

ЭЛЕКТРОННАЯ ТЕХНИКА

Р. Г. АКОНЯН

АНАЛИЗ ШУМОВ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО  
 ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ

Установлено, что при преобразовании двухконтурным параметрическим преобразователем частоты вина возникают большие шумы [1, 2] и в этих преобразователях существует обратная связь, которая положительна в регенеративных и отрицательна в нерегенеративных преобразователях [1].

На рис. 1 изображено распределение спектра частот регенеративного параметрического преобразователя, предназначенного для преобразования частоты  $f_1$  в  $f_2 = f_0 - f_1$ , где  $f_0$  — частота накачки.

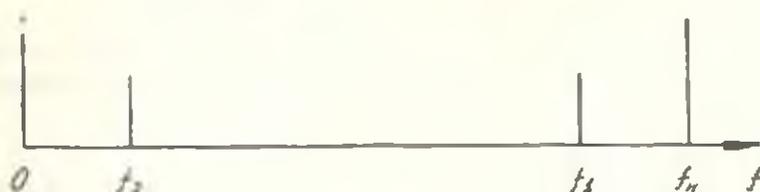


Рис. 1.

Уравнения Кирхгофа для регенеративного преобразователя имеют следующий вид [1, 2]:

$$\begin{aligned} \dot{E}_1 &= \dot{I}_1 \dot{Z}_1 - \dot{I}_2 \dot{Z}_{2c}; \\ \dot{E}_2 &= \dot{I}_2 \dot{Z}_{1c} + \dot{I}_1 \dot{Z}_2 \end{aligned} \quad (1)$$

где  $\dot{E}$  и  $\dot{E}'$  — э. д. с. источников преобразуемой и преобразованной частот;  $\dot{Z}_1$  и  $\dot{Z}_2$  — сопротивления контуров;  $\dot{I}_1$  и  $\dot{I}_2$  — токи, протекающие через параметрический диод на частотах  $f_1$  и  $f_2$ ;  $\dot{Z}_{1c}$  и  $\dot{Z}_{2c}$  — коэффициенты связи:

$$\dot{Z}_{1c} = \frac{\dot{M}}{j\omega_1 C_0}; \quad \dot{Z}_{2c} = \frac{\dot{M}^*}{j\omega_2 C_0}, \quad (2)$$

$\dot{M}$  и  $\dot{M}^*$  — соответственно, комплексное и комплексно-сопряженное значения глубины модуляции емкости параметрического диода;  $\omega_1$ ,

$\omega_2$  — преобразуемая и преобразованная частоты;  $C_0$  — постоянная составляющая емкости параметрического диода.

Из (1) следует, что коэффициент связи  $\dot{Z}_{1c}$  характеризует преобразование в прямом направлении, т. е. преобразование сигнала частотой  $f_1$  и  $f_2$ , а коэффициент связи  $\dot{Z}_{2c}$  характеризует преобразование в обратном направлении — преобразование частоты  $f_2$  и  $f_1$ .

Из (2) имеем:

$$\dot{Z}_{2c} = |\dot{Z}_{1c}| \cdot \frac{\omega_1}{\omega_2}. \quad (3)$$

Из (3) следует, что чем меньше преобразованная частота  $\omega_2$ , тем больше обратная связь. В регенеративном преобразователе из-за наличия положительной обратной связи, кроме преобразования сигнала, происходит также и усиление шумов нагрузки и сопротивления потерь параметрического диода на преобразованной частоте. Определим во сколько раз коэффициент усиления указанных шумов больше коэффициента преобразования сигнала.

Коэффициент преобразования регенеративного параметрического преобразователя определяется следующим выражением [1, 2]:

$$K_{пр} = \frac{|Z_{1c}|^2 R_1 R_2}{Z_1^2 \left| \dot{Z}_2 - \frac{Z_c^2}{Z_1} \right|^2}, \quad (4)$$

где  $K_{пр}$  — коэффициент преобразования преобразователя;  $R_1, R_2$  — сопротивления источника сигнала и нагрузки;  $Z_c$  — коэффициент связи:

$$Z_c^2 = \frac{M^2}{\omega_1 \omega_2 C_0^2}. \quad (5)$$

На рис. 2 изображена эквивалентная электрическая схема контура преобразованной частоты с указанием источников шумов [1, 2]. Здесь  $e_2$  соответствует э. д. с. тепловых шумов нагрузки  $R_2$ ;  $e_1$  — э. д. с. тепловых шумов сопротивления потерь  $R_c$  параметрического диода на преобразованной частоте  $f_2$ ;  $e_{ин}$  — источник шума, внесенный в контур преобразованной частоты, из-за преобразования шумов сопротивлений источника преобразуемой частоты  $R_1$  и потерь  $R_c$  на преобразуемой частоте;  $Z_{ин}$  — сопротивление, внесенное в контур преобразованной частоты;  $X_2$  — реактивное сопротивление контура преобразованной частоты:

$$e_2^2 = 4kT_0 R_2 \Delta f; \quad e_1^2 = 4kT_0 R_c \Delta f; \quad (6)$$

$$e_{ин}^2 = (4kT_0 R_1 \Delta f + 4kT_0 R_c \Delta f) \frac{|\dot{Z}_{2c}|^2}{Z_1^2}.$$

где  $K$  — постоянная Больцмана;  $\Delta f$  — полоса преобразования;  $T_0$  — нормальная температура;  $T$  — шумовая температура диода.

Э. д. с.  $e_2$  создает в контуре преобразованной частоты ток:

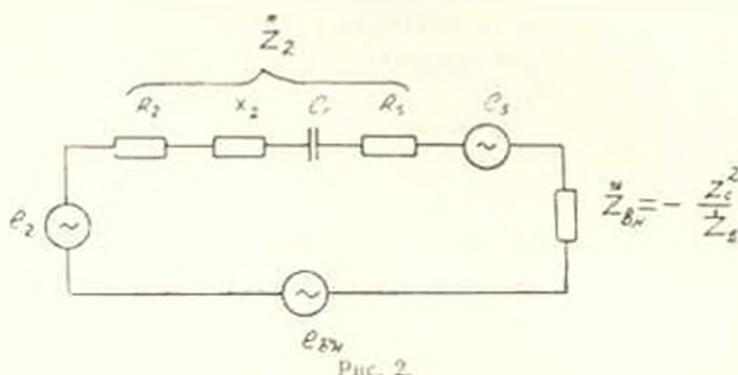
$$i_m^2 = \frac{e_2^2}{|\dot{Z}_2 - \dot{Z}_{in}|^2} \quad (7)$$

Мощность шума, поглощенная на нагрузке  $R_2$ :

$$P_m = i_m^2 R_2 \quad (8)$$

С учетом (6) и (7) выражение (8) принимает вид

$$P_2 = \frac{4kT_0 \Delta f R_2^2}{|\dot{Z}_2 - \dot{Z}_{in}|^2} \quad (9)$$



Мощность шума  $P_0$ , отдаваемая сопротивлением  $R_1$  на согласованную нагрузку:

$$P_0 = k \Delta f T_0 \quad (10)$$

а коэффициент усиления шума нагрузки:

$$K_m = \frac{P_2}{P_0} \quad (11)$$

Подставляя (9) и (10) в (11), получаем:

$$K_m = \frac{4R_2^2}{|\dot{Z}_2 - \dot{Z}_{in}|^2} \quad (12)$$

Аналитическое выражение получается и для коэффициента усиления шума сопротивления потерь  $R_1$  параметрического диода на преобразованной частоте.

Из (4) и (12) определяем соотношение коэффициентов усиления шума нагрузки и преобразования:

$$\frac{K_m}{K_{оп}} = \frac{R_2 Z_1^2}{R_1 |\dot{Z}_{in}|^2} \quad (13)$$

При резонансе контура, с учетом  $R_1 \gg R_2$ , выражение (13) принимает следующий вид:

$$\frac{K_{ш}}{K_{ур}} = \frac{R_2(R_1 + R_2)}{|Z_{ш}|^2} \quad (14)$$

Из (4) следует, что для устойчивой работы преобразователя необходимо удовлетворить условие:

$$R_2 + R_3 > \frac{Z_1^2}{R_1 + R_2} \quad (15)$$

Из (2) и (5) имеем:

$$Z_1^2 = |Z_{ш}|^2 \cdot \frac{\omega_1}{\omega_2} \quad (16)$$

Из (14), с учетом (15) и (16), получаем:

$$K_{ш} > K_{ур} \cdot \frac{\omega_1}{\omega_2} \quad (17)$$

Из (17) следует, что из-за наличия положительной обратной связи в регенеративном параметрическом преобразователе коэффициенты усиления шумов нагрузки и сопротивления потерь  $R_1$  параметрического диода на преобразованной частоте в  $\frac{\omega_1}{\omega_2}$  раз превосходят коэффициент преобразования. Поэтому при преобразовании частоты вниз регенеративным параметрическим преобразователем возникают большие шумы. Таким образом, установлено, что свойство нелинейного реактивного элемента преобразовывать частоту вниз с большими шумами обусловлено внутренней обратной связью.

15 XII 1982

Թ. Գ. ՀԱՎԻՅԱՆ

ՀԱՃԱԿԱՆԱԿՈՒԹՅԱՆ ՊԱՐԱՄԵՏՐԻՔԱԿԱՆ ՓՈՆԱԿԵՐՊԻԶԻ ԱՂՄՈՒՆԵՐԻ ՎԵՐՈՒՄՈՒՄԸ

Ա մ փ ո փ ո ս օ

Հողվածում կատարվում է հաճախականության պարամետրիկական փոխակերպիչի աղմուկների վերլուծում և ապացուցվում է, որ երկչղթայանոց պարամետրիկական փոխակերպիչով հաճախականությունը փոքրացնելու դեպքում աղմուկների մեծացումը պայմանավորված է ներքին հետադարձ կապով:

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

- 1 СВЧ устройства на полупроводниковых диодах /Под ред. И. В. Малыцкого и Б. П. Сестрорецкого— М. Советское радио, 1969— 580 с.
- 2 Бобров И. Н. Параметрические усилители и преобразователи СВЧ— Киев: Техника, 1969— 240 с.