

СТАТИСТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРОВ СЛОЖНЫХ СИГНАЛОВ

Добрынин И.С., Лошаков В.А., Сидоров В.В.
Харьковский национальный университет радиозлектроники
Харьков, пр.Ленина 14, т. 702-13-20
e-mail: tkc@kture.kharkov.ua

The offered solutions are based on the use of algorithms of the direct and indirect statistical measurings parameters of complicate signals. Such statistical approach being based on comparisons of rationed to the autocorrelated function (ACF) of ideal and intercorrelated functions (ICF) of the distorted and ideal signals. Realization of measurings in the extended band of frequencies (from units of MHz - to units of GHz) is provided due to the use of entrances squaring IQ-frequency converter on the basis of technology of SDR (Software Defined Radio).

В современных телекоммуникационных системах широко используются сигналы со сложными видами модуляции, к стабильности параметров которых предъявляются чрезвычайно высокие требования [1]. В этих условиях практическая реализация устройств формирования таких сигналов тесно связана с их метрологическим обеспечением, в частности, с вопросами измерения параметров сигналов и их стабильности. Однако известные методы и устройства ориентированы на измерение отдельных конкретных параметров сигналов, а для контроля всех основных параметров используются специальные дорогостоящие стенды, включающие несколько сложных приборов [2]. Поэтому разработка методов и устройств, обеспечивающих повышенную точность измерения всех основных параметров сложных сигналов в широкой полосе частот и автоматическое документирование полученных результатов, весьма актуальна.

В процессе формирования сигнал $u(t)$ подвержен воздействию различных дестабилизирующих факторов. Предположим, что выходной сигнал есть продукт преобразования идеального (без искажений) сигнала $u_{ид}(t)$ при прохождении его через некоторую систему A , на которую воздействуют в общем случае аддитивно и мультипликативно шумы, источниками которых (см. рис.1) при цифровом и цифроаналоговом формировании являются: нестабильности тактовой частоты δf_T , шумы квантования ΔU , шумы дискретизации Δf_T , шумы питающих напряжений ΔU_n , ошибки восстановления Δk , ошибки вычисления центральной частоты δf_o , девиации частоты $\delta \Delta f$, нестабильность начальной фазы $\delta \phi_o$, длительности радиоимпульса $\delta \tau_n$ и др. Таким образом, исследуемая система преобразует идеальный сигнал $u_{ид}(t)$ в соответствии с некоторым оператором A : $u_c(t) = A\{u_{ид}(t), \Delta k(t), \Delta f(t), \Delta U(t), \dots\}$.

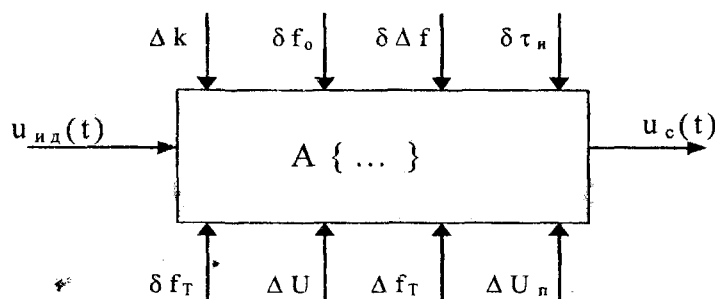


Рис.1

Предлагаемое решение основано на использовании алгоритмов прямых и косвенных измерений параметров сложных сигналов. В основу положен статистический подход, базирующийся на сравнения нормированных автокорреляционной функции

(АКФ) идеального и взаимнокорреляционной функции (ВКФ) искаженного и идеального сигналов

$$\rho_B(\tau) = \frac{1}{E} \int_{-\infty}^{\infty} u_c(t-\tau) u_{ид}^*(t) dt = \frac{1}{E} \int_{-\infty}^{\infty} [u_c(t-\tau) + \Delta u(t-\tau)] u_{ид}^*(t) dt = \rho_A(\tau) + \Delta\rho(\tau),$$

$$\text{где } E = \int_0^{\tau_c} |u_{ид}(t)|^2 dt = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} |G_{ид}(\omega)|^2 d\omega - \text{энергия идеального сигнала,}$$

$\Delta\rho(\tau)$ - разность между ВКФ и АКФ.

Функция $\Delta\rho(\tau)$ или ее дискретное представление $\Delta\rho(i)$ может быть принята за интегральный показатель точности формирования сигналов. При этом для количественной оценки искажений удобно использовать ее среднеквадратическое значение – среднеквадратическую ошибку (СКО)

$$\epsilon_{\Delta\rho}^2 = \frac{1}{N} \sum_i (\Delta\rho(i))^2.$$

Измерение нестабильности начальной фазы (внутреннего джиттера) осуществляется косвенным методом, основанным на когерентном накоплении ВКФ ряда выборок сигналов. При реализации данного алгоритма пачка из N выборок обрабатывается программно реализованным согласованным фильтром. В результате получаем последовательность N ВКФ, следующих с периодом, равным периоду обрабатываемого сигнала. Далее осуществляется когерентное накопление ВКФ. В случае, если сигналы когерентны ($\Delta\phi_0 = 0$), амплитуда сигнала увеличивается в N раз.

Потери накопления за счет межимпульсных фазовых нестабильностей оценивались методом математического моделирования. Результаты расчетов показали, что нестабильность начальной фазы $\Delta\phi_0 = 1^\circ$ соответствует потерям около 1% при накоплениях 10 ВКФ.

Разработанный измерительный комплекс состоит из аппаратной и программной частей [3]. Аппаратная часть предназначена для преобразования аналогового сигнала в цифровой с записью его в ПВМ. Аппаратная часть состоит из квадратурного IQ-преобразователя частоты, согласующего усилителя, АЦП, буферного ОЗУ и блока синхронизации. Программная часть измерительного комплекса реализована с использованием объектно-ориентированного языка программирования под операционную систему Windows.

Реализация измерений в широкой полосе частот (от единиц МГц – до единиц ГГц) обеспечивается за счет использования входных квадратурных IQ-преобразователей частоты на основе технологии SDR (Software defined Radio).

Важным преимуществом предлагаемого подхода является то, что он позволяет не только с повышенной точностью оценивать параметры сложных сигналов и уровни их искажений, но и оперативно осуществлять допусковый контроль этих параметров, необходимый, например, при реализации встроенных систем контроля.

Литература:

1. Радиоэлектронные системы: Основы построения и теория. Справочник. Изд. 2-е, перераб. и доп. /Под ред. Я.Д. Ширмана. –М.: Радиотехника, 2007. – 512 с.
2. Батурин Н. Г., Гомозов В. И., Зюкин А. В. Измерение параметров линейно-частотно-модулированных сигналов и их нестабильностей. – Ярославль: ООО "Торговая фирма "Норд", 2004. –176 с.
3. Лошаков В.А, Сидоров В.В. Аппаратно-программный комплекс для измерения параметров сложных сигналов. // Радиотехника. Всеукр. межвед. научн.-техн. сб. - 2007. - Вып. 151. - С.151-157.