

## Влияние межвидовой связи на компрессию радиоимпульсов в сверхразмерном резонаторе с интерференционным переключателем

© С.Н. Артеменко, В.А. Августинович

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

(Поступило в Редакцию 12 сентября 1997 г. В окончательной редакции 20 апреля 1998 г.)

Представлены результаты экспериментального исследования влияния межвидовой связи, возникающей на выходном окне резонатора, на компрессию радиоимпульсов в сверхразмерном цилиндрическом резонаторе с интерференционным переключателем, работающем на  $H_{01(n)}$ -виде колебаний. Влияние межвидовой связи на выходном окне резонатора на процесс вывода энергии проанализировано на основе простой модели, в которой взаимодействующие колебания представлены в виде системы двух связанных резонаторов. Результаты анализа сравниваются с экспериментальными данными.

1. Одним из перспективных способов быстрого вывода СВЧ энергии из сверхразмерных резонаторов с целью получения мощных наносекундных радиоимпульсов с большим запасом энергии считается способ, основанный на выводе через интерференционный переключатель [1–4]. Перспективность способа обусловлена простотой и хорошими потенциальными возможностями. Однако реализовать эти возможности пока не удастся: результаты экспериментов оказываются заметно ниже ожидаемых. Связано это, скорее всего, с демонстрационным характером проведенных экспериментов, не затрагивающих фундаментальные проблемы, без решения которых перспективность способа остается под вопросом. Одной из таких проблем является сохранение в сверхразмерных осесимметричных резонаторах высоких рабочих характеристик, наиболее подходящих для накопления энергии аксиально-симметричных  $H$ -видов колебаний. Опыт работы с такими резонаторами авторов говорит о том, что реальные процессы накопления и вывода в них существенно отличаются от сложившегося в [1–4] представления и причиной этого является взаимодействие колебаний на окне связи резонатора с переключателем.

В работе исследовано влияние межвидовой связи на работу СВЧ компрессора с интерференционным переключателем при накоплении и выводе энергии на  $H_{01(n)}$ -виде колебаний сверхразмерного цилиндрического резонатора.

2. Прежде всего на низком уровне мощности был исследован вопрос о собственной добротности рабочего вида колебаний, характеризующей степень чистоты вида. Исследования заключались в определении зависимости добротности и частоты резонатора от длины входного плеча переключателя и величины его связи с резонатором. Эксперименты проводились на медном резонаторе трехсантиметрового диапазона диаметром 90 мм и длиной, изменяемой от 50 до 250 мм с помощью бесконтактного поршня. Схема системы приведена на рис. 1, где 1 — резонатор; 2 — поршень; 3, 4 —

окна связи с ВЧ трактом 5 и переключателем 6, выполненным в виде  $H$ -тройника с входным плечом  $6a$ , коммутирующим  $6b$ , и выходным  $6c$ ; 7 — коммутатор. На низком уровне мощности переключатель заменялся волноводным шлейфом с закорачивающим плунжером, позволявшим регулировать длину шлейфа от 0 до  $5\lambda_w/2$  ( $\lambda$  — длина волны в волноводе). Шлейф имитировал входное плечо переключателя в режиме накопления. Резонатор работал в диапазоне частот 9.1–9.6 GHz, соответствующем полосе магнетрона, использованного в экспериментах на высоком уровне мощности. Число  $n$  — вариант поля рабочего вида по оси резонатора, которое с помощью поршня могло меняться от 3 до 14. Выбор рабочей частоты обуславливался стремлением сведения к минимуму воздействия на рабочий вид других видов. Расчетное значение добротности для рабочего вида с  $n = 3–14$  составляло  $0.8–1.3 \cdot 10^5$ .

На рис. 2 приведены зависимости добротности  $Q$   $H_{01(n)}$ -вида колебаний от диаметра  $d$  выходного окна для характерных длин шлейфа — ВЧ полуволновой (кривые  $\lambda^+/2$ ), при которой амплитуда сигнала со шлейфа максимальна и частота системы выше частоты резонатора с открытым переключателем; НЧ полуволновой ( $\lambda^-/2$ ), при которой амплитуда сигнала со шлейфа

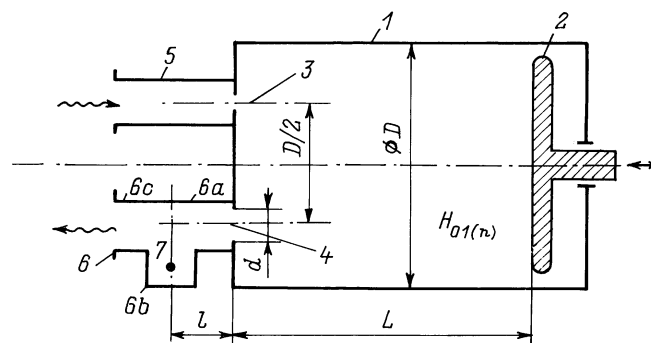
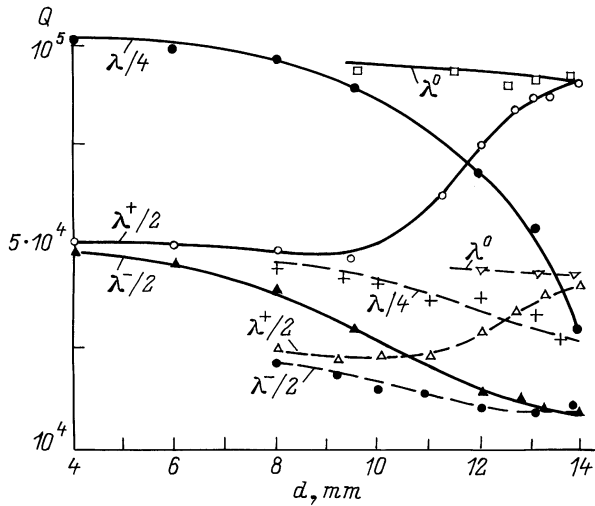
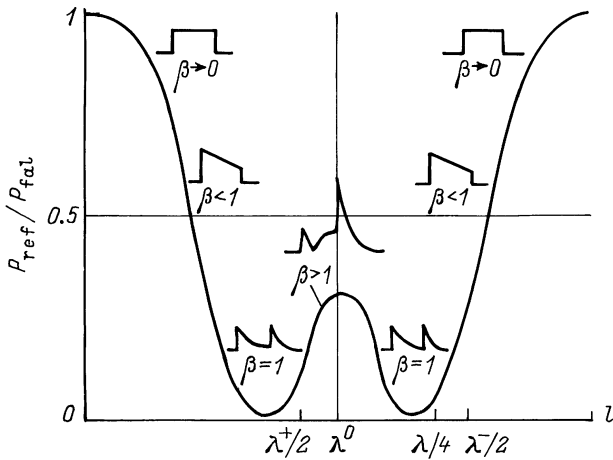


Рис. 1. Схема исследованного сверхразмерного резонатора с интерференционным переключателем.



**Рис. 2.** Зависимости добротности системы от диаметра окна связи резонатора с переключателем при различной длине входного плеча переключателя и различной величине входной связи.



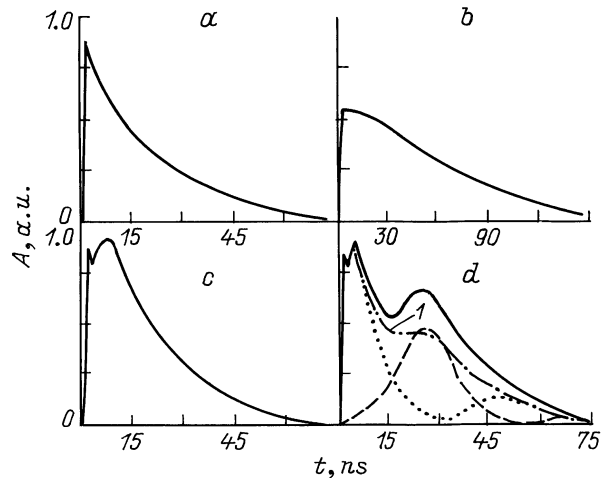
**Рис. 3.** Зависимость отраженной от системы ВЧ мощности от длины входного плеча переключателя в режиме качания частоты (1) и картины отраженных сигналов при импульсном возбуждении системы.

также максимальна, но частота ниже частоты резонатора с открытым переключателем; четвертьволновой ( $\lambda/4$ ), когда амплитуда волны в шлейфе минимальна и частота совпадает с частотой резонатора с открытым переключателем; наконец, оптимальной ( $\lambda^0$ ), соответствующей максимальной добротности и частоте резонатора в отсутствие выходного окна. Зависимости имеют место для любого  $n$ , но для каждого  $n$  только в определенных частотных "окнах". Есть участки частот, где рабочий вид выделить невозможно. Сплошные кривые получены при слабой входной связи  $\beta$  ( $\beta \rightarrow 0$ ), штриховые — при критической ( $\beta \rightarrow 1$ ).

Из рис. 2 видно, что при малом  $d$ , но уже обеспечивающем сильную связь резонатора со шлейфом, макси-

мальная добротность достигается при четвертьволновой длине шлейфа и такая его длина является оптимальной, тогда как при полуволновых длинах шлейфа работает как низкодобротная резонансная нагрузка. Эта ситуация соответствует описанной в [3]. Вместе с тем, при увеличении  $d$  характер поведения добротности меняется. При НЧ полуволновой длине добротность сильно падает, при четвертьволновой она также падает, но не так сильно, тогда как при ВЧ полуволновой после небольшого снижения начинает расти. Кроме того, фиксируется длина, при которой добротность почти постоянна и близка к добротности резонатора без переключателя и к которой по мере увеличения  $d$  эволюционирует добротность системы с ВЧ полуволновым шлейфом. Характер зависимостей одинаков как для слабой, так и для критической входной связи.

Такое поведение добротности, очевидно, связано с появлением связи колебаний на выходном окне. В случае слабой связи резонатора со шлейфом шлейф работает как низкодобротная резонансная или антирезонансная нагрузка основного объема и межвидовая связь слабая. По мере увеличения окна характер нагружения меняется. Из низкодобротной резонансной нагрузки шлейф превращается в слабое возмущение основного объема, практически не меняющее его характеристик. Однако при этом начинает преобладать межвидовое взаимодействие, которое приводит к падению добротности при четвертьволновой и НЧ полуволновой длине шлейфа. В противном случае рост добротности при увеличении  $d$  наблюдался бы как при ВЧ, так и НЧ полуволновой длине и оптимальная длина совпадала бы с четвертьволновой. Различная величина межвидовой связи на выходном окне определяется различной степенью искажения поля в области окна при различной длине шлейфа. Подтверждением этого является и эволюция коэффициента входной связи при изменении длины шлейфа, которая представлена на рис. 3 картинами отраженного сигнала в режиме качания частоты и в импульсном режиме, где оптимальной длине соответствует максимальное  $\beta > 1$



**Рис. 4.** Характерные огибающие выходных радиои импульсов.

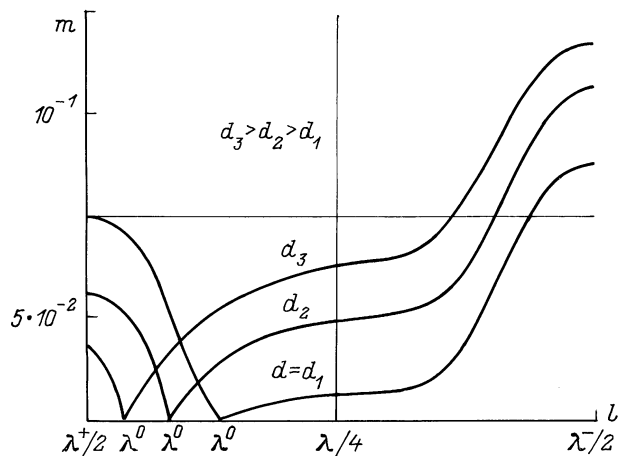


Рис. 5. Зависимости параметра межрезонансной (межвидовой) связи от длины входного плеча переключателя.

(на "горбе") с нагруженной добротностью не ниже добротности при  $\beta = 1$  (слева и справа от "горба").

3. Влияние межвидовой связи проявляется и на характеристиках выходных сигналов компрессора, что установлено в экспериментах на высоком уровне мощности, выполненных при питании системы магнетроном с импульсной мощностью  $\sim 60$  kW и длительностью импульсов  $\sim 1$   $\mu$ s. В переключателе использовался газоразрядный коммутатор, работавший при атмосферном давлении на воздухе либо в смеси воздуха с аргоном.

На рис. 4 показан характерный вид огибающих выходных импульсов, получаемых, когда выходное окно может служить элементом сильной межвидовой связи ( $d > 9$  mm). При меньшем диаметре окна вывод малоэффективен из-за слабой связи резонатора с нагрузкой. На рис. 4, а кривая соответствует выводу при НЧ полуволновой длине, б — при четвертьволновой, с — при ВЧ полуволновой с оптимальной в случае отсутствия или подавленной межвидовой связи, d — при ВЧ полуволновой и оптимальной при наличии сильной межвидовой связи.

Особенности огибающих обусловлены изменением структуры поля в области выходного окна в момент вывода, которое однозначно связано с изменением частоты системы при выводе. При накоплении энергии в системе с четвертьволновым либо НЧ полуволновым плечом накопление происходит на гибридном виде с равным распределением энергии между связанными колебаниями. Если система работает с НЧ полуволновым плечом, то в момент вывода происходит адиабатический рост ее частоты. Одновременно падает связь на окне и рабочий вид "облагораживается". Взаимная передача энергии при этом не происходит или происходит, но медленнее, чем затухают колебания за счет излучения в нагрузку. Поэтому, так же как и при четвертьволновом плече, когда частота системы и связь между колебаниями в режиме накопления и вывода неизменны и вывод осуществляется с каждого из видов независимо, при НЧ

полуволновой длине наблюдаются сигналы с практически чистым экспоненциальным спадом. Совершенно по-другому выглядит процесс при ВЧ полуволновой и оптимальной длине, когда накопление идет на достаточно чистом рабочем виде при слабой межвидовой связи, но в момент вывода, при уходе частоты системы, включается сильная межвидовая связь и наряду с выводом на рабочем виде происходит передача энергии и паразитному виду, что приводит к появлению "горба" на спаде выходного сигнала. Адиабатический уход частоты отмечен в [3] и подтвержден нами при измерении частоты сигнала методом смещения с опорным с известной частотой.

4. Процесс вывода в системе может быть описан с помощью модели, в которой взаимодействующие колебания представлены в виде связанных резонаторов [5]. При этом параметр  $m$  межвидовой связи может быть оценен из пропорциональности коэффициента межвидовой связи  $\gamma_{12}$  [6] и ухода частоты системы эффективному объему окна связи и соотношения  $m \approx 100\gamma_{12}$  [7]. На рис. 5 приведены зависимости  $m$  от длины  $l$  шлейфа для различных диаметров окна. Видно, что при любом  $d$  всегда имеется длина  $\lambda^0$ , при которой  $m = 0$ , и по мере роста  $d$  эта длина эволюционирует в сторону ВЧ полуволновой. На рис. 4, d кривой 1 представлена расчетная огибающая выходного сигнала с межвидовой передачей энергии при выводе, которая качественно хорошо согласуется с экспериментальной.

Таким образом, результаты исследования объясняют аномалии в процессе компрессии радиоимпульсов в сверхразмерном цилиндрическом резонаторе, работающем на  $H_{01(n)}$ -виде колебаний, и указывают способы их устранения. Положительным моментом межвидовой передачи энергии при выводе может быть ее использование для коррекции огибающей выходного сигнала.

Авторы благодарят Ю.Г.Юшкова за поддержку при выполнении работы.

## Список литературы

- [1] Диденко А.Н., Юшков Ю.Г. Мощные СВЧ импульсы наносекундной длительности. М.: Энергоатомиздат, 1984. 112 с.
- [2] Birx D., Dick G.L., Little W.A. et al. // Appl. Phys. Lett. 1978. Vol. 33. N. 5. P. 466–468.
- [3] Alvarez R.A., Birx D., Byrne D. et al. // IEEE Trans. on Magn. 1981. Vol. 17. N 1. P. 935–938.
- [4] Августинович В.А., Августинович Л.Я., Артеменко С.Н., Юшков Ю.Г. // Изв. вузов. Радиоэлектроника. 1987. Т. 30. Вып. 2. С. 90–92.
- [5] Артеменко С.Н. // Изв. вузов. Радиофизика. 1987. Т. 30. Вып. 10. С. 1289–1292.
- [6] Штейншлейгер В.Б. Явления взаимодействия волн в электромагнитных резонаторах. М.: Оборонгиз, 1955. 112 с.
- [7] Артеменко С.Н. // РиЭ. 1995. Т. 40. Вып. 8. С. 1184–1194.