

07

## **Компрессия микроволновых импульсов квазиоптическим резонатором с гофрированным зеркалом**

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

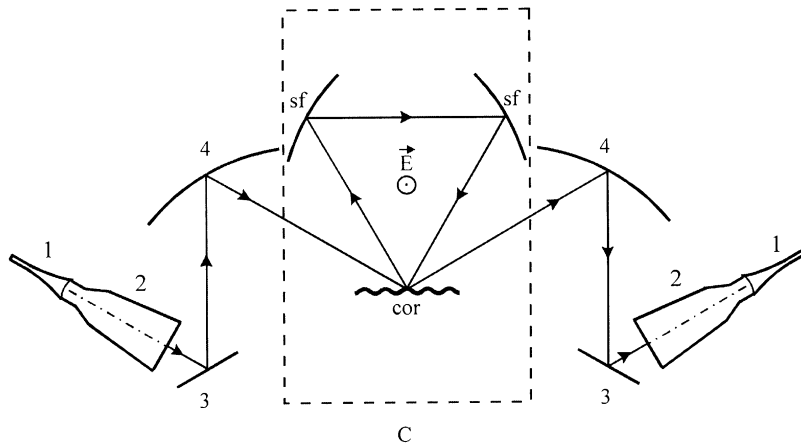
Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород  
Нижегородский государственный университет  
E-mail: danilov@appl.sci.-nnov.ru

Поступило в Редакцию 5 апреля 2001 г.

Экспериментально реализован компрессор микроволновых импульсов в виде трехзеркального резонатора, запитываемого волновым пучком посредством гофрировки одного из зеркал. В 9-миллиметровом диапазоне длин волн получена 5-кратная компрессия импульса с коэффициентом полезного действия  $\approx 70\%$ .

1. При переходе в коротковолновый диапазон СВЧ-волн в линейных ускорителях понижаются ограничения, связанные с СВЧ-пробоем ускоряющей структуры, и становятся достижимыми ускоряющие электрические поля в сотни мегавольт на метр, что позволяет существенно сократить длину ускорителя [1]. Использование компрессоров микроволновых импульсов удешевляет ускоритель по сравнению с вариантом, когда импульсная мощность поступает в ускорительную секцию непосредственно с выхода цепочки микроволновых усилителей [1]. Наиболее распространенным способом компрессии фазомодулированного микроволнового импульса в ускорительной технике является его пропускание сквозь резонатор кольцевого типа [2–4].

2. Уменьшение рабочей длины волны при сохранении уровня запасемой в резонаторе энергии и размеров резонатора в масштабе длины волны сопровождается ростом напряженности электрического поля в резонаторе, следствием чего может быть его СВЧ-пробой. Увеличение же объема резонатора с целью избежать СВЧ-пробоя приводит к росту омических потерь в его стенках и уширению резонансных кривых его собственных мод. Вследствие этого в диапазоне миллиметровых волн использование закрытых резонаторов становится нецелесообразным, и следует применять зеркальные резонаторы.



**Рис. 1.** Схема системы ввода-вывода энергии из исследуемого резонатора кольцевого типа. С — резонатор, cor — плоское гофрированное зеркало, sf — сферическое зеркало.

Одним из способов связи зеркального резонатора с передающей линией может быть гофрирование одного из зеркал (рис. 1, *a*). Поле над таким зеркалом представляет собой сумму дифракционных волновых потоков различных порядков. Период гофра подбирается так, что при рассеянии на гофрированном зеркале как возбуждающей резонатор волны, так и собственной моды резонатора вдали от гофрированной поверхности распространяющимися являются только волновые потоки 0 и  $(-1)$ -го порядков. Посредством волнового потока  $(-1)$ -го порядка и осуществляется связь резонатора с линией передачи (рис. 1).

3. В качестве исходных параметров компрессора были взяты величины, близкие к заложенным в проекте линейного ускорителя следующего поколения (с энергиями до 5 TeV) [5]: частота  $\approx 34$  GHz, длительность входного импульса 80 ps и степень компрессии импульса (отношение длительностей входного и выходного импульсов), равная 5. Главной задачей при создании компрессора являлось получение максимального КПД компрессии (отношения энергий, запасенных в выходном и входном импульсах). Согласно проведенным расчетам, для получения

Параметры резонатора.  $\parallel$  — в плоскости рис. 1,  $\perp$  — в перпендикулярной ей плоскости.

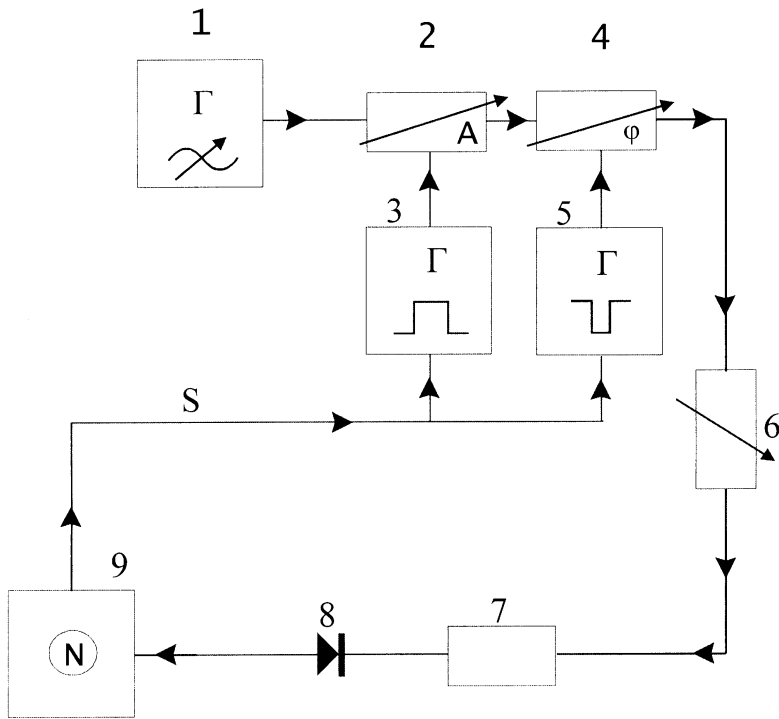
Поперечные размеры сферических зеркал, mm	$\parallel$ –180, $\perp$ –196
Радиус кривизны сферических зеркал, mm	1380
Поперечные размеры гофрированного зеркала, mm	$\parallel$ –181, $\perp$ –156
Период гофра, mm	6.46
Амплитуда гофра, mm	1.11
Расстояние между центрами зеркал, mm	296
Рабочая частота (экспериментальные данные), GHz	33.96
Нагруженная добротность (экспериментальные данные)	3400
Собственная добротность (экспериментальные данные)	65000

приемлемого КПД компрессии 70% и более внешняя добротность резонатора должна быть  $\sim 4000$ , а собственная добротность должна составлять не менее чем 50 000.

Исходя из вышеуказанных ограничений и результатов моделирования, для экспериментальной реализации был выбран равносторонний трехзеркальный резонатор (рис. 1), состоявший из двух сферических зеркал и плоского зеркала, на поверхность которого была нанесена синусоидальная гофрировка. Параметры резонатора приведены в таблице. В качестве рабочей моды резонатора была выбрана электропрочная мода с электрическим полем, параллельным канавкам гофра.

Система ввода энергии из СВЧ-генератора в резонатор была разработана исходя из диаметра освещенного пятна собственной моды резонатора на гофрированном зеркале. Она включала в себя (рис. 1): 1 — переход прямоугольного волновода с рабочей волной  $H_{10}$  к круглому волноводу с рабочей волной  $H_{11}$ , 2 — рупор, преобразующий волну  $H_{11}$  в гауссов пучок и состоящий из конически расширяющихся отрезков круглого волновода [6], 3 — цилиндрическое зеркало, 4 — сферическое зеркало. Вывод энергии из компрессора производился с помощью системы, идентичной системе ввода (рис. 1).

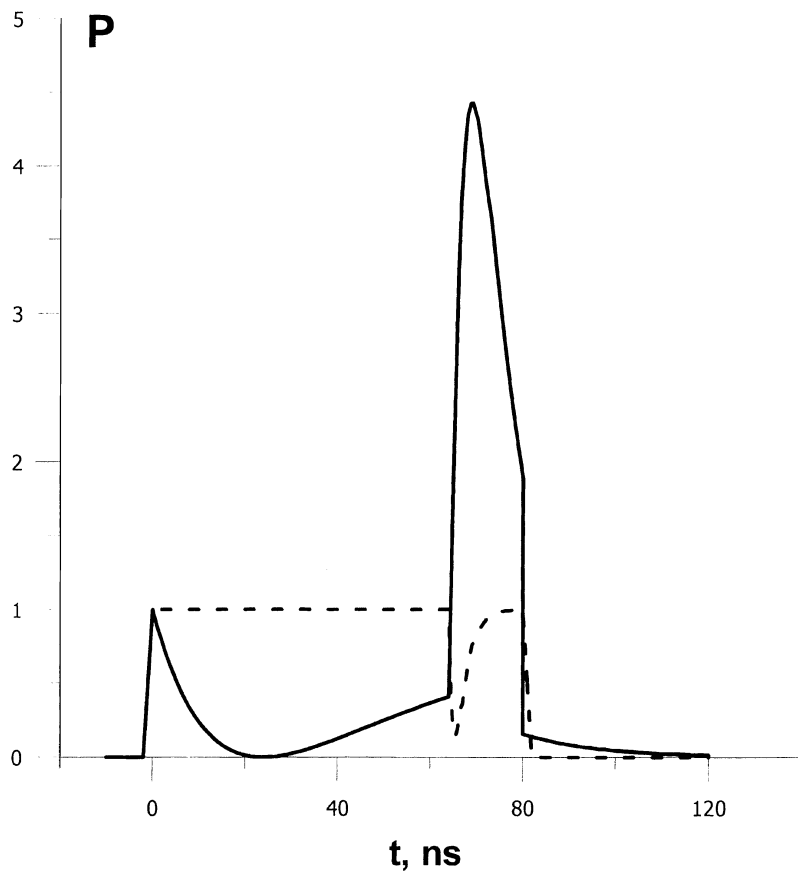
4. Схема экспериментальной установки представлена на рис. 2. Она включала в себя: 1 — СВЧ-генератор, 2 — электрически управляемый модулятор амплитуды, формирующий прямоугольную форму входного



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

микроволнового импульса, 3 — генератор импульсов для его питания, 4 — электрически управляемый фазовращатель с характерным временем переворота фазы на  $180^\circ$  2 ns, 5 — генератор импульсов для его питания, 6 — прецизионный аттенюатор, 7 — резонатор и системы ввода и вывода (рис. 1), 8 — детектор, 9 — осциллограф.

На рис. 3 представлены осциллограммы входного и выходного импульсов мощности. Для входного импульса длительностью 80 ns при 5-кратной компрессии КПД составил  $\approx 70\%$ , а коэффициент усиления мощности (произведение степени компрессии и КПД)  $\approx 3.5$  (при пиковой мощности выходного импульса 4.4), что хорошо согласуется с моделирующим расчетом, исходные параметры для которого были



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

взяты из результатов измерения резонатора. Отличие осциллограммы выходного импульса от расчетной кривой находится в пределах 5%.

5. Проведенный эксперимент показал возможность сжатия микроволновых импульсов квазиоптическим резонатором с КПД, не уступающим наиболее эффективным из существующих схем [2–4]. Представляется, что такой способ компрессии может найти применение в диапазоне от 1 см до 1 мм для запитки ускорителей частиц до энергий  $\sim 1$  TeV и более.

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

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты 99-02-17779 и 99-02-17781) и Международного научного фонда (№ NOT 000 и № NOT 300).

## Список литературы

- [1] *Лебедев А.Н., Перельштейн Э.А.* // Релятивистская высокочастотная электроника. Вып. 6 / Под ред. А.В. Гапонова-Грехова. Горький: ИПФ АН СССР, 1990. С. 217–255.
- [2] *Farcas Z.D., Hogg H.A., Loew G.A., Wilson P.B.* // Proc. 9-th Conf. on High Energy Accelerator. SLAC, Stanford, CA, USA, 1974. P. 576–582.
- [3] *Balakin V.E., Syrachev I.V.* // Proc. of III-rd European Particle Accelerator Conference. Berlin, Germany, 1992. P. 1173–1175.
- [4] *Данилов Ю.Ю., Кузиков С.В., Павельев В.Г., Кошуринов Ю.И.* // Письма в ЖТФ. 2001. Т. 27. В. 6. С. 59–64.
- [5] *Wilson P.B.* // SLAC-PUB-7944. April 1997.
- [6] *Denisov G.G., Kuzikov S.V.* // Conf. Digest of 20-th Int. Conf. on Infrared and Millimeter Waves. Orlando, 1995. P. 297–298.