

Вестник МОСКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

№ 3 — 1964

О. И. МЕДНИКОВ, Т. Г. СЕМЕНОВА

О ВЛИЯНИИ ПАРАМЕТРОВ КОНТУРОВ И ДИОДА НА РАБОТУ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ДЕЛИТЕЛЯ ЧАСТОТЫ

Исследовался двухконтурный параметрический делитель частоты с коэффициентом деления $n=4$. Получены условия достижения максимальной полосы деления для диодов с большими и малыми потерями. Изучалась зависимость полосы деления от расстройки контуров и амплитуды накачки.

В ряде работ, посвященных двухконтурным параметрическим делителям частоты с нелинейной емкостью [1, 2, 3, 4], было выяснено, что максимальные полосы деления должны получаться при равенстве добротностей контуров. Как показал эксперимент, добротности необходимо всегда определять с учетом потерь в диоде, которые часто играют основную роль [3, 4].

Задача настоящей работы состояла в исследовании зависимости полосы деления от параметров контуров и диода и от амплитуды накачки. Схема делителя приведена на рис. 1. Коэффициент деления был выбран равным 4, частота накачки — около 1 мГц. Использовались диоды двух типов — с большими и малыми потерями в этом диапазоне. Напряжение автоматического смещения на диоде регулировалось с помощью переменного сопротивления R_3 , зашунтированного большой емкостью C_3 .

Эквивалентную схему диода для радиочастот можно принять в виде последовательно соединенных нелинейной емкости C_d и сопротивления потерь R_d (см. рис. 2 [4]). Тогда, представив i -тый контур на частоте ω_i в рабочем режиме как параллельное соединение L_i , C_{zi} и R_{zi} , получим приближенное выражение для добротности контура Q_i с учетом потерь в диоде:

$$\frac{1}{Q_i} = \frac{1}{Q_{i0}} + \frac{C_d}{C_i Q_{di}}, \text{ где } Q_{di} = \frac{1}{\omega_i R_d C_d}. \quad (1)$$

Чем больше $\frac{C_d}{C_i}$ (связь диода с контуром), тем сильнее сказывается шунтирующее действие диода. При малой добротности диода потери в нем становятся преобладающими, добротности контуров мало влияют на работу делителя.

Необходимо, однако, заметить, что подобное рассмотрение и вывод формулы (1) справедливы лишь при условии малости связи

между контурами $\left(\frac{C_d}{C_i} \ll 1\right)$. В реальных схемах емкость диода имеет нередко тот же порядок величины, что и емкости контуров (сильная связь). Уравнения такой системы совпадают с уравнениями для случая малой связи, если только их записать в нормальных координатах. Практически в каждом контуре будут присутствовать колебания обеих нормальных частот. Параметры, характеризующие нормальные колебания (частоты, добротности), уже не совпадают с параметрами контуров [5].

Из использованных в эксперименте диодов большими потерями обладает диод типа Д7. В этом случае полосы генерации и деления и наклон частотных кривых [4] почти не зависят от соотношения добротностей изолированных контуров Q_{10} и Q_{20} . Так, при изменении $\frac{Q_{10}}{Q_{20}}$ от 0,5 до 2,5 полоса деления $\Delta_{\text{дел}}$ остается практически постоянной.

Максимальная полоса деления — $\frac{\Delta_{\text{дел}}}{\omega_0} \approx 26\%$, $\frac{\Delta_{\text{дел}}}{\Delta_{\text{ген}}} \approx 97\%$ (где $\frac{\omega_0}{2\pi} \approx 1$ мГц — частота накачки, соответствующая середине полосы) по-

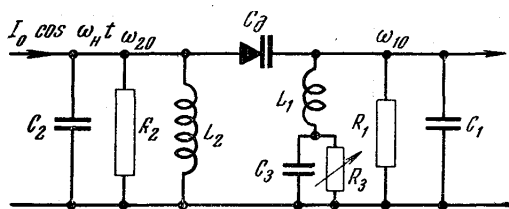


Рис. 1. Принципиальная схема делителя частоты

лучается при определенном соотношении между емкостями и индуктивностями контуров. В этом случае параметры схемы таковы, что эквивалентные добротности Q_1 и Q_2 должны быть близки, хотя Q_{10} и Q_{20} могут сильно различаться.

По данным эксперимента были оценены усредненная емкость диода $C_d \approx 130$ пф и эквивалентное сопротивление потерь $R_d \approx 2$ ком. Так как емкости контуров были такого же порядка (100—200 пф), что и C_d , то проведенный расчет носит весьма приближенный характер и служит лишь качественной проверкой теоретических соображений.

В случае диода с малыми потерями

$$\left(Q_{дл} = \frac{1}{\omega_i C_d R_d} \gg 1\right)$$

можно считать, что эквивалентная активная проводимость контура не зависит от параметров диода, и добротности в рабочем режиме определяются собственными потерями контуров. Из условия получения максимальной полосы деления :

$$Q_1 = Q_2, \quad (2)$$

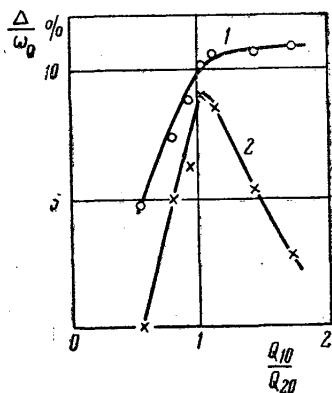


Рис. 2. Зависимость $\Delta_{\text{ген}}$ (кривая 1) и $\Delta_{\text{дел}}$ (кривая 2) от соотношения добротностей контуров для делителя с диодом ($Q_{20}=28$)

где

$$Q_i = R_{si} \sqrt{\frac{C_{st}}{L_i}} \approx \frac{R_i}{\omega_i L_i},$$

получаются оптимальные соотношения между параметрами контуров:

$$\frac{L_1}{L_2} = (n-1) \left(\frac{R_1}{R_2} \right) = (n-1)^2 \frac{C_2}{C_1}. \quad (3)$$

Эксперимент с использованием в делителе параметрического диода, потери в котором на радиочастотах очень малы, подтверждает эти соображения. Зависимость $\Delta_{\text{ген}}$ и $\Delta_{\text{дел}}$ от $\frac{Q_{10}}{Q_{20}}$ (рис. 2) показывает, что максимальная полоса деления (9% от частоты накачки, или 90% полосы генерации) соответствует равенству добротностей нена-

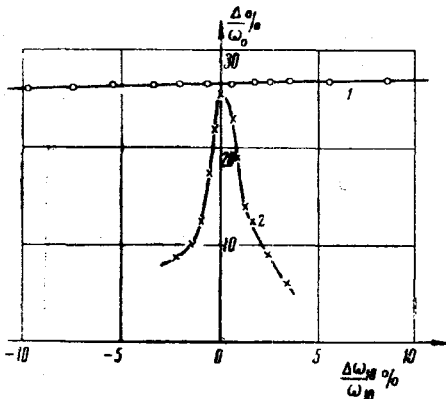


Рис. 3. Зависимость $\Delta_{\text{ген}}$ (кривая 1) и $\Delta_{\text{дел}}$ (кривая 2) от расстройки контура (делитель с диодом Д7)

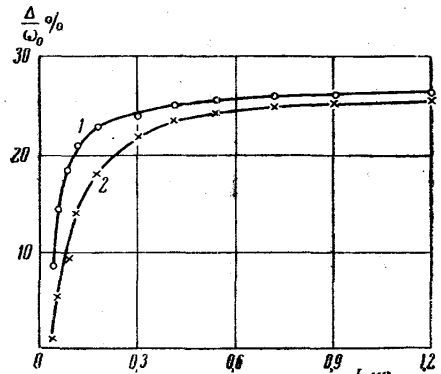


Рис. 4. Зависимость $\Delta_{\text{ген}}$ (кривая 1) и $\Delta_{\text{дел}}$ (кривая 2) от амплитуды накачки (делитель с диодом Д7)

груженных контуров: $Q_{10} \approx 31$, $Q_{20} \approx 28$. При этом параметры контуров в пределах ошибок удовлетворяют соотношениям (3): $\frac{L_1}{L_2} = 2,28$; $\frac{3R_1}{R_2} = 2,3$; $\frac{9C_2}{C_1} = 2,32$. С отходом от равенства Q_{10} и Q_{20} полоса деления быстро убывает.

Полоса генерации сначала увеличивается с ростом $\frac{Q_{10}}{Q_{20}}$, так как уменьшаются потери, и в более широкой полосе выполняется условие самовозбуждения [2,6]. Затем рост $\Delta_{\text{ген}}$ замедляется: по-видимому, начинают уже играть роль потери в диоде (следует учесть, что при автосмещении обязательно существуют прямые токи через диод). Меньшие полосы $\Delta_{\text{ген}}$ и $\Delta_{\text{дел}}$ для диода по сравнению с Д7 получаются, вероятно, из-за меньшей емкости этого диода и, следовательно, меньшей глубины модуляции емкостей контуров.

В делителе с диодом Д7 исследовано влияние расстройки контуров на работу схемы (рис. 3 для 1-го контура). Как показано в [7], одинаковые относительные уходы частот обоих контуров в одну сторону компенсируются, если $Q_1 \approx Q_2$. При перестройке в нашей схеме одного из контуров на $\pm 10\%$ полоса генерации практически не меняется, а полоса деления быстро убывает (допустима расстройка контура не более чем на 1–2%). При этом изменение емкости контура меньше

сказывается на полосе деления, чем такое же относительное изменение индуктивности. Причина в том, что емкость контура C_i составляет только часть емкости $C_{эi}$, а в рабочем режиме частота контура выражается как

$$\omega_i = \frac{1}{\sqrt{L_i C_{эi}}}.$$

На рис. 4 показана зависимость $\Delta_{\text{ген}}$ и $\Delta_{\text{дел}}$ от амплитуды накачки I_0 для делителя с диодом Д7. Видно, что имеется пороговое значение амплитуды накачки, при котором возникает генерация и одновременно с ней — деление (в более узкой полосе). С увеличением I_0 вначале происходит быстрый рост $\Delta_{\text{дел}}$, $\Delta_{\text{ген}}$ и $\frac{\Delta_{\text{дел}}}{\Delta_{\text{ген}}}$, но затем этот рост прекращается. Полоса генерации перестает увеличиваться из-за того, что начинают расти потери в диоде. Полоса деления приближается к полосе генерации, достигая примерно 97% от $\Delta_{\text{ген}}$, и остается дальше на этом уровне. При еще больших I_0 полоса генерации может начать уменьшаться [2,6].

Полученные результаты показывают, что подбором соотношений между параметрами контуров и диода можно получить режим деления в широкой полосе частот накачки.

Авторы приносят искреннюю благодарность Е. Р. Мустель, В. Н. Парыгину и Н. К. Манешину за внимание к работе и ценные советы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ильинский Ю. А. «Вестн. Моск. ун-та», сер. физики, астрономии, № 2, 60, 1962.
2. Мустель Е. Р., Парыгин В. Н., Соломатин В. С. «Радиотехника и электроника», 8, № 7, 1156, 1963.
3. Каплан А. Е. «Радиотехника и электроника», 8, № 8, 1389, 1963.
4. Медников О. И. «Вестн. Моск. ун-та», сер. физики, астрономии, № 5, 67, 1963.
5. Кравцов Ю. А. Диссертация, МГПИ, 1963.
6. Ахманов С. А., Кравцов Ю. А. «Изв. высш. учебн. зав.», радиофизика, 5, № 1, 144, 1962.
7. Ахманов С. А. и др. «Изв. высш. учебн. зав.», радиофизика, 4, № 1, 179, 1961; «Приборы и техника эксперимента», № 5, 92, 1961.

Поступила в редакцию
1.7 1963 г.

Кафедра
теории колебаний