

На рисунке представлены результаты численного эксперимента. На рисунке, *а* изображен график функции $u(\varphi)$. Рисунок, *б* — это график решения $\rho_{\text{бе}}$ модифицированной задачи (В). Рисунок, *в* иллюстрирует отклонение найденного профиля от профиля сферы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Хорн Б. В кн.: Психология машинного зрения. М.: Мир, 1978, с. 137—184.
 [2] Гиммельфарб Г. Л., Крот В. М. В кн.: Вопросы теории роботов и искусственного интеллекта. Киев, 1980, с. 3—13. [3] Robert J. Wadham. Artificial Intelligence, 1981, 17, N 1—3, p. 117.

Поступила в редакцию
01.04.83

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ, 1984, т. 25, № 1

УДК 621.072

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ СВЯЗИ В СИСТЕМАХ СТАБИЛИЗАЦИИ ЧАСТОТЫ

И. И. Минакова, С. А. Лебединский

(кафедра физики колебаний)

В литературе подробно исследуются автоколебания в многоконтурных системах при различном числе контуров и различных типах связей между ними. При создании систем сложения мощностей многих активных элементов в общей нагрузке предпочтение отдается резистивной связи между автогенераторами и высокооборотным контуром в основном из-за необходимости устранить многомодовость режима работы [1—3] и получить относительно высокую стабильность частоты автоколебаний [3, 4]. Изучение поведения трехконтурной реактивно связанной системы, оптимизация ее параметров и исследование области стабильного режима [5] позволили создать сверхстабильный СВЧ-генератор [6]. Однако вопрос о выборе оптимального типа связи для целей стабилизации частоты в системах затягивания высокооборотным контуром остается открытым. Для его решения был рассмотрен двухконтурный генератор с комплексной связью между контурами.

Уравнения движения для такой системы, где за неизвестные взяты токи в контурах $x=I_1$ и $y=I_2$, а характеристика нелинейного элемента аппроксимируется кубическим полиномом $N(x) = r_0x - \frac{1}{3}r_nx^3$, имеют вид

$$\ddot{x} + 2\delta_1'\dot{x} + \nu_1^2x - \alpha_1y - \beta_1\dot{y} - \gamma_1\ddot{y} = \frac{r_0}{L_1+L}\dot{x} - \frac{r_nx^2}{L_1+L}\dot{x}, \quad (1)$$

$$\ddot{y} + 2\delta_2'\dot{y} + \nu_2^2y - \alpha_2x - \beta_2\dot{x} - \gamma_2\ddot{x} = 0.$$

Здесь введены обозначения (L, C, R — элементы связи):

$$\nu_i^2 = \frac{1}{L+L_i} \left(\frac{1}{C} + \frac{1}{C_i} \right); \quad 2\delta_i' = \frac{R+R_i}{L+L_i};$$

$$\alpha_i = \frac{1}{C(L+L_i)}; \quad \beta_i = \frac{R}{L+L_i}; \quad \gamma_i = \frac{L}{L+L_i}.$$

Для случая одночастотного стационарного режима квазилинейной

квазиконсервативной системы частотное уравнение можно представить в виде

$$\xi = \eta + m \frac{(1-a^2)\eta + 4\delta_2 a}{\eta^2 + 4\delta_2^2}, \quad (2a)$$

где $\xi = (\nu_1^2 - \nu_2^2)/\omega^2$, $\eta = (\omega^2 - \nu_2^2)/\omega^2$ — расстройки, $2\delta_2 = 2\delta_2'/\omega$;

$$a = \frac{1/(\omega C) - \omega L}{R}; \quad m = \beta_1 \beta_2 / \omega^2,$$

или

$$\xi = \eta + n \frac{(b^2-1)\eta + 4\delta_2 b}{\eta^2 + 4\delta_2^2}, \quad (2б)$$

где $n = ma^2$, $b = 1/a$.

Из (2a) получим выражение для коэффициента стабилизации:

$$S = \frac{d\xi}{d\eta} = 1 - m \frac{(1-a^2)(\eta^2 - 4\delta_2^2) + 8\delta_2 a \eta}{(\eta^2 + 4\delta_2^2)^2}. \quad (3)$$

Различным значениям параметра $a = \frac{1/\nu_2 C - \nu_2 L}{R}$ соответствуют различные типы связи между контурами. При $a=0$ — чисто резистивная связь. Если $a=1$ — связь комплексная согласованная ($1/(\nu_2 C) - \nu_2 L = R$), при этом $m=n$, $a=b$. При $b=0$ — чисто реактивная связь (емкостная). Для сравнения систем при переходе от одного типа свя-

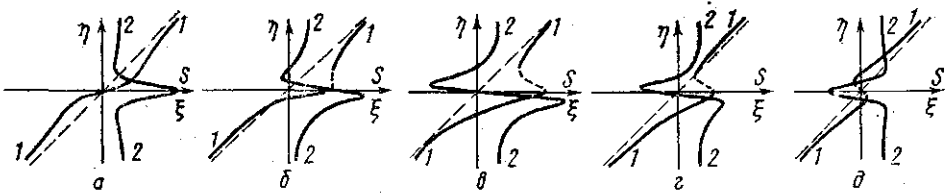


Рис. 1. Частотные кривые (1) и кривые изменения коэффициента стабилизации (2) двухконтурной системы при различных типах связи между контурами:

$$a = \frac{1/(\nu_2 C) - \nu_2 L}{R} = 0(a); \quad a = 0,5(б); \quad a = b = 1(в); \quad b = 0,5(г); \quad b = 0(д).$$

Пунктирные участки соответствуют областям потери устойчивости по фазовому критерию

зи к другому можно проводить исследования, оставляя неизменными нагруженные добротности $Q_i = 1/(2\delta_i)$ и парциальные частоты ν_i . Так, меняя L при условии $L_i + L = \text{const}$, изменяем параметр a от 0 до 1. Затем, переходя к параметру b , изменяем его от 1 до 0, варьируя R при $R_i + R = \text{const}$. При этих условиях можно сравнить системы с различными типами связи и определить их резонансные характеристики.

По уравнениям (2a), (2б) и (3) были построены частотные кривые и кривые изменения коэффициента стабилизации для различных типов связи при учете критерия устойчивости по вертикальным касательным. На рис. 1 графики а-б соответствуют преобладающую резистивной связи ($0 < a < 1$), г-д — преимущественно реактивным связям ($0 < b < 1$). Из этих графиков следует, что существует асимметрия по расстройкам при комплексной взаимной связи между контурами. Наиболее четко это видно для кривой в ($a = b = 1$). Характер частотной

кривой для положительных расстроек резистивный, а для отрицательных реактивный.

Коэффициент стабилизации максимален при $a=1$. Однако такое значение

$$S_{\max} = 1 + \frac{3\sqrt{3}}{4} mQ_2^2$$

приобретает при больших отстройках от точки синхронизма ($\nu_1 = \nu_2$), где потери мощности на стабилизацию велики, а режим может быть неустойчив по более сложным критериям. При совпадении парциальных частот коэффициент стабилизации максимален для двухконтурных систем при чисто резистивной связи:

$$S|_{\eta=0} = 1 + \frac{\rho_2}{\rho_1} \frac{R^2}{(R_2+R)^2}, \quad (4)$$

где $\rho_i = \sqrt{L_i/C_i}$ — характеристическое сопротивление парциального i -го контура. При этом частотная кривая однозначна при $\xi = \eta = 0$ и потери мощности минимальны как при стабилизации частоты, так и при сложении мощностей генераторов. Однако для выбора соотношения параметров контуров и связи требуется более подробное исследование условий существования устойчивого режима. Можно показать,

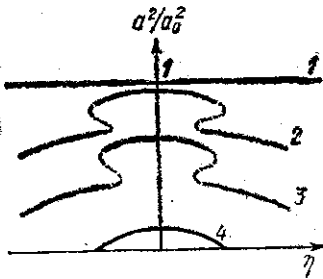


Рис. 2. Амплитудные кривые при различных величинах резистивной связи ($R^{(1)}=0 < R^{(2)} < R^{(3)} < R^{(4)}$)

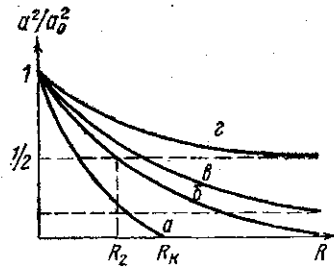


Рис. 3. Зависимость относительной амплитуды автоколебаний в точке $\xi=0$ от величины сопротивления связи для различных коэффициентов регенерации: $r_0 - R_1 - R_2 < 0$ (а); $r_0 - R_1 - R_2 = 0$ (б); $r_0 - R_1 - R_2 > 0$ (в); $r_0 - R_1 - 2R_2 > 0$ (г)

что единственным условием, определяющим устойчивость, является при резистивной связи и $\xi = \eta = 0$ условие отсутствия гашения колебаний. Из системы (1), полагая $L=0$, $C=\infty$, для амплитуды стационарных колебаний в первом контуре можно получить выражение

$$a^2 = \frac{4}{2\delta_n} \left(-2\delta_0 + \frac{2\delta_2 k}{\eta^2 + 4\delta_2^2} \right) = a_0^2 + 4k \frac{\delta_2}{\delta_n(\eta^2 + 4\delta_2^2)}, \quad (5)$$

где

$$2\delta_0 = \frac{R_1 + R - r_0}{\omega L_1}; \quad 2\delta_n = \frac{r_n}{\omega L_1}; \quad k = \frac{R^2}{\omega^2 L_1 L_2}.$$

На рис. 2 представлены амплитудные кривые двухконтурной автоколебательной системы с резистивной связью при различных величинах связи ($R^{(1)}=0 < R^{(2)} < R^{(3)} < R^{(4)}$). Для точки синхронизма условие

отсутствия гашения автоколебаний следует из (5):

$$r_0 > R_1 + \frac{R_2 R}{R_2 + R} \quad \text{или} \quad k > 4\delta_0 \delta_2. \quad (6)$$

Зависимость коэффициента стабилизации $S|_{\omega=0}$ от величины сопротивления связи R рассмотрим для двух случаев: 1) при $R_2 + R = \text{const}$ (т. е. $Q_2^{\text{нар}} = \text{const}$) и 2) при $R_2 = \text{const}$ ($Q_2^{\text{св}} = \text{const}$). В первом случае нарастание коэффициента стабилизации при увеличении R до максимального значения $S_{\text{рез}}^{\text{max}} = 1 + \rho_2/\rho_1$ происходит по параболе, во втором случае — по более медленному закону с выходом на насыщение.

Сравнивая (6) и (4), видим, что условие обеспечения максимального коэффициента стабилизации и условие существования автоколебаний противоречивы. Оценим величину сопротивления связи, соответствующего потерям на стабилизацию половинной мощности. Из выражения $a_{1/2}^2 = \frac{2}{2\delta_n} \left(-\frac{R_1 - r_0}{\omega L_1} \right)$ следует, что $R_{1/2} = \frac{R_2(r_0 - R_1)}{2R_2 - (r_0 - R_1)}$. Таким образом, зависимость потерь на стабилизацию от величины сопротивления связи различна для разных значений запаса регенерации (таблица).

Запас регенерации (изменяется r_0)	Условие отсутствия гашения	Условие потерь половинной мощности на стабилизацию
$r_0 - R_1 - R_2 < 0$	$R < \frac{R_2(r_0 - R_1)}{R_2 - (r_0 - R_1)} = R_K$	$R < R_2$
$r_0 - R_1 - R_2 = 0$	$R < \infty$	$R = R_2$
$r_0 - R_1 - R_2 > 0$	—	$R > R_2$
$r_0 - R_1 - 2R_2 > 0$	—	$a^2 > a_{1/2}^2$ при любых R

На рис. 3 представлена зависимость амплитуды автоколебаний в точке синхронизма парциальных частот для этих случаев.

Таким образом, для режима автоколебаний двухконтурной резистивно связанной системы можно сделать следующие выводы.

1. Максимально достижимая величина коэффициента стабилизации равна $S = 1 + \rho_2/\rho_1$, не зависит от нагруженной добротности стабилизирующего резонатора и может быть сделана больше нее.

2. С увеличением сопротивления связи возрастают потери на стабилизацию вплоть до гашения автоколебаний.

3. Большой запас регенерации обеспечивает существование режима с максимальной стабилизацией, причем амплитуда автоколебаний прямо зависит от величины r_0 .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Курдюмов О. Л., Минакова И. И. Радиотехника, 1969, 24, № 6, с. 65. [2] Дворников А. А., Уткин Г. М. Радиотехн. и электроника, 1974, 19, № 3, с. 550; № 5, с. 1104. [3] Григораш В. В. Радиотехн. и электроника, 1981, 26, № 3, с. 598. [4] Царапкин Д. П. Генераторы СВЧ на диодах Ганна. М.: Радио и связь, 1982. [5] Зубиетов П. В. и др. Изв. вузов. Радиоэлектроника, 1981, 24, № 7, с. 29. [6] Балалыкин Н. И., Назаров В. И., Панов В. И. Вестн. Моск. ун-та. Физ. Астрон., 1981, 22, № 6, с. 82.

Поступила в редакцию
04.04.83