

Пользуясь соотношениями [1, 2]

$$S_{\varphi}(F) = \left(\frac{f_0}{F}\right)^2 \frac{kT}{2P_p \cdot Q_{вн} \cdot Q_n}, \quad (1)$$

$$\gamma_f(F) = 10 \lg [S_{\varphi}(F) \Delta F], \quad (2)$$

( $S_{\varphi}(F)$  - спектральная плотность фазовых флуктуаций в одной боковой полосе;  $f_0$  - рабочая частота;  $F$  - частота модуляции;  $k$  - постоянная Больцмана;  $T$  - температура, К;  $P_p$  - рассеиваемая мощность;  $Q_{вн}$  и  $Q_n$  - внешняя и нагруженная добротности) для сигнала резонансного источника, возмущенного внутренним тепловым шумом, можно оценить величину  $\gamma_f(F)$  (отношение мощности частотного шума в боковой полосе  $\Delta F$  к мощности несущей частоты, в дБ).

Задаваясь  $f_0 = 10$  ГГц,  $\Delta F = 1$  Гц,  $P_p = 10^{-3}$  Вт для сверхпроводящих резонаторов (СПР) получим: 1)  $T = 1,1$  К,  $Q_{вн} = 10^{10}$ ,  $Q_n = 5 \cdot 10^9$  -  $\gamma_f(10 \text{ Гц}) \sim -218$  дБ,  $\gamma_f(10^2 \text{ Гц}) \sim -238$  дБ,  $\gamma_f(10^3 \text{ Гц}) \sim -258$  дБ; 2)  $T = 4,2$  К,  $Q_{вн} = 2 \cdot 10^7$ ,  $Q_n = 10^7$  -  $\gamma_f(10 \text{ Гц}) \sim -158$  дБ,  $\gamma_f(10^2 \text{ Гц}) \sim -178$  дБ,  $\gamma_f(10^3 \text{ Гц}) \sim -198$  дБ.

Полученные значения характеризуют чрезвычайно высокую спектральную чистоту сигнала СПР и могут быть взяты как предельные для генератора с СПР. Однако в реальной системе стабилизации СПР может выступать в роли как бы фильтра для тепловых шумов стабилизируемого генератора, полупроводникового или электронного типа. В этом случае температура источника при проведении оценок должна быть взята, например, для СВЧ генератора электронного типа  $\sim 10^4$  К. Тогда при  $Q_{вн} = 2 \cdot 10^7$ ,  $Q_n = 10^7$  получим  $\gamma_f(10 \text{ Гц}) \sim -125$  дБ,  $\gamma_f(10^2 \text{ Гц}) \sim -145$  дБ,  $\gamma_f(10^3 \text{ Гц}) \sim -165$  дБ.

Значения величин  $\gamma_f(F)$ , оцененные с помощью (1) и (2), характеризуют только тепловые шумы в частотном спектре сигнала и не учитывают других видов шумов, специфических для различных типов источников СВЧ колебаний.

Исследования ЧМ шумов практических конструкций систем стабилизации с СПР дают значения, близкие к приведенным выше [3, 4]. Таким образом, дальнейшее совершенствование систем стабилизации час-

тоты криогенными резонаторами с целью снижения ЧМ шумов может быть связано только с понижением температуры источника колебаний, стабилизирующего резонатора, увеличением добротности резонатора и уменьшением мощности сигнала, рассеиваемого в резонаторе ( I ).

Однако не все эти меры целесообразны и обоснованы при постановке задачи создания генераторов, предназначенных для широкого применения. Кроме того необходимо учитывать ограничивающее воздействие АМ шумов, которое начинает сказываться при достигаемых величинах ЧМ шума, а также реалии, связанные с собственными шумами аппаратуры, сопрягаемой с такими малозумящими генераторами.

В связи с этим на первый план в настоящее время выходит задача оптимизации параметров малозумящих СВЧ генераторов с учётом условий их эксплуатации и характеристик аппаратуры, в которой они будут применяться.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Stein S.R. *Space applications of superconductivity: resonators for high stability oscillators and other applications.* - *Cryogenics*, 1980, v.20, N7, p. 363-371.
2. Корнилов С.А., Савшинский В.А., Уман С.Д. Шумы клистронных генераторов малой мощности. - М.: Советское радио, 1972 - 200 с.
3. Каплун З.Ф., Иванецкий К.П., Дедик Ю.В. Частотные флуктуации отражательного клистрона, стабилизированного сверхпроводящим резонатором. - *Электронная техника, сер. I, Электроника СВЧ*, 1972, вып. I, с. 12 - 15.
4. Бондаренко И.Н., Гнесь А.С., Менде Ф.Ф. Исследование спектральных характеристик СВЧ генераторов, стабилизированных сверхпроводящими резонаторами. - *Электронная техника, сер. I, Электроника СВЧ*, 1982, вып. I, с. 13 - 16.

СКТБ по ИТ с ОП ФТИИТ АН УССР