

Краткие сообщения

09

Эффективность последовательной компрессии радиоимпульсов в цепочке связанных результатов

© С.Н. Артеменко

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

(Поступило в Редакцию 20 февраля 1998 г.)

Рассчитан КПД и коэффициент усиления при последовательной компрессии радиоимпульсов в цепочке связанных резонаторов.

В [1] представлены результаты экспериментов по формированию мощных сверхширокополосных радиоимпульсов методом последовательной резонансной компрессии в системе резонаторов, соединенных отрезками волноводов произвольной длины. В подобной системе в соединительных отрезках волноводов всегда присутствуют дополнительные потери энергии в период ее накопления, обусловленные потерями на отражение от резонаторов каждой из ступеней. Величина этих потерь, как нетрудно показать, может составлять $\sim 10\%$ для двухступенчатой системы и $\sim 15\text{--}20\%$ для трехступенчатой. Поэтому, например, КПД подобных трехступенчатых, "теплых" систем не может превышать 40% . Соответственно из-за указанных потерь будет снижаться и коэффициент усиления системы. В связи с этим несомненный интерес представляет последовательная компрессия радиоимпульсов в цепочке связанных резонаторов, в которой соединительные отрезки волноводов отсутствуют и резонатор предыдущей ступени связан с резонатором последующей непосредственно.

Пример такой системы представлен на рисунке, где 1 — ВЧ-генератор; 2 — ферритовый вентиль; 3 — фазовращатель; 4 — накопительные резонаторы каждой из ступеней; 5 — коммутаторы осуществляющие переключение резонаторов из режима накопления в режим вывода; 6 — нагрузка; h_1, h_2 — элементы межрезонаторной связи. В системе используется наиболее часто применяемый на практике интерференционный способ быстрого регулирования связи резонатора с внешней нагрузкой. Идея системы заключается в использовании в ней для последовательной компрессии радиоимпульсов колебательного процесса передачи энергии из одного резонатора в другой. При этом с целью сведения потерь в системе к минимуму связь между ступенями последовательности, очевидно, должна быть выбрана такой, чтобы за время двойного пробега волны вдоль резонатора предыдущей ступени энергия полностью передавалась в резонатор последующей ступени. Потери энергии в этом случае будут происходить только в стенках резонаторов в течение времени передачи энергии от одной ступени к

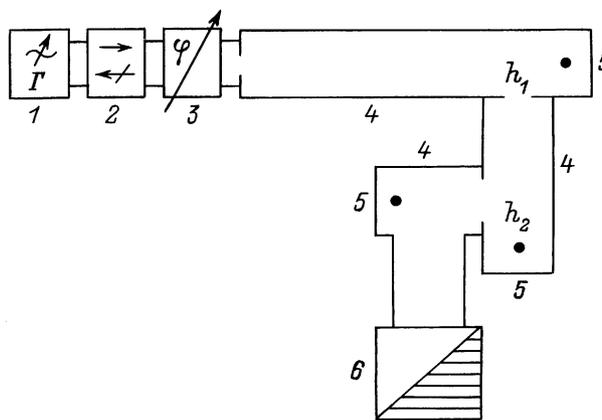
другой (потери в коммутаторах и на отражение в первой ступени не рассматриваются, так как они присутствуют при любой схеме компрессии).

Для определения КПД и коэффициента усиления системы воспользуемся результатами работы [2], в которой показано, что процесс передачи энергии от одного резонатора к другому при мгновенном включении сильной связи между ними идет по закону, описываемому функцией

$$b_i^2(t) = b_{i-1}^2 \exp(-t/\tau_i) T_{i-1} \sin^2(\Omega_i t)/T_i, \quad (1)$$

где b_i — амплитуда бегущей волны резонатора i -й ступени, $\tau_i = T_i/2\alpha_i$ — постоянная звучания i -го резонатора, α_i — постоянная затухания волны при двойном пробеге этого резонатора, $\Omega_i \approx h_i/\sqrt{T_i T_{i-1}}$ — частота взаимной передачи энергии из одного резонатора в другой и обратно; T_i — время двойного пробега волны вдоль i -го резонатора.

Из (1) следует, что для передачи энергии из предыдущей ступени в последующую за время, равное времени двойного пробега волны вдоль резонатора предыдущей ступени, необходимо, чтобы параметр связи между резо-



Система последовательной компрессии радиоимпульсов в цепочке связанных резонаторов.

наторами удовлетворял равенству

$$h_i = (\pi \sqrt{T_i/T_{i-1}})/2. \quad (2)$$

В этом случае, используя известное выражение для эффективности накопления первой ступени [3]

$$\eta_1 = 4\beta\tau_1(1 - \exp(-(1 + \beta)/2\tau_1))^2/t_0(1 + \beta)^2 \quad (3)$$

для КПД η и коэффициента усиления M_N^2 системы N резонаторов, нетрудно получить следующие выражения:

$$\begin{aligned} \eta &= \eta_1 \prod_{i=2}^N \exp(-T_{i-1}/\tau_i) \approx \eta_1 \prod_{i=2}^N (1 - T_{i-1}/\tau_i) \\ &= \eta_1 \prod_{i=2}^N (1 - 2\alpha_i - 1), \quad (4) \end{aligned}$$

$$M_N^2 = \eta t_0/T_N, \quad (5)$$

где t_0 — длительность входного импульса системы.

Из последних выражений следует, что при последовательной компрессии в системе связанных резонаторов КПД и коэффициент усиления могут быть существенно выше, чем в последовательности резонаторов, соединенных через отрезки волноводов произвольной длины, и практически может определяться только эффективностью накопления первой ступени.

Отметим также, что последовательная компрессия в цепочке связанных резонаторов может быть эффективной и при использовании в ней сверхразмерных резонаторов, применение которых в последовательности со связью через отрезки волноводов из-за экспоненциального спада выходных импульсов таких резонаторов, как правило, ограничено только первой ступенью. Это открывает возможность формирования наносекундных радиоимпульсов с относительно большим запасом энергии в компрессорах с выводом энергии через интерференционные переключатели на основе прямоугольных волноводных тройников. Например, в 10-сантиметровом диапазоне при длительности входного импульса $3 \mu\text{s}$ и длительности выходного импульса второй ступени 3 ns при эффективности накопления первой ступени 60% и мощности генератора 2 MW , согласно (4), (5) (с учетом того, что в (4) время T_{i-1} должно быть заменено на время передачи энергии t_n , $T_{i-1} \ll t_n \ll \tau_i$), могут быть получены наносекундные радиоимпульсы с пиковой мощностью $\approx 1 \text{ GW}$. Общий КПД системы при отношении времени передачи энергии к постоянной звучания резонатора второй ступени ≤ 0.1 будет близок к 55% , тогда как при компрессии с потерями на отражение из-за экспоненциального спада выходного сигнала первой ступени общий КПД не превысит 35% .

Список литературы

- [1] Диденко А.Н., Новиков С.А., Разин С.В. и др. // ДАН СССР. 1991. Т. 321. № 3. С. 518–520.
- [2] Артеменко С.Н. // Изв. вузов. Радиофизика. 1987. Т. 30. № 10. С. 1289–1292.
- [3] Бараев С.В., Коровин О.П. // ЖТФ. 1980. Т. 50. Вып. 11. С. 2465–2467.