

Вестник МОСКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

№ 1 — 1967

УДК 621.375 : 621.372.834

М. М. КОВАЛЕВСКИЙ, А. С. РОШАЛЬ

СИСТЕМА ВХОДНЫХ РЕЗОНАТОРОВ ДЛЯ КВАДРУПОЛЬНОГО УСИЛИТЕЛЯ ДИАПАЗОНА 4 ГГц

Показано, что с помощью системы несвязанных входных резонаторов полосу малошумящей работы квадрупольного усилителя можно сделать соизмеримой с его полосой усиления.

По опубликованным данным полоса частот $\Delta\omega_n$, в которой коэффициент шума F существующих квадрупольных усилителей быстрой циклотронной волны не превышает 3 дБ, меньше полосы усиливаемых частот $\Delta\omega_s$ [1]. Полоса малошумящей работы квадрупольного усилителя в значительной степени определяется областью частот, в которой удаляются шумы электронного луча на быстрой циклотронной волне перед входом в область усиления. Поэтому желательно расширить эту область, сделав ее соизмеримой с шириной полосы усиления.

Это можно осуществить, помещая на входе усилителя несколько несвязанных резонаторов (рис. 1). Один из резонаторов такой входной системы служит для ввода сигнала. Дополнительные резонаторы используются лишь для предварительного отбора шума. Входную систему, состоящую не более чем из трех несвязанных резонаторов, два из которых служат только для удаления шума, можно считать практически осуществимой.

Рассмотрим с этой точки зрения описанный в литературе квадрупольный усилитель диапазона 4 ГГц [2]. Входной резонатор этого усилителя характеризуется следующими данными: собственная частота $f_0 = 4,137$ ГГц, длина пластин емкостного зазора $l = 2,032$ см, ширина пластин $t = 0,165$ см, расстояние между пластинами $d = 0,099$ см, нагруженная добротность $Q = 148$, $\Delta\omega_s = 1,01\%$ (по отношению к частоте $\omega_0 = 2\pi f_0$), $\Delta\omega_n = 0,58\%$. Ток луча $I_0 = 27$ мка, постоянное напряжение $U_0 = 10$ в.

Эквивалентную емкость резонатора C можно приближенно определить по формулам, приведенным в [3]:

$$C = C_0\gamma; \quad \gamma = \left(1 + \frac{d}{\pi t}\right) \left(1 + 2,303 \lg 2\pi \frac{t}{d}\right),$$
$$C_0 = \epsilon_0 \frac{t \cdot l}{d},$$

где C_0 — емкость плоского зазора без учета краевого эффекта, γ — коэффициент, учитывающий краевой эффект. По этой формуле $C = 1,177$ пф.

Полоса усиления $\Delta\omega_s$, рассчитанная на вычислительной машине по формулам работы [4], для усилителя с такой величиной емкости резонатора оказалась несколько меньше экспериментальной величины $\Delta\omega_s = 1,01\%$. Это связано с весьма приближенной оценкой эквивалентной емкости входного резонатора. По результатам расчетов емкость C была уточнена ($0,962$ нф). При этом характеристическое сопротивление резонатора $\rho = \frac{1}{\omega_c C} = 40$ ом.

В относительно узкой полосе частот вблизи циклотронной частоты $f_c = f_0$ можно рассматривать взаимодействие с резонаторами только быст-

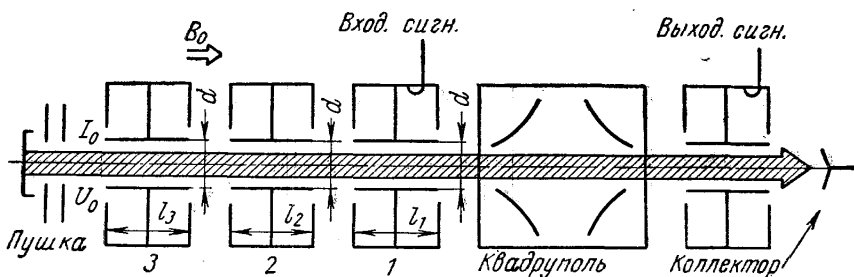


Рис. 1

рой циклотронной волны, пренебрегая значительно более слабым взаимодействием медленной циклотронной и синхронных волн. В этом приближении амплитуда быстрой циклотронной волны $a_{k \text{ вых}}$ на выходе из резонатора номера k линейно связана с амплитудой на входе $a_{k \text{ вх}}$ соотношением $a_{k \text{ вых}} = M_k a_{k \text{ вх}}$, где коэффициент M_k можно получить в результате самосогласованного решения уравнений потока и резонатора. Для спектральных плотностей имеем

$$\overline{|a_{k \text{ вых}}(f)|^2} = |M_k(f)|^2 \overline{|a_{k \text{ вх}}(f)|^2}, \quad (1)$$

где $\overline{|a_{k \text{ вых}}(f)|^2}$, $\overline{|a_{k \text{ вх}}(f)|^2}$ — спектральные плотности быстрой циклотронной волны на выходе и входе k -го резонатора соответственно (черта означает усреднение по ансамблю реализаций процесса).

Распространение шума вдоль системы резонаторов характеризуется коэффициентом

$$n_k(f) = \frac{\overline{|a_{k \text{ вых}}(f)|^2}}{\overline{|a_0(f)|^2}} \quad (k = 1, 2, \dots), \quad (2)$$

где $\overline{|a_0(f)|^2}$ — спектральная плотность быстрой циклотронной волны на входе в систему (в первый резонатор), n_k представляет собой относительную мощность шума, оставшуюся в волне после k резонаторов.

В пространстве дрейфа спектральная плотность быстрой циклотронной волны не меняется. Вследствие этого из (1) и (2) имеем

$$n_k = \prod_{j=1}^k |M_j|^2. \quad (3)$$

Параметры входной системы, обеспечивающей полное удаление шума быстрой циклотронной волны на частоте $f = \bar{f}$, могут быть определены из уравнения

$$n(\bar{f}) = 0. \quad (4)$$

Как видно из (3) и (4), в пренебрежении медленной циклотронной и синхронными волнами оказывается возможным независимый подбор резонаторов: система, составленная из m резонаторов, каждый из которых полностью удаляет шум быстрой циклотронной волны на одной из частот \bar{f}_j ($j=1, 2, \dots, m$), будет иметь $n=0$ на всей совокупности этих частот.

На рис. 2 показана экспериментальная зависимость коэффициента шума F (дБ) от относительной частоты f/f_c (кривая 1) [2]. Кривая 2 представляет собой ослабление мощности шума быстрой циклотронной волны $n(f/f_c)$ во входном резонаторе, описанном в [2]. Кривая 2 рассчитана по формулам, приведенным в [4]. В полосе частот, в которой $F \leq 3$ дБ, величина n не превышает уровень 0,09. Ясно, что если удастся расширить полосу, в которой $n(f) \leq 0,09$, то соответственно расширится и полоса $\Delta\omega_n$.

Если поместить на вход еще один идентичный резонатор, то (кривая 3), полоса частот, определяемая по уровню 0,09, составит 1,08%, что почти в два раза больше полосы ослабления мощности шума одним резонатором (0,58%, как указано выше). В случае двух дополнительных резонаторов, выбранных согласно [4] так, что они обеспечивают полное удаление шума быстрой циклотронной волны на краях полосы $\Delta\omega_n$, обусловленной одним резонатором, полоса ослабления шума существенно расширяется. Этому случаю соответствует на рисунке кривая 4 (один резонатор настроен на частоту f_c , второй на частоту $0,997 f_c$, третий — $1,003 f_c$). Полоса частот, где $n(f) \leq 0,09$, составляет теперь 1,45%. Можно ожидать, что в квадрупольном усилителе с такой входной системой полоса малозумящей работы будет не меньше полосы усиления.

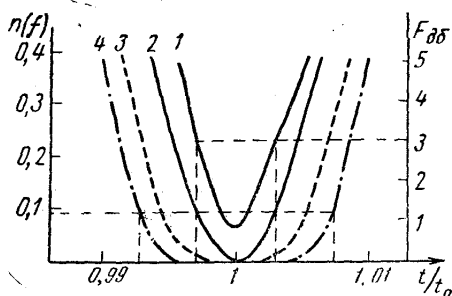


Рис. 2

ЛИТЕРАТУРА

1. Лопухин В. М., Рошаль А. С. «Успехи физич. наук», 85, 2, 297, 1965.
2. Ashkin A. Proc. IRE, 49, 6, 1016, 1961.
3. Справочник по радиотехнике под ред. Б. А. Смирнина. М.—Л., Госэнергоиздат, 1950.
4. Рошаль А. С. «Радиотехника и электроника», 10, вып. 1, 73, 1965.

Поступила в редакцию
20. 11 1965 г.

Кафедра
радиотехники