов для научных и технологических целей.

На основе бытового магнетрона был разработан с.в.ч.-генератор. Магнетронный генератор (м.г.) работает в импульсном режиме, по своим характеристикам пригоден для использования в качестве как лабораторного прибора для научных исследований, например дозированного подвода тепла при проведении химических реакций [3], так и источника импульсной с.в.ч.-мощности для целей ускорительной и с.в.ч.-техники.

Магнетронный генератор (блок-схема прибора и измерительного стенда приведена на рис. 1) содержит блок, выполненный на основе бытового магнетрона, трехпортовый волноводный циркулятор на полный уровень с.в.ч.-мощности и источник импульсного высоковольтного питания (и.в.п.). Блок магнетрона с волноводным с.в.ч.-выходом подробно описан в [3]. Циркулятор обеспечивает устойчивую работу м.г. на отражающую нагрузку и дает возможность подключения дополнительного с.в.ч.-генератора для синхронизации магнетрона внешним с.в.ч.-сигналом. Источник высоковольтного питания подает на магнетрон ток накала и импульсы напряжения с регулируемой амплитудой, длительностью и частотой следования, управляется внешним генератором импульсов.

Источник выполнен на твердотельных элементах по схеме коммутации выходной накопительной емкости с помощью управляемого высоковольтного ключа на нагрузку. В данном устрой-

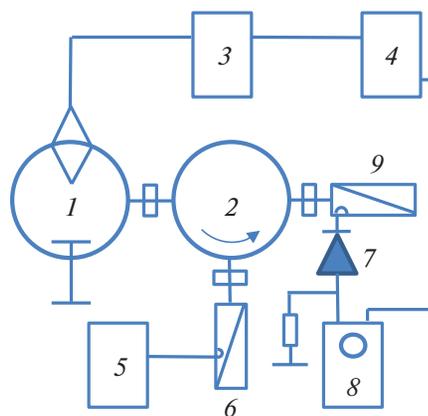
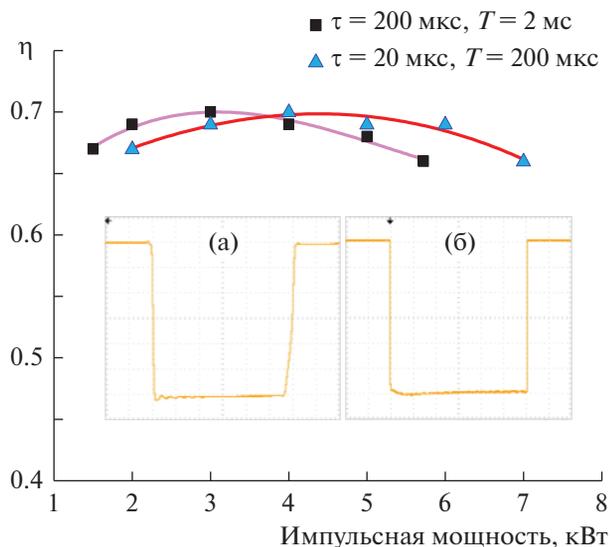


Рис. 1. Блок-схема м.г. и измерительного стенда. 1 – блок магнетрона; 2 – циркулятор; 3 – и.в.п.; 4 – генератор импульсов; 5 – измеритель мощности; 6, 9 – с.в.ч.-нагрузки; 7 – с.в.ч.-детектор; 8 – осциллограф.

<sup>a</sup>Институт химической кинетики и горения им. В.В. Воеводского СО РАН, Новосибирск, Россия

<sup>b</sup>Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН, Новосибирск, Россия

<sup>c</sup>Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН, Новосибирск, Россия



**Рис. 2.** Зависимость к.п.д.  $\eta$  магнетрона от импульсной мощности при постоянной скважности  $T/\tau = 10$  ( $\tau$  – длительность импульсов,  $T$  – период следования). На вставке – форма огибающей с.в.ч.-мощности при малой (а) и большой (б) длительности импульсов. а – развертка 1 мкс/деление, длительность импульсов  $\tau = 6$  мкс, фронты менее 0.5 мкс, выброс в начале импульса и скол вершины менее 5%, импульсная с.в.ч.-мощность  $\sim 4$  кВт; б – развертка 10 мс/деление, длительность импульсов  $\tau = 60$  мс, импульсная с.в.ч.-мощность  $\sim 2$  кВт.

стве нагрузкой является катодный узел магнетрона. Стабилизация среднего тока магнетрона осуществляется путем регулировки скважности импульсов тока зарядки выходной емкости – используется метод широтно-импульсной модуляции с применением цепи обратной связи. Основные параметры и.в.п.: выходное напряжение 4.2–5.2 кВ, выходной ток до 4 А в импульсе и 1 А в среднем, длительность импульсов от 1 мкс, фронты импульсов не более 0.5 мкс, частота повторения импульсов до 100 кГц. В устройстве предусмотрена блокировка при превышении установочных значений по току и напряжению. Источник имеет габариты 480 × 520 × 190 мм и может быть установлен в стойке стандартных размеров. Масса прибора 14.6 кг.

Зависимость к.п.д. магнетрона (отношение с.в.ч.-мощности к величине, потребляемой от

и.в.п. электрической мощности) от уровня импульсной генерируемой с.в.ч.-мощности приведена на рис. 2. Достигим устойчивый режим работы исследованного магнетрона при импульсной с.в.ч.-мощности до 7 кВт. На вкладке к рис. 2 приведена форма генерируемых импульсов при малой (рис. 2а) и большой (рис. 2б) длительностях.

**Основные технические характеристики.** Длительность с.в.ч.-импульсов изменяется от 1 мкс до 1 с, частота следования импульсов – от однократного до 100 кГц, при этом фронты импульсов не более 0.5 мкс. Импульсная с.в.ч.-мощность регулируется от  $\sim 1.5$  до  $\sim 7$  кВт, средняя – до 1 кВт. При рабочей частоте  $F \approx 2.47$  ГГц нестабильность частоты в стационарном режиме автогенерации при коротких, до 20 мкс, импульсах не превышает 0.1 МГц, при более длинных импульсах – 1 МГц, выбег частоты после включения – до 5 МГц. В режиме внешней синхронизации стабильность частоты определяется внешним с.в.ч.-генератором. При импульсной мощности магнетрона 5 кВт и мощности синхросигнала 200 Вт полоса синхронизации около 10 МГц.

#### ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда (проект № 17-7330032).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Vyas S.K., Verma R.K., Maurya S., Singh V.V.P. // *Frequenz*. 2016. V. 70. № 9. P. 455. <https://doi.org/10.1515/freq-2015-0196>
2. Handbook of Microwave Technology for Food Application / Ed. A.K. Datta. CRC Press, 2001. <https://www.crcpress.com/Handbook-of-Microwave-Technology-for-Food-Application/Datta/p/book/9780824704902>.
3. Черноусов Ю.Д., Иванников В.И., Шеболаев И.В., Болотов В.А., Танашев Ю.Ю. // ПТЭ. 2019. № 2. С. 136. <https://doi.org/10.1134/S0032816219020046>

Адрес для справок: Россия, 630090, Новосибирск, просп. Академика Лаврентьева, 5, Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН, e-mail: bolotov@catalysis.ru; chern@catalysis.ru