

АЦП ВСЯКИЕ ВАЖНЫ

АЦП ВСЯКИЕ НУЖНЫ

В.Шурыгина

Потребность в разнообразных цифровых приборах привела к изменению направления развития аналоговой технологии, в частности устройств преобразования сигнала, с тем, чтобы отвечать запросам рынка, особенно рынка развивающихся систем, которым нужны портативные компоненты и длительный срок службы батарей. Внимание уделяется и традиционным приложениям, рабочие характеристики которых зависят от скорости выборки преобразователя и/или его динамического диапазона. Поэтому при проектировании преобразователей усилия разработчиков направлены на улучшение частоты дискретизации и увеличение разрешения при одновременном сокращении энергопотребления. Это важные характеристики, необходимые для создания современных быстродействующих малогабаритных приборов с батарейным питанием, используемых в системах связи, компьютерных комплексах, промышленном оборудовании и медицинской электронике. Чего же добились разработчики аналого-цифровых преобразователей?

НОВЫЕ АЦП

Сегодня на рынке наиболее широко представлены сигма-дельта ($\Sigma\Delta$) АЦП, АЦП последовательного приближения и конвейерного типа. Самое высокое разрешение у $\Sigma\Delta$ АЦП, но их производительность относительно невелика, поэтому они широко применяются в системах с высоким разрешением, но работающих на "низких" частотах. Лучшие эксплуатационные характеристики имеют АЦП конвейерного типа, и они наиболее пригодны для высокопроизводительных систем (беспроводных и военного назначения). АЦП последовательного приближения отличаются широким диапазоном производительности, но они не самые быстродействующие. Тем не менее, благодаря широкому диапазонам скорости преобразования и разрешения, а также достаточно низкому энергопотреблению

и стоимости они востребованы на рынке АЦП среднего и высокого быстродействия.

АЦП последовательного приближения

Среди АЦП этого типа последнее место занимают изделия ведущего поставщика АЦП – компании Analog Devices. К ним относится представленный в 2012 году 12-разрядный преобразователь с рекордным энергопотреблением – **AD7091R**. Его потребляемый ток составляет 349 мкА при напряжении питания 3 В и максимальной производительности 1 Мвыб./с (в дежурном режиме – 21,6 мкА, в спящем – 264 нА). Энергопотребление автоматически регулируется в соответствии с быстродействием. Как утверждают разработчики, по этому показателю AD7091R более чем в 3,5 раза превосходит конкурирующие АЦП и двухкристальные решения

на основе дискретного АЦП и источника опорного напряжения (ИОН).

В микросхему входят широкополосный (до 7 МГц) усилитель выборки и хранения, встроенный ИОН на 2,5 В с температурным коэффициентом $\pm 4,5 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ и высокоскоростной последовательный интерфейс, совместимый с SPI/QSPI/MICROWIRE/DSP (рис.1). Напряжение источника питания АЦП – 2,7–5,25 В. Функция управления напряжением позволяет присоединять последовательный интерфейс микросхемы к процессорам на напряжение 1,8–3,3 В. Диапазон рабочих температур AD7091R – от -40 до 125°C . Поставляется в 10-выводных корпусах LFCSP размером $3 \times 2 \text{ мм}$ и MSOP.

АЦП предназначен для систем с батарейным питанием, мобильных коммуникационных систем, переносных измерительных устройств, контрольно-измерительного оборудования, систем сбора данных, медицинской аппаратуры.

В начале 2011 года компания Linear Technology представила 16- и 18-разрядные АЦП последовательного приближения LTC2379-16 и LTC2379-18 с производительностью 2 и 1,6 Мвыб./с, соответственно. Обе модели совместимы по аппаратным и программным средствам. Их особенность – применение техники цифрового сжатия диапазона усиления (Digital Compression Gain, DGC). Основное достоинство этой техники – возможность отказать от источника отрицательного напряжения для драйвера преобразователя, что позволяет резко снизить энергию, поглощаемую в цепи сигнала.

Напряжение ИОН обоих АЦП равно $\pm 5 \text{ В}$, рабочее напряжение – 2,5 В. Отношение сигнал-шум

18-разрядного преобразователя – 101 дБ, коэффициент нелинейных искажений равен -120 дБ и интегральная нелинейность – $\pm 2 \text{ МЗР}$ без пропуска кода. Для 16-разрядной модели отношение сигнал-шум равно 96 дБ, интегральная нелинейность – $\pm 0,5 \text{ МЗР}$. Потребляемая мощность преобразователей семейства LTC2379 составляет 18 мВт при производительности 1,6 Мвыб./с, 19 мкВт при 1,6 квыб./с и 1,25 мкВт – в режиме ожидания.

Сопоставимый с SPI последовательный интерфейс микросхемы позволяет подключать логику на напряжение 1,8; 2,5; 3,3 и 5 В и поддерживать последовательную шлейфовую структуру. Диапазон рабочих температур – от -40 до 125°C . Поставляются АЦП семейства в 16-выводных корпусах типа MSOP и DFN (размером $4 \times 3 \text{ мм}$).

Благодаря высоким значениям отношения сигнал-шум, производительности, а также малому энергопотреблению АЦП семейства LTC2379 перспективны для применения в биомедицинском, промышленном оборудовании, системах автомобильной электроники.

Интересную разработку АЦП последовательного приближения с загружаемой SPICE-моделью TINA-TI, позволяющей на первом этапе конструирования программно описать и смоделировать всю цепочку прохождения аналогового сигнала, в мае 2012 года представила компания Texas Instruments. SPICE-модель доступна для нового 12-разрядного восьмиканального АЦП ADS8028, производительность которого равна 1 Мвыб./с (рис.2).

К его особенностям и достоинствам относятся:

- ускорение процесса разработки с помощью ссылочной модели и оценочного модуля TINA-TI;
- экономия площади печатной платы и расходовемых материалов благодаря интеграции в микросхему ИОН на напряжение 2,5 В, датчика температуры с точностью $\pm 1^\circ\text{C}$, многоканального мультимплексора, обеспечивающего выбор девяти каналов (включая и канал встроенного температурного датчика) и их последовательное сканирование, а также последовательное сопоставимое с SPI интерфейса на частоту 20 МГц. К тому же, в микросхеме не требуется внешний развязывающий конденсатор;
- увеличение, по сравнению с приборами конкурентов, пределов допустимого напряжения питания аналоговых узлов в три раза (до 2,7–5,25 В) и цифровых узлов на 80% (до 1,65–5,25 В), что позволяет непосредственно подключаться к разнообразным процессорам и контроллерам.

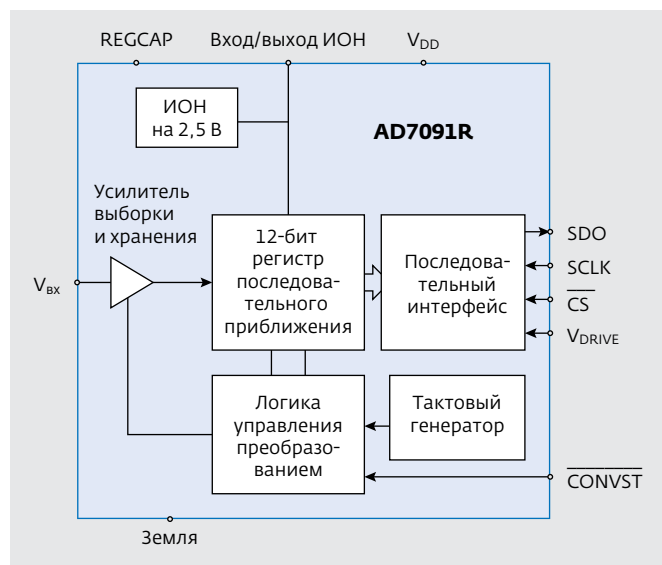


Рис.1. Функциональная блок-схема АЦП AD7091R

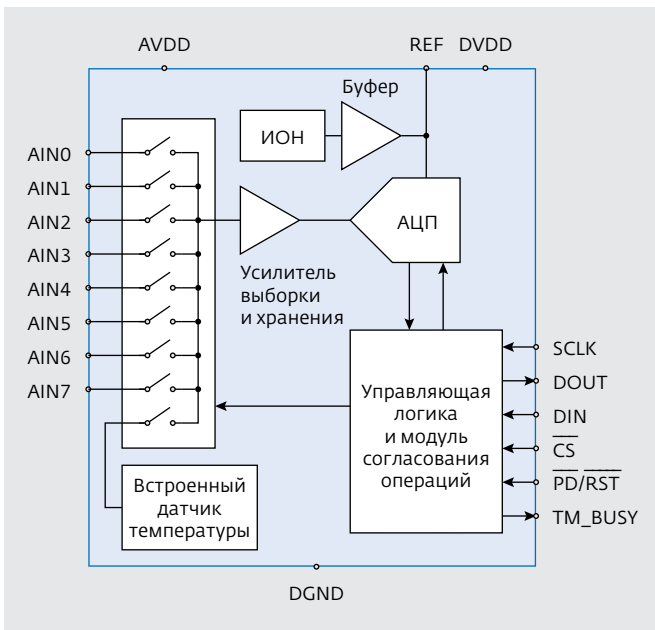


Рис.2. Функциональная блок-схема АЦП ADS8028

Внешнее опорное напряжение может быть увеличено в два с половиной раза (до 1-5 В);

- малое энергопотребление: 17 мВт при максимальной производительности 1 Мвыб./с и не более 36 мВт в режиме ожидания.

Отношение сигнал-шум АЦП составляет 72 дБ, интегральная нелинейность – ±0,5 МЗР, диапазон рабочих температур – от -40 до 125°C. Поставляется в корпусе QFN-20 размером 4×4 мм по розничной цене 3,25 долл. при закупке партии в 1 тыс. шт.

Благодаря малому энергопотреблению, широкому диапазону рабочих температур и напряжений питания, а также высокому уровню интеграции АЦП можно применять в разнообразных приложениях – портативной бытовой электронике, системах инфраструктуры беспроводной связи и в промышленном оборудовании.

Texas Instruments намерена предоставлять конструкторам SPICE-модели TINA-TI вместе со всеми новыми АЦП последовательного приближения.

АЦП с сигма-дельта архитектурой

Среди аналого-цифровых преобразователей этого типа изделия компании Analog Devices также привлекают внимание, особенно производителей промышленного оборудования.

В конце 2012 года компания выпустила мультиплексированный 24-разрядный Σ - Δ АЦП AD7176-2, характеризующийся быстрым временем установления, высокой точностью и разрешением при обработке узкополосных входных сигналов. Его производительность составляет 5 выб./с-250 квыб./с, потребляемый ток – 7,8 мА. С помощью интегрированного матричного коммутатора-мультиплексора входы преобразователя можно конфигурировать в два полностью дифференциальных или четыре псевдодифференциальных входа. Частота сканирования канала равна 50 квыб./с (время установления – 20 мкс). Разрешение АЦП при одноканальном режиме работы с производительностью 250 квыб./с составляет 17 бит без шума, при 2,5 квыб./с – 20 безшумовых бит и 5 выб./с – 22 безшумовых бит.

В состав микросхемы AD7176-2 входят прецизионный ИОН (с выходным буфером) на напряжение 2,5 В с температурным коэффициентом

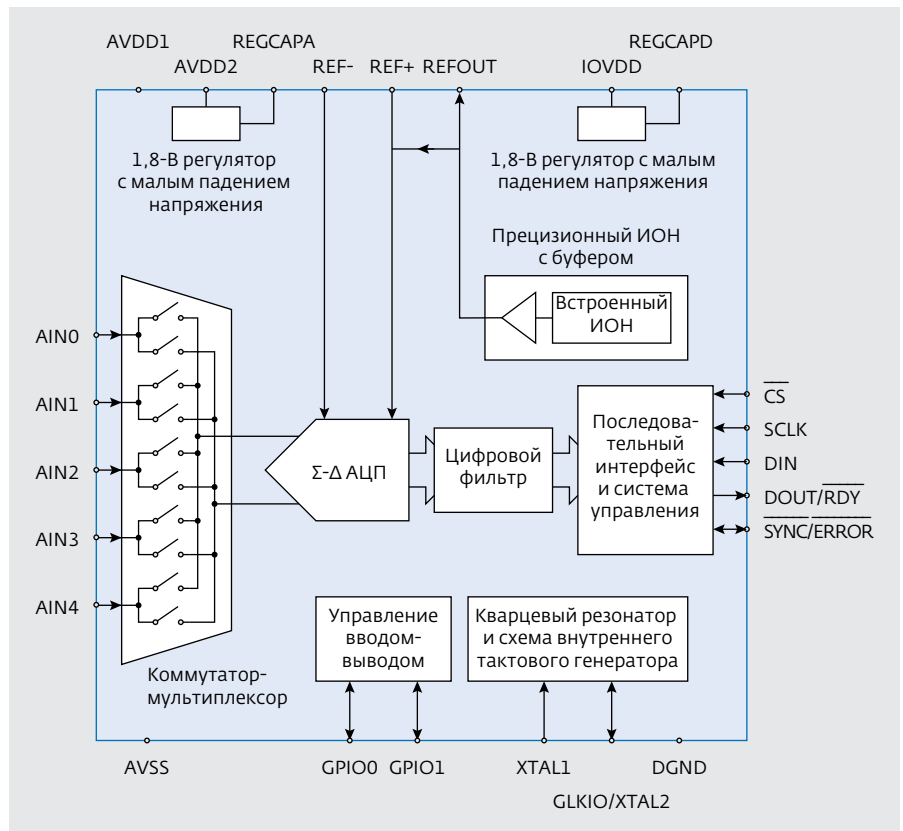


Рис.3. Функциональная блок-схема АЦП AD7176-2

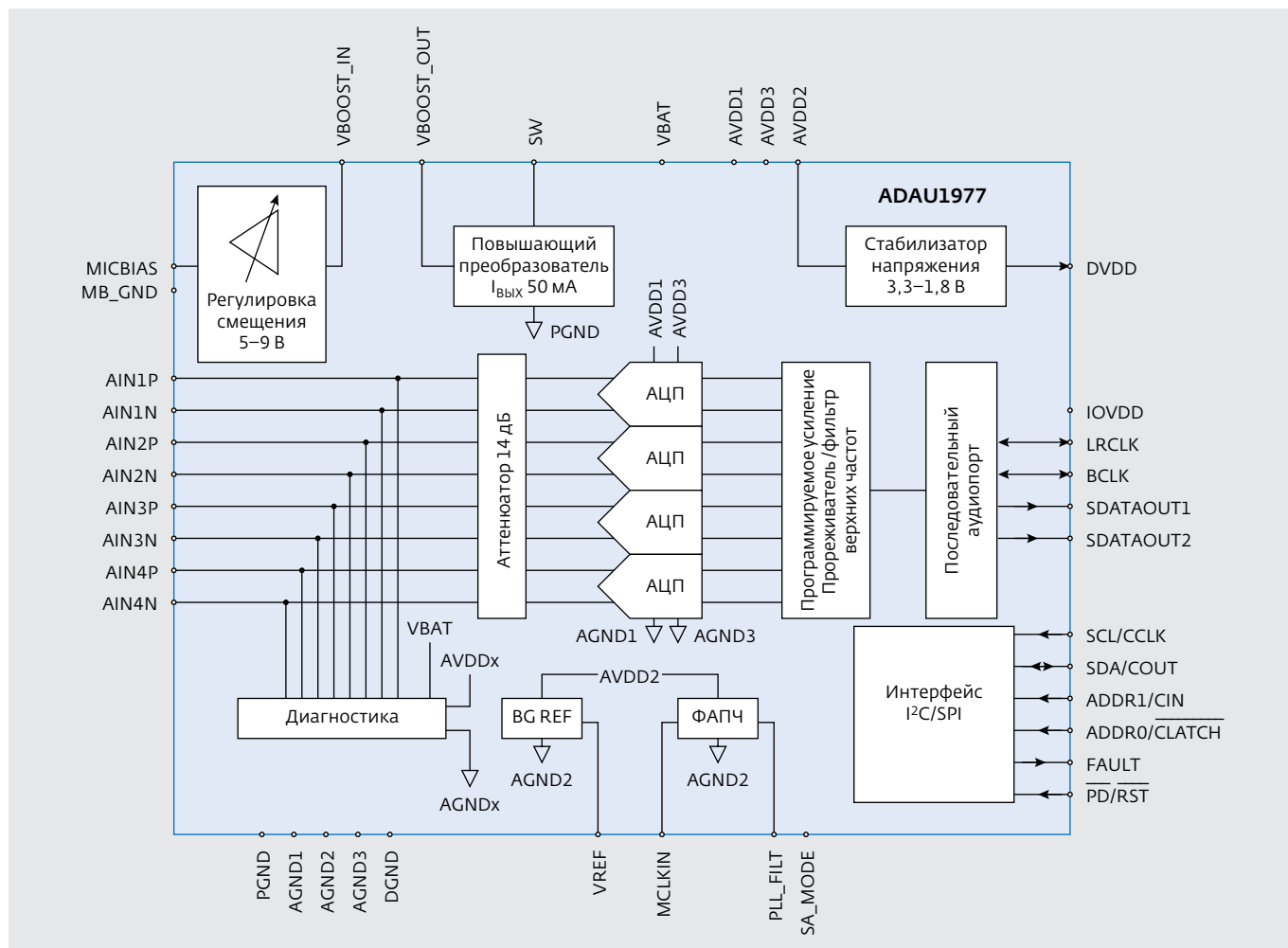


Рис.4. Функциональная блок-схема АЦП ADAU1977

$\pm 2 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ и трех- или четырехпроводные последовательные интерфейсы с циклической проверкой избыточным кодом, совместимые с SPI/QSPI/MICROWIRE/DSP (рис.3). Кроме того, схема содержит три усовершенствованных цифровых фильтра. Один обеспечивает максимальную скорость сканирования канала, второй Sinc3-фильтр - минимизацию времени установления и подавление 50/60-Гц сетевых помех. Третий предназначен для получения максимального разрешения при одноканальном режиме работы с невысокой производительностью. Уровень подавления помех частотой 50/60 Гц при использовании усовершенствованных фильтров составляет 90 дБ (при производительности 27 выб./с и времени установления 36 мс). В зависимости от выбранного типа используемого фильтра и скорости вывода данных каждого канала возможна коррекция его уровня смещения и ошибок усиления. Все переключения

коммутатора-мультиплексора управляются АЦП, возможно автоматическое управление внешним мультиплексором.

Диапазон рабочих температур АЦП составляет $-40...105^\circ\text{C}$. Поставляется в 24-выводном корпусе

TSSOP-типа по цене 10,25 долл. при закупке партии в 1 тыс. шт. Разработан для систем автоматизации производственных процессов и измерительных систем, в которых плотность данных каналов возрастает и опрос должен производиться с большой скоростью. АЦП также перспективен для применения в устройствах измерения температуры и давления, медицинском и научном многоканальном оборудовании.

И еще один новый Σ - Δ АЦП компания Analog Devices выпустила в начале 2013 года. Это сверхточный преобразователь **ADAU1977**, предназначенный для регулировки смещения электростатического электретного микрофона. Высококачественный 24-разрядный ADAU1977 с частотой дискретизации 8-192 кГц содержит четыре АЦП-компонента с непосредственно связанными входами, рассчитанными на среднеквадратичное значение напряжения 10 В (рис.4). АЦП можно непосредственно подключать к электретному микрофону для регулировки его питания в пределах 5-9 В. Встроенная схема диагностики регистрирует неисправности входных линий и микрофона (замыкание батареи, линий подачи питания, заземление, замыкание выводов подачи положительного и отрицательного входного напряжения, обрыв входных выводов) и выдает запрос на прерывание.

Динамический диапазон преобразователя - 106 дБ, коэффициент нелинейных искажений плюс шум равен -95 дБ. Напряжение питания - 3,3 В. Поставляется в 40-выводном корпусе LFCSP по цене 5,06 долл. при закупке партии в 1 тыс. шт.

Для обеспечения оптимальной точности при дискретизации в широком диапазоне частот и минимальном числе внешних компонентов компания Intersil в начале 2013 года выпустила новые сверхмаломощные 26-разрядные Σ - Δ АЦП с программируемыми усилителями **ISL26102** и **ISL26104** (рис.5). АЦП ISL26102 имеет два дифференциальных входа с мультиплексированием и два дополнительных внутренних канала для контроля напряжения питания аналоговых устройств схемы и датчика температуры.

У ISL26104 четыре мультиплексируемых входа. Высокое входное сопротивление преобразователей позволяет напрямую подключать к их входам различные мостовые датчики без дополнительных буферов и других компонентов.

Производительность АЦП - от 2,5 выб./с до 4 квыб./с, разрешение - 21,5 бит без шума при 10 выб./с. Коэффициент усиления регулируется в пределах от 1 до 128. При опорном напряжении 5 В усилитель допускает нелинейность не хуже $\pm 19,5$ мВ от полной шкалы. Шум преобразователя при максимальном усилении составляет $7 \text{ нВ}/\sqrt{\text{Гц}}$, ошибка линейаризации - $2 \cdot 10^{-4}\%$ по полной шкале. Потребляемая мощность в активном режиме равна 50 мВт, ток в режиме ожидания - 1 мкА.

Связь с внешним микроконтроллером обеспечивает SPI-интерфейс. Преобразователь может работать с внешним тактовым генератором, кристаллическим резонатором (типичное значение частоты - 4,9152 МГц) или внутренним тактовым генератором.

Напряжение питания аналоговых элементов - 5 В, цифровых компонентов - 2,7-5 В. Диапазон рабочих температур равен -40...105°C. Поставляются ISL26102 и ISL26104 в 28-выводном корпусе TSSOP-типа по цене 5,45 и 5,95 долл., соответственно, при закупке партии в 1 тыс. шт.

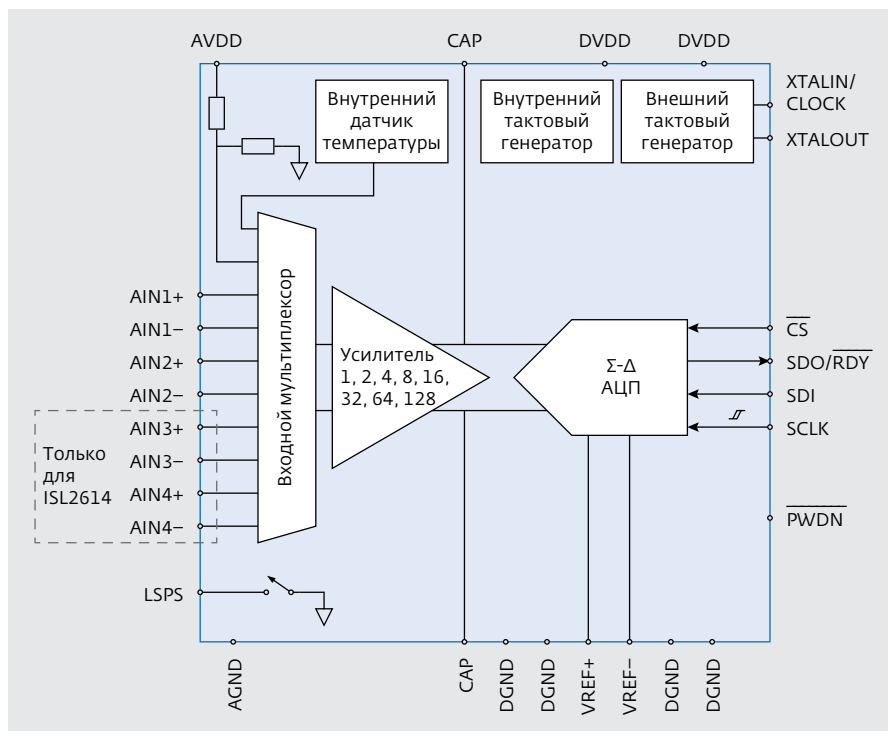


Рис.5. Функциональная блок-схема АЦП ISL26102/ISL26104

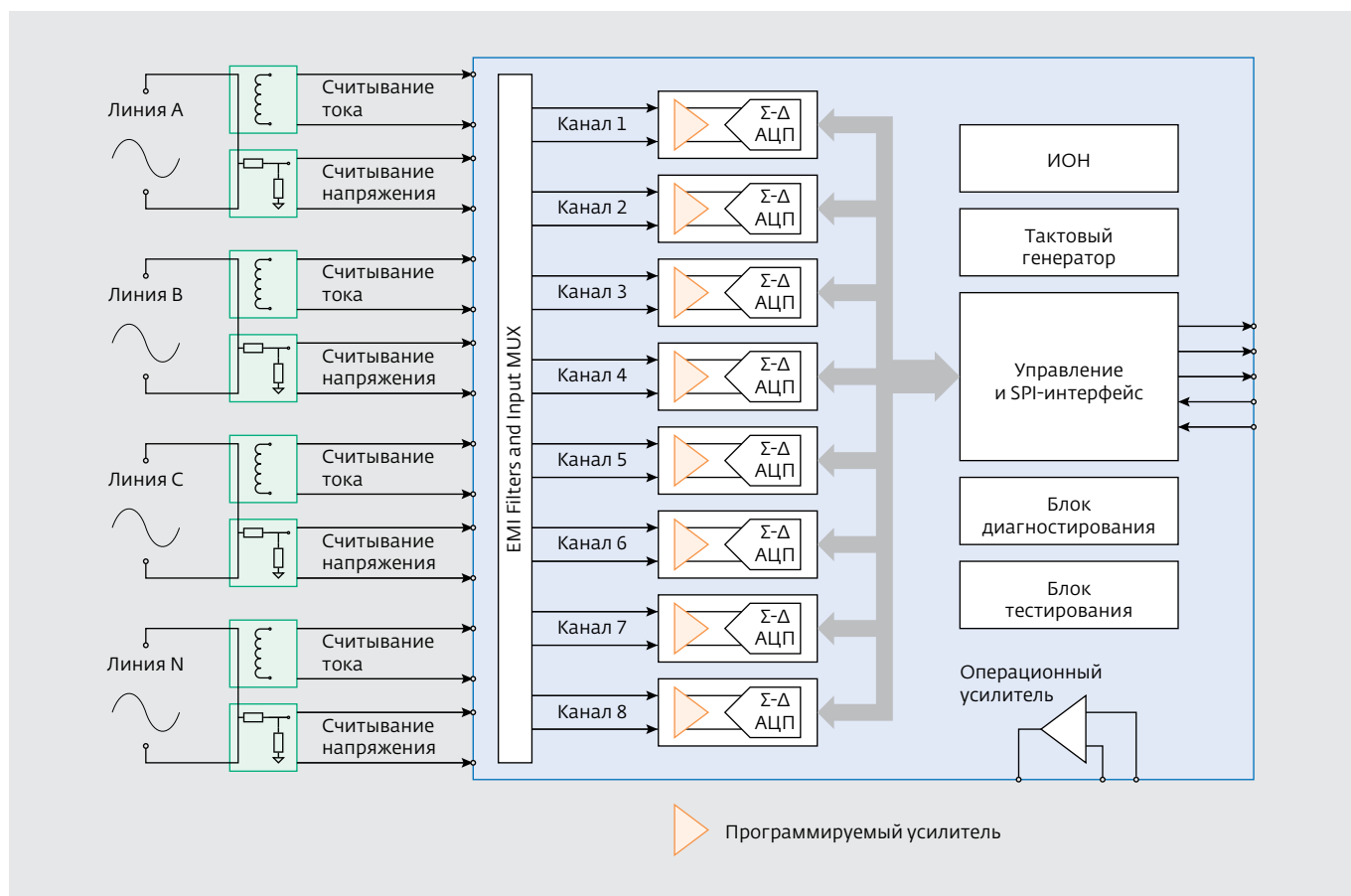


Рис.6. Функциональная блок-схема АЦП ADS131E0x

Предназначены для систем взвешивания и контроля температуры, управляющего оборудования, обеспечивая с высокой точностью дискретизацию сигналов дешевых датчиков без применения сложных внешних усилителей и схем формирования сигнала.

Семейство многоканальных, параллельно работающих Σ - Δ АЦП **ADS131E0x** для устройств учета и контроля качества электроэнергии предложила компания Texas Instruments. В него входят восьмиканальный ADS131E08 с производительностью 8 квыб./с, потребляемая мощность канала – 16 мВт; четырехканальный ADS131E04 – 4 квыб./с и 12 мВт и шестиканальный ADS131E06 – 64 квыб./с и 8 мВт.

Особенности АЦП семейства – наличие встроенного программируемого усилителя, внутреннего прецизионного ИОН, тактового генератора, встроенного датчика температуры, входного ЕМI-фильтра, sinc3-фильтра, механизмов самодиагностики и гибкой системы мультиплексирования внешних/внутренних сигналов (рис.6). Входы преобразователей можно отдельно или

совместно подключать к различным типам входных цепей: резистивному делителю, токовому трансформатору, поясу Роговского. Функция внутреннего мультиплексирования позволяет эффективно использовать ресурсы приборов семейства ADS131E0x. Так, возможность подключения отдельных измерительных каналов к внутренним блокам АЦП (температурному датчику и набору компараторов) для обнаружения сбоев в работе обеспечивает самодиагностику устройства.

Основные характеристики АЦП семейства

AD5131E0x

Динамический диапазон при производительности 1 Квыб./с, дБ 118
 Перекрестные помехи, дБ -110
 Интегральная нелинейность, % ±0,002
 Отношение сигнал-шум, дБ 107
 Уровень подавления помех 60/50-Гц сети, дБ .. -90
 Входной диапазон сигналов, В ±2,4
 Напряжение питания, В:

аналоговых узлов 2,7-5,25
 цифровых узлов 1,8-3,6

Диапазон рабочих температур равен -40...105°С.

Поставляются в 64-выводном корпусе TQFP по цене 5,97-7,95 долл. при закупке партии в 1 тыс. шт.

Благодаря высокому уровню интеграции и характеристикам микросхемы семейства позволяют существенно уменьшить габариты, энергопотребление и снизить стоимость гибких промышленных систем контроля потребляемой энергии.

АЦП конвейерного типа

Инфраструктура систем связи, средства формирования изображения, промышленное оборудование, электроника военного назначения и другие многоканальные системы, обрабатывающие большой объем данных, нуждаются в более высоком разрешении и быстродействии устройств преобразования данных. Для выполнения этих требований компания Analog Devices в конце 2012 года

выпустила двухканальный 14-разрядный АЦП **AD9250** конвейерного типа с производительностью 170-250 Мвыб./с. Основное его достоинство – реализация в схеме последовательного интерфейса JESD-204В стандарта Объединенного инженерного совета по электронным устройствам (JEDEC) (рис.7). По утверждению специалистов компании, AD9250 – первый на рынке преобразователь с детерминистской задержкой, соответствующей при максимальной производительности JESD-204В подклассу 1, благодаря чему и поддерживается максимальная производительность. По умолчанию выходные данные АЦП передаются по двум выходным линиям интерфейса JESD-204В со скоростью 5 Гбит/с. В результате при передаче данных по двум линиям поддерживается максимальная производительность 250 Мвыб./с, в случае передачи по одной линии – 125 Мвыб./с.

Многокаскадная микросхема дифференциального АЦП содержит выходную логику исправления ошибок, широкополосные входы, поддерживающие задаваемые пользователем входные сигналы с полным размахом напряжения от 1,4 до 2 В и частотой до 400 МГц, встроенный ИОН, стабилизатор, компенсирующий вариации рабочего цикла тактового импульса. Трехпроводной SPI совместимый интерфейс предназначен для передачи сигналов настройки и управления. Главное достоинство интерфейса JESD-204В – обеспечение незаметной для пользователя связи АЦП

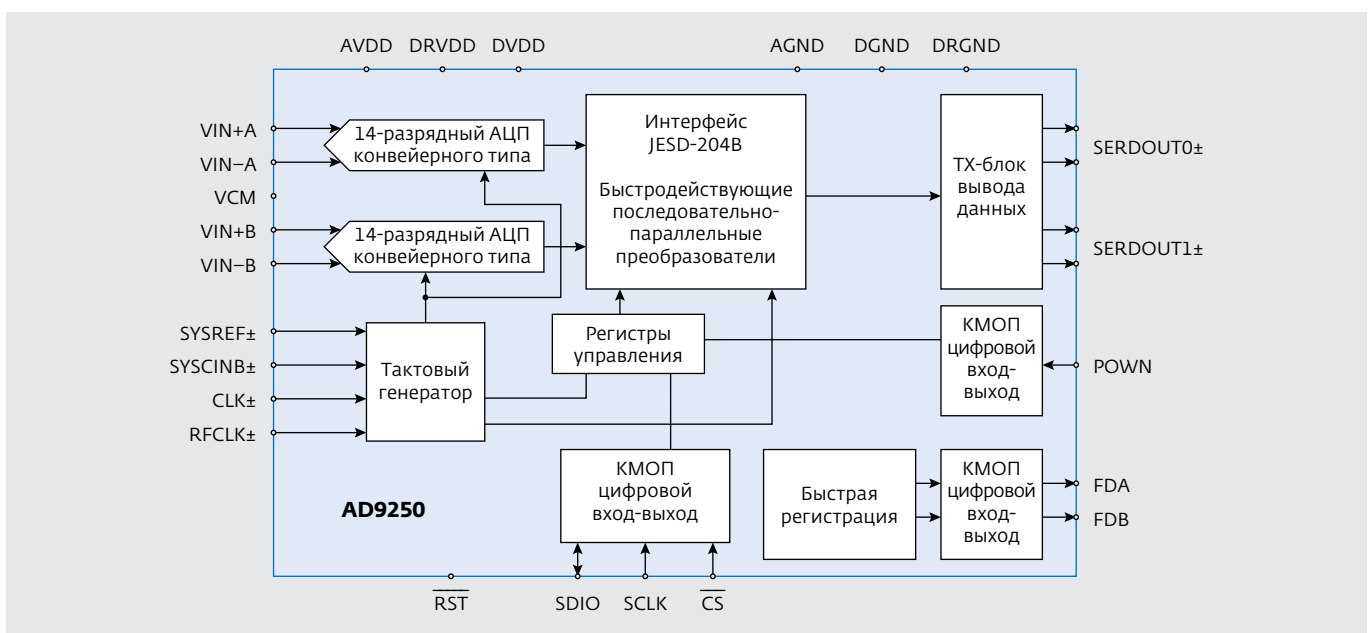


Рис.7. Функциональная блок-схема АЦП AD9250

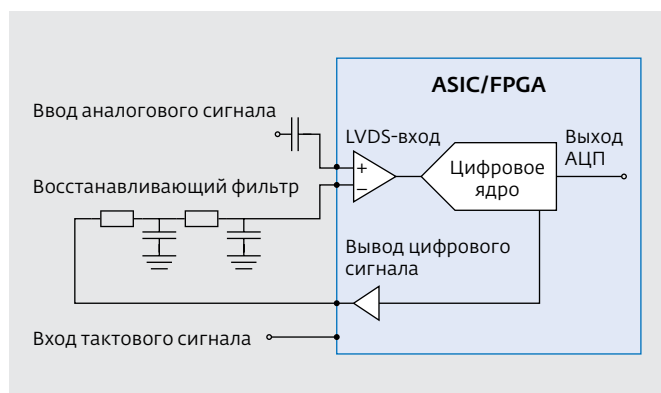


Рис. 8. Блок-схема полностью цифрового АЦП

с быстродействующей микросхемой, в первую очередь со схемой программируемой пользователем вентильной матрицы (FPGA)*. В результате достигается прецизионная синхронизация многоканального преобразователя,

* JEDEC-204B SerDes порты установлены в последних поколениях изделий крупных производителей высокопроизводительных FPGA, таких как Xilinx.

понижаются требования к трассировке платы, сокращается число выводов приемного устройства.

При частоте входного сигнала 185 МГц и производительности 250 Мвыб./с отношение сигнал-шум АЦП AD9250 составляет 70,6 дБ, динамический диапазон SFDR – 8 дБ, развязка между каналами – 96 дБ, потребляемая мощность – 711 мВт. Питание микросхемы обеспечивает один источник с напряжением 1,8 В. Диапазон рабочих температур – от -40 до 85°C. Поставляется преобразователь в 48-выводном корпусе LFCSP по цене 72,5-131,57 долл. в зависимости от модификации.

Как отмечают разработчики высокопроизводительных АЦП компании Analog Devices, упрощенный интерфейс сдвоенного АЦП AD9250, обеспечивающего высокую скорость обработки широкополосных сигналов, облегчает разработку следующего поколения программно-определяемых радиосистем и медицинского УЗ-оборудования на основе FPGA.

Но нельзя ли реализовать функции АЦП в самой микросхеме FPGA? Оказывается, можно.

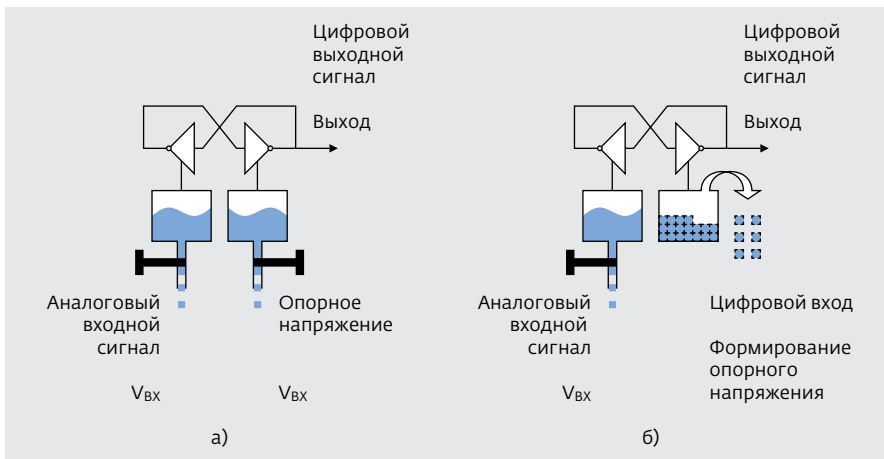


Рис.9. Сравнение компаратора обычного АЦП (а) и структуры, предложенной Fujitsu (б)

НОВЫЕ СТРУКТУРЫ АНАЛОГО-ЦИФРОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Решение компании Stellamar

Разработчиков аналого-цифровых преобразователей всегда волновал вопрос, могут ли эти устройства, в основе которых лежат аналоговые блоки, стать столь же эффективными, как и полностью цифровые приборы? Специалисты компании Stellamar отвечают, что могут. Предложенный ими метод формирования АЦП непосредственно в структуре цифровой микросхемы легко реализовать с помощью цифрового синтезатора.

В разработанной полностью цифровой структуре АЦП, входящей в состав специализированной микросхемы (ASIC или FPGA), входной сигнал, соответствующий требуемому смещению по постоянному току, поступает на неинвертирующий LVDS-вход входного буфера (рис.8). Этот сигнал сравнивается с сигналом на конвертирующем входе буфера, который поступает от восстанавливающего фильтра. Полученный разностный сигнал обрабатывает цифровая логическая схема для получения сигнала цепи обратной связи и выходных дискретных значений преобразователя, которые и поступают на остальные блоки специализированной схемы. Единственный дополнительный сигнал, нужный для работы цифрового АЦП, – это тактовый сигнал, от частоты которого зависят ширина полосы и отношение сигнал-шум АЦП. Поскольку предложенная структура полностью изготавливается по кремниевой технологии, сокращается время разработки и снижается стоимость объединения АЦП со специализированной микросхемой.

Разрешение созданного специалистами компании полностью цифрового АЦП составляет 14 разрядов, ширина полосы – 100 кГц. Полученные параметры позволяют применить цифровые АЦП-блоки в акселерометрах, датчиках температуры, давления, напряжения, тока, беспроводных телефонах, слуховых аппаратах, медицинском УЗИ-оборудовании и т.п. Работы по улучшению характеристик преобразователя продолжаются.

Расширение областей применения цифровых методов управления позволило создать и самый маленький на сегодняшний день АЦП.

Структура компании Fujitsu

Обычные АЦП для преобразования входного аналогового сигнала в цифровую форму сравнивают его напряжение с генерируемым схемой опорным напряжением, для изменения уровня которого требуются быстродействующие переключатели. Чтобы уменьшить площадь преобразователя и сократить его потребляемую мощность, специалисты компании Fujitsu предложили совершенно новую структуру схемы, в которой использованы цифровые методы управления, что позволило отказаться от ИОН. В предложенной структуре вместо опорного используется управляемое пороговое напряжение, с уровнем которого преобразователь сравнивает значение входного аналогового сигнала. Управление пороговым напряжением осуществляется путем регулировки значения числа используемых источников тока, установленных в компараторе (рис.9). Такая структура помимо исключения ИОН из схемы позволяет повысить ее быстродействие.

На основе этой структуры специалистами компании создан опытный образец шестизначного АЦП с производительностью 1 Гвыб./с и потребляемой мощностью 9,9 мВт. При этом площадь кристалла составляет всего 0,04 мм² (рекордно маленькое значение для АЦП с аналогичными характеристиками). По утверждению разработчиков, при работе в многоканальном режиме с временным уплотнением можно добиться производительности, равной нескольким десяткам гигавыборок в секунду. ●