

09

Возбуждение резонатора микроволновым импульсом, прошедшим через безотражательный резонаторный компрессор

© Ю.Ю. Данилов

Институт прикладной физики РАН,
603950 Нижний Новгород, Россия
email: danilov@appl.sci-nnov.ru

(Поступило в Редакцию 24 января 2012 г.)

Рассмотрено возбуждение резонатора фазомодулированным импульсом, прошедшим сквозь цепочку безотражательных резонаторов. Для линейно модулированного по частоте прямоугольного импульса показано, что введение двухрезонаторного компрессора в 4 раза увеличивает энергию, накопленную в резонаторе, при той же эффективности его возбуждения.

Эффективность возбуждения резонатора монохроматическим микроволновым импульсом была изучена в работе [1]. В настоящей работе обсуждается вопрос о повышении энергии, накопленной в резонаторе (при сохранении эффективности его возбуждения), посредством предварительной компрессии питающего фазомодулированного импульса. Таким компрессором может служить цепочка безотражательных резонаторов [2,3]. Собственные потери и у возбуждаемого резонатора, и у компрессора полагаем отсутствующими.

Возбуждение собственной моды резонатора с комплексной амплитудой C_s микроволновым импульсом $\text{Re}\{C_g(t) \exp(i\omega_g t)\}$ описывается уравнением [4,5]

$$\frac{dC_s(t')}{dt'} + [1 - i(\omega'_s - \omega_g)\tau_s]C_s(t') = C_g(t'), \quad (1)$$

где $t' = t/\tau_s$, $\tau_s = 2Q_s/\omega'_s$, Q_s и ω'_s — внешняя добротность и действительная часть собственной частоты.

Эффективность возбуждения резонатора η определяется как отношение накопленной в нем энергии W_s к энергии питающего импульса W_{in} [1]: $\eta(t) = W_s(t)/W_{in}$. Для прямоугольного монохроматического импульса максимальная эффективность возбуждения составляет 81.5% [1], чему соответствует $t = T_0$, $\omega_g = \omega'_s$, $T_0/\tau_s = 1.256$, где T_0 — длительность питающего импульса.

Работу компрессора будем описывать максимальной эффективностью возбуждения резонатора η_m , степенью компрессии импульса s и приростом накопленной в резонаторе энергии W_g [2]:

$$\eta_m = \frac{W_{sm}}{W_{in}}, \quad s = \frac{T}{T_0}, \quad W_g = \frac{W_{sm}}{W_0},$$

где $W_{sm} = W_s(t_m)$ и W_0 — максимальные значения накопленной в резонаторе энергии в присутствии и в отсутствие компрессора, T — длительность питающего импульса в присутствии компрессора.

Компрессия микроволнового импульса цепочкой из N безотражательных резонаторов в пренебрежении дисперсии в линии передачи описывается системой урав-

нений [2,3]

$$\begin{aligned} \frac{dC_n(t)}{dt} - i(\omega_n - \omega_g)C_n(t) \\ = \frac{dC_{n-1}(t)}{dt} - i(\omega_n^* - \omega_g)C_{n-1}(t), \end{aligned} \quad (2)$$

где $1 \leq n \leq N$, $\omega_n = \omega'_n(1 + i/2Q_n)$ — собственная частота n -го резонатора компрессора, C_n — комплексная амплитуда импульса на выходе n -го резонатора компрессора.

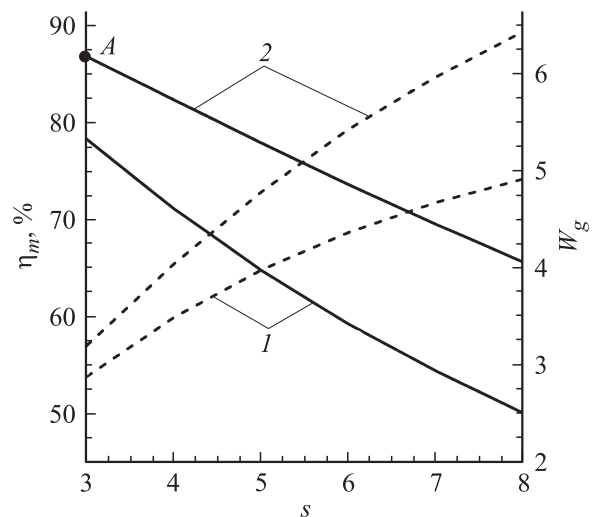


Рис. 1. Характеристики оптимизированных компрессоров: максимальная эффективность возбуждения η_m (сплошные линии) и прирост энергии W_g (штриховые линии) как функции степени компрессии s : 1 — однорезонаторный компрессор, 2 — двухрезонаторный компрессор.

Параметры оптимизированного компрессора для варианта A на рис. 1

α	δ	β_1	γ_1	β_2	γ_2	ξ_m
9.01	9.43	-1.82	1.57	4.58	2.58	1

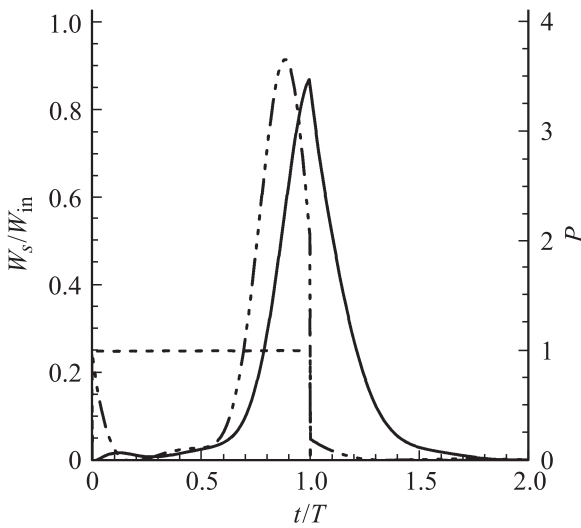


Рис. 2. Временные зависимости накопленной в резонаторе энергии (сплошная линия) и мощностей импульса на входе (штриховая линия) и выходе (штрихпунктирная линия) компрессора для варианта А на рис. 1.

Ограничимся рассмотрением питающего импульса с прямоугольной огибающей и линейным законом частотной модуляции, который является легко реализуемым [6,7]. В этом случае для сформулированной задачи максимальная эффективность возбуждения η_m и прирост энергии W_g представляют функции безразмерных параметров $s, \alpha, \delta, \beta_n, \gamma_n$ и ξ_m :

$$\alpha = \frac{\mu T^2}{2}, \quad \delta = (\omega'_s - \omega_g) T, \quad \beta_n = (\omega'_n - \omega_g) T,$$

$$\gamma_n = \frac{\omega'_n T}{2Q_n}, \quad \xi_m = \frac{t_m}{T},$$

где μ — скорость изменения частоты ω питающего импульса во времени.

Для поиска максимума эффективности возбуждения и прироста энергии при фиксированной степени компрессии использовался модифицированный метод Хука–Дживса [8], который хорошо зарекомендовал себя при расчетах различных микроволновых устройств [3,9,10]. Уравнения (1) и (2) интегрировались методом Рунге–Кутты четвертого порядка с переменным шагом.

Из результатов оптимизации (рис. 1) следует, что введение двухрезонаторного компрессора в 4 раза увеличивает накопленную в резонаторе энергию при той же максимальной эффективности возбуждения, что и в отсутствие компрессора. Характерные для двухрезонаторного компрессора временные зависимости накопленной в резонаторе энергии и мощности импульса на выходе компрессора приведены на рис. 2, соответствующие им оптимизированные параметры в таблице. Большее число резонаторов при практической реализации компрессоров малоцелесообразно, поскольку, как показано в [3], с увеличением числа резонаторов в компрессоре робастность оптимальных параметров существенно уменьшается.

Список литературы

- [1] Бараев С.В., Коровин О.П. // ЖТФ. 1980. Т. 50. Вып. 11. С. 2465–2467.
- [2] Petelin M.I., Tai M.L. // AIP Conf. Proc. 1995. N 337. P. 303–310.
- [3] Данилов Ю.Ю., Тай М.Л. // ЖТФ. 2001. Т. 71. Вып. 4. С. 99–101.
- [4] Вайнштейн Л.А. Электромагнитные волны. М.: Радио и связь, 1988. 440 с.
- [5] Хаус Х. Волны и поля в оптоэлектронике. М.: Мир, 1988. 432 с.
- [6] Кочемасов В.Н., Белов Л.А., Окочешников В.С. Формирование сигналов с линейной частотной модуляцией. М.: Радио и связь, 1983. 192 с.
- [7] Данилов Ю.Ю., Кузиков С.В., Павельев В.Г. и др. // ЖТФ. 2005. Т. 75. Вып. 4. С. 131–133.
- [8] Банди Б. Методы оптимизации. Вводный курс. М.: Радио и связь, 1988. 128 с.
- [9] Гунта К., Гардж Р., Чадха Р. Машинное проектирование СВЧ устройств. М.: Радио и связь, 1987. 432 с.
- [10] Мануилов М.Б. // Радиотехника и электроника. 2000. Т. 45. № 1. С. 55–61.