

Суржик Д.И., Васильев Г.С., Курилов И.А.
 Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного
 учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет
 имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
 602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23
 E-mail: arzerum@mail.ru

Исследование влияния ошибок преобразования ЦАП на спектральные характеристики цифровых вычислительных синтезаторов

В данной работе проведен анализ влияния ошибок преобразования цифро-аналогового преобразователя (ЦАП) на спектральные характеристики цифровых вычислительных синтезаторов (ЦВС).

Искажения выходного сигнала ЦАП, приводящие к ухудшению спектральных характеристик синтезируемых сигналов ЦВС, обусловлены отличием реальной характеристики преобразования цифрового кода в аналоговое напряжение от идеальной, связаны с ошибками преобразования [1,2] и определяются четырьмя составляющими – погрешностью усиления E_g , погрешностью смещения нулевого уровня шкалы преобразования E_0 , нелинейностью характеристики преобразования (интегральной D_i и дифференциальной D_d), а также «глитчами». Погрешность усиления представляет собой величину, на которую коэффициент преобразования аналогового сигнала в цифровую форму отличается от идеального значения, погрешность смещения нулевого уровня определяет значение характеристики ЦАП при нулевом значении кода, интегральная нелинейность функции преобразования показывает максимальное отклонение реальной характеристики ЦАП от идеальной теоретической, дифференциальная - отражает максимальную разность двух соседних шагов квантования, «глитчи» связаны с технической погрешностью реализации ЦАП.

Авторами получена модель выходного сигнала ЦАП ЦВС, учитывающая как искажения, возникающие при усечении кода фазы, квантовании амплитуды и воздействии дестабилизирующих факторов [3], так и реальную характеристику преобразования ЦАП из [1], определяемую как

$$U_{\text{ЦАП}} = \Delta u \left(1 + \frac{E_g}{100\%} \right) \cdot \left(\text{code} + D_i \cdot f_i(\text{code}) + \frac{D_d}{4} f_d(\text{code}) + E_0 \right),$$

где Δu - масштабный коэффициент преобразования цифрового кода в аналоговый сигнал, E_g - погрешность усиления ЦАП, $\text{code} = -2^{n-1} \dots 2^{n-1} - 1$ - цифровой код, n - разрядность ЦАП, D_i - амплитуда функции интегральной нелинейности, $f_i(\text{code}) = \sin\left(2\pi \frac{\text{code}}{2^n} + \frac{\pi}{3}\right)$ - модель интегральной нелинейности, D_d - амплитуда функции дифференциальной нелинейности, $f_d(\text{code}) = \text{rnd}(1)$ - модель дифференциальной нелинейности, $\text{rnd}(1)$ - равномерное распределение числа в интервале от 0 до 1, E_0 - погрешность смещения нулевого уровня.

На рис. 1 изображены идеальная и реальная характеристики преобразования 14-разрядного ЦАП ЦВС, полученный на основании приведенного выражения, при $E_g = 0.1$ МЗР (младшего значащего разряда), $D_i = 2$ МЗР, $D_d = 1$ МЗР, $E_0 = 0,5$ МЗР.

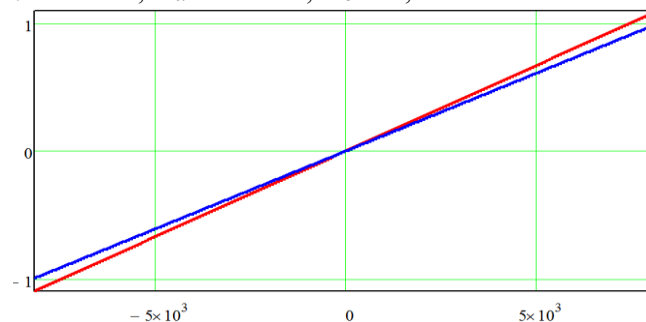


Рис. 1. Идеальная (синяя) и реальная (красная) характеристики преобразования ЦАП

По результатам спектрального анализа результирующей модели выходного сигнала ЦАП ЦВС при различных параметрах характеристики преобразования ЦАП установлено, что

- погрешность усиления пропорционально изменяет уровень спектральной компоненты основной синтезируемой частоты, ее гармоник и паразитных спектральных составляющих;

- погрешность смещения нулевого уровня обуславливает изменение шумовой составляющей выходного спектра ЦВС;

- нелинейность характеристики преобразования ЦАП приводит к появлению в спектре выходного сигнала ЦВС гармоник основной частоты $kf_{\text{ЦВС}}$ и побочных компонент $mf_T \pm kf_{\text{ЦВС}}$, уровень которых зависит от точности преобразования и качества работы ЦАП, где f_T - тактовая частота, m и k - целые числа.

- глитчи соответствуют воздействию импульсной помехи, вызванной неоднозначностью сигнала, стремящегося переключиться к какому-либо крайнему значению выходного напряжения.

Литература

1. Смекалов А. Метод прямого цифрового синтеза гармонического сигнала. Анализ и математическое моделирование // Радиотехника. - 2011. - №1. - С.16-29.

2. Макарычев Е.М. Оценка влияния нелинейных искажений цифрового и аналогового тракта DDS на спектры гетеродинных сигналов в области доплеровских отстроек// Радиотехника. - 2015. - №4. - С.105-111.

3. Суржик Д. И., Курилов И. А., Васильев Г. С. Компенсация искажений ЦВС в гибридных синтезаторах частот // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. - 2015. – № 4(20). - С. 13-19.