

09;12

Компрессия микроволновых импульсов бочкообразным резонатором с винтовым гофром

© Ю.Ю. Данилов, С.В. Кузиков, В.Г. Павельев, Ю.И. Кошуринов

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

E-mail: danilov@appl.sci-nnov.ru

Нижегородский государственный университет

Поступило в Редакцию 7 июля 2000 г.

Экспериментально реализован предложенный в [1] компрессор микроволновых импульсов в виде резонатора, образованного отрезком сверхразмерного волновода с винтовой гофрировкой внутренней поверхности. В 3-сантиметровом диапазоне длин волн получена 5-кратная компрессия импульса с коэффициентом полезного действия $\approx 70\%$.

1. Один из способов осуществить компрессию микроволновых импульсов состоит в пропускании фазомодулированного импульса через резонатор кольцевого типа [2,3]. Энергетические параметры таких компрессоров обычно ограничены пробоем в элементе связи между резонатором и волноводом.

В [1] была предложена свободная от этого недостатка разновидность резонатора кольцевого типа на основе осесимметричной металлической структуры (рис. 1), состоящей из секций разного диаметра, соединенных плавными переходами. Собственные колебания резонатора заперты в слегка расширенной средней части трубы между закритическими сужениями. Связь между проходящей сквозь резонатор волной и рабочей модой резонатора — вращающейся модой шепчущей галереи — обеспечивается нанесенной на его поверхность небольшой в масштабе длины волны винтовой гофрировкой, параметры которой удовлетворяют условиям [1]:

$$m_j - m_s = \bar{m}, \quad h_j \approx \bar{h} = \frac{2\pi}{d},$$

где \bar{m} и d — число заходов и шаг гофра, m_s — азимутальный индекс резонирующей моды, m_j и h_j — азимутальный индекс и постоянная

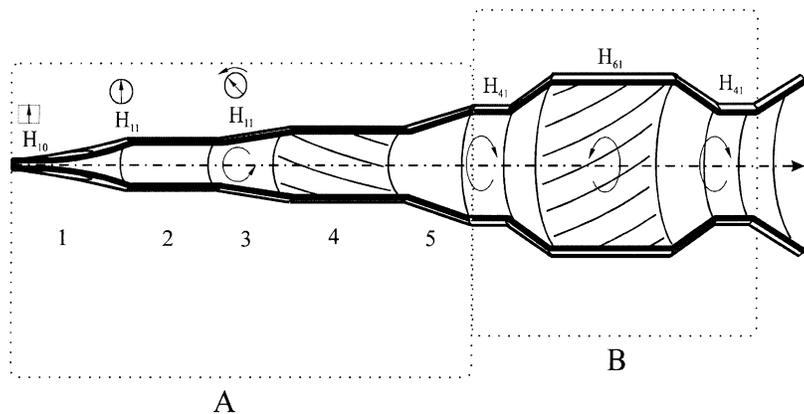


Рис. 1. А — модовый преобразователь, В — резонатор кольцевого типа.

распространения проходящей волны. Для подавления переизлучения в паразитные волны в резонаторе и волноводе используются моды с противоположным направлением вращения.

2. Эксперименты проводились с медным резонатором, параметры которого приведены в таблице. Резонатор на частоте 11.39 GHz на моде H_{61} правого вращения. Выбором в качестве резонансной моды H -типа было обеспечено отсутствие вносимого коническими участками паразитного рассеяния в моду E -типа с тем же азимутальным индексом. Ввод и вывод энергии из резонатора осуществлялся волной H_{41} левого вращения. Расчет резонатора сначала был проведен приближенным аналитическим методом [1], а затем более точно численно на основе модифицированного метода плоских поперечных сечений [4,5].

Ввод энергии в компрессор производился с помощью стандартного прямоугольного волновода с сечением 23×10 mm на волне H_{10} и системы преобразования этой волны в волну H_{41} (рис. 1), которая включала в себя следующие элементы: 1 — стандартный переход прямоугольного волновода с рабочей волной H_{10} к круглому волноводу с рабочей волной H_{11} , 2 — поляризатор в виде эллиптического волновода, на выходе которого волна H_{11} имеет правую круговую поляризацию, 3, 5 — конические переходы, 4 — круглый волновод с нанесенным на

Параметры резонатора

Длина гладких отрезков, mm	45.06
Длина конических отрезков, mm	10.41
Длина гофрированного отрезка, mm	59.59
Диаметр гладких отрезков, mm	59.84
Диаметр гофрированного отрезка, mm	63.54
Число заходов гофра	10
Шаг гофра, mm	37.08
Амплитуда гофра, mm	0.125
Нагруженная добротность (экспериментальные данные)	1140
Коэффициент связи с линией передачи (экспериментальные данные)	14

внутреннюю стенку пятизаходным винтовым гофром, осуществляющим преобразование волны H_{11} правого вращения в волну H_{41} левого вращения. Расчетная эффективность такой системы составляет $\sim 98\%$.

3. Компрессия импульса осуществлялась по так называемой SLED-схеме [2,3]. В течение большей части длительности входного импульса резонатор накапливает микроволновую энергию и излучает ее в волновод с фазой, противоположной фазе проходящей волны. За определенное время до конца импульса осуществляется переворот фазы входного сигнала, в результате чего проходящая волна суммируется с излучаемой из резонатора.

Схема экспериментальной установки представлена на рис. 2. Она включала в себя: 1 — микроволновый генератор, 2 — модулятор амплитуды, 3 — электрически управляемый фазовращатель на 2 полевых транзисторах с характерным временем¹ 1 ns, 4, 5 — генераторы импульсов, 6 — ферритовый вентиль, 7 — прецизионный аттенюатор, 8 — модовый преобразователь и резонатор кольцевого типа (рис. 1), 9 — рупорная антенна, 10 — детектор, 11 — микроволновый усилитель, 12 — осциллограф.

¹ Под характерным временем фазовращателя τ_f понимаем время, связанное с временем спада мощности входного импульса до нуля в процессе переворота фазы t_0 соотношением: $\tau_f = t_0 / \ln 2$.

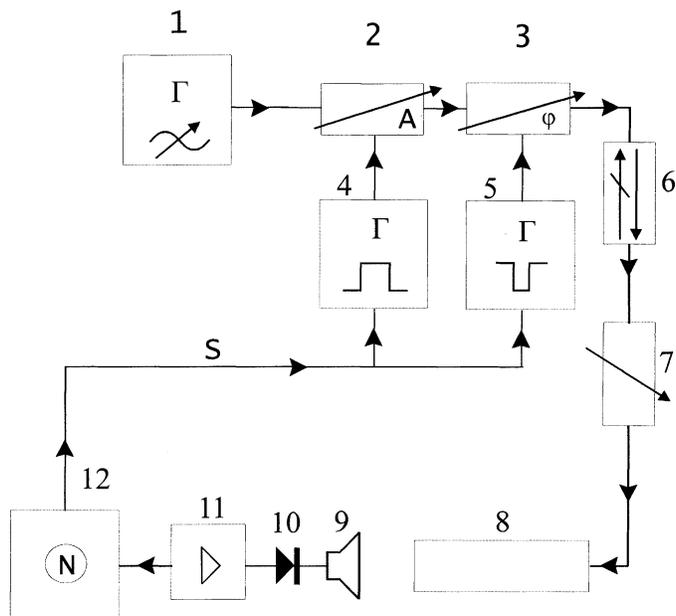


Рис. 2. Схема экспериментальной установки. S — синхронизация.

На рис. 3 представлены осциллограммы входного и выходного импульсов мощности. Работу компрессора принято характеризовать степенью компрессии импульса — отношением длительностей входного и выходного импульсов,² коэффициентом полезного действия (КПД) — отношением запасенных в выходном и входном импульсах энергий и коэффициентом усиления мощности, представляющим собой произведение степени компрессии и коэффициента полезного действия [2,3]. Согласно рис. 2, при 5-кратной компрессии импульса КПД составил $\approx 70\%$, а коэффициент усиления мощности ≈ 3.5 , что хорошо согласуется с расчетом, параметры для которого были взяты из результатов эксперимента. Так, отличие осциллограммы выходного импульса от

² Под длительностью входного импульса понимаем длительность его плоской вершины [3], равную 75 ns, под длительностью выходного импульса — время с момента включения фазовращателя до конца плоской вершины входного импульса.

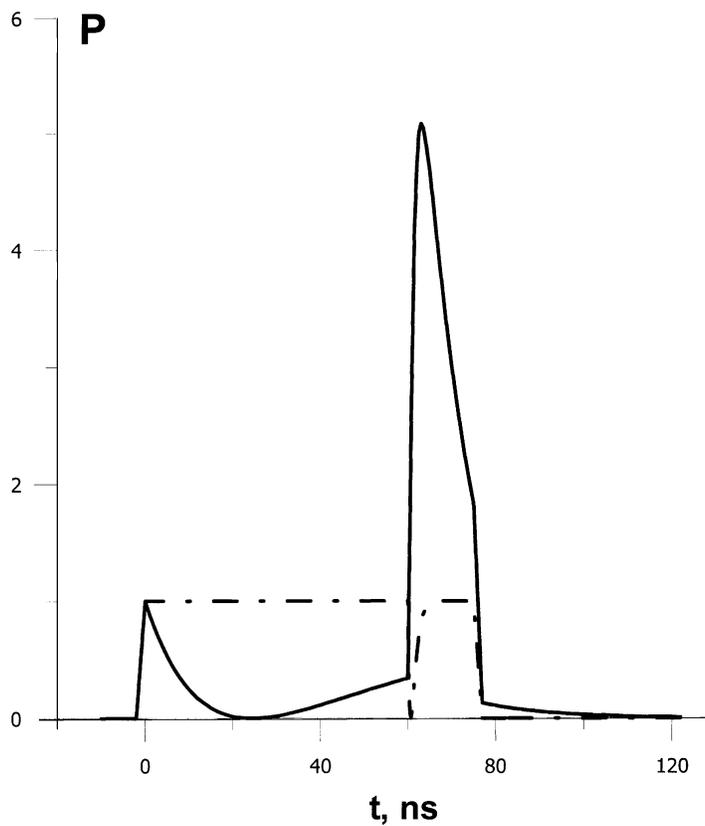


Рис. 3. Осциллограммы входного (пунктирная линия) и выходного (сплошная линия) импульсов мощности.

расчетной кривой находится в пределах 5%, что, по-видимому, связано с неточностью изготовления и настройки системы, а также погрешностями измерения.

4. Проведенный модельный эксперимент показал возможность эффективного сжатия микроволновых импульсов предложенным компрессором. Для использования такого компрессора в ускорительной технике необходим переход к более пространственно развитым модам.

Согласно [3], собственная добротность резонатора должна составлять не менее 100 000, поэтому резонирующая мода должна быть E -типа и ее азимутальный индекс должен составлять ~ 15 .

Авторы благодарят М.И. Петелина за постоянный интерес к работе.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты 96-02-16217-а и 99-02-17781).

Список литературы

- [1] Данилов Ю.Ю., Кузиков С.В., Петелин М.И. // ЖТФ. 2000. Т. 70. № 1. С. 65–67.
- [2] Farcas Z.D., Hogg H.A., Loew G.A., Wilson P.B. // Proc. 9th Conf. on High Energy Accelerator. SLAC, Stanford, CA, USA, 1974. P. 576–582.
- [3] Balakin V.E., Syrahev I.V. // Proc. of IIIrd European Particle Accelerator Conference. Berlin, Germany, 1992. P. 1173–1175.
- [4] Цимринг Ш.Е., Павельев В.Г. // Радиотехника и электроника. 1982. Т. 27. № 6. С. 1099–1102.
- [5] Павельев В.Г., Цимринг Ш.Е. // Радиотехника и электроника. 1987. Т. 32. № 6. С. 1121–1124.