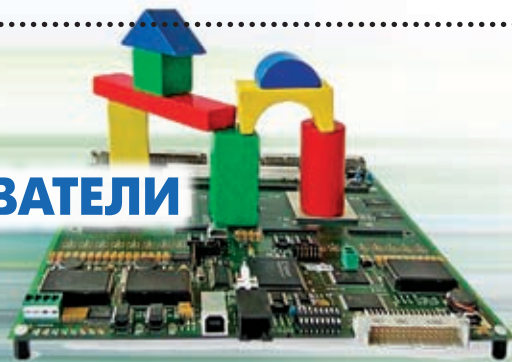


# АНАЛОГО-ЦИФРОВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

## ЧТО НОВОГО?



В.Шурыгина

Преобразователи данных, к которым относятся аналого-цифровые преобразователи (АЦП), соединяющие аналоговый и цифровой миры, – важные элементы электронных устройств. Самыми крупными потребителями преобразователей данных, стимулирующими их развитие, являются производители промышленного и медицинского оборудования. Правда, плотность элементов преобразователей, в отличие от цифровых устройств, подчиняющихся закону Мура, не удваивается каждые полтора-два года, и темпы освоения их новых технологий не столь высоки. Тем не менее, усилия изготовителей этих микросхем, так же как и поставщиков цифровых устройств, направлены на увеличение числа элементов на кристалле, не изменяя его размеры, на уменьшение потребляемой мощности и снижение стоимости. И пока, по мнению вице-президента компании Analog Devices Inc. (ADI) по прецизионным средствам обработки сигнала Дика Мини (Dick Meapey), рынок преобразователей данных в отличие от рынка цифровых устройств остается достаточно стабильным, хотя средние цены на преобразователи, особенно на приборы, предназначенные для датчиков температуры с невысоким коэффициентом прибыльности, будут падать. Крупнейший изготовитель преобразователей данных – компания ADI (47% рынка преобразователей в 2007 году). Второе место занимает Texas Instruments (19%), третье – Maxim Integrated Products (10%). Крупными поставщиками являются также компании Linear Technology, National Semiconductor, Fairchild Semiconductor, Intersil, STMicroelectronics. Что же представили эти компании на рынке в последнее время?

### ПЕРВЫЕ КОММЕРЧЕСКИЕ СИГМА-ДЕЛЬТА АЦП С НЕПРЕРЫВНЫМ ПРЕОБРАЗОВАНИЕМ

Для беспроводных систем связи, портативного промышленного и медицинского оборудования требуются высокопроизводи-

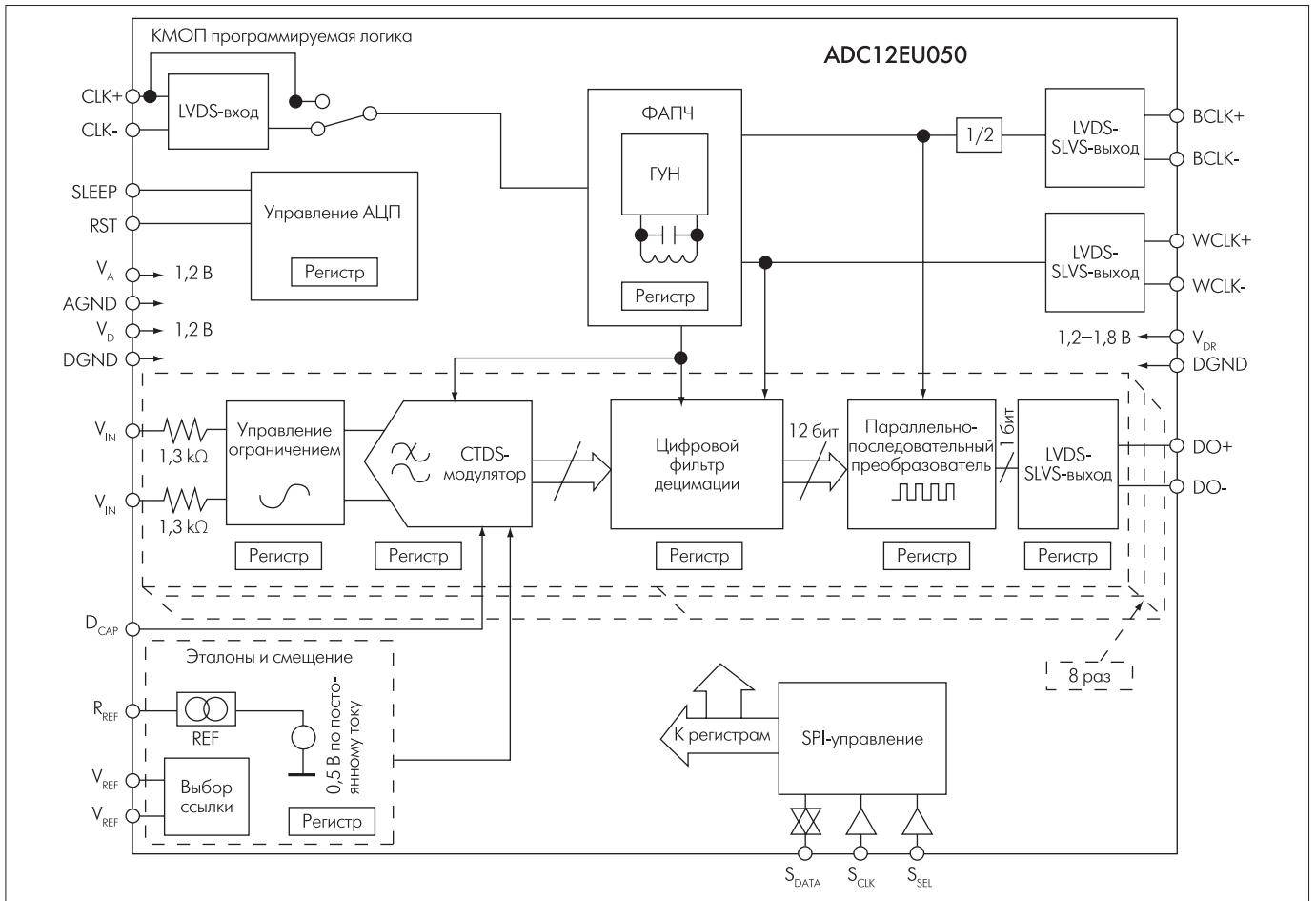
тельные АЦП с разрешением более 10 бит, работающие в широкой полосе частот. До последнего времени такие АЦП обычно имели конвейерную архитектуру. К недостаткам этой архитектуры относится необходимость применения фильтра помех дискретизации и трудности, связанные с реализацией преобразователей с разрешением более 10 бит. Сигма-дельта АЦП с временным разделением (Discrete-Time Sigma-Delta – DTSD), также достаточно широко используемый в таких системах, работают при низких значениях напряжения питания, но тоже требуют применения фильтра помех, а их полоса частот, как правило, не превышает 2 МГц. К тому же, отношение сигнал-шум у обоих типов АЦП недостаточно большое.

Вот почему разработчики современных преобразователей с малой потребляемой мощностью, предназначенных для высокопроизводительных портативных систем, обратились к сигма-дельта АЦП с непрерывным преобразованием (Continuous-Time Sigma-Delta – CTSD). К достоинствам CTSD АЦП относятся:

- легко согласуемый полностью резистивный входной интегратор, вносящий малые шумы в систему и позволяющий отказаться от входных устройств выборки и хранения, применяемых в конвейерных и традиционных DTSD АЦП;
- наличие встроенных схем ФАПЧ и ГУН для генерации тактового сигнала, обеспечивающих работу с высоким разрешением без необходимости применения дорогостоящего высокопроизводительного тактового генератора;
- сочетание избыточной дискретизации, фильтра НЧ и внутрисхемной цифровой фильтрации, позволяющее отказаться от внешнего фильтра помех дискретизации и выполнять преобразования без помех вплоть до частоты Найквиста;
- возможность масштабирования, что облегчит переход к следующим поколениям КМОП-технологии и снижению напряжения питания.

Все это обеспечивает существенное снижение энергопотребления преобразователя.

Архитектура CTSD АЦП, рассматриваемых сегодня как преобразователи следующего поколения, изучалась более 15 лет. Довести технологию CTSD от лабораторных исследований до промышленного внедрения сумела компания National



**Рис. 1. Блок-схема CTSD АЦП модели ADC12EU050**

Semiconductor, выпустившая на рынок в третьем квартале 2008 года первый коммерческий CTSD АЦП модели ADC12EU050\*. Новый преобразователь (рис.1) представляет собой восьмиканальный 12-разрядный АЦП с частотой преобразования 40–50 МГц и диапазоном преобразования без помех дискретизации 25 МГц. Потребляемая мощность составляет 44 мВт/канал (полная потребляемая мощность 384 мВт), что на 30% меньше энергопотребления современных АЦП. Схемотехника входных каналов обеспечивает сверхбыстрое (моментальное) восстановление сигнала после перерегулирования. Благодаря функции восстановления при перегрузке (Instant Iverload Recovery – IOR), не имеющей эффекта памяти, исключены фазовые погрешности, вызываемые выходом входного сигнала за пределы рабочего диапазона. В микросхеме предусмотрен последовательный вывод данных через LVDS- или SLVS-интерфейс (тип интерфейса выбирается программно через SPI-совместимый последовательный интерфейс).

Основные характеристики CTSD АЦП ADC12EU050 следующие:

Разрешающая способность, бит.....	12
Отношение сигнал-шум, дБпш.....	70 ( $f_{\text{вх}} = 3,5 \text{ МГц}$ )
Общие гармонические искажения, дБ.....	-70 ( $f_{\text{вх}} = 3,5 \text{ МГц}$ )
Потребляемая мощность, мВт/канал	
при частоте преобразования 50 МГц.....	44
при частоте преобразования 40 МГц.....	40
Внутренняя изоляция каналов, дБ.....	> 110 ( $f_{\text{вх}} = 3,5 \text{ МГц}$ )
Напряжение питания, В.....	1,2
Диапазон рабочих температур, °С.....	-40...85

Новый сигма-дельта АЦП с непрерывным преобразованием входит в семейство энергосберегающих устройств PowerWise компании. АЦП изготавливается по 0,13-мкм КМОП-технологии на предприятии тайваньской компании-производителя микросхем TMSC. Монтируется в 68-выводной корпус типа LLP размером 10×10 мм.

АЦП предназначен для систем обработки изображения, средств телекоммуникации, медицинского оборудования.

В конце 2008 года о создании образцов сигма-дельта АЦП с непрерывным преобразованием сообщила и компания Analog Devices. Компания выпустила 16-разрядные одноканальный AD9261 и двухканальный AD9262 сигма-дельта преобразователи, а также двухканальный 16-разрядный сигма-дельта модулятор непрерывного преобразования AD9267. Новые АЦП отличаются высоким отношением сигнал-шум и большим динамическим диапазоном в полосе преобразования до 10 МГц (табл.1). В мик-

\* Прибор был разработан специалистами начинающей фирмы Xignal Technologies, расположенной в Унтерхашинге (Германия). National Semiconductor приобрела Xignal в 2007 году, когда последняя собиралась выйти на рынок с созданным преобразователем. Сейчас фирма Xignal под именем National Semiconductor Germany является дизайн-центром в группе компаний National.

Таблица 1. Характеристики CTSD АЦП AD9267 компании Analog Devices

Параметр	AD9261-10	AD9262			AD9267
		AD9262	AD9262-5	AD9262-10	
Максимальная полоса частот, МГц	10	2,5	5	10	10
Число каналов	1	2	2	2	2
Динамический диапазон, дБ	86	92	89	86	85
Отношение сигнал-шум на частоте 10 МГц, дБпш	84,5	90,5	82,5	84,5	83
Потребляемая мощность, мВт	335	580	630	675	381
Свободный от помех динамический диапазон, дБн	87				
Производительность, Msps	30–160				640
Входной импеданс, кОм	1				
Выходное напряжение, В	1,8–3,6				1,8
Интерфейс	16-разрядный КМОП				4-разрядный LVDS
Блоки	ФАПЧ, фильтры децимации, преобразователь частоты дискретизации				ФАПЧ
Диапазон рабочих температур, °С	-40...85				
Корпус, размер, мм	48-выводной LFCSP, 7×7	64-выводной LFCSP, 9×9			64-выводной LFCSP, 9×9

росхемах АЦП семейства AD926х реализованы принципы избыточной дискретизации, ограничения шума и входные характеристики, присущие только CTSD-архитектуре (рис.2). Это обеспечивает высокую производительность и простоту применения АЦП. Резистивная входная структура позволяет отказаться от усилителя формирователя входного сигнала, а ФНЧ с передискретизацией пятого порядка ослабляет внеполосные сигналы и тем самым позволяет снизить требования к внешним полосовым фильтрам и другим устройствам формирования сигнала в канале усиления и преобразования сигнала. Большой динамический диапазон позволяет сократить или полностью исключить применение в ряде систем автоматической регулировки усиления, что в сочетании с широкой полосой преобразования упрощает конструкцию системы, уменьшает габариты и ускоряет время выхода ее на рынок. В микросхему модулятора AD9267 входят лишь ядро с производительностью 640 Msps и ФАПЧ, что позволяет переадресовывать обработку сигнала FPGA или процессору.

Благодаря высокой частоте преобразования и невысокой потребляемой мощности (практически вдвое меньшей, чем у обычных АЦП с аналогичным динамическим диапазоном) CTSD АЦП AD9261 и AD9262 перспективны для приме-

нения в системах цифровой радиосвязи, работающих с различными стандартами и операторами беспроводной связи. Помимо средств радиосвязи и телекоммуникаций новые АЦП предназначены для измерительного и промышленного оборудования, систем телеметрии.

Крупносерийное производство новых АЦП компания планирует начать в апреле 2009 года.

### НОВЫЕ АЦП ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ПРИБЛИЖЕНИЯ

CTSD АЦП не единственные аналого-цифровые преобразователи, выпущенные в последнее время компанией Analog Devices. Во второй половине 2008 года компания резко опередила своих конкурентов, выпустив 16-разрядные АЦП последовательного приближения (Successive Approximation Register – SAR) с самой высокой для этого класса устройств производительностью. Новые АЦП AD7625 (с производительностью 6 Msps) и AD7626 (10 Msps)\* входят в семейство PulSAR, компоненты которого выполняются по технологии, обеспечивающей нулевое время задержки сигналов, что очень важно для систем сбора данных. Изготовлены новые АЦП по 0,25-мкм КМОП-технологии.

АЦП AD7626 (рис.3) с производительностью 10 Msps характеризуется лучшей в своем классе эффективной разрядностью – 15 бит, отношением сигнал-шум 92 дБ (среднее значение) и 90 дБ (минимальное значение), что на 8 дБ лучше, чем у любого современного поставляемого на рынок АЦП этого класса. Типичное значение интегральной нелинейности составляет ±1 МЗР, максимальное значение – ±2 МЗР, дифференциальная нелинейность – ±0,3 и ±1 МЗР, соответственно типичное и максимальное значения. По этим параметрам новые преобразователи компании Analog Devices сопоставимы с АЦП со зна-

\* Производительность SAR АЦП компании предыдущего поколения составляла 3 Msps, а преобразователя, выпущенного в 2007 году компанией Texas Instruments, – 4 Msps.

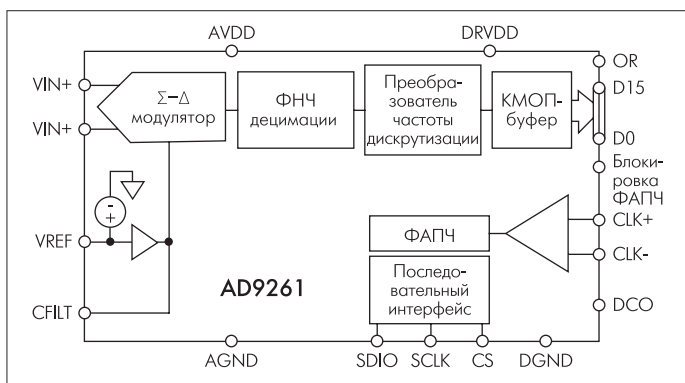


Рис.2. Функциональная блок-схема АЦП AD9261



чительно меньшей производительностью. Опорное входное напряжение преобразователя составляет  $\pm 4,096$  В. Потребляемая мощность AD7626 составляет 150 мВт, что даже при максимальной частоте дискретизации на 15% ниже, чем у других АЦП этого класса. LVDS-порт наряду с автосинхронизацией микросхемы обеспечивает интерфейс с малым уровнем шума и позволяет сократить число внешних компонентов, необходимых для снижения шумов на уровне платы. Монтируется AD7626 в 32-выводной корпус типа QFN размером 5×5 мм. Таким образом он на 70% меньше чем конкурирующие устройства.

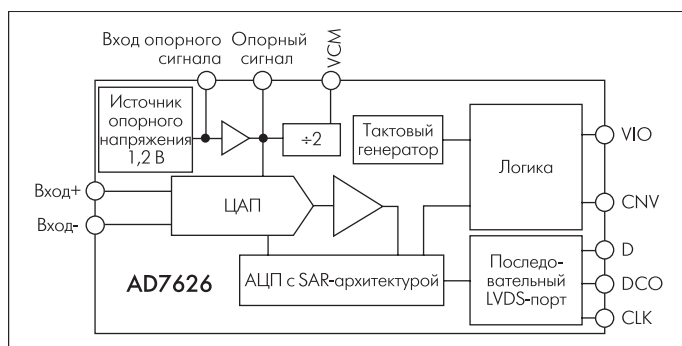
В случаях, когда требуется меньшая производительность, AD7626 можно подключить к мультиплексору и работать в двухканальном режиме. При этом производительность каждого канала равна 5 Msps. Это позволит разработчикам в два раза уменьшить суммарную стоимость преобразователей, устанавливаемых в проектируемых ими системах. В то же время по производительности они будут превосходить существующие устройства на 25%.

Один из перспективных рынков сбыта новых АЦП – системы визуализации медицинского оборудования, особенно оборудования компьютерной топографии, для которых точность и производительность являются ключевыми характеристиками, и их улучшение положительно влияет на качество изображения. Кроме того, AD7626 найдет применение в системах телекоммуникации, приемниках, высокопроизводительных системах сбора данных, спектральных анализаторах, тестовом оборудовании.

Интерес представляет и 12-бит АЦП последовательного приближения типа ADS7883 компании Texas Instruments с низким энергопотреблением (6,45 мВт при напряжении питания 3 В и производительности 2 Msps и 13,5 мВт при 5 В и 3 Msps), предназначенный для устройств с батарейным питанием. Последовательный интерфейс на частоту 48 МГц микросхемы обеспечивает непосредственное подключение к микропроцессорам и сигнальным процессорам. Интегральная нелинейность составляет  $\pm 0,6$  МЗР, дифференциальная нелинейность –  $\pm 0,5$  МЗР. Отношение уровня сигнала к уровню шума и искажений равно 72 дБ, коэффициент нелинейных искажений (THD) составляет -84 дБ. В АЦП предусмотрена и энергосберегающая функция, при которой преобразователь работает с пониженной производительностью, потребляя при этом 2,15 мА. Напряжение питания составляет 5,5– 2,7 В. Диапазон рабочих температур –  $-40...125^{\circ}\text{C}$ . Монтируется АЦП в шестивыводной корпус типа SOT-23. Области применения – оптические датчики, системы с батарейным питанием, медицинские приборы, оборудование радиосвязи, быстродействующие устройства сбора данных.

## И ЕЩЕ НОВИНКИ

Рассматривая выпущенные за последнее время новые аналого-цифровые преобразователи, нельзя не упомянуть 24-разрядный пятиканальный сигма-дельта АЦП типа AD7190 компании Analog Devices с наилучшим на сегодняшний день сочетанием



**Рис.3. Функциональная блок-схема АЦП AD7626**

частоты дискретизации и разрешения без искажений. В микросхему нового АЦП входит усилитель с регулируемым коэффициентом усиления от 1 до 128 и низкими уровнями шума и искажений на постоянном и переменном токе в диапазоне частот от 4,7 Гц до 4,8 кГц. Среднеквадратическое значение шума усилителя равно всего 8,5 нВ при частоте дискретизации 4,7 Гц и коэффициенте усиления 128. Благодаря наличию малошумящего усилителя малые низкочастотные сигналы можно непосредственно вводить в АЦП. Дрейф напряжения смещения составляет 5 нВ/°С, дрейф коэффициента усиления –  $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ . Эффективная разрядность АЦП без искажений во всем диапазоне входных напряжений от 40 мВ до 5 В на частотах до 2,4 кГц составляет 16 бит при коэффициенте усиления 128 и 22,5 бит при коэффициенте усиления, равном 1.

Конфигурируемая структура микросхемы преобразователя позволяет работать с двумя дифференциальными входами или четырьмя псевдодифференциальными входами. При этом внутрисхемный контроллер последовательности может задавать разрешение на работу по нескольким каналам, и АЦП последовательно преобразует сигналы каждого заданного канала. Микросхема работает как со встроенным, так и внешним генератором тактового сигнала. В нее также входят датчик температуры и блок снижения энергопотребления (рис.4). Кроме того, в АЦП предусмотрена возможность выбора одного из двух вариантов цифровых фильтров: третьего или четвертого уровня (sinc3 и sinc4). При низких частотах дискретизации фильтр sinc3 позволяет оптимизировать вре-

мя установления сигнала, а sinc4 улучшить 50–60-Гц режекцию. При более высоких частотах фильтр четвертого уровня обеспечивает улучшение шумовых характеристик. Чтобы снизить программные потери и обеспечить преобразования всех входных сигналов, предусмотрена возможность выбора режима преобразования данных без задержки.

В микросхеме предусмотрены трехпроводной последовательный интерфейс, последовательные интерфейсы SPI, QSPI, Microwire. Напряжение питания 2,7–5,25 В, потребляемый ток 6 мА, рассеиваемая мощность 36,8 мВт. Диапазон рабочих температур равен -40...105°C. Монтируется АЦП AD7190 в 24-выводной корпус типа TSSOP. Поставки промышленных партий преобразователя компания Analog Devices планировала на ноябрь 2008 года.

Высокопрецизионный преобразователь, способный обнаружить разомкнутое состояние датчика, найдет применение в таких высокоточных системах, как тензодатчики, лабораторные электронные весы, технологическое измерительное оборудование, модули управления, научная аппаратура, устройства хроматографии.

И снова уникальный АЦП компании National Semiconductor. В конце 2008 года компания объявила о создании 10-разрядного АЦП, представляющего собой самый совершенный прибор семейства сверхбыстродействующих АЦП GHz. На частоте 248 МГц новый АЦП типа ADC10D1000 демонстрирует лучшие в отрасли значения свободного от искажений динамического диапазона (SFDR), равного 66 дБн, и эффективных битов (ENOB) – 9,1. Среднее значение отношения сигнал-шум АЦП составляет 57 дБ. При этом АЦП работает от источника питания на напряжение 1,9 В, а его потребляемая мощность составляет 2,8 Вт, что на 33% меньше, чем у современных сопоставимых по параметрам преобразователей. ADC10D1000 может оцифровывать два входных аналоговых сигнала с производительностью 1 Gsps, или один входной сигнал с производительностью 2 Gsps. Благодаря высоким характеристикам АЦП может выполнять оцифровку в широкой полосе частот (ширина полосы полной мощности – 2,8 ГГц) и использовать-

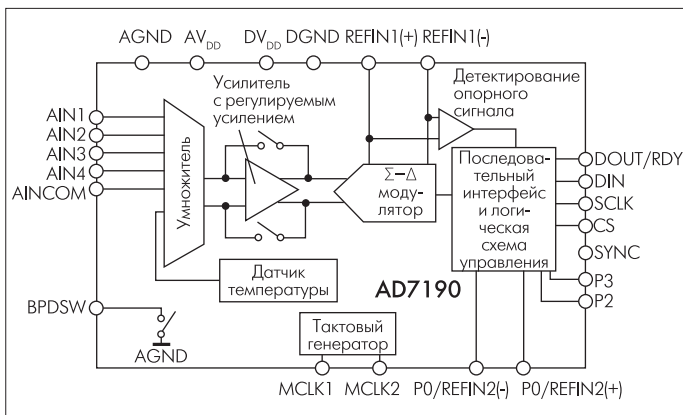


Рис.4. Функциональная блок-схема АЦП AD7190

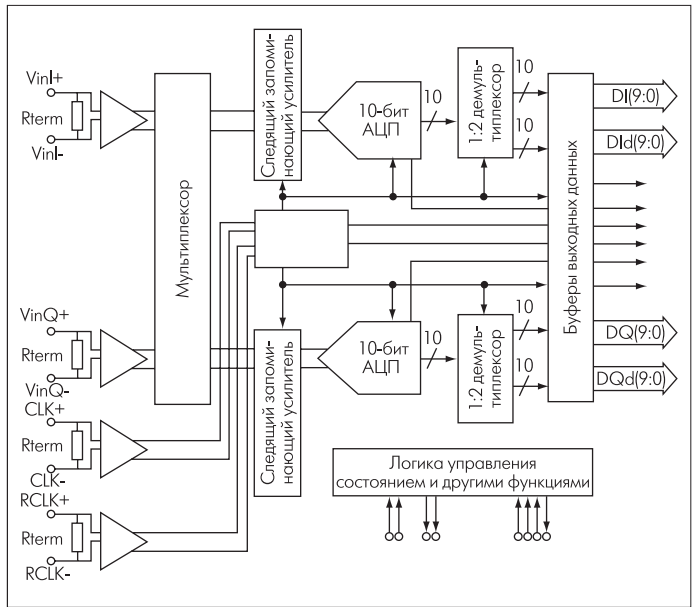


Рис.5. Упрощенная блок-схема АЦП ADC10D1000

ся в системах, которые ранее выполнялись на множестве узкополосных АЦП. Энергия, выделяемая АЦП при дискретизации составляет 2,52 пДж/отсчет. Средняя мощность, потребляемая АЦП при активации одного канала, равна 1,61 Вт, при активации двух каналов – 2,77 Вт, в режиме ожидания – 6 мВт. В преобразователе предусмотрена функция автосинхронизации (AutoSync) для синхронизации микросхем многокристальной системы, функции регулировки усиления и смещения каждого канала (рис.5). Усовершенствованные схемы следящего запоминающего усилителя и самокалибровки обеспечивают плоскую амплитудно-частотную характеристику всех динамических параметров и вне зон Найквиста. При частоте входного сигнала 498 МГц и производительности 1 Gsps частота появления ошибок в коде равна  $10^{-18}$ . Отмечается, что при работе в одноканальном режиме (отсутствие демультиплексирования) гарантируется наличие всех кодов во всем рабочем диапазоне температур, равном -40...85°C.

Монтируется АЦП в 292-контактный корпус типа BGA размером 27×27×2,4 мм и шагом контактов 1,27 мм, причем благодаря улучшенным тепловым характеристикам корпуса теплоотвод не требуется.

Следует отметить, что для управления новым АЦП совместно с ним выпущена SiGe-микросхема широкополосного дифференциального усилителя типа LMN6554. Предельная частота усилителя составляет 2,5 ГГц, неравномерность усиления на частотах до 800 МГц – 0,1 дБ, свободный от искажений динамический диапазон – 72 дБн на частоте 250 МГц, входной шум – 0,9 нВ/√Гц.

Предназначен новый АЦП для широкополосных систем связи, устройств сбора данных, цифровых осциллографов. Благодаря высокому разрешению применение нового преобразователя в РЛС позволит сократить число параллельных каналов станции и тем самым существенно умень-



**Таблица 2. Основные характеристики АЦП семейства Snowflake**

Параметр	ASD0400	ASD0401	ASD0500	ASD0501
Число каналов	2	1	2	1
Разрешение, бит	13	10	13	10
Потребляемая мощность, мВт	24–78	15–46	30–102	19–60
Отношение сигнал-шум на частоте входного сигнала 8 МГц, дБ	61,6	61,6	72,4	72,4
Тип корпуса	64-выводной TQFP	40-выводной QFN	64-выводной TQFP	40-выводной QFN

шить площадь печатных плат и энергопотребление системы. Чрезвычайно малое энергопотребление ADC10D1000 делает его пригодным для использования без радиаторов в системах, работающих в промышленном диапазоне температур, что опять же позволяет сократить занимаемое системами пространство и уменьшить их вес.

В первом квартале 2009 года National Semiconductor намерена выпустить версию ADC10D1000, отвечающую требованиям авиакосмических спецификаций и выдерживающую уровень радиации при единичном воздействии 120 МэВ и общую дозу ионизации 300 Крад (Si). В результате АЦП сможет использоваться в широкополосных космических системах связи.

Интерес представляет и выпущенное вновь образованной компанией Artic Silicon Devices (Норвегия) АЦП семейства Snowflake, которое намного превосходит представленные на рынке АЦП по малой потребляемой мощности. По утверждению специалистов компании, разработанная ими техника проектирования позволила найти физический оптимум для смещения аналоговой схемы любой конфигурации. Этот принцип в сочетании с конвейерной структурой АЦП и позволил добиться сверхнизкой на сегодняшний день потребляемой мощности. Дифференциальный синхронизированный интерфейс оптимизирован относительно тактовых генераторов с малыми флуктуациями и поддерживает КМОП-, LVDS- и LVPECL-входы. Напряжение питания составляет 1,7–3,6 В. Основные параметры АЦП с производительностью 15–80 Msps семейства Snowflake приведены в табл.2.

Предназначены новые маломощные АЦП для средств визуализации медицинского оборудования, портативных испытательных систем, цифровых осциллографов.

Хотя порой трудно выбрать нужный для конкретного применения АЦП, большое разнообразие имеющихся на рынке преобразователей безусловно позволит найти подходящий прибор, а согласование программных и аппаратных средств обеспечит требуемую точность и надежность изделия. ○