

ВУ АНЬ ФИ, В. И. МЕДВЕДЕВ

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ БАЛАНСНОЙ СХЕМЫ ПАРАМЕТРОНА С АВТОСМЕЩЕНИЕМ

Исследованы особенности работы балансной схемы параметрона при наличии взаимной индукции (M) между контурами, а также с учетом влияния сопротивления цепи автосмещения (R_p) и сопротивления параметрического генератора (ПГ) в прямом направлении (R_i).

Балансная схема ПГ часто используется на практике. Ее преимущества заключаются в возможности снижения порогового и управляющего напряжений, а также компенсации напряжения накачки в нагрузке ПГ для получения только полезного возбужденного параметрического колебания. В расчетах [1, 2] балансная схема параметрона (рис. 1) рассматривается как одноконтурная. Для этого необходима полная симметрия схемы

$$L_1 = L_2 = L_0, \quad C_{10} = C_{20} = C_0, \quad r_1 = r_2 = r_0$$

и условие замкнутой по высокой частоте средней линии $C_p \gg C_0$. При наличии связи между контурами балансная схема, строго говоря, является системой с двумя степенями свободы.

Рассмотрим, к каким особенностям приводит появление в балансной схеме ПГ связи между контурами через взаимную индукцию (M). В частности, такая связь между контурами ПГ появляется неизбежно, если обе катушки индуктивности намотаны на один каркас.

Схема рис. 1 описывается следующей системой дифференциальных уравнений:

$$L_1 \frac{dI_1}{dt} + r_1 I_1 + U_{c1} + M \frac{dI_2}{dt} = -B \sin \omega_R t, \quad (1)$$

$$L_2 \frac{dI_2}{dt} + r_2 I_2 + U_{c2} + M \frac{dI_1}{dt} = B \sin \omega_R t,$$

$$I_1 = \frac{dq_1}{dt} + i_{R1}, \quad I_2 = \frac{dq_2}{dt} + i_{R2},$$

где $U_{c1,2}$, $i_{R1,2}$ — нелинейные вольткулоновые и вольтамперные характеристики полупроводниковых диода. Из этой системы уравнений можно

определить собственные частоты Ω_1 и Ω_2 , которые в первом приближении не зависят от параметров цепочки автосмещения и равны:

$$\Omega_1^2 = \frac{\omega_0^2}{1 - K_{св}}, \quad \Omega_2^2 = \frac{\omega_0^2}{1 + K_{св}}, \quad (2)$$

где $\omega_0^2 = \frac{1}{L_0 C_0}$, $K_{св} = \frac{M_0}{L_0}$ (при $L_1 = L_2 = L_0$, $C_{10} = C_{20} = C_0$).

При отсутствии связей ($K_{св} = 0$) собственные частоты равны ($\Omega_1^2 = \Omega_2^2 = \frac{1}{L_0 C_0}$), система «вырождается» в систему с одной степенью свободы. При $K_{св} \approx 1$ собственные частоты Ω_1 и Ω_2 далеки друг от дру-

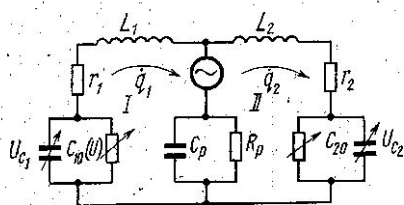


Рис. 1. Эквивалентная балансная схема параметрического генератора с автосмещением

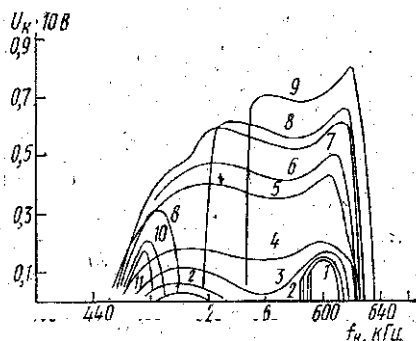


Рис. 2. Амплитудные кривые параметрического возбуждения при: 1 — $U_H = 0,2$; 2 — $U_H = 0,25$; 3 — $U_H = 0,32$; 4 — $U_H = 0,5$; 5 — $U_H = 1$; 6 — $U_H = 1,2$; 7 — $U_H = 1,5$; 8 — $U_H = 1,63$; 9 — $U_H = 2$; 10 — $U_H = 1,6$ и 11 — $U_H = 1,75$ В ($C_p = 3000$ пФ)

га, и лишняя степень свободы (Ω_1) не оказывает существенного влияния на колебание (Ω_2). Более интересен случай $K_{св} = 0,6$ (или $M = \frac{3}{5} L_0$). В этом случае частота симметричного колебания (Ω_1) почти вдвое больше частоты несимметричного колебания (Ω_2), и вблизи удвоенной частоты параметрически возбужденных колебаний ($2\Omega_2$) напряжение накачки может иметь резонанс (Ω_1). Возбужденное параметрическое колебание может оказать обратную реакцию на контур накачки (Ω_1).

Решение системы (1) методом Ван-дер-Поля приводит к системе укороченных уравнений, аналогичной рассмотренной в [3] и показывающей, что имеет место обратная реакция на накачку. В этой системе эквивалентные значения затухания θ_1 и θ_2 определяются следующими выражениями:

$$\theta_1 = \frac{1}{\sqrt{1 - K_{св}}} \left[\frac{r}{L_0} + \Phi(1 - K_{св}) \right], \quad (3)$$

$$\theta_2 = \frac{1}{\sqrt{1 + K_{св}}} \left[\frac{r}{L_0} + \Phi(1 + K_{св}) \right],$$

в которых учитывается влияние коэффициента взаимной индукции M между индуктивностями контуров.

Экспериментально ПГ собран по балансной схеме, соответствующей схеме на рис. 1 на диодах Д-811. Катушки L_1, L_2 — трехслойные, намотаны на одном каркасе и соединены последовательно; общее число витков каждой катушки $L_1=L_2=95$ витков. Измеренные собственные частоты равнялись $\Omega_{2п}=300$ и $\Omega_{1п}=510$ кГц при коэффициенте связи $K_{св} \approx 0,4$. Емкость конденсатора цепи автосмещения (C_p) равна 3000 пФ, что обеспечивало условие замыкания средней линии по вы-

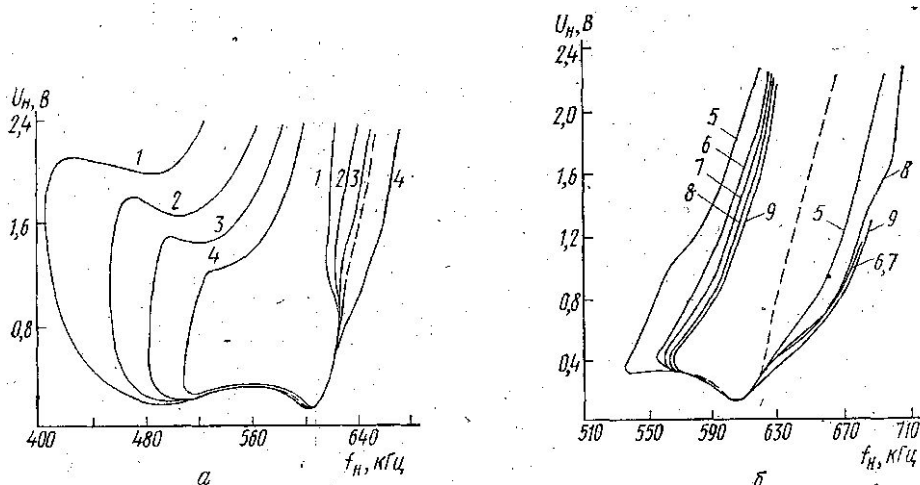


Рис. 3. Области параметрического возбуждения при: (1 — $R_p=1,1$; 2 — $R_p=2$; 3 — $R_p=3$; 4 — $R_p=5,1$; 5 — $R_p=10$; 6 — $R_p=20$; 7 — $R_p=30$; 8 — $R_p=51$ и 9 — $R_p=100$ к ($C_p=3000$ пФ)

кой частоте ($C_p \approx 10 C_0$). Проведены измерения областей возбуждения такого параметрона и рассмотрены особенности этих областей при разных амплитудах накачки (U_n) и разных сопротивлениях цепи автосмещения (R_p) при наличии указанной связи между контурами.

На рис. 2 показаны амплитудные кривые параметрического возбуждения при различных значениях U_n . Измерения проводились при $R_p=2$ кОм. Как видно из рисунка, при малых U_n наблюдаются две области возбуждения, которые с ростом U_n сливаются в одну зону. Амплитудные кривые имеют общие черты, характерные для резонансных кривых с ограничением колебаний за счет обратной реакции на накачку [4]. (См. максимумы и провал в середине амплитудной кривой.) Помимо этого в генераторе действуют еще другие механизмы ограничения колебания: наличие симметричной амплитудных кривых вблизи области частот 600 кГц (для $U_n \leq 0,3$ В) и небольшого гистерезиса слева у кривых при ($U_n=0,2$ и $0,25$ В) свидетельствуют о том, что в генераторе действуют диссипативный и расстроенный механизмы амплитудного ограничения и, очевидно, для малого R_p механизм автосмещения действует слабо. На рис. 3 показаны области параметрического возбуждения для различных значений R_p . Из этого рисунка видно, что R_p очень сильно изменяет область параметрического возбуждения (для малых R_p). Вид области возбуждения напоминает область возбуждения для ПГ с резонансным контуром накачки. С дальнейшим ростом R_p область возбуждения наклоняется вправо и может возникнуть автотомодуляция. С ростом R_p резонансные кривые также наклоняются вправо

и имеют гистерезис с правой стороны. При малых R_p и U_H ($R_p \leq 10$ кОм) области возбуждения не смещаются; очевидно, что автосмещение действует слабо. В этом случае генератор работает в режиме без смещения [5] и при $U_H \approx 1,2$ В. ($R_p = 2$ кОм) экспериментально в балансной схеме наблюдается расширение области возбуждения почти вдвое по сравнению со случаем больших R_p . Можно использовать этот режим в балансной схеме ПГ для получения расширенного диапазона частоты генерации параметрического генератора.

Влияние сопротивления можно заметить, если цепочку смещения заменить последовательным соединением эквивалентного конденсатора и эквивалентного сопротивления:

$$C_{\text{эКВ}} = C_p \left(1 + \frac{1}{1 + \omega_0^2 R_p^2 C_p^2} \right), \quad (4)$$

$$R_{\text{эКВ}} = \frac{R_p}{1 + \omega_0^2 R_p^2 C_p^2}.$$

В случае больших R_p ($\omega_0 R_p C_p \gg 1$), $C_{\text{эКВ}} \approx C_p$, $R_{\text{эКВ}} \approx 0$ и средняя линия оказывается замкнутой по высокой частоте ($C_p \gg C_0$). При этом роль C_p заключается в создании напряжения автосмещения и ограничении роста амплитуды (случай автосмещения). При малых R_p ($\omega_0 R_p C_p \ll 1$), $R_{\text{эКВ}} = R_p$ и $C_{\text{эКВ}} \gg C_p$. В этом случае напряжение смещения не вырабатывается, но в средней линии имеется последовательное сопротивление R_p , которое изменяет затухание симметричных колебаний и соотношение θ_2/θ_1 . Расчеты при этом показывают, что θ_1 определяется выражением

$$\theta_1 = \left[\frac{r}{L_0} + 2 \frac{R_{\text{эКВ}}^*}{L_0} + \varphi(1 - K_{\text{св}}) \right] \frac{\Omega_1}{\omega_0^2}, \quad (5)$$

где $R_{\text{эКВ}}^* = \frac{R_p}{1 + \Omega_1^2 R_p^2 C_p^2}$; θ по-прежнему не изменяется. Итак, при малых значениях R_p изменение R_p вызывает изменение отношения θ_2/θ_1 , которое, как показано в [4], вызывает нарушение симметрии области возбуждения и исчезновение (с ростом R_p) второго минимума области возбуждения (см. рис. 3).

Для использования генератора в режиме малых значений сопротивления R_p нами проведен расчет, который показывает, что напряжение смещения может быть определено по следующей формуле:

$$E_{\text{см}} = \frac{-\max(A_1 + A_2)}{(1 + 1/K_{\text{св}}^*)}, \quad (6)$$

где

$$K_{\text{св}}^* = \frac{1}{3} \left[1 + \sqrt[3]{2 + \frac{96}{\pi^2} \left(\frac{R_p}{R_i} \right)^2} \right],$$

A_1 — амплитуда напряжения накачки, а A_2 — амплитуда параметрически возбужденных колебаний. При выводе (6) используется кусочно-линейная аппроксимация вольтамперной характеристики полупроводникового диода [6]. В этом выражении напряжение автосмещения зависит не только от амплитуд, приложенных к p - n -переходу напряжений и от разности фаз между ними, но и от отношения R_p/R_i , где $R_i = \text{ctg } \alpha$ — сопротивление открытого диода на рабочем участке. При

$R_p \gg R_i$ напряжение смещения $E_{см} \approx - \max(A_1 + A_2)$, т. е. имеет место обычное автосмещение, когда пренебрегают влиянием R_i ; в случае малого R_p (или сравнимого с R_i) напряжение смещения может уменьшаться почти вдвое (рис. 4). В случае автосмещения рабочая точка смещается влево вместе с ростом амплитуд, приложенных к p - n -переходу переменных напряжений, поэтому экспериментально в параметрическом генераторе с автосмещением не наблюдается явление «резкого» ограничения колебаний, в отличие от случаев фиксированного смещения, рассмотренного в [7].

Таким образом, в данной работе исследованы особенности работы балансной схемы параметрического генератора с учетом влияния коэффициента взаимной индукции между индуктивностями контуров и конечным отношением между о.р.о. вл. и им ПГ в др. мом. а. равл. нии и сопротивлением цепи автосмещения. Показано, что при $K_{св} 0,6$ ($M = \frac{3}{5} L_0$) связь приводит к появлению одной из собственных частот системы, равной частоте накачки, что может вызвать обратную реакцию на генератор накачки. Кроме того, такая связь при малых значениях R_p дает расширение областей параметрического возбуждения колебаний в параметроне. Рассматривается также влияние сопротивления R_p на некоторые особые режимы параметрона; в частности, показано, что малые значения R_p существенно изменяют ширину области возбуждения генератора и величину напряжения автосмещения.

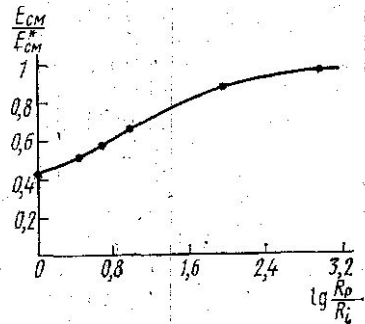


Рис. 4. Зависимость напряжения смещения от отношения (R_p/R_i) при расчете по формуле (6)

ЛИТЕРАТУРА

1. Рассохин Г. И. — «Изв. вузов. Радиотехника», 6, вып. 3, 239, 1963.
2. Ильинова Т. И. — Дипломная работа. МГУ, 1960.
3. Кравцов Ю. А. — «Научные труды РАТИАН», т. 5, вып. 1, 1963.
4. Каплан А. Е., Кравцов Ю. А., Рылов В. А. — В кн.: Параметрические генераторы и делители частоты. М., 1966.
5. Ершов В. Н., Рассохин Г. И., Яновский Е. А. — Емкостные параметроны. «Труды вычислительного центра АН СССР». М., 1966.
6. Ву Ань Фи. — Реферат канд. дисс. МГУ, 1974.
7. Лихарев К. К. — Реферат канд. дисс. МГУ, 1968.

Поступила в редакцию
12.11 1975 г.

Кафедра
физики колебаний