

УДК 621.373.7

О СОВМЕСТНОЙ РАБОТЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ГЕНЕРАТОРОВ

А. А. Дворников, В. И. Огурцов

Методом медленно меняющихся амплитуд исследована совместная работа двух параметрических генераторов, питаемых от одного источника накачки. Параметрические элементы емкостные. Генераторы резистивно связаны по цепям параметрических колебаний. На основе полученных укороченных уравнений системы получены стационарные уравнения равноамплитудных режимов, проанализирована их устойчивость в полосах возможных частотных расстройк. Показано, что рассмотренная система имеет ряд особенностей по сравнению с системой резистивно связанных на основном тоне одноконтурных автогенераторов. Приведены некоторые экспериментальные результаты.

В литературе имеется много работ, посвященных анализу совместной работы автогенераторов, проблеме их взаимной синхронизации и т. п. (например, [1-6]). Исследование совместной работы параметрических генераторов, взаимосвязанных по цепям параметрических колебаний, также представляет определенный интерес. Взаимная синхронизация параметрических генераторов осуществляется за счет синхронизма сигналов накачки одной и той же частоты, подаваемых на разные генераторы. При этом за счет взаимных связей, возможно определенное взаимное фазирование параметрических колебаний генераторов. Исследование этого вопроса применительно к резистивной связи между двумя одноконтурными параметрическими генераторами (рис. 1) посвящена предлагаемая работа.

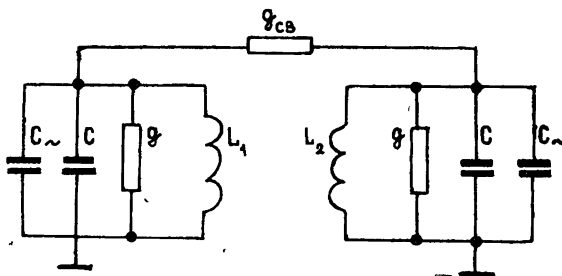


Рис. 1. Эквивалентная схема рассматриваемой системы.

Емкость C_{\sim} меняется под воздействием накачки. Не ограничивая общности изложения, будем считать, что C_{\sim} меняется по закону

$$C_{\sim} = C_0(U_n, U) \cos(\omega_n t + \psi_n),$$

где U — амплитуда параметрических колебаний на параметрической емкости C_{\sim} , U_n — амплитуда накачки, ψ_n — начальная фаза напряжения накачки, приложенного к параметрической емкости, ω_n — частота накачки. Для простоты считаем $\omega_n = 2\omega_0 + a$, где ω_0 — частота стацио-

нарных параметрических колебаний в системе рис. 1, a — малая расстройка.

Аналогично [5], для медленно меняющихся амплитуд U_1 , U_2 и фаз ψ_1 , ψ_2 напряжений на параметрических элементах соответственно первого и второго параметрических генераторов получаем укороченные уравнения:

$$2C \frac{dU_i}{dt} = S(U_i) \sin(2\psi_i - \psi_n - at) U_i + g_{св} U_j \cos \Delta - (g + g_{св}) U_i, \quad (1)$$

$$2C U_i \frac{d\psi_i}{dt} = S(U_i) \cos(2\psi_i - \psi_n - at) U_i + \varepsilon_i g_{св} U_j \sin \Delta - 2C(\omega_0 - \omega_i) U_i,$$

где $\varepsilon_1 = 1$, $\varepsilon_2 = -1$, $i = 1, 2$, $j = 1, 2$, $i \neq j$, $\Delta = \psi_2 - \psi_1$,

$$S(U_i) = \frac{1}{2} C_0(U_n, U_i) \omega_0, \quad \omega_i = \frac{1}{\sqrt{CL_i}}$$

Из (1) видно, что в стационарном режиме $2\omega_0 = \omega_n$. Далее, ограничивая рассмотрение лишь равноамплитудными режимами $U_1 = U_2 = U_{ст}$, получаем, что в системе нерасстроенных относительно друг друга параметрических генераторов ($\omega_1 = \omega_2$) возможен либо синфазный $\psi_2 - \psi_1 = 2\pi n$, либо противофазный $\psi_2 - \psi_1 = \pi(1 + 2n)$ режимы ($n = 0, 1, 2, \dots$). Для синфазного режима стационарные уравнения имеют вид

$$S(U_{ст}^c) = \sqrt{g^2 + (2C\Omega)^2}, \quad \text{ctg}(2\psi_1 - \psi_n)_i = \frac{2C}{g} \Omega, \quad (2)$$

где $\Omega = \frac{1}{2} \omega_n - \omega_1$.

Считая зависимость $S(U_i)$ монотонно убывающей, получаем из (2) величину максимальной расстройки частот накачки относительно собственных частот контуров параметрических генераторов:

$$\max |\Omega| = \frac{1}{2C} \sqrt{S^2(0) - g^2}.$$

Для противофазного режима стационарные уравнения имеют вид

$$S(U_{ст}^n) = \sqrt{(g + 2g_{св})^2 + (2C\Omega)^2}, \quad (3)$$

$$\text{ctg}(2\psi_1 - \psi_n) = \frac{2C}{g + 2g_{св}} \Omega.$$

Из (3) получаем

$$\max |\Omega| = \frac{1}{2C} \sqrt{S^2(0) - (g + 2g_{св})^2}.$$

Исследование стационарных режимов (2), (3) показывает, что синфазный режим устойчив, если

$$\alpha(U_{ст}^c) = \left. \frac{\partial S(U)}{\partial U} \right|_{U=U_{ст}^c} < 0. \quad (4)$$

Противофазный режим устойчив, если

$$\begin{aligned} \sigma(U_{ст}^n) &< 0, \\ g_{св} &< g_{св}^{кр}, \end{aligned} \quad (5)$$

где $g_{св}^{кр}$ — функция от Ω . Если $\Omega = 0$, то

$$g_{св}^{кр} = \frac{1}{2} \left| \sigma(U_{ст}^n) \right| U_{ст}^n.$$

Из (4), (5) следует, что синфазный режим устойчив всегда, если выполняется условие (4). Противофазный же режим при выполнении (5) может быть и неустойчив, если величина связи между генераторами превышает критическую $g_{св}^{кр}$. Этим система резистивной связи между параметрическими генераторами отличается от системы резистивной связи обычных одноконтурных автогенераторов, где при выполнении условий, аналогичных условиям (4) и (5), был бы устойчив лишь один синфазный режим, вне зависимости от величины $g_{св}$. По-видимому, это отличие определяется большей неопределенностью начальной фазы автоколебаний автогенераторов по сравнению с двоичной неопределенностью фазы параметрических колебаний в параметрических генераторах типа рис. 1.

Для оценки величины взаимных расстроек параметрических генераторов, изображенных на рис. 1, в режиме стационарных колебаний рассмотрим случай симметричной расстройки параметрических генераторов относительно частот накачки $\omega_n = \omega_1 + \omega_2$.

При этом стационарные уравнения равноамплитудных режимов имеют вид

$$\begin{aligned} S(U_{ст}) &= \sqrt{[g + g_{св}(1 - \cos \Delta_{ст})]^2 + [C(\omega_1 - \omega_2) - g_{св} \sin \Delta_{ст}]^2}, \\ \operatorname{ctg}(2\psi_1 - \psi_n) &= \frac{C(\omega_1 - \omega_2) - g_{св} \sin \Delta_{ст}}{g + g_{св}(1 - \cos \Delta_{ст})}, \\ \psi_2 + \psi_1 &= \psi_n + \pi(1/2 + n) \quad (n = 0, 1, 2, \dots). \end{aligned} \quad (6)$$

Анализ общей устойчивости стационарных режимов (6) сложен. Поэтому ограничимся исследованием отдельно амплитудной и отдельно фазовой устойчивости режима. Это исследование показывает, что режим, близкий к синфазному ($\cos \Delta_{ст} > 0$), устойчив, если

$$\sigma(U_{ст}) < 0. \quad (7)$$

Режим же, близкий к противофазному ($\cos \Delta_{ст} < 0$), устойчив, если

$$\sigma(U_{ст}) < 0; \quad (8)$$

$$g_{св} < \left| \sigma(U_{ст}) \frac{\sin(2\psi_1 - \psi_n)}{2 \cos \Delta_{ст}} \right| U_{ст}. \quad (9)$$

Из (7)—(9) следует, что полученные результаты не противоречат результатам полного исследования устойчивости синфазных и противофазных режимов (4), (5). Для режима, близкого к синфазному, нетрудно найти величину максимальной расстройки между параметрическими

генераторами, при которой еще сохраняется стационарный режим работы рассматриваемой системы. Эта расстройка равна

$$\max |\omega_1 - \omega_2| = \frac{1}{C} \sqrt{\{S(0) - g\}\{S(0) + g + 2g_{св}\}}. \quad (10)$$

По формуле (10) определяется и максимально возможная расстройка в противофазном режиме. Однако при этом должно выполняться условие $g_{св} < g_{св}^{кр}$, гарантирующее возможность существования устойчивого противофазного режима. Из (10) видно, что с увеличением $g_{св}$ величина максимальной взаимной расстройки растет. Однако в отличие от двух резистивно связанных автогенераторов величина максимальной расстройки (10) не прямо пропорциональна величине $g_{св}$. Следует отметить, что для параметрических генераторов разность фаз между параметрическими колебаниями генераторов в пределах расстроек (10) меняется от нуля до некоторого значения, меньшего $\pm 90^\circ$. В случае же обычных автогенераторов эта величина в пределах полосы синхронизма меняется от 0 до $\pm 90^\circ$. Это определяется тем, что при взаимной расстройке параметрических генераторов резко меняется эффективность накачки в пределах полосы расстроек (10). В случае обычных автогенераторов это явление выражено существенно слабее.

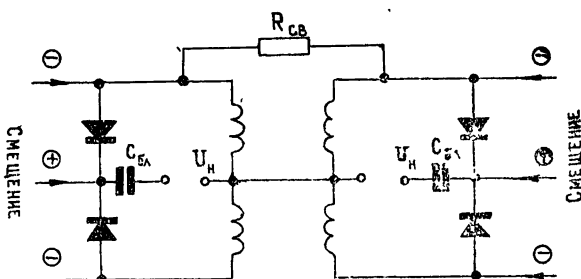


Рис. 2. Два взаимосвязанных параметрических генератора.

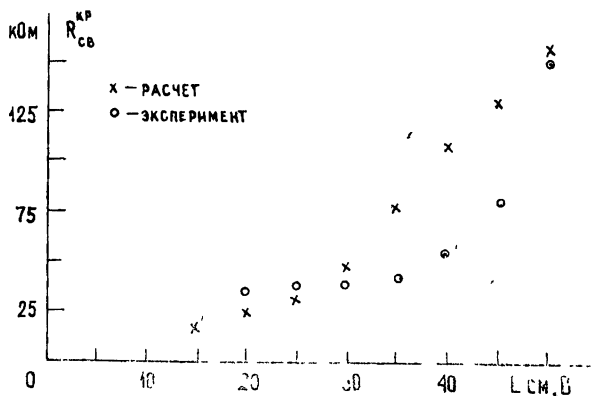


Рис. 3. Зависимость критического значения величины элемента связи от напряжения смещения параметрических диодов.

Экспериментальное исследование взаимного фазирования двух параметрических генераторов проводилось для схемы рис. 2. Генераторы выполнены по двухтактной схеме на диодах КВ105А. Емкости $C_{бл}$ — блокировочные. Генераторы связаны через резистор $R_{св}$. В пределах малых взаимных расстройек генераторов параметрические колебания системы были стационарны. При этом в зависимости от величины $R_{св}$ наблюдались как близкие к синфазным, так и близкие к противофазным колебания генераторов, причем при значениях $R_{св}$, меньших некоторых критических $R_{св}^{кр}$, противофазные колебания пропадали и наблюдались только синфазные. На рис. 3 представлены экспериментальные и расчетные зависимости величины $R_{св}^{кр}$ от величины смещения на диодах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Р. В. Хохлов, Радиотехника и электроника, 1, № 1, 88 (1953).
2. Г. Н. Рапопорт, Радиотехника, 6, № 4, 53 (1951).
3. В. Н. Парыгин, Радиотехника и электроника, 1, № 2, 197 (1956).
4. Ю. И. Марченко, Изв. высш. уч. зав. — Радиофизика, 10, № 11, 1533 (1967).
5. А. А. Дворников, Г. М. Уткин, Радиотехника и электроника, 19, № 3, 550 (1974).
6. А. А. Дворников, Изв. высш. уч. зав. — Радиофизика, 18, № 11, 1645 (1975).

Московский энергетический институт

Поступила в редакцию
22 марта 1976 г.

COMMON OPERATION OF PARAMETRIC OSCILLATORS

A. A. Dvornikov, V. I. Ogurtsov

A common operation of two parametric oscillators supplied from one source of pumping has been investigated by the slowly-varying amplitude method. Parametric elements are capacitive. Oscillators are resistively coupled through parametric oscillation circuits. On the basis of derived abbreviated equations of the system, the stationary equations of equally-amplitude regimes are obtained. Their stability in bands of possible frequency detunings has been analysed. The considered system is shown to have some peculiarities as compared with that of one-circuit oscillators resistively coupled at the fundamental frequency. Some experimental results are presented.