

# О СТАБИЛЬНОСТИ ЧАСТОТЫ СИНХРОНИЗИРУЕМОГО ГЕНЕРАТОРА В СИНХРОННЫХ СИСТЕМАХ ЦИФРОВОГО ЧАСТОТНОГО СИНТЕЗА

А. Н. Зеленин

Харьков

Метод цифрового частотного синтеза (ЦЧС) применяется в устройствах взаимной синхронизации двух и более автогенераторов [1] и при диапазонно-кварцевой стабилизации частот синхронизируемых генераторов (СГ) в системах синтеза сетки дискретных частот. Данная работа посвящена изучению некоторых вопросов, связанных с временной частотной стабильностью СГ в синхронных системах ЦЧС.

В работе [2] подробно описана система взаимной синхронизации двух автогенераторов; для получения синхронизма в системе использовался метод ЦЧС (рис. 1). Согласно [2], частотно-фазовые соотношения в системе взаимной синхронизации двух автогенераторов описываются следующей системой уравнений:

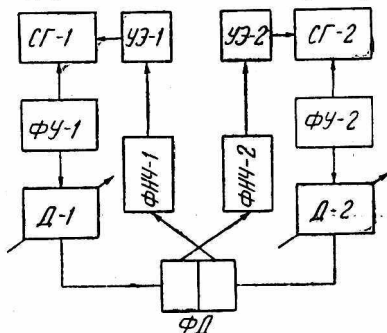


Рис. 1. Схема взаимной синхронизации двух автогенераторов методом ЦЧС:

СГ-1, СГ-2 — синхронизируемые генераторы с управляющими элементами УЭ; ФУ-1, ФУ-2 — формирующие импульсные устройства; Д-1, Д-2 — делители частот; ФД — фазовый детектор; ФНЧ — фильтр нижних частот.

$$\frac{\omega_1}{K_1} = \frac{\omega_{01}}{K_1} - a_{21} \frac{S_1}{K_1} F_1^*(\varphi) \left[ \int_{T_1}^{T_2} \frac{\omega_1}{K_1} dt - \int_{T_1}^{T_2} \frac{\omega_2}{K_2} dt \right]; \quad (1)$$

$$\frac{\omega_2}{K_2} = \frac{\omega_{02}}{K_2} - a_{12} \frac{S_2}{K_2} F_2^*(\varphi) \left[ \int_{T_1}^{T_2} \frac{\omega_2}{K_2} dt - \int_{T_1}^{T_2} \frac{\omega_1}{K_1} dt \right], \quad (2)$$

где  $\frac{\omega_1}{K_1} = \Omega_1$  — текущее значение частоты эквивалентного генератора ЭГ-1,

$\frac{\omega_2}{K_2} = \Omega_2$  — текущее значение частоты эквивалентного генератора ЭГ-2,

$\frac{\omega_{01}}{K_1} = \Omega_{01}$  и  $\frac{\omega_{02}}{K_2} = \Omega_{02}$  — парциальные частоты соответствующих эквивалентных генераторов;

$a_{21}$  — коэффициент влияния второго генератора на первый;

$a_{12}$  — коэффициент влияния первого генератора на второй;

$\frac{S_1}{K_1}$  и  $\frac{S_2}{K_2}$  — крутизна электронной перестройки ЭГ-1 и ЭГ-2 соответственно;

$F^*(\varphi)$  — коэффициент передачи звена ФД-ФНЧ в соответствующем канале.

Перепишем (1) и (2) в виде

$$\Omega_1 = \Omega_{01} - a_{21} \frac{S_1}{K_1} F_1^*(\varphi) \left[ \int_{T_1}^{T_2} \Omega_1 dt - \int_{T_1}^{T_2} \Omega_2 dt \right]; \quad (3)$$

$$\Omega_2 = \Omega_{02} - a_{12} \frac{S_2}{K_2} F_2^*(\varphi) \left[ \int_{T_1}^{T_2} \Omega_2 dt - \int_{T_1}^{T_2} \Omega_1 dt \right]. \quad (4)$$

Учитывая частотный астатизм системы [2] и раскрыв интегралы, получим следующие выражения для относительных частотных приращений  $\Delta\Omega_1$  и  $\Delta\Omega_2$ :

$$\begin{aligned} \Delta\Omega_1 = & \Delta\Omega_{01} \left( \frac{1}{1 + \beta_{21}t \left| \frac{T_2}{T_1} + \beta_{12}t \right| \frac{T_2}{T_1}} \right) + \\ & + \Delta\Omega_{01} \left( \frac{\beta_{12}t \left| \frac{T_2}{T_1} \right|}{1 + \beta_{21}t \left| \frac{T_2}{T_1} + \beta_{12}t \right| \frac{T_2}{T_1}} \right) + \Delta\Omega_{02} \left( \frac{\beta_{21}t \left| \frac{T_2}{T_1} \right|}{1 + \beta_{21}t \left| \frac{T_2}{T_1} + \beta_{12}t \right| \frac{T_2}{T_1}} \right); \quad (5) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta\Omega_2 = & \Delta\Omega_{02} \left( \frac{1}{1 + \beta_{21}t \left| \frac{T_2}{T_1} + \beta_{12}t \right| \frac{T_2}{T_1}} \right) + \\ & + \Delta\Omega_{02} \left( \frac{\beta_{21}t \left| \frac{T_2}{T_1} \right|}{1 + \beta_{21}t \left| \frac{T_2}{T_1} + \beta_{12}t \right| \frac{T_2}{T_1}} \right) + \Delta\Omega_{01} \left( \frac{\beta_{12}t \left| \frac{T_2}{T_1} \right|}{1 + \beta_{21}t \left| \frac{T_2}{T_1} + \beta_{12}t \right| \frac{T_2}{T_1}} \right), \quad (6) \end{aligned}$$

где  $\beta_{21} = a_{21} \frac{S_1}{K_1} F_1^*(\varphi)$ ,  $\beta_{12} = a_{12} \frac{S_2}{K_2} F_2^*(\varphi)$  — полюсы удержания соответствующих ЭГ.

Из выражений (5), (6) видно, что нестабильность частот СГ при малых временах усреднения  $\beta\tau < 1$ , где  $\tau = (T_2 - T_1)$ , т. е. кратковременная нестабильность, в основном определяется нестабильностью парциальных частот соответствующих СГ. Долговременная ( $\beta\tau > 1$ ) нестабильность частот СГ в системе взаимной синхронизации обуславливается нестабильностью парциальных частот как СГ-1, так и СГ-2 и изменением во времени параметров системы.

Для перехода к обычной схеме ЦЧС (рис. 2) достаточно разомкнуть одну из управляющих связей в системе взаимной синхронизации двух автогенераторов, т. е. сделать один из коэф-

коэффициентов влияния  $a$  равным нулю [2]. Положив  $a_{12}^* = 1$ ,  $a_{21}^* = 0$ , из (5), (6) получим

$$\Delta\Omega_1 = \Delta\Omega_{01}; \quad (7)$$

$$\Delta\Omega_2 = \Delta\Omega_{02} \left( \frac{1}{1 + \beta_{12}\tau} \right) + \Delta\Omega_{01} \left( \frac{\beta_{12}\tau}{1 + \beta_{12}\tau} \right). \quad (8)$$

Уравнение (8), описывающее временную нестабильность СГ в системе ЦЧС, показывает, что кратковременная нестабильность частоты СГ определяется нестабильностью парциальной частоты СГ, а долговременная нестабильность — параметрами сигнала опорного генератора (ОГ). Из выражения (8) видно, что условия

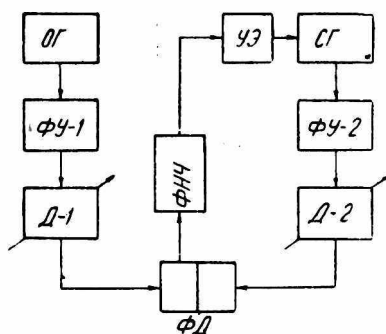


Рис. 2. Схема цифрового частотного синтеза.

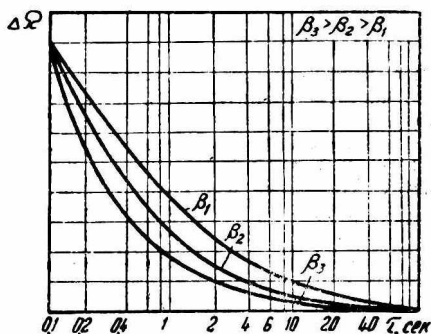


Рис. 3. График временной зависимости относительной частотной нестабильности синхронизируемого генератора в системе ЦЧС.

для получения малой кратковременной нестабильности противоположны условиям обеспечения малой долговременной нестабильности. Так, для уменьшения кратковременной нестабильности частоты СГ в системе ЦЧС необходимо увеличивать  $\beta$ , т. е. увеличивать крутизну электронной перестройки синхронизируемого генератора, уменьшать коэффициент деления делителя частоты в канале СГ, увеличивать крутизну характеристики ФД и коэффициент передачи ФНЧ для всех компонент в сигнале управления, несущих информацию о рассогласовании синхронизируемого и опорного генераторов [3]. Для получения малой долговременной нестабильности СГ в системе ЦЧС необходимо уменьшать  $\beta$ . На рис. 3 приведены характеристические зависимости временной нестабильности СГ в системе ЦЧС, полученные при помощи соотношения (8) для нескольких значений  $\beta$ . Из рис. 3 видно, что при временах усреднения ( $\tau > \frac{1}{\beta}$ ) уже в значительной мере сказывается стабилизирующее действие системы ФАПЧ на параметры сигнала СГ. Следует подчеркнуть, что на основании соотношений (5)—(8) возможно лишь качественное рассмотрение вопроса о временной

нестабильности СГ, так как для получения количественных соотношений необходимо учитывать паразитное влияние на СГ помех из каналов деления частот, а также из цепи управления.

В заключение отметим, что высокая кратковременная стабильность сигналов СГ в одночастотных синхронных системах ЦЧС может быть достигнута применением в качестве СГ управляемых кварцевых генераторов [5]. Для обеспечения высокой кратковременной стабильности СГ в системах синтеза дискретной сетки частот, очевидно, наиболее рационально увеличение  $\beta$  в пределах устойчивой работы системы [4], причем особое внимание следует уделить звену ФД-ФНЧ.

## ЛИТЕРАТУРА

1. О. И. Губернаторов, А. Н. Зеленин. Математическое описание системы взаимной синхронизации группы автогенераторов методом цифрового частотного синтеза. Сб. «Радиотехника», вып. 21. Харьков, изд-во ХГУ, 1972.
2. О. И. Губернаторов, А. Н. Зеленин, Е. Л. Демьянкова. К вопросу о взаимной синхронизации двух автогенераторов методом цифрового частотного синтеза. Сб. «Радиотехника», вып. 24. Харьков, изд-во ХГУ, 1973.
3. А. Г. Демьянченко. Система ФАПЧ с делителями частоты. «Электросвязь», 1971, № 2.
4. С. Ю. Сила-Новицкий. Статистический анализ системы импульсно-фазовой автоподстройки частоты. Труды Московск. авиац. ин-та, вып. 188, 1969.
5. W. Kaminski, H. A. Schneider. Multiple fase transmitter synchronization. IEEE Trans on Vehicular Technol, Oct. 1968.