

## Компрессор высокочастотной мощности

© В.И. Иванников, Ю.Д. Черноусов, И.В. Шеболаев

Институт химической кинетики и горения СО РАН,  
630090 Новосибирск, Россия

(Поступило в Редакцию 18 августа 1997 г.)

Предложен компрессор высокочастотной мощности, содержащий два резонатора стоячей волны, включенных в боковую стенку волновода, для формирования усиленных высокочастотных импульсов.

Мощные высокочастотные импульсы можно получить при быстром выводе накопленной энергии из компрессоров — систем, содержащих высокодобротные накопительные резонаторы и устройства ввода-вывода [1]. Широкое практическое применение получила система SLED [2], в которой компрессор содержит два накопительных резонатора и трехдецибелный ответвитель (мост). Накопление высокочастотной энергии в компрессоре происходит при включении генератора, подсоединенного к системе, вывод — при быстром перевороте фазы генератора на  $\pi$ . С момента предложения схема компрессора применяется практически в неизменном виде, что объясняется ее простотой и функциональностью. Для уменьшения напряженности электрического поля в отверстии связи резонатора с волноводом предложено увеличить количество отверстий связи до двух [3]. Устройство может быть выполнено и без моста за счет применения резонатора бегущей волны (система VPM [4]), однако это неприемлемо в десятисантиметровом диапазоне длин волн из-за отсутствия достаточно компактных высокодобротных резонаторов такого типа.

Включая резонаторы в боковую стенку волновода (используя схему "параллельной связи" резонаторов с линией с компенсацией отражения [5]), можно выполнить компрессор без моста на резонаторах стоячей волны. Схема такого устройства приведена на рис. 1. Резонаторы *A*, *B*, например, на типе колебаний  $H_{102}(A)$  и  $H_{101}(B)$  связаны по узкой стенке с волноводом (4,5) отверстиями связи 1-3, при этом отверстия 1 и 2 одинаковы. Полагаем, что резонансные частоты резонаторов одинаковы и равны частоте возбуждающего сигнала  $\omega$ . Расстояние между отверстиями связи 1 и 2 равно  $\lambda_g/2$ ,

между 1 и 3 —  $\lambda_g/4$ , где  $\lambda_g$  — длина волны в волноводе, т. е. отверстия связи 1, 2 расположены симметрично относительно отверстия 3. С помощью такого устройства можно формировать усиленные импульсы высокочастотной мощности аналогично схеме [2]. Для обоснования рассмотрим переходные процессы в системе. Пусть на вход 4 системы при  $t \geq 0$  поступает волна с амплитудой  $a$ , а на выходе [5] формируется волна  $a_{out}$ . Каждое из отверстий связи в произвольный момент времени излучает симметричные волны в сторону выводов 4, 5. Излученные волны интерферируют друг с другом и падающей волной. Для величин запасенной энергии в резонаторах  $W_1, W_2$  можно записать [6]

$$dW_1/dt = P_{41} - P_{14} - P_{13} + P_{31} + P_{32} - P_{23} - P_{25} - P_{11},$$

$$dW_2/dt = P_{13} - P_{31} + P_{23} - P_{32} - P_{22}, \quad (1)$$

где  $P_{41} = a^2/2$  — мощность падающего на вход 4 сигнала;  $P_{14} = (2T_1a_1 - T_2a_2)^2/2$ ;  $P_{13} = (a - T_1a_1)^2/2$ ;  $P_{31} = (T_2a_2 - T_1a_1)^2/2$ ;  $P_{32} = (a - T_1a_1 - T_2a_2)^2/2$ ;  $P_{23} = T_1^2a_1^2/2$ ;  $P_{25} = (a - 2T_1a_1 - T_2a_2)^2/2 = a_{out}^2/2$  — мощность сигнала, прошедшего за отверстие 2 и излученного с выхода 5 системы;  $P_{11} = \omega W_1/Q_1$ ,  $P_{22} = \omega W_2/Q_2$  — мощности потерь в резонаторах;  $a_1, a_2$  — амплитуды волн в первом и втором резонаторах;  $T_1, T_2$  — коэффициенты передачи соответственно отверстий связи 1-3;  $Q_1, Q_2$  — собственные добротности резонаторов.

Вводя обозначения  $V_1^2/2 = W_1$ ;  $V_2^2/2 = W_2$ , можно показать  $2T_1a_1 = V_1(\omega k_1/2Q_1)^{1/2}$ ;  $T_2a_2 = V_2(\omega k_2/2Q_2)^{1/2}$ , где  $k_1, k_2$  — коэффициенты связи соответственно резонаторов *A* и *B* с волноводом 4, 5. Подставляя эти соотношения в (1) для  $V_1, V_2$ , получим

$$dV_1/dt = a(\omega k_1/2Q_1)^{1/2} - (1 + k_1)\omega V_1/2Q_1,$$

$$dV_2/dt = a(\omega k_2/2Q_2)^{1/2} - (1 + k_2)\omega V_2/2Q_2. \quad (2)$$

Переменные разделяются и решения для  $V_1, V_2$  независимы

$$V_1 = a(2Q_1k_1/\omega)^{1/2}(1 - \exp(-t/\tau_1))/(1 + k_1),$$

$$\tau_1 = 2Q_1/\omega(1 + k_1),$$

$$V_2 = a(2Q_2k_2/\omega)^{1/2}(1 - \exp(-t/\tau_2))/(1 + k_2),$$

$$\tau_2 = 2Q_2/\omega(1 + k_2).$$

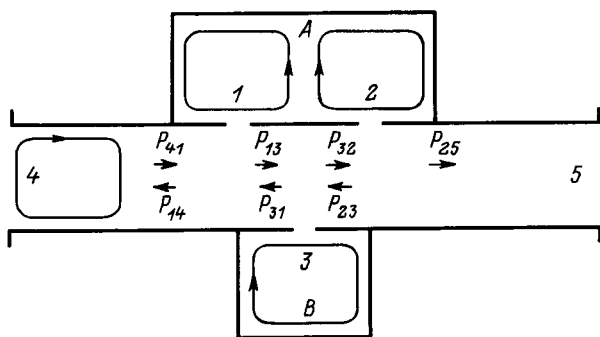


Рис. 1.

Связи между резонаторами нет, поскольку при выбранной симметричной геометрии отверстий связи системы волны, излученные из отверстий 1 и 2 резонатора А, приходят к отверстию 3 резонатора В в противофазе, резонатор В этими волнами не возбуждается. Соответственно не возбуждается и резонатор А волнами, излученными из резонатора В. Поэтому установление колебаний в каждом резонаторе происходит независимым образом и сдвиг фаз между ними определяется только расстоянием между отверстиями связи 1 и 3 и равен  $\pi/2$ .

Пусть  $k_1 = k_2 = k$ ,  $Q_1 = Q_2 = Q$ ,  $\tau_1 = \tau_2 = \tau = 2Q/\omega(1+k)$ . В этом случае компрессор не отражает в переходном и установившемся режиме и прошедшая волна  $a_{out}$  определяется соотношением  $a_{out} = a(1 - \exp(-t/\tau))(1-k)/(1+k)$ . При  $k = 1$  в установившемся режиме реализуется условие критической связи всего компрессора с линией: система не отражает и  $a_{out} = 0$ . При этом каждый резонатор также критически связан с волноводом. При  $k \gg 1$  в установившемся режиме подобно [2]  $a_{out} \approx -a$  (характерная особенность компрессоров SLED-типа — на выходе системы фаза прошедшей волны противоположна фазе падающей волны). Если изменение фазы генератора на  $\pi$  (режим вывода [2]) осуществляется после завершения процесса накопления энергии, то прошедшая волна  $a_{out} = -a[1 + (2k/(1+k))\exp(-t/\tau)]$ . Здесь  $t = 0$  соответствует началу вывода. При больших  $k$  аналогично [2] волна  $a_{out} \approx -3a$  в начале вывода.

Работа схемы проверялась на частоте  $f = 2856$  МГц на низком уровне мощности. Резонаторы были изготовлены из стандартного прямоугольного волновода сечением  $72 \times 34$  мм. Проверялись характерные точки настройки при коэффициентах связи резонаторов с линией  $k = 1$  и 4.5. Для одиночного резонатора, включенного в боковую стенку волновода, связь между коэффициентом стоячей волны  $\rho$  в линии и  $k$  на резонансной частоте имеет вид  $\rho = 2k + 1$ . Настраивался отдельно каждый резонатор и их частоты совмещались. Полосовая характеристика сигнала, проходящего настроенную систему, при любых  $k$  имеет вид кривой с одним минимумом, симметричной относительно частоты  $f$ . При  $k = 1$  на частоте  $f$  мощность практически полностью поглощается в резонаторах. При  $k = 4.5$  уровень прошедшего сигнала у согласованной пары составлял  $-4$  дБ (расчетное значение  $-3.9$  дБ). Зависимость  $\rho$  от частоты (полосовая характеристика отраженного сигнала пары резонаторов) в этом случае из-за разной собственной добротности имеет вид двугорбой кривой (рис. 2) с минимумом на частоте  $f$  ( $\rho = 1.08$ ). В максимумах отражения  $\rho \approx 1.3$ . Импульсные измерения проводились при работе высокочастотного генератора в непрерывном режиме, при этом с частотой 1 кГц осуществлялся переворот фазы на  $\pi$ . Измеренный коэффициент усиления при  $k = 1$  составлял 5.5 дБ (расчетное значение 6 дБ), при  $k = 4.5$ —7.6 дБ (8.4 дБ). Измерения показали, что при  $k = 1$  и 4.5 качественные и количественные параметры системы близки к расчетным. Отличия экспериментальных данных от рас-

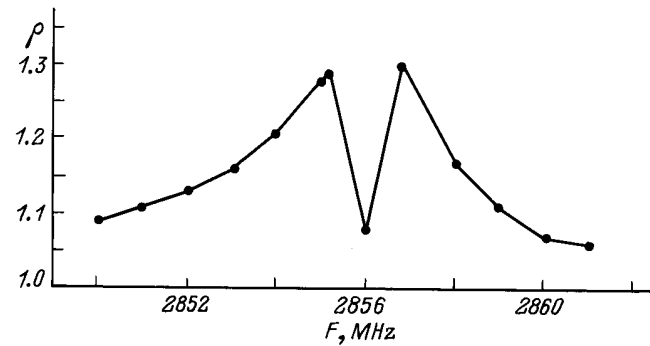


Рис. 2.

четных связаны с неточностью изготовления и настройки системы, погрешностями измерения, а также потерями на излучение из резонаторов во время переворота фазы генератора.

Рассмотренный компрессор импульсной высокочастотной мощности имеет основные положительные особенности системы SLED, выгодно отличаясь отсутствием моста. Такая конструкция может быть применена при разработках систем компрессии. Отметим, что возможность выполнения связи резонатора на типе колебаний  $H_{015}$  с закороченным на конце волноводом двумя отверстиями, сдвинутыми на  $\lambda_g/2$ , проверена в [3]. В предложенном устройстве это реализовано при бегущем режиме волны в волноводе и с резонатором на типе колебаний  $H_{102}$ . Поскольку структура полей в области отверстий связи у резонаторов на типах  $H_{102}$  и  $H_{015}$  совпадает, то результаты данной работы пригодны и для резонаторов на типе колебаний  $H_{015}$ .

## Список литературы

- [1] Диденко А.Н., Юшков Ю.Г. Мощные СВЧ импульсы наносекундной длительности. М.: Энергоатомиздат, 1984. 112 с.
- [2] Farkas Z.D. et al. // Proc. 9<sup>th</sup> Conf. on High Energy Accelerator. 1974. P. 576–582.
- [3] Matsumoto H. et al. // Nucl. Instr. and Meth. 1993. Vol. A330. P. 1–11.
- [4] Balakin V.E., Syrachev I.V. // Proc. III Intern. European Particle Accelerator Conf. 1992. P. 1173–1175.
- [5] Иванников В.И., Черноусов Ю.Д., Шеболаев И.В. // ЖТФ. 1986. Т. 56. Вып. 12. С. 2407–2408.
- [6] Иванников В.И., Черноусов Ю.Д., Шеболаев И.В. // ЖТФ. 1996. Т. 66. Вып. 5. С. 162–167.