

13

Формирование импульсов с регулируемыми параметрами в резонансном СВЧ-компрессоре с трансформацией моды колебаний

© В.А. Августинович, С.Н. Артёмов, В.С. Игумнов, Ю.Г. Юшков

Национальный исследовательский Томский политехнический университет
E-mail: snartemenko@mail.ru

Поступило в Редакцию 2 апреля 2013 г.

Представлены результаты экспериментального исследования формирования СВЧ-импульсов с регулируемыми параметрами мощности, длительности, частоты следования и огибающей в резонансном компрессоре с трансформацией моды колебаний. Изменение параметров импульсов осуществляется перестраиваемыми элементами межмодовой связи. Показана возможность формирования серии суб- и наносекундных СВЧ-импульсов при дробном выводе энергии и наносекундных импульсов различной длительности при однократном полном выводе высокочастотной энергии из резонатора компрессора.

В настоящее время резонансные СВЧ-компрессоры находят применение при создании лабораторных и полигонных установок для получения мощных импульсов электромагнитного излучения суб- и наносекундной длительности [1]. Такие установки используются при решении актуальных задач радиолокации, электромагнитной совместимости, тестирования уровней дестабилизации воздействия электромагнитного излучения, разработки ускорителей заряженных частиц нового поколения и др. [2,3]. Поэтому повышение функциональных возмож-

ностей резонансных СВЧ-компрессоров имеет большое значение для расширения научно-технических областей их применения [4].

В [5,6] проведено исследование формирования СВЧ-импульсов наносекундной длительности при выводе накопленной энергии из резонатора трансформацией моды колебаний (ТМК) на окне связи объема резонатора с короткозамкнутым отрезком волновода. В этих работах сначала в резонаторе СВЧ-компрессора возбуждали волну H_{01} , на которой высокочастотная энергия накапливалась, а затем, после преобразования волны H_{01} в волну H_{11} , осуществлялся вывод энергии. Короткозамкнутый отрезок волновода был выполнен в виде H -тройника, одно прямое плечо которого подсоединялось к резонатору, а второе было закорочено. Боковое плечо также было закорочено, и в этом плече располагался газоразрядный СВЧ-коммутатор. Длина плеча, связанного с резонатором, выбиралась такой, чтобы при накоплении энергии преобразование волн на окне связи отсутствовало. После завершения процесса накопления и срабатывания коммутатора длина волноводного H -тройника и структура поля на окне изменялись, что приводило к преобразованию волн с передачей энергии из накопительного резонатора в нагрузку. Размеры резонатора выбирались так, что вблизи рабочей частоты резонансные условия для других волн не выполнялись, и энергия в эти волны не передавалась.

В [7] отмечалось, что, так же как в любой системе резонансной компрессии, в системе с ТМК имеется определенный запас СВЧ-энергии. Отличительной особенностью системы с ТМК от других систем компрессии является возможность управления процессом вывода этой энергии с помощью перестраиваемых элементов связи (ПЭС), осуществляющих процесс ТМК. В [5,6] показано, что определяющую роль в преобразовании волн при ТМК играет длина прямых плеч волноводного тройника. Поэтому, выбирая длины плеч и включая ПЭС определенным образом, можно изменять форму огибающей и также получать импульсы с различными значениями мощности, длительности и частоты следования.

В данной работе представлены результаты экспериментального исследования СВЧ-компрессора 3-см диапазона длин волн с выводом энергии с ТМК на одном и двух ПЭС.

Компрессор выполнен на основе цилиндрического резонатора диаметром 90 мм и длиной 135 мм. Возбуждение рабочей волны H_{01} осуществлялось через два окна связи, расположенных на входной

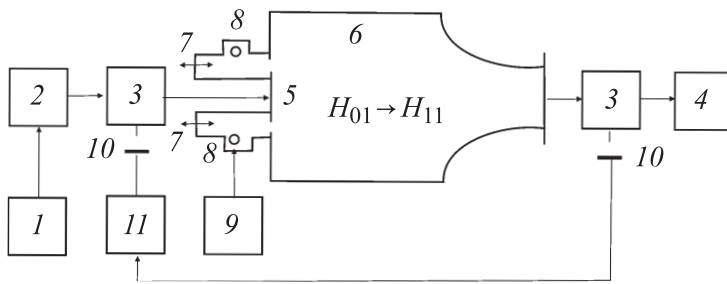


Рис. 1. Схема экспериментальной установки.

стенке резонатора на серединах радиусов цилиндра по диаметру. Входные волны поступали к окнам связи от генератора СВЧ через E -тройник. Это обеспечивало при возбуждении H_{01} -волны в резонаторе необходимое соотношение между фазами подводимых к окнам волн. Элементы преобразования, выполненные в виде двух H -тройников, располагались снаружи входной стенки резонатора и связывались с внутренним объемом через окна, расположенные на серединах радиусов по диаметру, ортогональному диаметру с окнами ввода энергии.

В отличие от [5,6] симметричное возбуждение рабочей H_{01} -волны и расположение элементов преобразования мод исключало нежелательное взаимодействие волн в процессе накопления энергии.

Выход резонатора был выполнен в виде плавного перехода с цилиндра резонатора на одномодовый круглый волновод. Длина резонатора и его рабочая частота выбирались так, что в полосе частот ~ 50 МГц кроме рабочей моды колебания $H_{01(8)}$ с частотой $f \approx 9.05$ GHz другие моды не возбуждались. Резонансные условия для волны H_{11} подавлялись сильной связью этой волны с нагрузкой через плавный переход.

Структурная схема экспериментальной установки приведена на рис. 1, где: 1 — магнетронный СВЧ-генератор, 2 — циркулятор, 3 — направленные ответвители, 4 — согласованная нагрузка, 5 — устройство ввода энергии, 6 — накопительный резонатор компрессора, 7 — тройники ПЭС, 8 — газоразрядный СВЧ-коммутатор, 9 — генератор высоковольтных импульсов, 10 — детекторные секции, 11 — осциллограф. В установке использовался магнетрон с импульсной мощностью

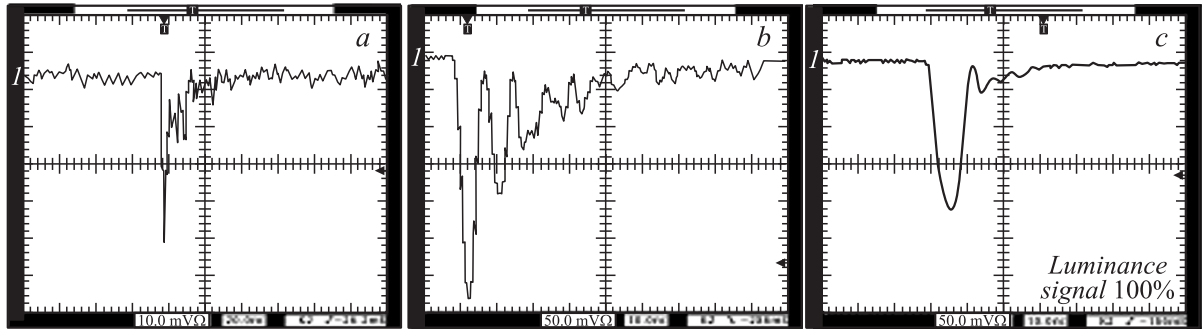


Рис. 2. Выходные СВЧ-импульсы при трансформации на одном ПЭС: *a* — 20 ns/div, 10 MW/div, $t = 1.3$ ns; *b* — 10 ns/div, 50 MW/div, $t = 3.1$ ns; *c* — 10 ns/div, 50 MW/div, $t = 7.1$ ns.

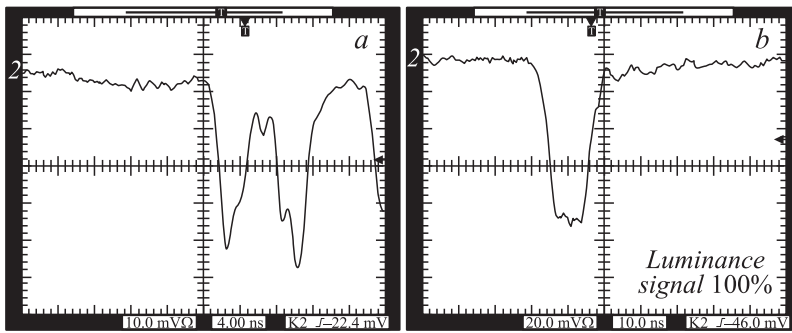


Рис. 3. Импульсы СВЧ, сформированные двумя последовательно соединенными ПЭС: *a* — 10 ns/div, 10 MW/div, $t \approx 6$ ns; *b* — 10 ns/div, 20 MW/div, $t = 10$ ns.

50 kW. Разряд в СВЧ-коммутаторе зажигался в аргоне при атмосферном давлении. Регулирование связи волн осуществлялось изменением длины короткозамкнутых прямых плеч волноводных H -тройников.

На рабочей моде колебаний $H_{01(8)}$ собственная добротность накопительного резонатора составляла $Q_0 \approx 1.7 \cdot 10^4$. Расчетное время двойного пробега волны H_{01} вдоль резонатора равнялось $T \sim 1.3$ ns, при этом расчетное усиление резонатора, определяемое как $Q_0/2\pi f T$, достигало ~ 20.5 dB.

При формировании импульсов в резонансном СВЧ-компрессоре с ТМК с одним ПЭС было достигнуто усиление мощности ~ 7 dB при длительности выходных СВЧ-импульсов $t \sim 7$ ns по уровню -3 dB. Пиковая мощность импульсов не превышала 0.25 MW. При увеличении длины плеч H -тройников длительности и огибающие выходных импульсов изменялись от вида, показанного на рис. 2, *a*, до вида, когда на спаде появлялась синусоидальная модуляция (рис. 2, *b*). Дальнейшее увеличение длины приводило к тому, что импульсы становились куполообразной формы с максимальным усилением ~ 7 dB при длительности ~ 7 ns (рис. 2, *c*). Такая эволюция импульсов обусловлена влиянием набега фазы волны в ПЭС.

Исследование вывода энергии из резонатора ТМК с помощью двух параллельных ПЭС показало, что одновременное их действие приводит к увеличению усиления до 9 dB и уменьшению длительности

импульсов t до ~ 5 ns. Форма огибающей импульсов была идентична представленной на рис. 2, с. Такой рост усиления показывает, что для вывода энергии за время, сравнимое со временем двойного пробега волны вдоль резонатора и получения усиления, близкого к расчетному, потребуется $\sim 8-10$ ПЭС, работа которых синхронизована.

Формирование серии коротких импульсов СВЧ в пределах импульса возбуждения осуществлялось трансформацией на двух последовательно соединенных тройниках. Коммутация осуществлялась последовательным развитием СВЧ-разряда в боковых плечах тройников. Это обеспечивало дробный вывод энергии. Вид сформированных таким образом двух импульсов представлен на рис. 3, а. Минимальный интервал времени, через который следовали импульсы, составлял ~ 10 ns, при этом усиление, мощность и длительность импульсов равнялись ~ 2 dB, ~ 75 kW и $\sim 1-2$ ns. Когда временной промежуток между последовательностью срабатывания разрядников был небольшой, то формировался один импульс, как показано на рис. 3, б.

Таким образом, полученные в работе результаты демонстрируют возможность создания на основе резонансных СВЧ-компрессоров с ТМК источников наносекундного импульсного СВЧ-излучения с регулируемыми параметрами выходных импульсов, что расширяет их функциональные возможности при различных применениях.

Авторы благодарны В.Ф. Дьяченко за помощь при проведении экспериментов.

Работа выполнена в рамках государственного задания „Наука“ Минобрнауки РФ № 2.3408.2011.

Список литературы

- [1] Августинович В.А., Артёмович С.Н., Каминский В.Л., Новиков С.А., Юшков Ю.Г. // Изв. вузов. Физика. 2012. № 11/2. С. 87–91.
- [2] Юшков Ю.Г., Артёмович С.Н., Новиков С.А. // Изв. вузов. Физика. 1998. № 4. С. 157–168.
- [3] Юшков Ю.Г., Чумерин П.Ю., Артёмович С.Н., Августинович В.А. // Изв. вузов. Физика. 2009. № 11/2. С. 328–331.
- [4] Shlapakovski A.S., Artemenko S.N., Shumerin P.Yu., Yushkov Yu.G. // Journal Institute of Physics. 2013. V. 113/5. N 074306JAP. P. 7.

- [5] Артёменко С.Н., Августинovich В.А., Юшков Ю.Г. // ЖТФ. 1998. Т. 68. В. 7. С. 92–96.
- [6] Августинovich В.А., Артёменко С.Н., Игумнов В.С., Новиков С.А., Юшков Ю.Г. / Электромагнитные волны и электронные системы. 2011. Т. 16. № 7. С. 43–45.
- [7] Диденко А.Н., Юшков Ю.Г. Мощные СВЧ импульсы наносекундной длительности. М.: Энергоатомиздат, 1984. 112 с.