

М.В.Теленков (асп. каф. РТТК), А.С.Коротков, д.т.н., проф.

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ШУМОВ В ДЕЛЬТА-СИГМА МОДУЛЯТОРАХ АНАЛОГО-ЦИФРОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

ABSTRACT: Delta-sigma modulator is the main part of such type analog to digital converters. The behavior model of the modulator is proposed. It is based on macroblock representation of the circuit using MATLAB and Simulink programs. The model allows the analysis of idle channel noise, pattern noise, and jitter noise in delta-sigma modulators.

Одним из наиболее перспективных классов аналого-цифровых преобразователей (АЦП) являются схемы на основе "дельта-сигма" ($\Delta\Sigma$) модуляторов, так называемые "дельта-сигма АЦП" [1]. Данные устройства находят широкое применение в мобильных системах связи второго поколения [2]. По основным характеристикам, таким как разрядность, величина динамического диапазона, потребляемая мощность (что особенно важно именно для мобильных устройств) преобразователи данного класса обладают существенными преимуществами по сравнению с иными типами АЦП. Дельта-сигма АЦП ($\Delta\Sigma$ -АЦП) состоит из модулятора, цифрового децимирующего фильтра и схемы интерфейса с внешними устройствами. Свойства $\Delta\Sigma$ -АЦП полностью определяются характеристиками $\Delta\Sigma$ -модулятора. В связи с этим, важным представляется исследование особенностей анализа и компьютерного моделирования $\Delta\Sigma$ -модуляторов.

$\Delta\Sigma$ -модулятор первого порядка с однократным интегрированием (рис. 1, а) содержит одну цепь обратной связи и один интегратор [3]. В качестве квантователя применяется компаратор, осуществляющий сравнение с заданным уровнем. $\Delta\Sigma$ -модулятор преобразует аналоговый сигнал в частотно-модулированную последовательность импульсов.

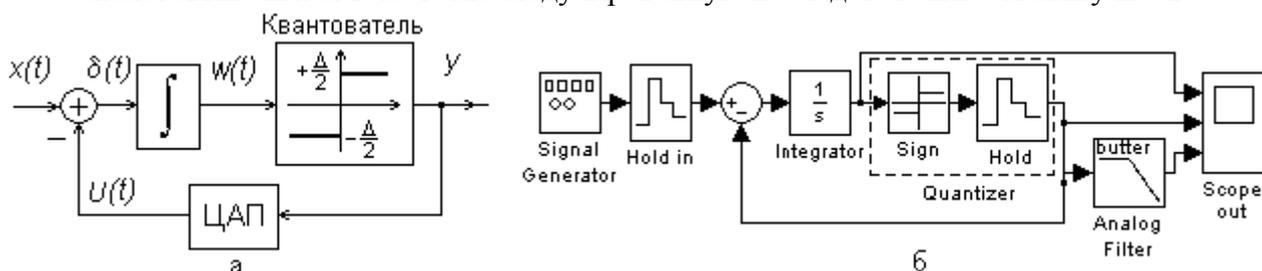


Рис1. Структурная схема (а) и макро-модель (б) $\Delta\Sigma$ -модулятора первого порядка.

Квантователь выдает значения отсчетов пониженной разрядности (в данном случае однобитовые - 0/1), сумма которых на интервале дискретизации пропорциональна величине входного отсчета. Однобитовые значения кодируемого сигнала алгебраически суммируются с квантованными уровнями выходного сигнала интегратора, на вход которого поступает упомянутая алгебраическая сумма сигналов.

$\Delta\Sigma$ -модулятор обладает рядом особенностей функционирования, связанных с ограничением нижней границы динамического диапазона и искажениями сигнала выходной импульсной последовательности. К таковым относятся: шум квантования; тепловые и фликкерные шумы; шум в режиме молчания (idle channel noise), возникающий при отсутствии входного сигнала; структурный шум (pattern noise), возникающий при передаче постоянных уровней напряжения; шум, вызванный флуктуацией периода тактовой частоты (jitter noise). Шум квантования в $\Delta\Sigma$ -модуляторе хорошо исследован [4], его спектральная плотность определяется выражением вида

$$S_n(f) = 4e^2 \cdot (2T) \sin^2 \frac{\omega T}{2}.$$

Влияние тепловых и фликкерных шумов, как правило, меньше по сравнению с шумами других типов. Образование шума в режиме молчания и структурного шума следует из принципа работы модулятора. Это обстоятельство делает возможным исследование названных эффектов на уровне макромодели $\Delta\Sigma$ -модулятора. Для построения макромодели предлагается использовать систему имитационного моделирования Simulink математического пакета MATLAB. Предлагаемая макромодель модулятора (рис.1,б) содержит генератор гармонического сигнала, с которого через устройство выборки и запоминания поступает дискретизированный по времени сигнал на сумматор. Одноразрядный квантователь образован блоком, определяющим знак поступающего с интегратора напряжения ($\Delta/2=1В$). Для контроля правильности функционирования $\Delta\Sigma$ -модулятора используется ФНЧ, восстанавливающий исходный сигнал из полученной последовательности импульсов.

Когда сигнал на входе устройства равен нулю (так называемый режим молчания) сигнал на выходе устройства представляет чередующуюся последовательность импульсов высокого и низкого уровней. Из-за возможной несимметрии уровней квантователя происходит накопление ошибки в интеграторе, что приводит в некоторый момент к появлению двух следующих подряд выходных импульсов одинаковой полярности для компенсации данной ошибки. Для моделирования данного эффекта в модель на рис.1,б вводится смещение постоянного уровня после блока "Sign".

Структурный шум $\Delta\Sigma$ -модулятора проявляется при преобразовании постоянных уровней входного напряжения. Если в выходном сигнале модулятора появятся импульсы, следующие с определенной частотой, то гармоники этой частоты могут оказаться в полосе сигнала. Из-за того, что в выходном сигнале модулятора присутствуют импульсы с большим периодом следования, восстановленный с помощью ФНЧ сигнал содержит не только постоянную составляющую, но и переменную составляющую с малой амплитудой.

Флуктуации периода тактовой частоты приводят к неравномерной дискретизации входного сигнала, что вносит дополнительную шумовую составляющую на выходе $\Delta\Sigma$ -модулятора. Для моделирования эффекта на УВЗ необходимо подать сформированную последовательность тактовых импульсов, у которых момент начала положительных фронтов отклоняется от значений, кратных первоначальному периоду тактовой частоты. Величина этого отклонения имеет гауссовское распределение с заданным среднеквадратическим отклонением.

Результаты моделирования показали, что:

-наличие смещения уровней квантования при нулевом входном сигнале и преобразование постоянных уровней напряжения приводят к возникновению дополнительных составляющих в спектре выходного сигнала модулятора,

-наличие флуктуаций периода тактовой частоты может увеличивать уровень шумов в спектре выходного сигнала модулятора на 10...20 дБ.

ЛИТЕРАТУРА:

1. F. Maloberti, High speed data converters for communication systems, IEEE Circuits and Systems Magazine, vol. 1, no. 1, 2001, pp. 26-30.
2. J. Sevenhans, Zhong-Yuan Chang, A/D and D/A conversion for telecommunication, IEEE Circuits and Devices Magazine, vol. 14, no. 1, Jan. 1998, pp. 32-42.
3. М.М. Гельман, Системные аналого-цифровые преобразователи и процессоры сигналов. М.: Мир, 1999, 559с.
4. J.C.Candy, O.J.Benjamin, The structure of quantization noise from sigma-delta modulation, IEEE Transaction Commun., vol.COM-29, no 9, Sept. 1981, pp.1316-1323.