

Вывод энергии из сверхразмерного резонатора через "пакет" интерференционных переключателей с суммированием выходных сигналов

© С.Н. Артеменко, В.А. Августинович, П.Ю. Чумерин, Ю.Г. Юшков

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

(Поступило в Редакцию 30 декабря 1999 г.)

Экспериментально показана возможность повышения импульсной мощности СВЧ компрессора со сверхразмерным резонатором и выводом энергии через интерференционный переключатель синхронным выводом энергии через "пакет" переключателей с суммированием их выходных сигналов. При выводе через два переключателя достигнуто почти двукратное повышение мощности сигналов при пропорциональном их укорочении. Показана принципиальная возможность вывода с суммированием через четыре переключателя.

1. Как известно [1], плотность потока мощности электромагнитной волны в передающих волноводных линиях с газовой изоляцией может достигать $1-5 \text{ MW/cm}^2$. Поэтому в сверхразмерных резонаторах с газовой изоляцией и площадью сечения $\sim 10^2-10^3 \text{ cm}^2$ мощность бегущей волны может составлять $\sim 0.1-1 \text{ GW}$. В совокупности с простотой конструкции резонансных СВЧ компрессоров, их относительно небольшими массогабаритными характеристиками и возможностью работы с частотой следования импульсов более 1 kHz [2] высокий уровень мощности бегущей волны сверхразмерных резонаторов делают идею создания компрессоров с такими резонаторами достаточно привлекательной.

Вместе с тем также известно, что одним из основных препятствий на пути создания компрессоров со сверхразмерными резонаторами является отсутствие эффективных способов и устройств быстрого вывода энергии из больших накопительных объемов. Так, наиболее известное устройство вывода в виде интерференционного переключателя на основе прямоугольных волноводных тройников [3] неспособно обеспечить достаточно быстрый вывод из-за относительно слабой связи тройников с большими накопительными объемами. Поэтому идет поиск более подходящих способов и устройств вывода, который пока заметными практическими успехами не увенчался [4,5].

В этом плане представляет интерес результат известного эксперимента по параллельной компрессии, в котором вывод энергии осуществлен одновременно из двух синхронно возбуждаемых резонаторов с последующим суммированием их выходных сигналов [6]. Результат этого эксперимента позволяет надеяться, что одним из путей решения проблемы быстрого вывода из сверхразмерных резонаторов может быть синхронный вывод через несколько идентичных переключателей. Нетрудно показать, что суммарная пиковая мощность P выходного сигнала в этом случае будет определяться выражением

$$P = nP_1 = n\beta_1 P_2 / M_0^2, \quad (1)$$

а его длительность τ — соотношением

$$\tau = \tau_1 / n \approx TM_0^2 / \beta_1 n, \quad (2)$$

где n — число переключателей; P_1 , τ_1 , β_1 — соответственно пиковая мощность, длительность выходного сигнала при выводе через один переключатель и коэффициент связи переключателя с резонатором; P_2 , M_0^2 — мощность бегущей волны резонатора и коэффициент его усиления по мощности соответственно.

Из (2) видно, что для обеспечения предельно быстрого вывода энергии, т.е. вывода за время, сравнимое с временем T двойного пробега волны вдоль резонатора, необходимо взять число переключателей, определяемое соотношением

$$n \approx M_0^2 / \beta_1. \quad (3)$$

При типичных для сверхразмерных резонаторов значениях $M_0^2 \approx 10^3$ и достижимых величинах $\beta_1 \approx 10^2$ требуемое число переключателей составит ~ 10 . При этом мощность P выходного суммарного сигнала, согласно (1), будет сравнима с мощностью бегущей волны резонатора.

В данной работе изложены результаты экспериментального исследования синхронного вывода энергии из сверхразмерного резонатора трехсантиметрового диапазона длин волн через 2 и 4 переключателя с суммированием их выходных сигналов.

2. Эксперименты выполнены на цилиндрическом объемном резонаторе диаметром 90 и длиной 200 мм. Резонатор работал на частоте 9.28 GHz на $H_{01(11)}$ -виде колебаний. С целью снижения влияния межвидового взаимодействия колебаний на окна связи возбуждение резонатора осуществлялось через два окна на одной из крышек резонатора. Окна располагались на серединах радиусов одного диаметра. Подвод энергии к резонатору осуществлялся по прямоугольным волноводам после деления волны питающего СВЧ генератора согласованным E -тройником (рис. 1). Собственная добротность резонатора без переключателей составляла $\sim 10^5$.

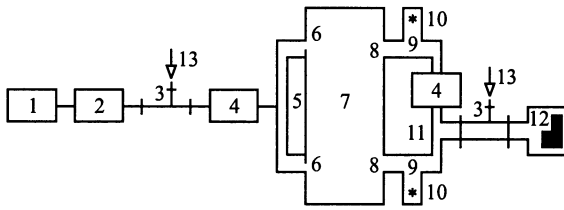


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для исследования синхронного вывода энергии из сверхразмерного резонатора через два интерференционных переключателя.

Подсоединение двух переключателей, изготовленных из стандартных волноводов, ко второй крышке резонатора через окна связи диаметром 10 мм, также расположенные на середине радиусов одного диаметра, приводило к снижению добротности системы. Величина снижения зависела от взаимного расположения входных и выходных окон и длины входного плеча переключателей. При оптимальной длине и расположении окон в одной плоскости продольного сечения резонатора снижение было минимальным и добротность составляла $\sim 7 \cdot 10^4$. Кроме максимума добротности при оптимальной длине обеспечивалась идентичность раздельного открывания переключателей и аддитивность их действия при совместном открывании. Основные проблемы настройки системы с двумя переключателями заключались в выборе оптимальной длины входного плеча и обеспечении равенства в переключателях амплитуд напряженности поля. В экспериментах достигнуто совпадение напряженностей с точностью $\sim 25\%$, что было установлено из сравнения в режиме накопления амплитуд сигналов, прошедших через переключатели с известным переходным затуханием.

3. На высоком уровне мощности система питалась от магнетронного генератора с выходной импульсной мощностью ~ 60 kW при длительности импульсов ~ 1 μ s. Схема установки для исследования синхронного вывода энергии через два переключателя с суммированием выходных сигналов представлена на рис. 1, где 1 — СВЧ генератор, 2 — циркулятор, 3 — направленные ответвители, 4 — фазовращатели, 5 — согласованный волноводный E-тройник, 6 — входные окна связи, 7 — сверхразмерный накопительный резонатор, 8 — выходные окна связи, 9 — интерференционные переключатели, 10 — разрядники переключателей, 11 — суммирующий волноводный H-тройник, 12 — согласованная нагрузка, 13 — детекторные головки.

Синхронность срабатывания переключателей обеспечивалась подачей от одного источника на газонаполненные разрядники переключателей импульсов высокого напряжения, приводящих к развитию в переключателях СВЧ пробоев. Суммирование выходных сигналов осуществлялось в волноводном H-тройнике.

На рис. 2, *a-c* приведены осциллограммы огибающих выходных импульсов при выводе энергии через каждый

из переключателей отдельно (*a, b*) и при синхронном выводе с суммированием сигналов с выходов переключателей (*c*). Как видно, при выводе через каждый из переключателей при закрытом втором длительность импульсов составляла 60 и 80 ns, а при синхронном с суммированием — ~ 35 ns с взаимным временным разбросом суммируемых сигналов не более 10 ns. Измеренные коэффициенты усиления соответственно составляли 8, 7 и 10 ± 1 dB. Таким образом, синхронность вывода приводила к практически двукратному укорочению импульсов с выхода каждого из переключателей при соответствующем почти двукратном увеличении мощности суммарных сигналов.

4. Аналогичные по физическому содержанию результаты получены и на резонаторе с выводом энергии через "пакет" из четырех переключателей. Так же как и в резонаторе с двумя переключателями, одной из основных была проблема настройки системы, которая сводилась к выбору оптимальной длины входного плеча переключателей, выравниванию напряженности поля в них и выбору оптимального взаимного расположения входных и выходных окон. Как и в резонаторе с двумя переключателями, наиболее приемлемой оказалась длина, близкая к четвертьволновой. Наиболее приемлемым расположением выходных окон было на двух взаимно ортогональных диаметрах, повернутых вокруг оси резонатора на 45° относительно диаметра с входными окнами. Собственная добротность системы в этом случае составляла $\sim 6 \cdot 10^4$.

Заслуживает внимания установленный в такой системе факт, что синхронность вывода и суммирование сигналов обеспечиваются даже при существенном (в 2–3 раза) отличии напряженности поля в переключателях. Однако взаимный временной разброс суммируемых импульсов при этом заметно возрастает, а амплитуда и длительность импульсов с выхода переключателя с минимальной напряженностью нестабильны во времени, так как он срабатывает в последнюю очередь и через него выводится только небольшое количество энергии, не выведенной до момента его включения через другие переключатели. Суммирование в этих экспериментах осуществлялось только попарно при срабатывании всех четырех переключателей. Факт синхронного вывода отслеживался по

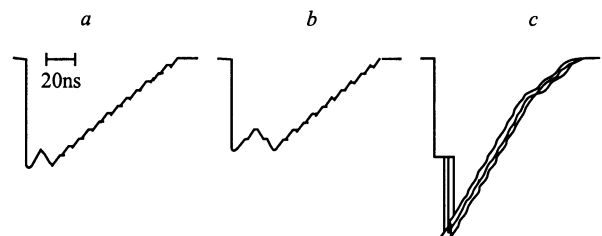


Рис. 2. Огибающие выходных импульсов каждого из переключателей при их раздельной работе (*a, b*) и при синхронном выводе через два переключателя с суммированием их выходных сигналов (*c*).

укорочению сигнала выбранного переключателя по мере последовательного включения других.

Следует также отметить, что в экспериментах для компрессора с чьтерьмя переключателями наблюдалось нарушение аддитивности при выводе из-за изменения амплитуды выходных сигналов с синхронно срабатывающих переключателей по сравнению с сигналами, получаемыми при срабатывании каждого переключателя в отдельности. Причиной этого, по-видимому, являются искажение структуры поля в резонаторе в момент срабатывания переключателей и соответствующее изменение связи с ними резонатора. Поэтому в отличие от систем с выводом через один переключатель [7] в системах с выводом через пакет предпочтительней оказывается четвертьволновая длина входных плеч переключателей. Сильное взаимодействие колебаний на окнах связи в этом случае компенсируется симметричным относительно оси резонатора расположением переключателей, а стабильность их связи с резонатором — неизменностью структуры поля в резонаторе при переходе от накопления к выводу.

5. Таким образом, в работе продемонстрирована возможность увеличения скорости вывода энергии из сверхразмерных резонаторов путем синхронного вывода через пакет переключателей, а также возможность суммирования их выходных сигналов с пропорциональным увеличением мощности суммарных сигналов при пропорциональном укорочении. Представляется, что такой способ увеличения скорости вывода может быть полезен не только в традиционных конструкциях СВЧ компрессоров, но и в автогенераторах с компрессией импульсов в их колебательных системах, из-за относительно низкой добротности которых для достижения эффективной работы генераторов в режиме компрессии время вывода волны вдоль колебательной системы. Представляется также, что компрессоры с выводом через пакет переключателей могут быть использованы и в фазированных антенных решетках.

Авторы выражают искреннюю признательность В.Л. Каминскому за помощь в работе.

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

Список литературы

- [1] *Фельдштейн А.Л., Явич Л.Р., Смирнов В.П.* Справочник по элементам волноводной техники. М; Л.: ГЭИ, 1963. 359 с.
- [2] *Каминский В.Л., Новиков С.А., Разин С.В.* // ПТЭ. 1999. Вып. 3. С. 103–104.
- [3] *Диденко А.Н., Юшков Ю.Г.* Мощные СВЧ импульсы наносекундной длительности, М.: Энергоатомиздат, 1984. 112 с.
- [4] *Артеменко С.Н., Каминский В.Л., Юшков Ю.Г.* // ЖТФ. 1993. Т. 63. Вып. 2. С. 105–112.

- [5] *Вихарев А.Л., Ковалев Н.Ф., Петелин М.И.* // Письма в ЖТФ. 1997. Т. 22. Вып. 19. С. 41–46.
- [6] *Новиков С.А., Разин С.В., Чумерин П.Ю., Юшков Ю.Г.* // Письма в ЖТФ. 1990. Т. 16. Вып. 20. С. 46–48.
- [7] *Артеменко С.И., Августинович В.А., Каминский В.Л.* и др. // РиЭ. 1997. Т. 42. № 8. С. 1011–1018.