

УДК 621.373.12

ИЗМЕРЕНИЕ ФЛУКТУАЦИЙ ЧАСТОТЫ АВТОГЕНЕРАТОРОВ С ПОМОЩЬЮ
ВНЕШНЕЙ СИНХРОНИЗАЦИИ

ГОРОШКО С. М., ПОЛЗУНОВ В. В.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
(г. Минск, Республика Беларусь)**E-mail: goroshcko@bsuir.by*

Аннотация. Рассмотрен новый способ измерения флуктуаций частоты автогенераторов без применения внешнего частотного дискриминатора. В качестве частотно-зависимого элемента используется сам автогенератор в режиме внешней синхронизации. Способ позволяет повысить чувствительность измерений, упростить процесс настройки и калибровки измерителя, отказаться от высокодобротного объемного резонатора, а также позволяет проводить эффективные измерения в маломощных генераторах.

Abstract. A new method for measuring fluctuations in the frequency of oscillators without using an external frequency discriminator is considered. The oscillator itself is used as a frequency-dependent element in the external synchronization mode. The method makes it possible to increase the sensitivity of measurements, to simplify the process of setting and calibrating the meter, to abandon the high-Q cavity resonator, and also allows efficient measurements in low-power generators.

Известные методы измерения флуктуаций частоты сводятся к преобразованию флуктуаций частоты во флуктуации амплитуды. Для преобразования частотной модуляции в амплитудную применяются дискриминаторы, которые позволяют преобразовать частотную модуляцию входного колебания в амплитудную модуляцию выходного сигнала. В качестве частотно-зависимого элемента дискриминатора используются резонансные контуры или линии задержки, а в СВЧ диапазоне – высокодобротные резонаторы.

В работе рассматривается новый способ измерения флуктуаций частоты автогенераторов без применения внешнего дискриминатора, где в качестве частотно-зависимого элемента выступает сам автогенератор в режиме внешней синхронизации. Полные флуктуации частоты на выходе синхронизированного генератора (СГ) складываются из флуктуаций частоты внешнего колебания и автогенератора в режиме свободных колебаний, умноженных на коэффициенты подавления S_1 и S_2 определяются как

$$W_f = W_{fc}S_1 + W_{fr}S_2, \quad (1)$$

где $W_f; W_{fc}; W_{fr}$ – спектральные плотности флуктуаций частоты на выходе СГ, внешнего колебания и автогенератора соответственно; S_1 и S_2 – коэффициенты подавления.

В середине полосы синхронизации коэффициенты подавления определяются следующим образом

$$S_1 = \frac{1}{1+(F/\Delta f_c)^2}; \quad S_2 = \frac{(F/\Delta f_c)^2}{1+(F/\Delta f_c)^2}, \quad (2)$$

где $F, \Delta f_c$ – частота анализа и полоса синхронизации генератора соответственно.

Поскольку флуктуации частоты и флуктуации фазы связаны между собой известным соотношением $W_f(F) = W_\varphi(F)F^2$, то выражение (1) можно записать в виде

$$W_f = W_{fc}S_1 + W_{\varphi r}F^2S_2 = W_{fc}S_1 + W_{\varphi c}F^2, \quad (3)$$

где $W_{\varphi r}, W_{\varphi c}$ – спектральные плотности флуктуаций фазы автогенератора и разности фаз в СГ соответственно.

Второе слагаемое в (3) представляет собой флуктуации разности фаз в СГ и, как видно, связано с флуктуациями частоты автогенератора. Следовательно, по флуктуациям разности фаз в СГ можно судить о флуктуациях частоты автогенератора. Измерение флуктуации разности фаз значительно проще, чем измерение флуктуации частоты, так как не требует использования частотно-зависимых элементов (в СВЧ диапазоне – объемных резонаторов). Таким образом, чтобы определить флуктуации частоты автогенератора, необходимо измерить его полосу синхронизации и флуктуации разности фаз в середине этой полосы при синхронизации его внешним сигналом, а затем рассчитать флуктуации частоты автогенератора по формуле

$$W_{f\Gamma}(F) = \frac{W_{\varphi_{\text{сг}}}(F)F^2}{S_2} = W_{\varphi_{\text{сг}}}(F)(F^2 + \Delta f_c^2). \quad (4)$$

В известных измерителях флуктуаций частоты необходим внешний частотно-зависимый элемент (контур или резонатор), а в рассматриваемом способе таким частотно-зависимым элементом является сам исследуемый автогенератор в режиме внешней синхронизации. Кроме того, во внешних элементах (резонаторе) расходуется значительная мощность колебания, что создает определенные трудности при измерении флуктуаций в маломощных генераторах. В рассматриваемом же способе такие потери отсутствуют.

Чувствительность измерения флуктуаций фазы практически равна чувствительности измерения флуктуаций амплитуды [1] и значительно превышает чувствительность измерений флуктуаций частоты. При этом потери в частотно-зависимом элементе на преобразование флуктуаций частоты во флуктуации амплитуды, при использовании расстроенного резонатора, или на преобразование флуктуаций частоты во флуктуации фазы при использовании настроенного резонатора и фазового детектора, отсутствуют. Кроме того, при фазовых измерениях не требуется калибровка преобразования флуктуаций частоты во флуктуации амплитуды, что значительно упрощает процесс перестройки и калибровки измерителя. Для интерференционного способа измерений флуктуаций частоты, заключающегося в преобразовании флуктуаций частоты во флуктуации фазы в настроенном внешнем резонаторе и измерении фазы мостовым фазовым детектором (подавляющим флуктуации амплитуды входного сигнала), чувствительность измерений согласно [1] можно записать

$$W_{fmin}(F) = (\Delta f^2) \left[W_{amin}(F) + \frac{W_{\alpha}(F)}{m^2} \right], \quad (5)$$

где $\Delta f = f_0/Q_n$ – полоса пропускания контура (резонатора);

f_0, Q_n – резонансная частота и нагруженная добротность контура (резонатора) соответственно.

В рассматриваемом способе при использовании мостового фазового детектора чувствительность измерений флуктуаций частоты автогенератора будет определяться как

$$W_{fmin}(F) = F_{max}^2 W_{\varphi min} = \left[W_{amin}(F) + \frac{W_{\alpha}(F)}{m^2} \right], \quad (6)$$

где F_{max} – максимальная частота спектра исследуемого сигнала;

$W_{fmin}(F)$ – чувствительность измерителя флуктуаций амплитуды;

$W_{\alpha}(F)$ – флуктуации амплитуды исследуемого сигнала;

m^2 – глубина подавления флуктуаций амплитуды входного сигнала на выходе мостового фазового детектора.

Из (5) и (6) видно, что выигрыш в чувствительности составит $\Delta f^2/F^2$ раз. Как правило, для исключения частотных искажений полоса пропускания контура должна быть значительно больше максимальной частоты спектра исследуемого колебания. Тогда при $\Delta f = 10F$ и прочих равных условиях чувствительность рассматриваемого способа по сравнению с интерференционным будет выше в 100 раз, т.е. составит 20 дБ. Причем достигается при низких частотах анализа (до 10...100 кГц).

Повышение чувствительности измерений и упрощение процесса настройки и калибровки измерителя достигается за счет исключения дополнительного частотно-зависимого элемента (контура или резонатора) с достаточно широкой полосой пропускания. В этом случае исключаются потери на преобразование флуктуаций частоты во флуктуации амплитуды во внешнем дискриминаторе, и отпадает необходимость определения коэффициента их преобразования. Кроме того, за счет исключения потерь в резонаторе появляется возможность проведения эффективных измерений флуктуаций частоты в маломощных генераторах.

Заключение

Таким образом, предложен новый способ измерения флуктуаций частоты автогенераторов, заключающийся в синхронизации их внешним сигналом и измерении флуктуаций разности фаз в синхронизированном генераторе. Способ позволяет повысить чувствительность измерений, упростить процесс настройки и калибровки измерителя, отказаться от внешнего высокочастотного резонатора, а также позволяет проводить эффективные измерения в маломощных генераторах, т. к. отсутствуют потери мощности резонатора.

Список литературы

1. Корнилов С. А. Спектрально-корреляционные методы измерения флуктуационной нестабильности непрерывных СВЧ-колебаний / Обзоры по электронной технике. Сер. Электроника СВЧ. – 1977. – Вып.8(471).