

Дельта-сигма-модулятор для мультистандартной обработки сигналов

В.П. Тимошенко¹, В.А. Ваньков^{1,2}, К.С. Стародубцев¹

¹*Национальный исследовательский университет «МИЭТ»*

²*НПК «Технологический центр» (г. Москва)*

Delta Sigma Modulator for Multistandard Signal Processing

V.P. Timoshenkov¹, V.A. Vankov^{1,2}, K.S. Starodubtsev¹

¹*National Research University of Electronic Technology, Moscow*

²*SMC «Technological Center», Moscow*

Рассмотрена проблема выбора структурной схемы модулятора при проектировании дельта-сигма-АЦП, предназначенных для мультистандартной обработки. Предложен подход по созданию архитектуры модулятора и выявлению ограничений, связанных со спецификой применения. Выбрана многокаскадная архитектура, которая позволяет простым способом включать и отключать каскады модулятора, подстраиваясь под нужный режим работы и сохраняя стабильность, а также низкую восприимчивость к технологическим разбросам.

Ключевые слова: дельта-сигма-АЦП; мультистандартная обработка сигналов; дельта-сигма-модулятор; беспроводные приемопередатчики.

The problem of choosing the modulator structural circuit in designing delta sigma ADC, intended for multistandard processing, has been considered. An approach to creation of the modulator architecture and to revealing the restrictions related to the application specifics has been proposed. The multicascade topology permits simply to switch on/off the multistandard module cascades while retaining the stability and low susceptibility to the technology imperfection. Such modulators are capable to operate concurrently in two modes (e.g. to sample GSM and Bluetooth signals) by employing the specific switch interface.

Keywords: delta-sigma ADC; multistandard signal processing; delta-sigma modulators; wireless transceivers; wireless communication standards.

В последние десять лет наблюдается активное использование беспроводных устройств приема/передачи данных. Это связано с разработкой новых областей их применения и соответствующих стандартов. Новые стандарты, такие как UMTS, LTE, IEEE 802.11ac, не вытесняют стандарты 2G, 3G, IEEE 802.11b, Bluetooth, а наоборот, дополняют их, что приводит к необходимости разрабатывать мультистандартные устройства обработки сигналов. Такие устройства способны конфигурироваться под различные стандарты, предлагая широкий набор функциональности в одной микросхеме.

Дельта-сигма-АЦП являются лучшим выбором для реализации интерфейсов в интегральных схемах. По сравнению с другими типами АЦП эти устройства охватывают наиболее широкий диапазон по разрешению и полосе пропускания и наиболее эффективны для оцифровки сигналов различных типов модуляции.

В настоящей работе представлен подход по созданию архитектуры модулятора и выявлению ограничений, связанных со спецификой применения.

На рис.1 изображена блок-схема дельта-сигма-АЦП для преобразования низкочастотных сигналов. Блок-схема состоит из следующих основных блоков:

- заграждающий фильтр, ограничивающий полосу пропускания аналогового сигнала, чтобы избежать наложений на полезный сигнал при последующей оцифровке;
- дельта-сигма-модулятор, в котором происходит процесс выборки и последующая оцифровка сигнала с частотой выборки больше, чем частота Найквиста;
- фильтр децимации с высокоселективным цифровым фильтром с крутой характеристикой подавления, одной из задач которого является удаление спектральных компонент вне полосы полезного сигнала.

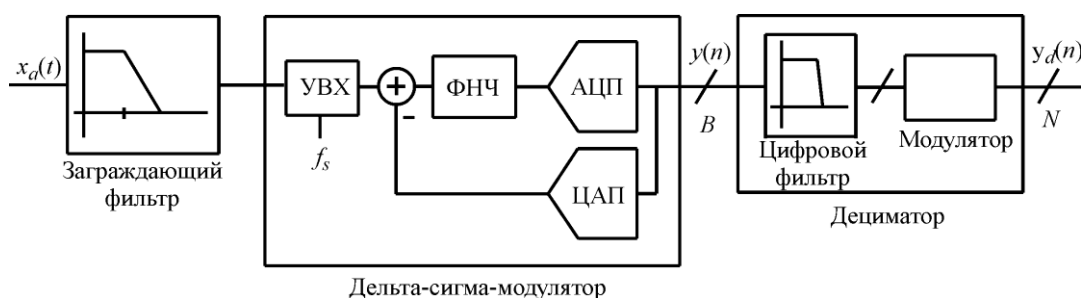


Рис.1. Блок-схема сигма-дельта-АЦП (УВХ – устройство выборки и хранения; ФНЧ – фильтр низкой частоты)

Дельта-сигма-модулятор представляет собой блок, который имеет наибольшее влияние на характеристики АЦП и в конечном счете ограничивает точность преобразования. Существует много различных способов по реализации дельта-сигма-модулятора. По структуре модуляторы различаются по типам [1–4]:

- однокаскадный или многокаскадный модуляторы в зависимости от количества АЦП, задействованных в нем;
- одно- или многоразрядные модуляторы в зависимости от числа бит встроенных АЦП;
- модуляторы низкой или промежуточной частоты в зависимости от положения полезного сигнала;
- дискретный или непрерывный модулятор в зависимости от типа петлевого фильтра.

Выбор той или иной реализации зависит от приложения и ограничений, налагаемых технологией. Проведено немало исследовательских работ и разработок по реализации мультистандартного модулятора (МСМ), предназначенного для работы в мультистандартном режиме [5–9]. Основным подходом при создании таких МСМ является объединение различных типов модуляторов для каждого стандарта в один.

МСМ непрерывного типа может быть хорошим выбором при реализации мультистандартных АЦП благодаря тому, что фильтр обеспечивает дополнительную фильтрацию частот в диапазоне более $f_s/2$, а также за счет возможности реализации схемы с меньшим энергопотреблением. Однако параметры этого модулятора сильно зависят от схемотехники аналоговых блоков, их согласования. Такой тип модулятора вносит дополнительную задержку при прохождении сигнала через фильтр, что создает серьезные трудности при мультистандартном решении. Дискретный тип МСМ в меньшей степени зависит от таких недостатков, но потребляет больше энергии. В связи с этим в МСМ гораздо чаще применяются модуляторы дискретного типа.

Архитектурой приемопередатчика для Bluetooth и Wi-Fi может служить схема однократно-го преобразования частоты с нулевой промежуточной частотой для Wi-Fi и 1–5 МГц для Bluetooth в зависимости от версии. Можно использовать низкочастотный МСМ для оцифровки этих двух стандартов и проводить второе преобразование частоты для Bluetooth в цифровой части приемника. Как показывают исследования [4], при этом удастся добиться необходимых динамических диапазонов МСМ.

Многоразрядные модуляторы имеют меньшую ошибку квантования. В широкополосных приложениях, таких как Wi-Fi, где не удастся получить больших значений передискретизации,

применять одноразрядный АЦП/ЦАП не представляется возможным. Для сигналов Bluetooth с узкой полосой можно обходиться одноразрядными АЦП/ЦАП с сохранением динамического диапазона. При этом недостатком многоразрядных АЦП/ЦАП является нелинейность ЦАП, что обычно требует от ЦАП большего динамического диапазона. Таким образом, если необходимо, многоразрядный АЦП/ЦАП следует применять на последних каскадах МСМ, так как его нелинейность может быть компенсирована.

Выбор многокаскадной или однокаскадной архитектуры делается исходя из следующих соображений. Порядок и значение передискретизации МСМ необходимо изменять в зависимости от режима работы. Порядок однокаскадных МСМ фиксирован и по этой причине не подходит. Также нули шумовой передаточной функции фильтра для однокаскадных МСМ распределяются в полосе сигнала для того, чтобы достичь наибольшего подавления шумов и сохранить стабильность работы. Однако такой подход дает возможность подбором оптимальной конфигурации разработать схему только для одного режима. Таким образом, при разработке МСМ применяются многокаскадные структуры.

Главной характеристикой АЦП является его динамический диапазон [5], значение которого можно оценить с помощью формулы

$$DR = \left(\frac{2}{3}\right) \left(\frac{2L+1}{\pi^{2L}}\right) M^{(2L+1)} (2^B - 1)^2, \quad (1)$$

где L – порядок; M – коэффициент передискретизации; B – разрядность АЦП.

Каждый стандарт требует своего динамического диапазона [7, 9]. Для Bluetooth-сигнала он равен 73 дБ, модуляция – GFSK, полоса – 1 МГц, для Wi-Fi динамический диапазон равен 56 дБ, модуляция – QPSK, полоса – 22 МГц. Конфигурацию архитектуры можно составить, воспользовавшись формулой (1). Для приложений с узкой полосой сигнала коэффициент передискретизации может быть большим, также возможно увеличение порядка и добавление каскадов. Однако это ведет к проблемам согласования между аналоговыми блоками модулятора.

Примером реализации МСМ для Bluetooth и Wi-Fi может служить структурная схема, представленная на рис.2.

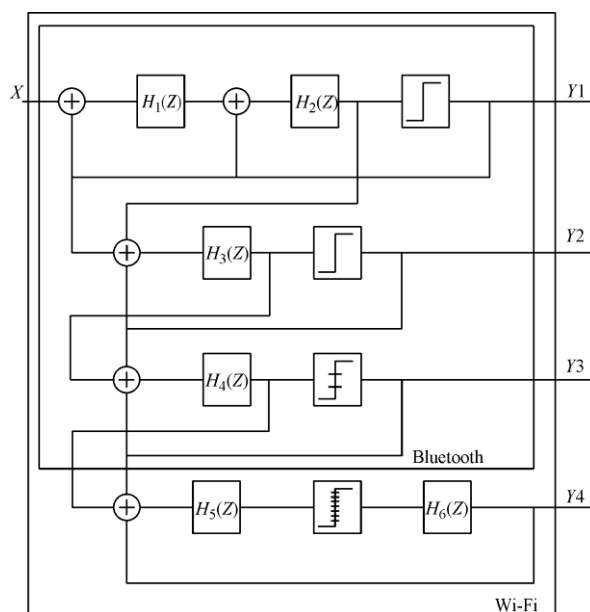


Рис.2. Пример реализации МСМ

Особенность данной структурной схемы в том, что при определенном режиме работы задействована только часть МСМ, которая отвечает за обработку данного сигнала. Остальная часть отключается схемами переконфигурации (на рис.2 не показаны).

Таким образом, многокаскадные МСМ дискретного типа являются наиболее подходящими архитектурами при разработке дельта-сигма-АЦП для мультистандартной обработки сигналов. В зависимости от приложения и ограничений технологии путем подбора коэффициентов можно определить структуру модулятора и ориентировочно ее динамический диапазон по формуле (1).

Выбор многокаскадной архитектуры позволяет простым способом включать и отключать каскады МСМ, подстраиваясь под нужный режим работы, сохраняя при этом стабильность и низкую восприимчивость к технологическим разбросам. Также такие архитектуры способны работать в двух режимах одновременно (оцифровывать GSM- и Bluetooth-сигналы), при этом специальные схемы переконфигурации используются для настройки на режим. Обычно в роли таких устройств выступают схемы на транзисторных переключателях. Для реализации управления переключателями требуется дополнительная логика, что, в свою очередь, усложняет интерфейсы управления и требует дополнительных ресурсов по потреблению питания и площади в микросхеме.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России (ГК № 14.427.11.0008) с использованием оборудования ЦКП «Функциональный контроль и диагностика микро- и наносистемной техники» на базе НПК «Технологический центр».

Литература

1. **Лаврентьев М.В., Круглов Ю.В.** Выбор архитектуры многокаскадного дельта-сигма модулятора на основе оценки «просачивающегося» шума квантования и физического шума // Изв. вузов. Электроника. – 2005. – № 3. – С. 40–45.
2. **Abhilash K.N., Srinivas M.B.** A reconfigurable 0-L1-L2 S-MASH2 modulator with high-level sizing and power estimation // System-on-Chip Conference (SOCC): 27-th IEEE International. – 2014. – P. 347–352.
3. **Barangi M., Beirami A., Nejati H., Ali W.H.** A continuous-time sigma-delta ADC with tunable pass-band for multi-standard applications // Circuits and Systems (MWSCAS): IEEE 56th International Midwest Symposium. – 2013. – P. 633–636.
4. **Morgado A., del Rio R., dela Rosa J.M.** High-Efficiency Cascade \Sigma \Delta Modulators for the Next Generation Software-Defined-Radio Mobile Systems // Instrumentation and Measurement: IEEE Transactions on. – 2012. – Vol. 61. – Iss. 11. – P. 2860–2869.
5. Multirate Cascaded Discrete-Time Low-Pass Modulator for GSM/Bluetooth/UMTS / **L. Bos et al.** // IEEE J. of Solid-State Circuits. – 2010. – Vol. 45. – P. 1198–1208.
6. Analog baseband Channel for Reconfigurable Multistandard (GSM/UMTS/WLAN/Bluetooth) Receivers / **N. Ghittori, A. Vigna, P. Malcovati et al.** // Proc. of the WIRTEP. – 2006. – P. 88–92.
7. Wideband low-distortion sigma-delta ADC for WLAN / **B.R. Jose, Kochi, Mythili P. et al.** // Information, Communications & Signal Processing: 6th International Conference. – 2007. – P. 1–5.
8. **Jinseok Koh, Gabriel Gomez, Khurram Muhammad.** A Sigma-Delta ADC with Decimation and Gain Control Function for a Bluetooth Receiver in 130 nm Digital CMOS», EURASIP // J. on Wireless Communications and Networking. – 2006. – Article ID71249. – P. 1–8.
9. **Farahani B.J., Ismail M.** A low power multi-standard sigma-delta ADC for WCDMA/GSM/Bluetooth applications // Circuits and Systems, 2004. NEWCAS: The 2nd Annual IEEE Northeast Workshop on. – 2004. – P. 241–243.

Поступило
после доработки 30 июля 2015 г.

Тимошенко Валерий Петрович – доктор технических наук, профессор кафедры интегральной электроники и микросистем (ИЭМС) МИЭТ. *Область научных интересов:* проектирование СВЧ-интегральных ИМС, телекоммуникация, СВЧ-радиосвязь.

Ваньков Виктор Александрович – аспирант кафедры ИЭМС МИЭТ, инженер-конструктор НПК «Технологический центр» (г. Москва). *Область научных интересов:* проектирование СВЧ-интегральных ИМС, телекоммуникация, СВЧ-радиосвязь. **E-mail:** vankov_victor@mail.ru

Стародубцев Константин Сергеевич – магистрант кафедры ИЭМС МИЭТ. *Область научных интересов:* проектирование СВЧ-интегральных ИМС, телекоммуникация, СВЧ-радиосвязь.