

# СУММАТОР МОЩНОСТИ МАГНЕТРОНОВ 3-МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА ДЛИН ВОЛН

И. Иванов, Н. Петюшин, Н. Скрипкин

Для увеличения импульсной мощности и стабилизации частоты радиоэлектронного СВЧ-оборудования применяют различные способы суммирования мощности магнетронов: волноводные тройники, ферритовые циркуляторы и стабилизирующие резонаторы. Однако все эти методы не лишены недостатков. Волноводные тройники требуют изменения эквивалентных сопротивлений волноводов и имеют относительно низкий коэффициент сложения (менее 0,7). Ферритовые циркуляторы, как правило, не используются в диапазоне больших импульсных мощностей и ограничивают количество синхронизируемых магнетронов. Работа резонаторных систем в значительной степени зависит от стабильности частоты генератора. Волноводные мосты с различными способами связи не имеют указанных недостатков, поэтому их можно рассматривать в качестве перспективного решения для суммирования мощности магнетронов.

Основные принципы применения волноводных мостов для синхронизации, суммирования и усиления СВЧ-мощности изложены в [1], [2]. В данной работе исследуется возможность суммирования синхронизированных импульсных магнетронов 3-миллиметрового диапазона в квазиоптическом мосте, использующем эффект

Тальбота в сверхразмерном волноводе, и анализируются предварительные результаты экспериментов по суммированию и синхронизации магнетронов.

Применение сверхразмерного моста на основе эффекта Тальбота, предложенное сотрудниками Института прикладной физики Российской академии наук Г. Денисовым и М. Шмелевым, позволило



Рис.1. Сумматоры мощности на основе волноводного моста

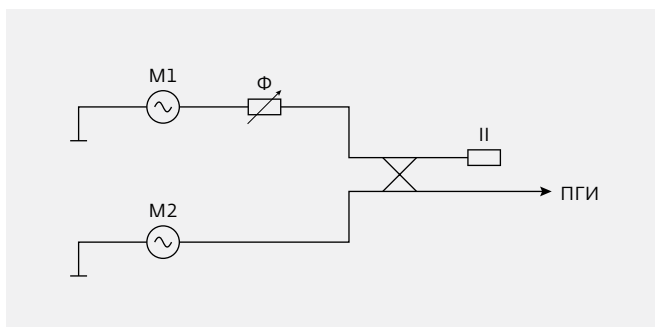


Рис.2. Схема проведения эксперимента по сложению мощностей магнетронов

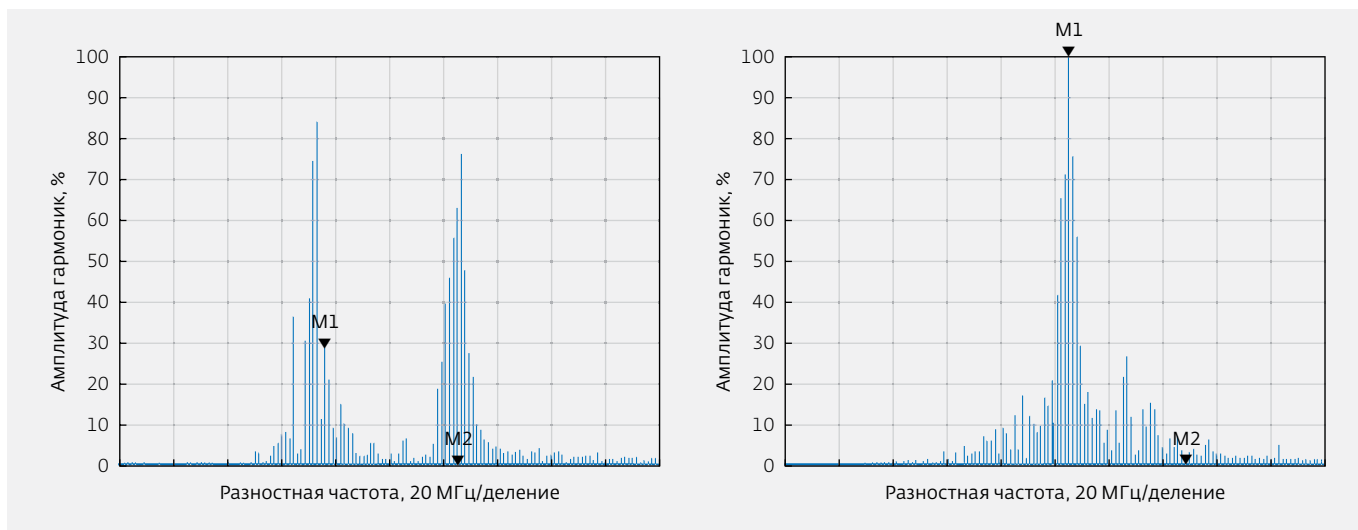


Рис.3. Спектрограммы несинхронного (слева) и синхронного (справа) режимов

значительно увеличить электрическую прочность и улучшить электродинамические параметры сумматора.

Для проведения эксперимента по суммированию и синхронизации магнетронов был разработан, оптимизирован и изготовлен сверхразмерный волноводный мост (рис.1) с параметрами:

- рабочая частота (F0) ~ 100 ГГц;
- ширина рабочей полосы частот не менее 500 МГц;
- коэффициент передачи – 3 дБ;
- направленность не менее -10 дБ;
- максимальные габариты с учетом фланцев не более 260 мм.

Характеристики изготовленных макетов волноводных мостов были сняты на установке "холодных" измерений. Коэффициенты стоячей волны по напряжению (КСВН) для каждого из двух входов сумматора в рабочей полосе составили не более 1,2, а коэффициент передачи (деления) – 3,5...4,5 дБ.

Эксперименты по сложению мощностей были проведены с помощью балансного сумматора (рис.2). Взаимная фазировка двух магнетронов обеспечивалась фазосдвигателем Ф, а согласование со стороны плеча 2 осуществлялось с помощью короткозамыкающего поршня П (см. рис.2). Рабочие частоты двух магнетронов составляли F0-25 МГц и F0+30 МГц. Мощность импульсных

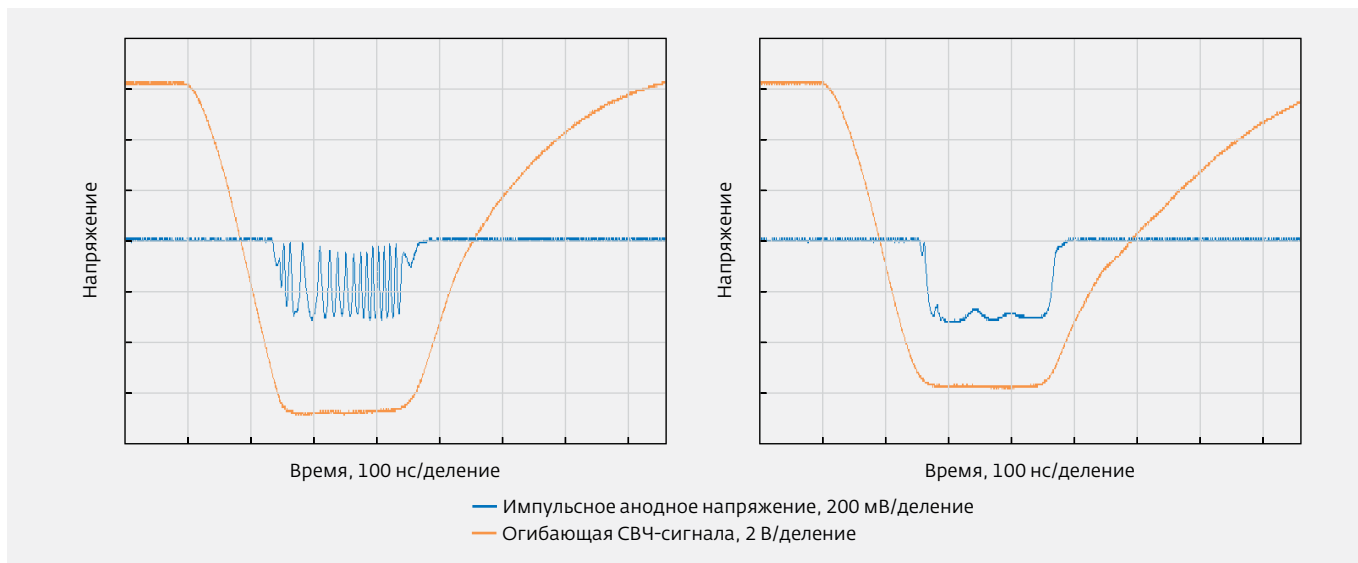


Рис.4. Огибающие СВЧ-сигнала несинхронного (слева) и синхронного (справа) режимов

магнетронов на согласованную нагрузку – 4,2 и 5,1 кВт. Длительность импульса СВЧ – 200 нс.

Путем перемещения поршня П суммированный сигнал направлялся на прибор горячих измерений (ПГИ), с помощью которого измерялись мощность, частота, спектр и огибающая СВЧ-импульса. При оптимальном положении поршня был получен коэффициент суммирования  $K_{\text{сум}} = 0,8$  ( $P_{\text{сум}} = 7,5$  кВт) при  $F_{\text{сум}} = F_0$ . При перемещении поршня на расстояние, превышающее  $0,1 \lambda_{\text{в}}$  (где  $\lambda_{\text{в}}$  – длина волны в волноводе), от оптимального положения происходила рассинхронизация магнетронов, причем каждый из них начинал работать на собственной частоте. В каждом из режимов были сняты спектрограммы и огибающие СВЧ-сигнала (рис. 3, 4).

В результате проведенных работ экспериментальным путем была определена максимальная полоса частоты суммирования  $\Delta F = 60$  МГц при фазовом ограничении (максимальном относительном фазовом сдвиге)  $\Delta \varphi = 90^\circ$ . Данный результат вполне соответствует условию синхронизации [3]:

$$\Delta F = 2 \frac{\Gamma \cdot F_0}{Q_{\text{внеш}}} \sin \Delta \varphi,$$

где  $\Gamma$  – модуль коэффициента отражения,  $F_0$  – собственная частота магнетрона,  $Q_{\text{внеш}}$  – внешняя добротность.

\* \* \*

Результаты экспериментальных работ по суммированию и синхронизации двух магнетронов с помощью сверхразмерного волноводного моста подтверждают возможность использования данного метода в составе комплексов радиоэлектронного оборудования для увеличения импульсной мощности и стабилизации частоты.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Лебедев И.** Балансный усилитель СВЧ. – Авторское свидетельство № 25550 с приоритетом от 1 июня 1962 г.
2. **Бецкий О., Гутцайт Э.** Балансный регенеративный усилитель СВЧ // Радиотехника и электроника. 1966. № 4. С. 709–720.
3. **Дейвид Э.** Фазирование высокочастотными сигналами // Электронные сверхвысокочастотные приборы со скрещенными полями / Пер. под ред. М. Федорова, ИЛ, 2, 1961, с. 327.

## НОВЫЕ КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА "ТЕХНОСФЕРА"



Цена 975 руб.

### УПРАВЛЕНИЕ ТРАНЗИСТОРНЫМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

**В.И. Мелешин, Д.А. Овчинников**

В книге изложены принципы управления транзисторными преобразователями электрической энергии при их работе в различных импульсных режимах. Приведены схемотехнические решения и показаны особенности работы преобразователей, широко применяемых в различных системах электропитания. Показаны последние достижения в данной области техники, позволяющие управлять преобразователями с помощью как аналоговых, так и цифровых средств.

Большое внимание уделено построению систем управления, использующих различные типы контроллеров и микроконтроллеров. Показано применение DSP-процессоров для различного рода преобразователей и приложений. Рассмотрено построение некоторых систем электропитания высокой надежности.

Книга будет полезна студентам, изучающим силовую электронику и принципы управления преобразователями, а также аспирантам и специалистам, изучающим и разрабатывающим устройства и системы преобразовательной техники.

М.: ТЕХНОСФЕРА,  
2011. – 576 с.  
ISBN 978-5-94836-260-1

#### КАК ЗАКАЗАТЬ НАШИ КНИГИ?

✉ 125319, Москва, а/я 91; ☎ (495) 234-0110; 📠 (495) 956-3346; [knigi@technosphera.ru](mailto:knigi@technosphera.ru), [sales@technosphera.ru](mailto:sales@technosphera.ru)