

В. М. ЛОПУХИН, Б. К. МИЦЕНКО

## РАСШИРЕНИЕ ПОЛОСЫ ЭЛЕКТРОННОГО ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО УСИЛИТЕЛЯ С ПОМОЩЬЮ ДВУХ НЕСВЯЗАННЫХ РЕЗОНАТОРОВ

Рассмотрен вопрос об отборе шума из быстрой циклотронной волны и передаче сигнала в пучок во входном устройстве электронного параметрического усилителя, состоящем из двух несвязанных резонаторов, настроенных на циклотронную частоту. Отбор шума оценивается по уровням 0,01 и 0,02. Дан способ нахождения ширины полосы для одного и двух резонаторов при известных параметрах резонаторов и электронного потока. При использовании двух резонаторов полоса в 1,5—4 раза больше, чем для одного резонатора. Уменьшение тока пучка при использовании двух резонаторов может привести к уменьшению коэффициента шума усилителя.

Расширение рабочей полосы электронных параметрических усилителей представляет значительный интерес [1].

Расширить полосу можно, применяя в качестве входного элемента вместо одного резонатора более сложные устройства: спирали [2], системы связанных [3] или несвязанных [4] резонаторов.

В [4] рассматривается возможность увеличения полосы отбора шума из быстрой циклотронной волны с помощью системы несвязанных резонаторов, частоты которых различны. Ширина полосы оценивается по уровню 0,1, в этом случае 10% мощности шума остается в пучке.

При такой оценке система нескольких резонаторов на входе дает полосу в 1,5—2 раза большую, чем один резонатор. Вопрос о передаче мощности сигнала в пучок в [4] не рассматривается.

В настоящей работе рассмотрено входное устройство, состоящее из двух несвязанных резонаторов, настроенных на одинаковую частоту, равную циклотронной.

Расчет и анализ проводится на основе полученных в [5] для одиночного резонатора результатов, которые являются приближенными, так как они не учитывают связь быстрой циклотронной волны с другими поперечными волнами электронного потока. Это приближение можно оставить и для двух резонаторов, так как большая часть шумовой мощности, перешедшей в быструю циклотронную волну из других волн в первом резонаторе, будет отобрана во втором.

## § 1. Отбор шума одним резонатором

Коэффициент отбора шума из быстрой циклотронной волны во входном резонаторе электронного параметрического усилителя с поперечным полем (лампы Адлера) можно определить по формуле

$$k = 1 - \frac{4GG_e}{(G + G_e)^2 + (B + B_e)^2}, \quad (1)$$

где  $k$  — отношение шумовой мощности, оставшейся в быстрой циклотронной волне после резонатора, к мощности на входе в резонатор,  $G$ ,  $G_e$  — активные составляющие проводимостей эквивалентного контура и электронного потока,  $B$ ,  $B_e$  — их реактивные составляющие, даваемые формулами

$$G_e = 2G_0 \frac{1 - \cos \theta}{\theta^2}, \quad (2)$$

$$B_e = 2G_0 \frac{\theta - \sin \theta}{\theta^2}, \quad (3)$$

$$G_0 = \frac{1}{8} \left( \frac{l}{d} \right)^2 \frac{I}{V}, \quad (4)$$

$$\theta = (\omega_c - \omega) \frac{l}{v}, \quad (5)$$

$$B = 2(\omega - \omega_c) C, \quad (6)$$

где  $l$  — длина пролетного промежутка,  $d$  — расстояние между пластинами, образующими пролетный промежуток,  $I$  — ток пучка,  $V$  — потенциал пучка,  $\omega_c$  — циклотронная частота,  $\omega$  — частота, на которой отбрасывается шум,  $v$  — скорость электронного потока.

Формула (1) следует из эквивалентной схемы, данной в работе [5]. Если пренебречь потерями в стенках резонатора, то формула (1) также показывает, какая часть мощности сигнала не проходит из входной цепи в резонатор, т. е. характеризует передачу сигнала в электронный пучок.

Отбор шума из электронного потока можно считать хорошим, если  $k \leq 0,01$ , т. е. в потоке остается не более 1% шумовой мощности. Полоса отбора шума до указанного значения с помощью одного резонатора имеет ограничение, которое состоит в том, что  $\theta$  заключено в пределах

$$|\theta| \leq 2,1 \quad (7)$$

даже для случая  $G \cong 0,8G_0$  и условия

$$|G + G_e| \gg |B + B_e|. \quad (8)$$

При других значениях  $G$  область возможных значений  $\theta$  становится еще меньше, что видно из рис. 1.

Из (5) получаем

$$(\omega - \omega_c)^2 = \frac{2|e|\theta^2 V}{l^2 m}, \quad (9)$$

откуда видно, что расширить полосу можно увеличением напряжения пучка.

Из (5), (6), (9) имеем

$$B = 2\theta \frac{c}{l} \sqrt{\frac{2|e|V}{m}}, \quad (10)$$

и, следовательно, реактивная проводимость контура возрастает пропорционально увеличению полосы при данном  $\theta$ .

Как следует из (2), (3), для выполнения неравенства (8) необходимо увеличивать  $G_0$  пропорционально возрастанию полосы. Из сказанного и выражения (4) вытекает, что для этого надо ток пучка увеличивать пропорционально  $\left(\frac{\Delta\omega}{\Delta\omega_0}\right)^3$ , где  $\Delta\omega_0$  — полоса, соответствующая потенциалу пучка  $V_0$ ,  $\Delta\omega$  — полоса при потенциале  $V$ .

Если увеличить полосу, уменьшая  $l$  при неизменном потенциале  $V$ , то также необходимо увеличивать ток пучка, чтобы сохранить неравенство (8). Так как емкость контура  $C$  примерно пропорциональна  $l$ , то, как следует из (10),  $B$  не изменяется.

Поэтому для выполнения неравенства (8) необходимо значения  $B_e$  и  $G_e$  оставить прежними, а это, согласно (4), требует увеличения тока пучка пропорционально уменьшению  $l^2$  или в  $\left(\frac{\Delta\omega}{\Delta\omega_0}\right)^2$  раз, где  $\Delta\omega_0$  — ширина полосы, соответствующая  $l_0$ ,  $\Delta\omega$  — ширина полосы при длине  $l$ .

Увеличение тока пучка является нежелательным, так как это вызывает возрастание шумовой мощности в электронном потоке.

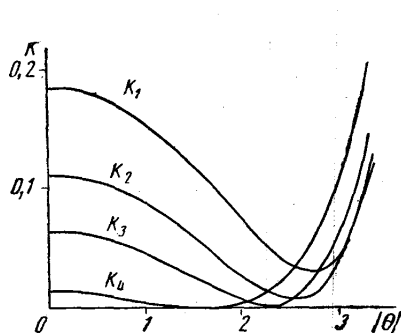


Рис. 1. Коэффициент отбора шума одним резонатором для различных активных проводимостей эквивалентного контура при согласованных реактивных проводимостях контура и

пучка  
 $k_1 - G = 0,46G_0, k_2 - G = 0,56G_0,$   
 $k_3 - G = 0,6G_0, k_4 - G = 0,8G_0$

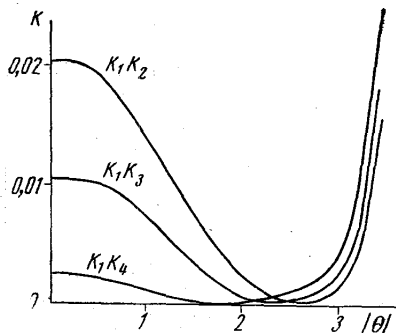


Рис. 2. Коэффициенты отбора шума двумя последовательными резонаторами для случая согласованных реактивных проводимостей контура и пучка

## § 2. Отбор шума двумя резонаторами

Коэффициенты отбора шума с помощью двух последовательно расположенных несвязанных резонаторов даны на рис. 2, 3. Рис. 2 соответствует наилучшему согласованию реактивных проводимостей контура и пучка. Заметим, что для этого случая можно выбирать резонаторы как с отличающимися проводимостями, так и с одинаковыми. Если проводимости одинаковы, то они выбираются примерно равными  $0,6 G_0$ . Нужная величина активной проводимости для первого резонатора может быть достигнута внесением в резонатор активного поглотителя.

Чтобы найти часть мощности сигнала, которая не проходит в электронный пучок, следует воспользоваться рис. 1. Нужно выбрать кривую, которая соответствует активной проводимости второго резонатора.

Как следует из рис. 1, при некоторых значениях  $G$  (например,  $G = 0,6 G_0$ ) отраженная мощность вплоть до значений  $|\theta| 3,4$  состав-

ляет примерно 0,1 (10%) от падающей для случая наилучшего согласования реактивных проводимостей контура и пучка.

Потеря 10% мощности сигнала не может существенно увеличить коэффициент шума лампы.

Для вычисления ширины полосы при известных параметрах пучка и резонатора введем безразмерный параметр  $b$

$$b = \frac{2C}{G_0 l} \sqrt{\frac{2|e|V}{m}} = \left| \frac{dB}{dB_e} \right|_{\theta=0},$$

равный абсолютной величине отношения  $\frac{dB}{d\theta}$  к  $\frac{dB_e}{d\theta}$  при  $\theta = 0$ .

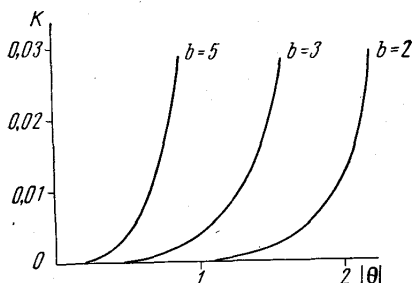


Рис. 3. Коэффициенты отбора шума двумя последовательными резонаторами при отсутствии согласованных реактивных проводимостей контура и пучка.

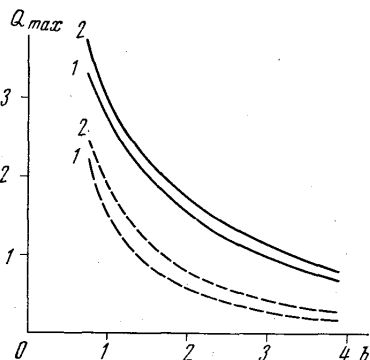


Рис. 4. Максимальное значение угла  $\theta$  в зависимости от соотношения реактивных проводимостей контура и электронного пучка для одного (пунктирные кривые) и двух (сплошные кривые) резонаторов. Кривые 1 для  $k \leq 0,01$ , кривые 2 для  $k \leq 0,02$

На рис. 4 представлена зависимость максимального угла  $\theta_{\max}$  от безразмерного параметра  $b$  для случаев  $k \leq 0,01$  (кривые 1) и  $k \leq 0,02$  (кривые 2). Пунктирные кривые относятся к случаю одного резонатора, сплошные — для двух последовательных. Вычислив  $b$  и найдя на рис. 4 соответствующий этому  $b$  угол  $\theta_{\max}$ , можно найти ширину полосы  $\Delta\omega$ :

$$\Delta\omega = 2(\omega - \omega_c)_{\max} = \frac{2\theta_{\max}}{l} \sqrt{\frac{2|e|V}{m}}.$$

Следует иметь в виду возможность использования двух резонаторов для уменьшения тока пучка. Так, уменьшая ток пучка в 2 раза, по сравнению со случаем полного согласования при  $\omega = \omega_c$ , т. е. уменьшая проводимость электронного пучка в 2 раза ( $G_0 = 2G$  при  $\omega = \omega_c$ ), получим в соответствии с формулой (1)  $k \approx 0,11$ , т. е. после прохождения одного резонатора в пучке остается 11% мощности шума, который содержался в потоке на входе в резонатор. После прохождения второго резонатора в пучке остается лишь 1,2% мощности шума. Сигнал поступает во второй резонатор. При этом теряется 11% мощности сигнала.

Поскольку величина шумовой мощности убывает с уменьшением тока пучка, то несмотря на потерю 11% мощности сигнала, можно ожидать улучшения фактора шума при использовании двух резонаторов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Лопухин В. М., Рошаль А. С. «Успехи физич. наук», № 2, 297, 1965.
2. Chakraborty N. B. J. Electronics and Control, 10, No. 2, 147, 1961.
3. Канавец В. И., Рассадин В. Г., Рошаль А. С. «Изв. вузов», радиотехника, 9, № 5, 622, 1966.
4. Ковалевский М. М., Рошаль А. С. «Изв. вузов», радиофизика, 6, № 6, 1195, 1963.
5. Dibravac V. «Arch. electr. über trag», 18, 585, 1964.

Поступила в редакцию  
28. 2 1967 г.

Кафедра  
радиотехники