

О ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ СТАБИЛЬНОСТИ ЧАСТОТЫ В СИСТЕМЕ
ФАП С ПАССИВНЫМ ЭТАЛОНОМ

Н.Н.Пренцлау, Ф.Ф.Менде, И.Н.Бондаренко

Показана возможность повышения стабильности частоты в системе ФАП с пассивным эталоном путем стабилизации низкочастотного опорного генератора по стабильному СВЧ сигналу.

Стабилизированный таким образом низкочастотный генератор используется как опорный для стабилизации частоты СВЧ генератора.

В работе [1] описана система стабилизации частоты СВЧ генератора с фазовой автоподстройкой по низкочастотному опорному генератору. В этой работе было показано, что в том случае, если частота сигнала, проходящего через резонатор, стабильна, нестабильность частоты подстраиваемого СВЧ генератора определяется, в основном, нестабильностью частоты низкочастотного опорного генератора и равна

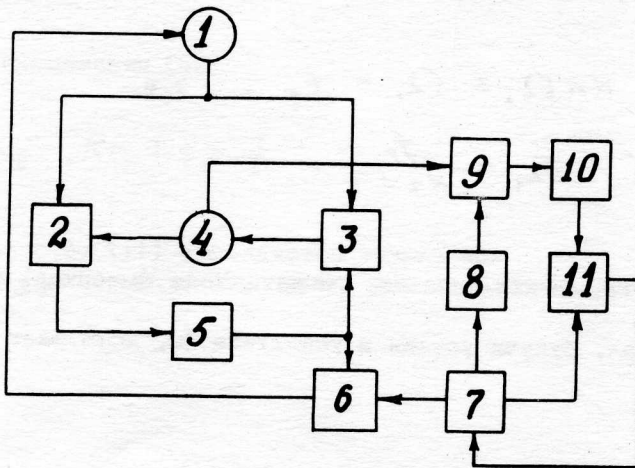
$$\delta_f = \delta_\Omega \frac{\Omega}{f}, \quad (1)$$

где δ_f - относительная нестабильность частоты подстраиваемого генератора,
 δ_Ω - относительная нестабильность частоты опорного низкочастотного генератора,

f и Ω - частота сигналов СВЧ и опорного генератора соответственно.

Из (1) видно, что для уменьшения нестабильности частоты подстраиваемого СВЧ генератора необходимо уменьшить нестабильность частоты опорного низкочастотного генератора.

В настоящей работе описана система, в которой это нежелательное явление в значительной степени ослаблено. Это достигается путем введения дополнительной фазовой автоподстройки частоты низкочастотного генератора по стабильному СВЧ сигналу. Блок-схема системы стабилизации приведена на рисунке.



Цифрами соответственно обозначены: 1 - подстраиваемый СВЧ генератор, 2 - смеситель, 3 - модулятор, 4 - сверхпроводящий резонатор (СПР), 5 - усилитель промежуточной частоты (УПЧ), 6 - фазовый детектор, 7 - низкочастотный опорный генератор, 8 - умножитель частоты, 9 - смеситель, 10 - усилитель промежуточной частоты (УПЧ), 11 - фазовый детектор.

Рассмотрим работу системы. Сигнал от подстраиваемого генератора 1 поступает на смеситель 2 и модулятор 3, между которыми включен УПЧ 5. Нетрудно показать, что система, состоящая из элементов 1, 2, 3 и 5, является СВЧ усилителем с переносом усиления на промежуточную частоту, в цепь положительной обратной связи которого включен сверхпроводящий резонатор 4 [2]. Если выполняется условие

$$f = f_p \pm \Omega, \quad (2)$$

где f_p - резонансная частота СПР 4,

то СВЧ усилитель самовозбудится, генерируя сигнал стабильной частоты f_p . При этом, как показано в работе [3], флуктуация частоты подстраиваемого генератора 1 перераспределится между частотами Ω и f_p следующим образом:

$$\Delta\Omega = \frac{\Delta f}{\left(1 + \frac{\tau_\Omega}{\tau_p}\right)}, \quad (3)$$

$$\Delta f_p = \Delta\Omega \frac{\tau_\Omega}{\tau_p} = \frac{\Delta f}{1 + \frac{\tau_p}{\tau_\Omega}},$$

где Δf , $\Delta\Omega$ и Δf_p - флуктуации частоты сигналов подстраиваемого генератора 1, а также сигнала, проходящего через УПЧ и СПР соответственно.

τ_Ω и τ_p - крутизны фазовых характеристик УПЧ 5 и СПР 4. Из (3) видно, что в случае, если $\tau_p \gg \tau_\Omega$, почти вся флуктуация частоты Δf переносится на промежуточную, т.е.

$$\Delta\Omega \approx \Delta f. \quad (4)$$

Это свойство системы и используется для фазовой автоподстройки генератора 1 по опорному низкочастотному генератору 7 [1]. Сигнал же, проходящий через резонатор 4, как видно из соотношений 3, даже в случае отсутствия автоподстройки генератора 1, оказывается стабилизированным. Это свойство и использовано в системе, приведенной на рисунке, для дополнительной фазовой автоподстройки генератора 7. Стабилизированный таким образом сигнал генератора 7 в дальнейшем используют для фазовой автоподстройки генератора 1. Фазовая автоподстройка частоты генератора 7 осуществляется с помощью элементов 8, 9, 10, 11.

Сигнал Ω_1 умножается по частоте в умножителе 8 в n раз и поступает на смеситель 9, где образует спектр с дискретностью $n\Omega_1$. Если выполняется условие

$$Kn\Omega_1 \pm \Omega_1 = f_p, \quad \text{т.е.} \\ \Omega_1 = \frac{f_p}{Kn \pm 1}, \quad (5)$$

где K - номер гармоники сигнала, то на выходе смесителя 9 получим сигнал с частотой Ω_1 .

Этот сигнал, будучи усилен в усилителе 10, поступает на фазовый детек-

тор 11, куда также подают сигнал генератора 7. При уходе частоты генератора 7 от значения Ω_1 на выходе фазового детектора 11 появится сигнал ошибки. Это связано с тем, что соотношение (5) выполняется только при строго определенном значении частоты низкочастотного генератора, равном Ω_1 . Сигнал ошибки с выхода фазового детектора 11 и используют для коррекции частоты генератора 7.

Рассмотрим соотношения между частотами, при которых изображенная на рисунке система является работоспособной. В связи с тем, что фазовая автоподстройка обеспечивает абсолютное равенство частот эталонного и подстраиваемого генераторов, стационарный режим работы наступит при равенстве частот сигналов, подаваемых на фазовый детектор 6 с УПЧ 5 и от генератора 7, т.е.

$$\Omega = \Omega_1. \quad (6)$$

Учитывая (5), можно записать :

$$\Omega = \frac{f_p}{K_n \pm 1}. \quad (7)$$

Рассмотрим подстраивающее действие системы.

При уходе частоты сигнала, проходящего через резонатор 4, на Δf_p при действии системы фазовой автоподстройки можно записать :

$$K_n \Omega'_1 \pm \Omega'_1 = f_p \pm \Delta f_p, \quad (8)$$

где Ω'_1 - частота генератора 7 при наличии флуктуации Δf_p . Учитывая (5), из (8) находим

$$\Omega'_1 = \frac{f_p \pm \Delta f_p}{K_n \pm 1} = \Omega_1 \pm \frac{\Delta f_p}{K_n \pm 1}. \quad (9)$$

При наличии флуктуации частоты генератора 7, с учетом (3) и (9), можно записать

$$\frac{\Delta f_p}{K_n \pm 1} = \frac{\Delta \Omega \frac{\tau_\Omega}{\tau_p}}{K_n \pm 1}. \quad (10)$$

В случае применения фазовой автоподстройки генератора 1 с учетом (6) находим

$$\Delta \Omega = \Delta \Omega \frac{\tau_\Omega / \tau_p}{K_n \pm 1}. \quad (11)$$

Так как в случае применения СПР

$$\tau_\Omega / \tau_p \ll 1, \quad \text{а} \quad K_n \pm 1 \gg 1, \quad \text{то} \quad \frac{\tau_\Omega / \tau_p}{K_n \pm 1} \neq 1.$$

В этом случае равенство (11) выполняется только при $\Delta \Omega = 0$. Но при этом, согласно (3) $\Delta f_p = 0$. Учитывая, что $\Delta f_p + \Delta \Omega = \Delta f$ [3], имеем

$$\Delta f = 0.$$

Естественно, что последнее соотношение характеризует идеализированную систему, в которой отсутствует влияние внешних факторов на фазовые характеристики элементов. В действительности же такое влияние всегда имеется, приводя к некоторым флуктуациям частоты f_p , а следовательно, и к флуктуациям f .

Однако нестабильность частоты, связанная с этим, определяется только условием баланса фаз в СВЧ генераторе, использующем усилитель с переносом усиления на промежуточную частоту. Дополнительный же фактор нестабильности, связанный с наличием низкочастотного опорного генератора, исключается. В этом основное преимущество предлагаемой системы по сравнению с системой стабилизации, в которой используется независимый низкочастотный генератор [1].

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Ф.Ф.Менде, Н.Н.Пренцлау, В.А.Чаркин, И.Т.Баранов, Авторское свидетельство № 340056. "Бюллетень изобретений", № 17, 1972.
2. Ф.Ф.Менде, В.М.Дмитриев, Е.В.Христенко, Г.Е.Чурилов, ПТЭ, № 3, 1967.
3. Ф.Ф.Менде, В.М.Дмитриев, Е.В.Христенко, Г.Е.Чурилов, Н.Н.Пренцлау, В.А.Чаркин, И.Т.Баранов, Сб. "Физика конденсированного состояния", вып. 1X, ФТИНТ АН УССР, Харьков, 1970.

ON POSSIBILITIES OF INCREASING FREQUENCY STABILITY IN FAT WITH PASSIVE STANDARD

N.N.Prentslau, F.F.Mende, I.N.Bondarenko

The possibility has been shown for increasing the frequency stability in the FAT system with a passive standard by stabilizing the low frequency reference generation using a stable microwave signal.

The stabilized this way low frequency generator can be used as a reference one for stabilizing the frequency of the ultra-high frequency generator.

Получена редколлегией 13 ноября 1972 года.