

СИГМА-ДЕЛЬТА АЦП

В.П. Литвиненко, А.С. Тогушов, Н.П. Левкин

Рассматриваются ключевые понятия преобразования аналоговых сигналов в 8 канальном сигма-дельта АЦП в однопроводном и дифференциальном режимах в составе 16-разрядного микроконвертора 1874BE96T

Ключевые слова: интегральная схема, полная шкала, разрядность, дифференциальный вход

В этой статье представлен доработанный первый российский 16-разрядный микроконвертер 1874BE96T [1], разработанный в 2011 г. во ФГУП «НИИЭТ» г. Воронеж, на базе оригинального процессорного ядра с конвейерной обработкой данных и усовершенствованной архитектурой MCS-96, в который интегрированы стандартные процессорные ядра, флэш-память (16Kx16), модули генерации ШИМ, сторожевой таймер с использованием 8-канального 16-разрядного сигма-дельта-АЦП с параллельным преобразованием и 14-разрядным высокоскоростным ЦАП с токовым выходом (2...20 мА). ИС реализован на одном кристалле и имеет расширенный диапазон рабочих температур среды ($-60 \div 125$) °C. Структурная схема ИС 1874BE96T показана на рис. 1.

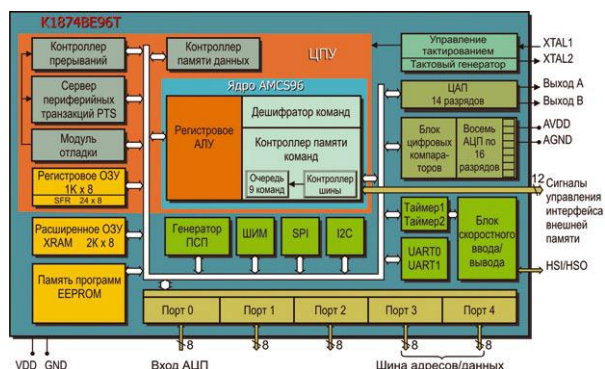


Рис. 1

Общие характеристики, особенности архитектуры, периферийные устройства микросхемы опубликованы в статье [1]. Данная статья посвящена работе 16-разрядного сигма-дельта-АЦП, встроенному в данный микроконвертер.

Сигма-дельта-АЦП состоит из сигма-дельта-модулятора и цифрового преобразователя - децимирующего цифрового фильтра. В данном типе АЦП преобразуемый сигнал сначала квантуется (в модуляторе), а затем дискретизируется (в преобразователе) [3].

Аналого-цифровые преобразователи конвертируют аналоговые напряжения на входе в цифровой эквивалент. Минимальное время преобразования составляет 16 мкс. Особенностью данного АЦП является возможность организации дифференциального режима включения входов.

Поскольку каждый преобразователь управляется независимо, то можно реализовать различные варианты включений, например: два АЦП — в режиме дифференциального включения, четыре — в режиме однополярных сигналов. Единственное условие, чтобы общее количество выводов, с которыми работают преобразователи, не превышало восьми.

АЦП имеет блок цифровых компараторов, позволяющих сравнивать результаты непрерывного аналого-цифрового преобразования с граничными условиями без использования ресурсов центрального процессора. Блок вырабатывает прерывания, если: результат преобразования больше заданной границы; результат преобразования меньше заданной границы; результат преобразования выходит за границы заданного диапазона; результат преобразования попадает в границы заданного диапазона. Все границы указываются в соответствующих регистрах. Цифровые компараторы объединены в группы по четыре, и каждый имеет свой приоритет. Для срабатывания компаратора с меньшим приоритетом необходимо, чтобы условие с большим приоритетом не сработало. Это позволяет на аппаратном уровне реализовывать сложные следящие алгоритмы.

В ходе разработки конструкции была проведена работа по унификации параметров сигма-дельта-АЦП, таких как SINAD (соотношение сигнал/шум+искажения), THD (общие гармонические искажения), коэффициент преобразования, напряжение диапазона преобразования АЦП, соотношения режимных параметров установленных и подтвержденных в ходе проведенных исследований ИС.

Высокая точность аналого-цифрового преобразования, осуществляемого в сигма-дельта-АЦП, обусловлена, прежде всего, возможностью получения высокой разрядности и линейности преобразования без применения многоуровневых пороговых устройств с эффективной фильтрацией преобразуемого сигнала.

Описания сигма-дельта-АЦП публикуются, в основном, фирмами-производителями. Ведущими в этой области является фирма Analog Devices. Ниже

Литвиненко Владимир Петрович – ВГТУ, канд. техн. наук, доцент, тел. (473) 271-44-57
Тогушов Александр Сергеевич – ВГТУ, инженер, тел. (473) 268-66-25
Левкин Николай Павлович – НИИЭТ, ведущий инженер, тел. 8-908-139-6299

приведены основные характеристики режимных параметров преобразования сигма-дельта-АЦП ИС 1874ВЕ96Т, с использованием гостированных определений и обозначений параметров, необходимых для потребителей, с учетом [2].

Структурная схема работы каналов приведена на рис.2.

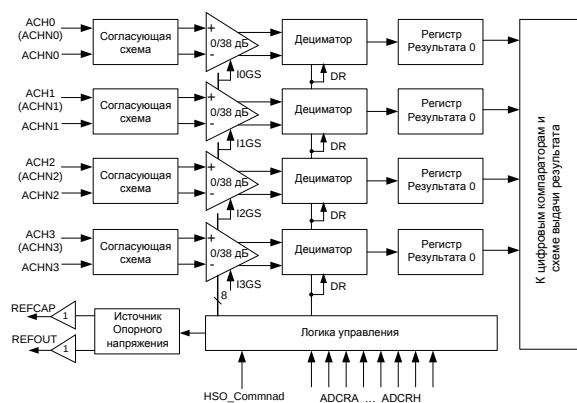


Рис. 2

Системный сигнал синхронизации поступает на тактовый вход АЦП и делится в 1, 2, 3, 4 или 5 раз для формирования внутреннего опорного тактового сигнала DMCLK, используемого для вычисления значений выборки.

Преобразуемый сигнал поступает на согласующую схему канала, обеспечивающую ограничение уровня и выбор полярности сигнала. Далее, сигнал поступает на усилитель с программируемым коэффициентом усиления, в диапазоне от 0 до 38 дБ, и, далее – на сигма-дельта модулятор с дециматором. Цифровой фильтр выполняет две важные функции. Во-первых, это перемещение шума квантования за пределы требуемой полосы частот, который сформирован аналоговым модулятором, и, во-вторых, это прореживание потока битов высокой частоты до более низкой частоты 15-битных слов.

Сглаживающий прореживающий фильтр – это цифровой фильтр с характеристикой в форме sinc3, который понижает частоту дискретизации на значение, заданное в регистре управления. Делиитель прореживания позволяет пользователю гибко подстроить значение выборки АЦП к требуемой программе контроллера.

Данные преобразования записываются в регистры результата с возможностью параллельного считывания через адресный порт и на блок компараторов.

В режиме дифференциального входа (дифф. вх.) напряжения на входах U_{INP} и U_{INN} подаются в противофазе (со сдвигом на 180°) между собой и относительно опорного напряжения U_{REF} в идеальном случае. Такой режим позволяет избавляться от синфазной помехи на входе АЦП. Передаточная характеристика в дифф. включении может быть показана прямыми U_{INP} и U_{INN} (рис.3), при этом разность входных напряжений не должна превы-

шать диапазон преобразования U_{FSR} .

В режиме одиночного входа инверсный вход U_{INN} отключается, а вместо него на вход АЦП аппаратно подается напряжение опорного источника U_{REFCAP} .

Передаточная характеристика каналов АЦП ИС 1874ВЕ96Т в любом режиме описывается в виде

$$D_{ADC} = (U_{INP} - U_{INN}) \cdot K_G, \quad (1)$$

D_{ADC} – выходной код АЦП, U_{INP} – входное преобразуемое напряжение на положительном входе АЦП, U_{INN} – входное преобразуемое напряжение на отрицательном входе АЦП, K_G – коэффициент преобразования АЦП (тангенс угла наклона прямой преобразования). Передаточная характеристика АЦП приведена на рис. 3 сплошной линией.

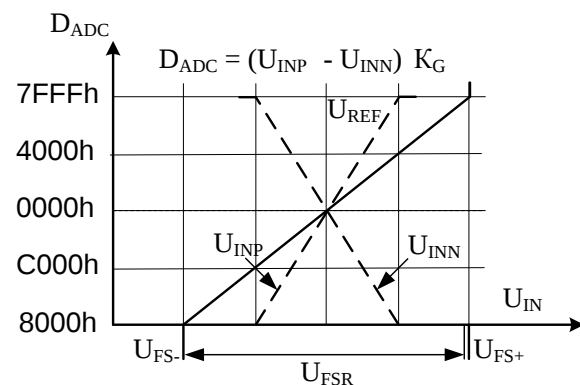


Рис. 3

Входное напряжение начальной точки преобразования АЦП можно определить из выражения вида

$$U_{FS-} = U_{FS-1} - 0,5 \cdot U_{LSB}, \quad (2)$$

U_{FS-1} – напряжение первого межкодového перехода к коду 8001h, U_{LSB} – шаг квантования. Входное напряжение в конечной точке преобразования АЦП при переходе к коду 7FFFh равно:

$$U_{FS+} = U_{FS+} - 0,5 \cdot U_{LSB} \quad (3)$$

Область значений входного напряжения АЦП, ограниченная $(U_{FS-} - U_{FS+})$, является практическим диапазоном преобразования АЦП. Его можно определить из выражения вида

$$U_{FSR} = (U_{FS+} - U_{FS-}) - U_{LSB} \quad (4)$$

Коэффициент преобразования из выражения (1) можно определить из выражения вида

$$K_G = 2^{15} \cdot \frac{K_{PGA} \cdot K_t}{U_{REF}}, \quad (5)$$

K_{PGA} – коэффициент усиления АЦП (с диапазоном изменения от 0 до 38) дБ, K_t – коэффициент преобразования, определяемый конструкцией реализованной схемы. Для нашей схемы коэффициент K_t равен

$$K_t = \frac{U_{REF}}{U_{FSR} - U_{REF}} \quad (6)$$

Шаг квантования (единица младшего разряда) и единица старшего разряда определяются из выражений (7) – (9) соответственно:

$$U_{LSB} = \frac{U_{FSR}}{2^N - 1} = \frac{U_{FSR(nom)}}{2^N} \quad (7)$$

$$U_{FSR(nom)} = U_{FSR} + U_{LSB} = 2^N \cdot U_{LSB} \quad (8)$$

$$U_{MSB} = \frac{U_{FSR(nom)}}{2} \quad (9)$$

N – число разрядов АЦП, $U_{FSR(nom)}$ – номинальный диапазон преобразования АЦП.

Зависимость диапазона преобразования U_{FSR} АЦП от величины опорного напряжения U_{REF} при температуре $(-60...+125)^\circ\text{C}$ приведена на рис. 4.

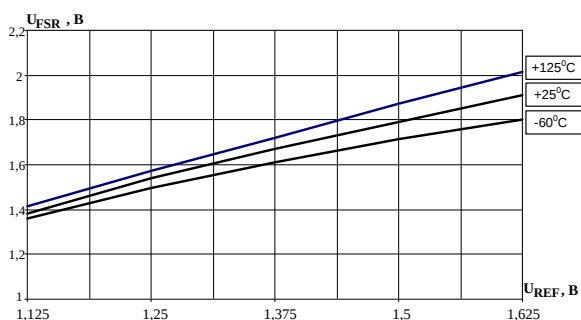


Рис. 4

В процессе эксплуатации АЦП потребители должны руководствоваться вышеуказанной зависимостью, исходя из условий применения.

Внутренний источник опорного напряжения АЦП ИС выполнен с использованием напряжения запрещенной зоны полупроводника. Данное опорное напряжение через буфер подается на вывод REFCAP, на который подключается емкость фильтра, и подается к каналам АЦП. На данный вывод, при необходимости, подается внешний источник опорного напряжения $U_{REF} = (1,125 \div 1,6)$ В.

Наиболее близким функциональным аналогом канала АЦП ИС 1874BE96T является микросхема AD73360 фирмы Analog Devices. Критерием оценки качества сигма-дельта-АЦП являются параметры SINAD и THD. При разработке ИС 1874BE96T получены те же шумовые показатели, что и у аналога, при этом отечественная микросхема имеет расширенный температурный диапазон и значительную скорость обработки результатов при параллельном преобразовании АЦП и использовании ресурсов микроконвертера.

Вышеприведенное описание параметров сигма-дельта-АЦП с четким определением и соотношениями параметров, соответствующих межгосударственному ГОСТ [2], позволяет однозначно предоставить широкому кругу потребителей не только принцип работы конкретного АЦП, но и любого преобразователя этого класса, а также научить грамотно применять все режимы работы схемы и полностью использовать её ресурсы.

Литература

1. Смерек В., Потапов И., Крюков В., Горохов В. Первый отечественный 16-разрядный микроконвертор на базе MCS-96.// электронные компоненты, №12, 2010.
2. ГОСТ 29109-91 «Микросхемы интегральные»// «часть 4. Интерфейсные интегральные схемы»: Изд-во Москва, 1992.
3. Голуб В. Сигма-дельта-модуляторы и АЦП.// Технология и конструирование в электронной аппаратуре, №4, 2003.

Воронежский государственный технический университет
НИИЭТ, г. Воронеж

SIGMA-DELTA ADC

V.P. Litvinenko, A.S. Togushov, N.P. Levkin

Discusses key concepts converting analog signals to 8 channel delta-sigma ADCs in the single-mode and differential in the 16-bit MicroConverter 1874VE96T

Key words: integrated circuit, full scale, bit, differential input