

ВЛИЯНИЕ ШУМОВ НА РАБОТУ ЦИФРОВОГО СИНТЕЗАТОРА ЧАСТОТЫ¹

Одной из основных задач в процессе дальнейшего усовершенствования систем цифрового частотного синтеза (ЦЧС) является повышение стабильности частоты синхронизируемого генератора (СГ). Использование в системе ЦЧС в качестве опорного генератора высокостабильного стандарта частоты с относительной нестабильностью частоты порядка 10^{-9} (стандарта частоты Ч5-9) на этапе проектирования выдвигает ряд новых задач.



Рис. 1.

К ним в первую очередь следует отнести учет влияния внешних и внутренних помех в системе ЦЧС на качество синхронизации СГ.

В данной статье в порядке постановки задачи рассмотрены некоторые особенности в функционировании систем ЦЧС с высокостабильным опорным генератором (ОГ) в присутствии внешних помех. Схема однокольцевого цифрового синтезатора с непосредственным делением частоты СГ приведена на рис. 1.

Можно показать, что анализ работы СГ в системе ЦЧС при наличии внешнего аддитивного шума [1] сводится к уравнению

$$K_2 \varphi = \frac{\omega_{ог} K_2}{K_1} - \omega_{ог} - \beta (K_{2max} - K_{2min}) \times \chi \sin \varphi -$$

¹ В порядке постановки задачи.

$$-\beta(K_{2\max} - K_{2\min})\chi \frac{\sigma_{\xi}}{a} M,$$

где K_2 — коэффициент деления делителя частоты с переменным коэффициентом деления (ДПКД) в канале СГ;

K_1 — коэффициент деления делителя частоты в канале ОГ;

φ — установившаяся разность фаз сигналов на входах фазового детектора в синхронном режиме;

β — частота сравнения сигналов на фазовом детекторе;

χ — постоянный коэффициент (для однокольцевого синтезатора ($\chi \approx 1,2 \div 1,6$));

σ_{ξ} — среднеквадратичное значение шума;

a — амплитуда полезного сигнала в точке приложения помехи;

M — коэффициент, характеризующий чувствительность схемы ЦЧС по отношению к помехе, приложенной в данной точке.

В соответствии с принятыми обозначениями

$$\frac{\omega_{0\text{ог}} K_2}{K_1} - \omega_{0\text{сг}} = \Delta\omega_n \text{ — начальная частотная расстройка СГ}$$

и ОГ при разомкнутой петле ФАПЧ;

$$\beta(K_{2\max} - K_{2\min})\chi \text{ — полоса синхронизации СГ.}$$

В отличие от рассмотренных ранее случаев [2] в системах ЦЧС $\Delta\omega_n$ не равно нулю, причем в процессе функционирования системы ЦЧС в связи с изменением K_2 также меняется и $\Delta\omega_n$.

В работе [1] было показано, что в системе ФАПЧ в присутствии помех при $\Delta\omega_n \neq 0$ боковые моды в распределении плотности вероятности фазы СГ во времени, симметрично расположенные относительно центральной, не одинаковы. Из этого можно предположить некоторую асимметрию в распределении плотности вероятности частоты СГ в системе ЦЧС, так как система ЦЧС является разновидностью системы ФАПЧ.

Для объяснения этого явления воспользуемся механической моделью системы ЦЧС, изображенной на рис. 2, а, где $q = f(\mu_0)$ — управляющее воздействие на СГ в системе ЦЧС для получения частоты СГ:

$$\mu_0 = \frac{\omega_{0\text{ог}} K_2}{K_1};$$

$\lambda = f(\Delta\omega_n)$ — возвращающая сила пружины, моделирующая стремление СГ вернуться в состояние $\omega_{0\text{сг}}$ при размыкании петли ФАПЧ.

Действие внешней флуктуационной помехи приводит к флуктуациям одного из параметров q . Предположим, что флуктуации q подчинены нормальному закону (рис. 2, б). Тогда под действием шумовых толчков значения $\omega_{\text{сг}}$ с течением времени ока-

жуются разбросанными в окрестности начального устойчивого состояния μ_0 . Учитывая действие возвращающей силы λ , для уменьшения частоты $\omega_{сг}$ на единицу требуется шумовой толчок меньшей интенсивности, чем для увеличения $\omega_{сг}$. Соответственно этому произойдет смещение моды распределения плотности вероятности частоты СГ в сторону уменьшения $\omega_{сг}$ (рис. 2, б).

Частотная расстройка $\mu_0 - \omega_{сг}$ будет тем больше, чем больше соотношение

$$\frac{\sigma \xi}{a} \cdot M$$

и чем ближе μ_0 к

границе полосы синхронизации СГ в системе ЦЧС, т. е., чем больше λ .

Отметим, что в реальных системах ЦЧС частотная расстройка $\mu_0 - \omega_{сг}$ очень мала. Поэтому, если относительная неустойчивость спорного генератора $\Delta_{ог} \approx 10^{-6} \div 10^{-7}$, относительное значение этой расстройки

$$1 - \frac{\omega_{сг}}{\mu_0} \ll \Delta_{ог}.$$

При использовании в качестве ОГ опорного генератора с относительной неустойчивостью $\Delta_{ог} \approx 10^{-9}$ и ниже $1 -$

$\frac{\omega_{сг}}{\mu_0}$ будет одного порядка с $\Delta_{ог}$. Поэтому в системах ЦЧС с высокостабильным опорным генератором необходимо учитывать остаточную частотную расстройку $\mu_0 - \omega_{сг}$.

В частности, при экспериментальном исследовании однокольцевой системы ЦЧС с параметрами $\Delta_{ог} \approx 10^{-9}$; $K_1 = 10^3$; $K_2 = 2 \cdot 10^4$; $\beta = 10^3$ Гц; $\Delta\omega_n \approx 74 \cdot 10^3$ Гц; $\Delta\omega_{уд} \approx 180 \cdot 10^3$ Гц; $\mu_0 = 2 \cdot 10^7$ Гц, при интенсивности фона внешних помех $\sigma \xi \approx 10^{-4}$ В было отмечено смещение моды распределения плотности вероятности частоты СГ с уменьшением амплитуды сигнала СГ с 1,8 по 0,9 В, причем относительная величина смещения

$$1 - \frac{\omega_{сг}}{\mu_0} \approx 3 \cdot 10^{-8} > \Delta_{ог}.$$

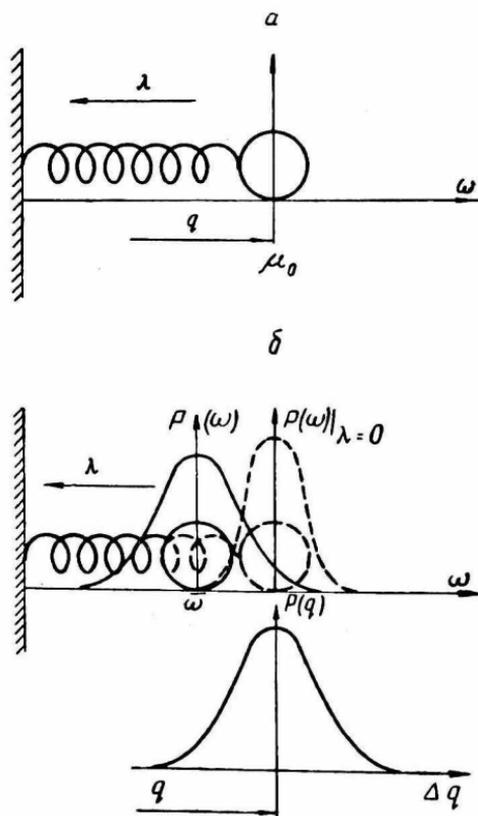


Рис. 2.

Нахождение аналитического выражения для оценки $\mu_0 - \bar{\omega}_{сг}$ весьма затруднительно, так как для этого необходимо решать задачу о нахождении плотности вероятности перескоков фазы сигнала СГ в системе ЦЧС на определенном временном интервале.

На основании качественного анализа процесса синхронизации СГ в системе ЦЧС в присутствии внешних аддитивных помех можно сделать вывод о том, что при использовании высокостабильных ОГ необходимо учитывать остаточную частотную расстройку СГ при синтезе дискретного множества частот системой ЦЧС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тихонов В. И. Выбросы случайных процессов. М., «Наука», 1970. 392 с.
2. Благоев В. А. и др. Аппаратура для частотных и временных измерений. М., «Сов. радио», 1971. 335 с.