

## Краткие сообщения

09

### Суммирование сигналов при выводе энергии из сверхразмерных резонаторов 3-сантиметрового диапазона

© В.А. Августинович, С.Н. Артеменко, В.Л. Каминский, Ю.Г. Юшков

Научно-исследовательский институт ядерной физики при Томском политехническом университете, 634050 Томск, Россия

(Поступило в Редакцию 20 апреля 1998 г.)

Приведены результаты экспериментов по суммированию сигналов двух синхронно работающих резонансных СВЧ компрессоров 3-сантиметрового диапазона со сверхразмерными резонаторами и выводом энергии через интерференционные переключатели. Исследованы схемы суммирования в волноводном тройнике и трехдецибельном щелевом мосте. Достигнут коэффициент усиления суммарных сигналов  $\sim 11$  dB при длительности сигналов  $\sim 30$  ns по уровню 0.5, пиковой мощности  $\sim 1$  MW и КПД системы  $\sim 30\%$ .

1. Как известно [1], запас энергии в выходных сигналах резонансных СВЧ компрессоров ограничен предельной плотностью накапливаемой в резонаторе энергии и его допустимым объемом. Чрезмерно высокая плотность энергии приводит к пробоям резонатора, а большой объем — к высокой плотности спектра колебаний. По этой причине одиночные компрессоры не всегда способны полностью использовать энергетический потенциал сжимаемых импульсов. Поэтому несомненный интерес представляет возможность повышения мощности и энергии в импульсах компрессоров путем синхронного накопления энергии в нескольких резонаторах и последующего суммирования их выходных сигналов, как это впервые реализовано в [2] на компрессорах с одномодовыми резонаторами 10-сантиметрового диапазона. Подобные системы могут оказаться особенно перспективными в коротковолновой части диапазона СВЧ, где резонаторы имеют относительно небольшие вес и размеры, что может позволить создавать простые и компактные "пакеты" компрессоров для формирования мощных и энергоемких СВЧ импульсов. Вместе с тем данных по суммированию сигналов в коротковолновой части диапазона СВЧ нет.

В настоящей работе представлены результаты экспериментального исследования суммирования выходных сигналов СВЧ компрессоров 3-сантиметрового диапазона со сверхразмерными резонаторами и выводом энергии через интерференционные переключатели.

2. Эксперименты проводились на двух компрессорах с медными цилиндрическими резонаторами диаметром 90 и длиной 210 mm. Резонаторы работали на частоте 9.42 GHz на виде колебаний  $H_{01(12)}$  и имели собственную добротность  $\sim 10^5$ . Вывод энергии осуществлялся через интерференционные переключатели на основе прямоугольных волноводных  $H$ -тройников, изготовленных из стандартных волноводов с сечением  $23 \times 10$  mm<sup>2</sup>.

Компрессоры питались от магнетронного генератора с выходной импульсной мощностью  $\sim 100$  kW при

длительности импульсов  $\sim 1$   $\mu$ s. Деление мощности импульсов магнетрона осуществлялось согласованным волноводным тройником. Переключение резонаторов из режима накопления в режим вывода выполнялось газоразрядными коммутаторами интерференционных переключателей при поджиге разряда в атмосфере аргона или гелия под избыточным давлением  $\sim 1$  ат. При сравнимой напряженности поля в переключателях управление временем развития разряда осуществлялось ультрафиолетовой подсветкой разрядного промежутка и регулированием давления газа в каждом из коммутаторов. Как и в [2], синхронная подсветка разрядных промежутков обеспечивалась одновременной подачей на запускающие разрядники каждого из коммутаторов импульсов высокого напряжения от одного источника. Суммирование проводилось в волноводном  $H$ -тройнике либо в трехдецибельном щелевом мосте со связью по узкой стенке.

Схема экспериментальной установки представлена на рис. 1, где 1 — магнетронный генератор, 2 — ферритовый вентиль, 3 — направленные ответвители, 4 — фазовращатели, 5 — герметизирующие окна, 6 — входной согласованный тройник (делитель СВЧ мощности), 7 — накопительные резонаторы, 8 — интерференционные переключатели, 9 — коммутаторы, 10 — суммирующее устройство (тройник либо трехдецибельный мост), 11 — детекторные головки, 12 — согласованная нагрузка, 13 — блок запуска генератора и коммутаторов. Кроме того, установка была снабжена системой раздельного заполнения резонаторов газом под избыточным контролируемым давлением.

3. На рис. 2 представлены осциллограммы выходных сигналов каждого из компрессоров (*a, b*); этих же сигналов, но разнесенных во времени (*c*); суммарного импульса при сведении времени взаимного запаздывания к минимуму (*d*); разностного сигнала (*e*). Принципиально суммирование в тройнике и волноводном мо-

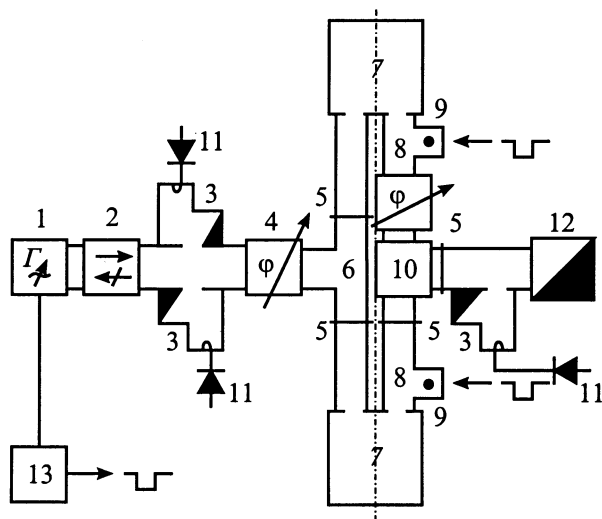


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

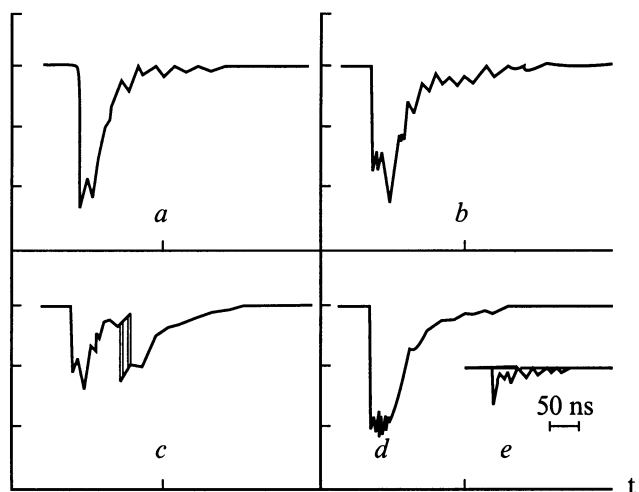


Рис. 2. Оциллограммы выходных СВЧ импульсов.

сте практически ничем не различается, за исключением более высокой чувствительности схемы суммирования в тройнике к разности электрических длин выходных ВЧ трактов компрессоров. Связано это, скорее всего, с малым по сравнению с мостом переходным затуханием входных плеч тройника и соответственно более сильным взаимным влиянием резонаторов в момент вывода энергии.

Из оциллограммы для разнесенных во времени выходных импульсов каждого из компрессоров (рис. 2, c) виден взаимный временной разброс суммируемых сигналов, связанный со статистической природой процесса развития разряда. При времени взаимного запаздывания разрядов порядка длительности суммируемых импульсов разброс составляет 10 ns и более. По мере уменьшения времени взаимного запаздывания разброс уменьшается и при совпадении фронтов суммируемых импульсов он минимален и не превышает единиц наносекунд. Однако для

обеспечения долговременной стабильности суммарного сигнала в заданных пределах требуется поддержание разности рабочих давлений коммутаторов переключателей в определенном диапазоне, границы которого устанавливаются экспериментально.

Из оциллограмм видны также две существенные особенности сложения относительно длинных СВЧ импульсов — это трансформация их огибающих в новую огибающую суммарного сигнала и усреднение высокочастотных флуктуаций огибающих каждого из складываемых импульсов. Первая особенность дает возможность коррекции огибающей суммарных СВЧ импульсов, а вторая приводит к ее сглаживанию. В экспериментах при суммировании импульсов с сильно искаженными огибающими были получены сигналы с практически экспоненциальным спадом, а также с огибающей, близкой к прямоугольной. Имеющая место "размытость" спада суммарных импульсов связана, скорее всего, с флуктуациями спада каждого из складываемых сигналов из-за нестабильностей в плазме СВЧ разряда коммутаторов. Приведенные оциллограммы получены при наложении  $\sim 500$  импульсов.

Измерения показали, что при определенной идентичности складываемых импульсов в исследуемой системе может быть обеспечена передача в нагрузку  $\sim 90\%$  их суммарной энергии. При длительности импульсов по уровню 0.5 около 30 ns максимальный коэффициент усиления системы составил  $\sim 11$  dB, а КПД  $\sim 30\%$  при расчетных значениях соответственно 11.5 dB и 35%. Возможной причиной снижения характеристик системы по сравнению с характеристиками компрессоров является неполная идентичность суммируемых сигналов, из-за чего часть энергии теряется либо в резонаторах (при суммировании в тройнике), либо в вычитающем плече моста (при суммировании в мосте). Суммирование с коммутацией в атмосфере аргона и гелия дает практически одинаковые результаты.

В целом на основе результатов работы можно сделать предположение, что при синхронном возбуждении резонаторов интерференционный переключатель в любом случае обеспечивает возможность суммирования выходных сигналов СВЧ компрессоров. При этом ни межвидовое взаимодействие колебаний в многомодовом резонаторе, ни адиабатический уход частоты при выводе энергии помехой для суммирования не являются, а физической основой возможности суммирования в исследуемой системе служат синхронность возбуждения резонаторов и когерентность их выходных сигналов с сигналами генератора [3]. Это означает, что относительно малые вес и размеры 3-сантиметровых компрессоров могут позволить создавать системы, например, из восьми или шестнадцати компрессоров и, таким образом, формировать импульсы с длительностью  $\sim 50$  ns и пиковой мощностью  $\sim 10$ –100 MW. Для питания таких систем могут быть использованы, например, магнетроны с выходной мощностью  $\sim 1$  MW или более мощные клистроны и магнитоны.

4. Таким образом, проведенные эксперименты продемонстрировали возможность наращивания мощности и энергии выходных импульсов резонансных СВЧ компрессоров 3-сантиметрового диапазона со сверхразмерными резонаторами и выводом энергии через интерференционные переключатели путем суммирования сигналов нескольких синхронно работающих компрессоров. При этом суммирование может осуществляться как в волноводном тройнике, так и в щелевом мосте. Результаты экспериментов позволят надеяться на возможность повышения таким способом мощности компрессоров и в более коротковолновом диапазоне СВЧ, например миллиметровом. Физической основой такой возможности являются когерентность входных и выходных сигналов компрессоров с выводом энергии через интерференционные переключатели и синхронность возбуждения их накопительных резонаторов. Достоинством суммирования при выводе энергии из сверхразмерных резонаторов является не только наращивание мощности и энергии в формируемых СВЧ-импульсах, но и возможность коррекции и сглаживания их огибающих.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 97-02-16461).

## Список литературы

- [1] Диденко А.Н., Юшков Ю.Г. Мощные СВЧ импульсы наносекундной длительности. М.: Энергоатомиздат, 1984. 112 с.
- [2] Новиков С.А., Разин С.В., Чумерин П.Ю., Юшков Ю.Г. // Письма в ЖТФ. 1990. Т. 16. Вып. 20. С. 46–48.
- [3] Birx D., Dick G.J., Little W.A. et al. // Appl. Phys. Lett. 1978. Vol. 33. N 5. P. 466–468.