

Некоторые аспекты развития рынка преобразователей данных

М. Макушин¹, И. Черепанов²

УДК 621.38 | ВАК 05.27.01

АЦП и ЦАП значительно расширяют возможности многих конечных систем и в первую очередь средств и систем связи. На преобразователи данных, как и на другие сегменты рынка изделий микроэлектроники, все большее давление оказывают такие факторы, как масштабирование, требования уменьшить занимаемую кристаллом ИС площадь, снизить потребляемую мощность, повысить надежность и производительность. Тенденция интеграции АЦП и ЦАП в более крупные приборы и многокристальные модули способствует замедлению темпов роста продаж/отгрузок автономных (дискретных) преобразователей данных. Кроме того, в этом секторе, как и в отрасли в целом, наблюдаются процессы слияний/поглощений, ведущие к консолидации производственной базы и концентрации производства.

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ РЫНКА АЦП / ЦАП

Преобразователи данных используются для аналого-цифрового и цифро-аналогового преобразования сигналов. Их рынок по типам изделий делится на АЦП и ЦАП, а по частоте дискретизации – на быстродействующие приборы и приборы общего назначения. Применение АЦП и ЦАП расширяет возможности передачи и обработки данных, контроля за этими процессами. Приборы широко используются в системах различного назначения, таких как средства связи, автомобильная, медицинская, потребительская и промышленная электроника, контрольно-измерительная аппаратура. При их изготовлении в основном применяются кремниевая, КМОП- или SiGe-технология [1, 2].

Основные тенденции рынка

Относительно перспектив рынка преобразователей данных существуют противоречивые оценки. Одни аналитические фирмы считают, что в 2017–2023 годы наиболее высокие среднегодовые темпы роста в сложных процентах (CAGR) будут демонстрировать АЦП, другие – отдают первенство ЦАП. Одной из причин столь разных оценок является подход к подсчету: учитываются ли только автономные приборы или совместно с приборами, интегрированными в системы-на-кристалле (SoC или SnK), вентиляционные матрицы, программируемые пользователем (FPGA), микроконтроллеры и т.д. При этом объем и темпы роста продаж в стоимостном выражении выше у АЦП. Также даются прогнозы по типам приборов,

их конечному применению и географической структуре продаж [2–4].

Ведущими производителями преобразователей данных являются Analog Devices, Microchip, NXP Semiconductors, Texas Instruments, STMicroelectronics, Maxim Integrated, Intersil, Microsemi и ROHM [2, 3]. К основным потребителям этих приборов относятся Samsung Group, корпорации Apple, Oppo Digital, Nokia, Sony и LG [1].

Прогноз объемов продаж и факторы роста

Ожидается, что рынок преобразователей данных увеличится с 3,52 млрд долл. в 2017 году до 5,08 млрд долл. в 2023 году при CAGR=6,3% (табл. 1) [3]. Факторами, стимулирующими спрос на АЦП и ЦАП, станут экспоненциальный рост потребления данных и все более широкое использование мобильных данных и высокоскоростного Интернета [5]. Соответственно, в зависимости от типа приборов наиболее высокие темпы роста продаж в прогнозируемый период продемонстрируют быстродействующие преобразователи данных (в частности, благодаря массовому внедрению в мировом масштабе примерно с 2020 года средств и сетей 5G) [3].

С учетом конечного применения наиболее динамично развивающимся сектором рынка преобразователей данных станут приборы для средств/систем связи, в первую очередь беспроводные. Кроме того, к факторам роста можно отнести спрос на контрольно-измерительное оборудование, аппаратуру для научных и медицинских исследований с высокой разрешающей способностью, более широкое внедрение современных систем сбора и обработки данных и в других областях науки и техники [1].

С точки зрения используемых стратегий на рост продаж преобразователей данных будут оказывать влияние

¹ ЦНИИ «Электроника», главный специалист, mmackushin@gmail.com.

² ЦНИИ «Электроника», главный специалист.

Таблица 1. Прогноз структуры продаж преобразователей данных в 2017–2023 гг. *Источники: Allied Market Research, MarketsAndMarkets. Рассчитано по [3, 4]*

Тип приборов	Объем продаж, млрд долл.		CAGR за 2017–2023 гг., %
	2017 г.	2023 г.	
Преобразователи данных, всего	3,35	5,08	6,3
АЦП	2,289	3,175	5,6
ЦАП	1,061	1,905	8,7

такие факторы, как ускорение современных разработок и вывод на рынок новой продукции, совместные разработки технологий (на доконкурентном этапе), сделки слияний / поглощений.

К основным сдерживающим факторам роста рынка преобразователей данных относятся интеграция СФ-блоков и РЧ-преобразователей данных в FPGA и SoC. Эта тенденция снижает потребность в дискретных АЦП и ЦАП [1–3].

Географическая структура продаж преобразователей данных

На рынке преобразователей данных лидируют предприятия Азиатско-Тихоокеанского региона (АТР), их доля в 2016 году превышала 70% рынка в целом. АТР является основным производственным центром по выпуску смартфонов, ПК и планшетных ПК, здесь же размещаются крупные производственные мощности полупроводниковых фирм. В течение прогнозируемого периода, как ожидается, АТР будет не только удерживать, но и наращивать свою долю рынка преобразователей данных, что объясняется преимущественно спросом на системы связи (4G/5G) и потребительскую электронику в Индии, КНР и Японии. Кроме того, все более широкая автоматизация промышленного производства и других сфер деятельности человека также будет стимулировать спрос на системы датчиков и различные подсистемы с интегрированными преобразователями данных [1–3].

Ситуация в сегменте АЦП

Доминирующие на мировом рынке преобразователей данных АЦП сохраняют свои позиции в прогнозируемом периоде. Крупнейшие потребители АЦП (например, Apple)

выстроили устойчивые отношения с известными производителями, что ограничивает выход на рынок новых брендов.

Крупнейшими поставщиками АЦП являются корпорации Analog Devices, Microchip Technology, Sony, Maxim Integrated, Adafruit Industries, Texas Instruments, Asahi Kasei Microdevices, Renesas Electronics, National Instruments и Diligent.

АЦП подразделяются на интегрирующие и интегральные приборы, преобразователи последовательного приближения, дельта-сигма и прочие АЦП (например, конвейерные / параллельные преобразователи).

На динамику продаж АЦП влияют такие факторы, как рост дохода, технологические достижения, потребность в высокой производительности и повышении эффективности устройства, сложность конструкции устройств и внедрение оцифровки рабочих процессов правительствами стран с развивающимися экономиками (например, правительство Сингапура выделяет гранты на подобные проекты в размере до 50% их стоимости, если она не превышает 1 млн долл.) (рис. 1). Эти факторы могут как стимулировать, так и препятствовать росту рынка [4].

НЕКОТОРЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДАННЫХ

В секторе преобразователей данных, как и во многих других секторах полупроводниковых приборов, большое значение имеет тенденция расширения использования изделий с низкой потребляемой мощностью [2, 3]. Что касается специфических тенденций, то исследовательская фирма Research and Markets выделяет четыре перспективных направления развития АЦП и ЦАП [5].

Инновации в области 5G-технологий

Индустрия беспроводной связи неуклонно движется от инфраструктуры 4G к 5G, что требует увеличения ширины полосы частот входного сигнала, повышения частоты

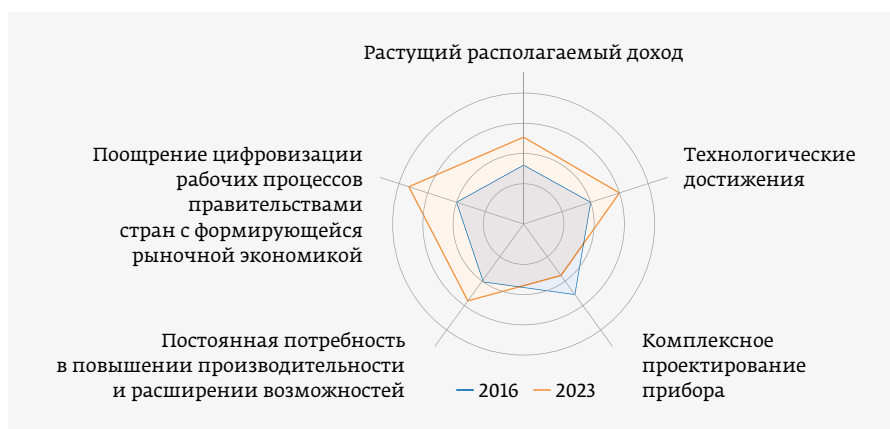


Рис. 1. Основные факторы, воздействующие на мировой рынок АЦП

дискретизации и большей спектральной эффективности. Эти факторы – движущая сила инноваций в области преобразователей данных. Беспроводные сети 4G и 5G охватывают большое число диапазонов сигналов, и преобразователи данных становятся критической частью общей цепи радиосигнала.

Новый тип преобразователей данных предусматривает прямой синтез РЧ-сигнала, что упрощает проектирование радиосистем и снижает их общую стоимость. Например, непосредственной обработкой РЧ-сигнала отличается АЦП AD9208 (рис. 2) корпорации Analog Devices (ADI), что дает возможность отказаться от каскадов смесителя. Новый АЦП ADI, реализованный по 28-нм процессу, предназначен для решений в области многополосных беспроводных транзитных передач* в сетях 4G и 5G. Схема AD9208 облегчает непосредственную РЧ-дискретизацию широкополосных сигналов с частотой более 6 ГГц, что позволяет разработчикам упростить входную фильтрацию.

* **back-haul** – транзитная передача, передача трафика вначале до опорной станции (по пути, длина которого превышает расстояние до адресата), с последующим возвратом к адресату (по обратному, или возвратному, отрезку пути). Рассчитана на случаи, когда стоимость передачи данных через более удаленный узел значительно ниже, чем по прямому маршруту.

Корпорация ADI также обеспечила доступность ЦАП для 4G и 5G многополосных беспроводных базовых станций. Применение таких приборов, предусматривающих непосредственный синтез РЧ-сигнала с частотой до 6 ГГц, позволяет отказаться от этапа повышающего преобразования промежуточной частоты в радиочастоту и генерации локальных колебаний. АЦП AD9208 также подходит для использования в военной электронике обороны и контрольно-измерительной аппаратуре гигагерцевого диапазона.

FPGA С ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ ДАННЫХ

Еще одна область, где предполагается использование преобразователей данных, – вентиляльные матрицы, программируемые пользователем. В базовых станциях 5G широко применяются решения со многими входами и выходами (MIMO), использование в таких случаях FPGA со встроенными АЦП и ЦАП позволяют уменьшить занимаемую конструкцией площадь и число материалов и компонентов.

Подобные FPGA позволяют отказаться от большого количества внекристалльных преобразователей данных, а также аналоговых входных каскадов, по типу смесителей, широко используемых в конструкциях базовых станций для понижающего преобразования РЧ-сигнала в цифровую форму. Интегрированные АЦП и ЦАП

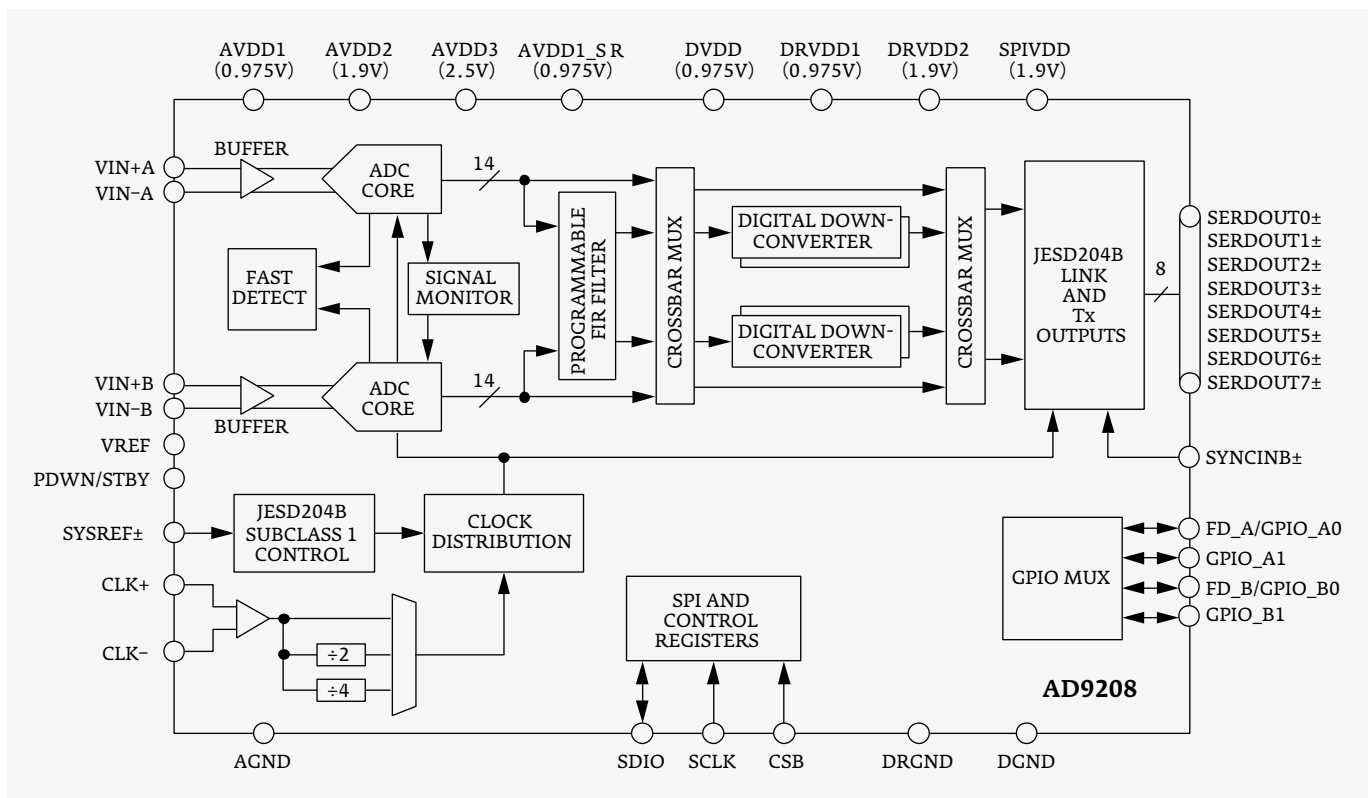


Рис. 2. Блок-схема АЦП AD9208 корпорации Analog Devices

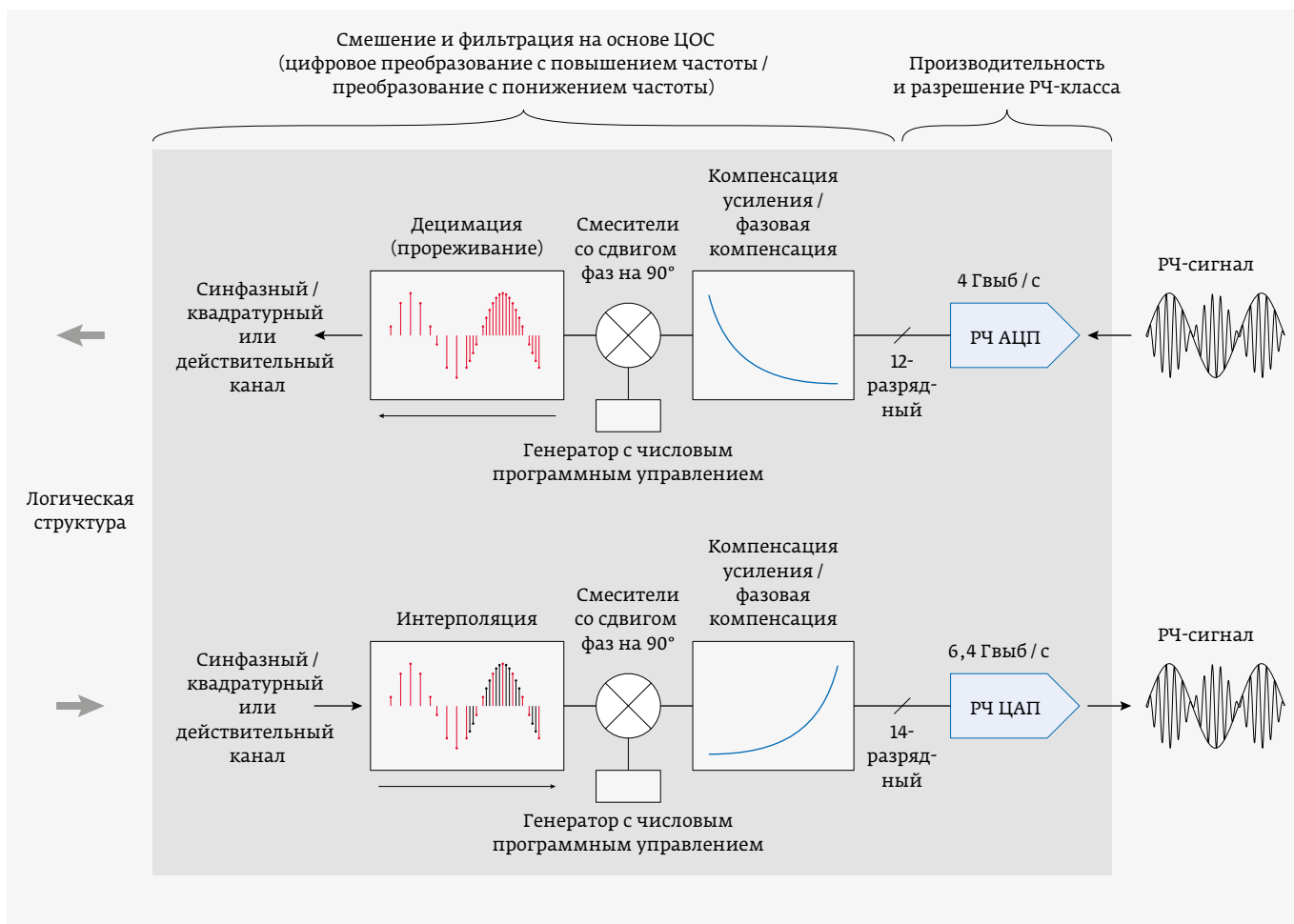


Рис. 3. Радиочастотная подсистема системы-на-кристалле Zynq (корпорации Xilinx) со встроенными АЦП и ЦАП

также позволяют снизить потребляемую мощность и отказаться от внекристальных JESD204 соединений последовательными каналами FPGA и дискретных преобразователей данных.

Для современных MIMO радиосистем с организацией 4×4 и 8×8 характерна тенденция снижения потребляемой энергии и площади платы, поэтому поставщики FPGA, например Xilinx, развивают идею развертывания преобразователей данных в качестве блоков. Кроме того, Xilinx ведет работы по реализации преобразователей данных на основе FinFET-процесса, что дополнительно увеличит преимущество встроенных преобразователей по сравнению с дискретными в плане энергоэффективности.

Xilinx намерена создать новую FPGA со встроенными 12-разрядным АЦП и 14-разрядным ЦАП с частотой дискретизации до 4 и 6,4 Гвыб/с соответственно (рис. 3). ИС также будет содержать ЦОС-блоки смешивания и фильтрации цифровых сигналов. Разработчики Xilinx уверены, что смогут эффективно управлять разделением аналоговой и цифровой частей FPGA.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДАННЫХ В МИКРОКОНТРОЛЛЕРАХ

Если в цепочке приращения стоимости конструкций базовых станций 5G FPGA становятся ключевым фактором снижения издержек и цены благодаря интеграции преобразователей данных, то микроконтроллеры обеспечивают то же самое в плане снижения размеров и повышения энергоэффективности IoT-решений.

В настоящее время многие разработчики в целях обеспечения более точных показаний аналоговых датчиков и, в конечном счете, предоставления более качественных данных конечному пользователю встраивают в 8-разрядные микроконтроллеры аналого-цифровые преобразователи с вычислениями (analog-to-digital converters with computation, ADC²). Интегрированные АЦП также облегчают ускорение преобразования аналоговых сигналов, что, в свою очередь, обеспечивает более детерминированные отклики системы.

Новое семейство микроконтроллеров PIC16F18446 (рис. 4) корпорации Microchip, специально разработанное для узлов датчиков, использует для автономной

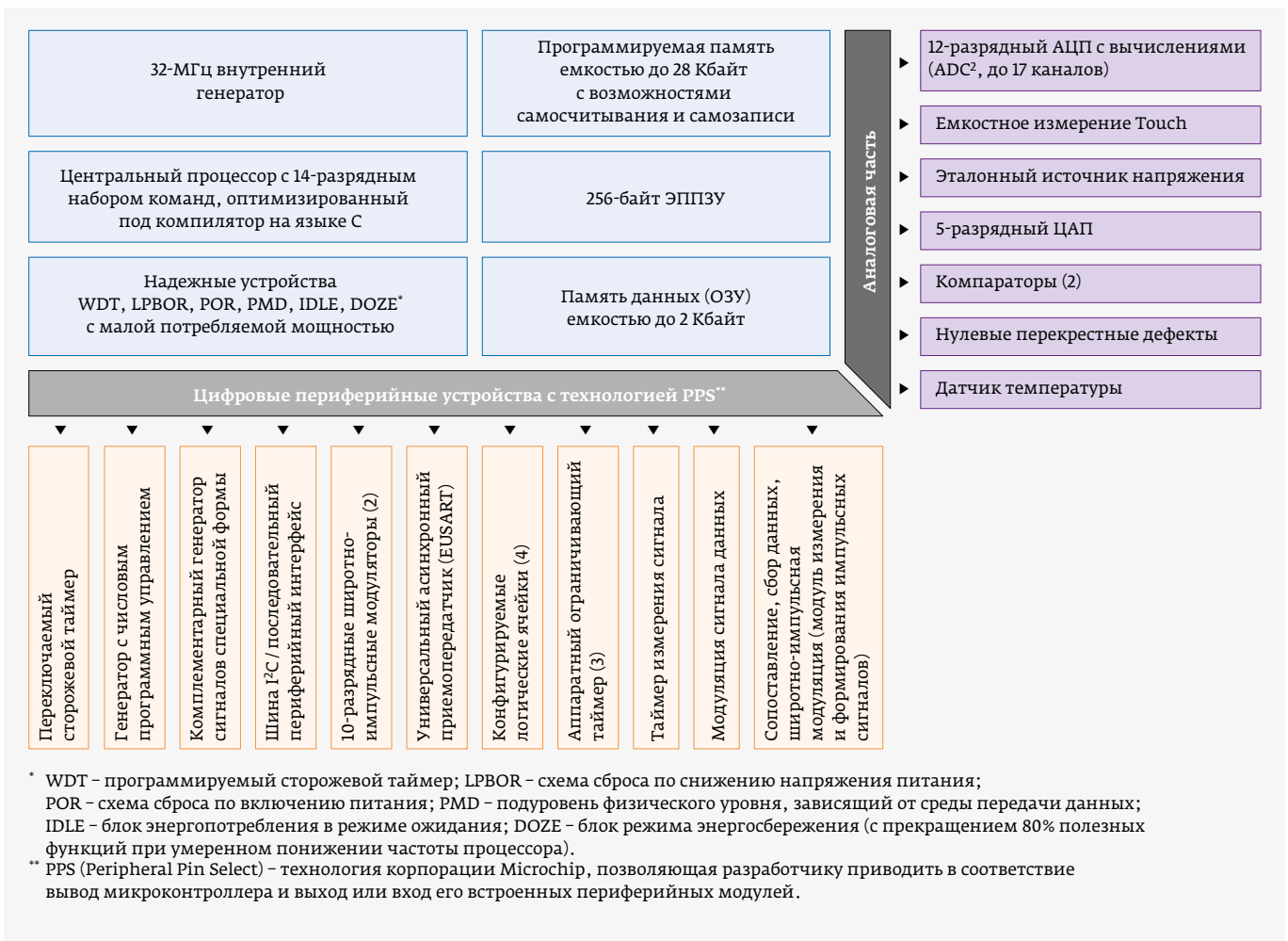


Рис. 4. Модифицированный микроконтроллер PIC16F18446 корпорации Microchip с расширенной аналоговой функциональностью

фильтрации 12-разрядную ADC²-схему. Но важнее то, что в ADC² ядро микроконтроллера активизируется только при необходимости, что позволяет снизить энергопотребление и обеспечивает возможность работы узлов датчиков от маленьких батареек.

Микроконтроллеры обладают такими встроенными функциями, как независимые от ядра периферийные устройства (core independent peripheral, CIP) на уровне аппаратного, а не программного обеспечения. Это уменьшает объем кодов и нагрузку ПО. Интеллектуальные аналоговые периферийные устройства, такие как CIP, могут исполнять команды и задачи управления в микроконтроллере. Это снижает риск задержки ответа и облегчает работу конечных пользователей.

Интеграция АЦП, а впоследствии и таких технологий, как CIP, показывает, как интеллектуальные аналоговые функции позволяют 8-разрядным микроконтроллерам создавать более эффективные IoT-проекты Интернета вещей.

Аудиоконтент студийного качества

Преобразователи данных играют важную роль в обеспечении высококачественного воспроизведения аудиоконтента с высоким разрешением. Они помогают отфильтровывать лишний шум и обеспечивают невосприимчивость к высокому дрожанию частоты. Наряду с этим они обеспечивают низкое энергопотребление, что увеличивает срок службы батареи воспроизводящих приборов, таких как наушники.

В качестве примера можно привести ЦАП CS43130 корпорации Cirrus Logic (рис. 5). Потребляемая им мощность составляет 23 мВт, что в четыре раза меньше, чем у других высококачественных ЦАП, доступных на рынке. Качество звука обеспечивается 32-битным разрешением и 384-кГц частотной дискретизацией.

Разработчики аудиосистем используют подобные преобразователи данных в аналоговых/цифровых матрицах фильтров для обеспечения наивысшего качества



Рис. 5. ЦАП CS43130 корпорации Cirrus Logic с режимом эмуляции без передискретизации для обеспечения естественного звука в потребительских приборах

(близкого к первоначальной студийной записи) воспроизведения цифровых аудиисточников [5].

ВЕДУЩИЕ ИЗГОТОВИТЕЛИ И ПОСЛЕДНИЕ РАЗРАБОТКИ

Рынок преобразователей отличается достаточно высоким уровнем монополизма – ведущие компании производят как АЦП, так и ЦАП (табл. 2). Ряд производителей могут предлагать встраиваемые решения только для внутрифирменного потребления – при изготовлении собственных микроконтроллеров, FPGA и SoC (например, Microsemi при поставке на рынок АЦП все свои ЦАП использовала внутрикорпоративно). Производимые различными поставщиками АЦП / ЦАП различаются по типу

(специализированные / общего назначения, быстродействующие, высокопрецизионные и т. д.) применяемой при их производстве технологии и другим факторам (табл. 3). Диапазон топологий весьма широк – от 0,25 мкм до 28 нм (такие приборы впервые представила корпорация Analog Devices) [6].

Кроме того, рынок преобразователей подвержен процессам консолидации в результате сделок слияний / поглощений. Так, в 2015 году NXP Semiconductors поглотила Freescale Semiconductors (АЦП / ЦАП) [7], в 2017-м Analog Devices приобрела Linear Technology (АЦП) [6], в мае 2018-го Microchip Technology купила Microsemi (АЦП / ЦАП) [8], а осенью того же года Renesas Technology поглотила Integrated Device Technology (ЦАП), закрыть сделку планируется к июню 2019 года [9].

Таким образом, спрос на преобразователи данных, как АЦП, так и ЦАП, в настоящее время обусловлен в основном развитием рынков IoT, 5G и смартфонов, хотя все шире они используются и в системах военного назначения, телекоммуникаций, ЦОД.

Пригодность преобразователей данных для конкретных конструкций определяется такими параметрами, как точность, линейность, эффективность использования мощности, воспроизводимость и частота дискретизации.

Существенное влияние на перспективы развития рынка оказывают процессы слияний / поглощений, тенденция встраивания АЦП / ЦАП в FPGA, SoC, микроконтроллеры и ряд других факторов.

Таблица 2. Ведущие изготовители преобразователей производят АЦП и ЦАП. Источники: [1–5]

Преобразователи в целом	АЦП	ЦАП
Analog Devices, Microchip Technology, NXP Semiconductors, Texas Instruments, STMicroelectronics, Maxim Integrated, Intersil и ROHM	Analog Devices, Microchip Technology, Sony, Maxim Integrated, Adafruit Industries, Texas Instruments, Asahi Kasei Microdevices, Renesas Electronics	Analog Devices, Cirrus Logic, Microchip Technology, NXP Semiconductors, Texas Instruments, STMicroelectronics, Maxim Integrated, и ROHM

Примечание. Жирным шрифтом выделены совпадающие во всех трех колонках фирмы.

Таблица 3. Краткая характеристика основных производителей АЦП / ЦАП. Источники: [6-8, 10-14]

Фирма	Общий объем продаж, млн долл., 2018 финансовый год	Ассортимент	Новинки АЦП/ЦАП
Analog Devices, США	3,062	Усилители, АЦП/ЦАП, аудио- и видеосхемы, таймеры, ИС промышленного Ethernet, быстродействующая логика, ИС управления каналами передачи данных, оптические ИС, схемы управления режимом электропитания, ЦОС-процессоры, РЧ и СВЧ ИС, датчики и MEMS, коммутаторы и мультиплексоры	AD7381 – 14-разрядный АЦП последовательного приближения с двойной одновременной выборкой и полностью дифференцированными аналоговыми входами. Частота дискретизации 4 ГГц. Внутренний источник опорного напряжения 2,50 В. Диапазон рабочих температур от -40 до 125 °С. AD9176 – двухканальный 16-разрядный быстродействующий РЧ ЦАП с широкополосными канальными приемниками. Частота дискретизации 12,6 ГГц. Потребляемая мощность 2,54 Вт
Cirrus Logic, США	1,5	Полупроводниковые прибо-ры, в том числе ИС смешанной обработки сигнала, АЦП, аудиоЦАП	CS5340 – 24-разрядный АЦП с частотой дискретизации до 200 кГц на канал. Назначение – аудиосистемы с широким динамическим диапазоном, малыми искажениями и низким уровнем шума (умные дома). CS43130 – аудиоЦАП с низким энергопотреблением для наушников. Импеданс 600 Ом, межканальная изоляция >110 дБ
Maxim Integrated, США	2,48	Микроэлектронное оборудование и приборы, в том числе ИС для автомобильной, потребительской, промышленной электроники, средств связи и вычислительной техники, АЦП/ЦАП	MAX19515 – двухканальный, 10-разрядный АЦП с частотой дискретизации до 65 МГц. Диапазон синфазного напряжения на входе от 0,4 до 1,4 В. Типичное отношение сигнал/шум – 60,1 дБ. Работа от источника питания 1,8 В, при использовании встроенного регулятора напряжения – от источников 2,5-3,3 В
Microchip Technology, США	3,981	8-, 16- и 32-разрядные микроконтроллеры, ЦОС контроллеры и микропроцессоры, АЦП/ЦАП, аналоговые ИС, ИС управления режимом электропитания	MCP47CMB22 – двухканальный, 12-разрядный ЦАП с МТР-памятью (позволяющей увеличить скорость записи до 32 раз) и I ² S совместимым последовательным интерфейсом. Время регулирования – 6 мкс. Применение – потребительская и промышленная электроника
NXP Semiconductors, ЕС	9,5 (2016 г.)	Различное микроэлектронное оборудование и приборы, преимущественно полупроводниковые компоненты, включая АЦП	UDA1361TS – однокристалльный стереоАЦП с преобразованием битового потока, совместимый с форматом данных шины I ² S и MSB-согласованным форматом данных с длиной слов до 24 бит. Напряжение питания от 2,4 до 3,6 В. Поддержка частоты дискретизации от 5 до 110 кГц. Применение – цифровые аудиосистемы

Фирма	Общий объем продаж, млн долл., 2018 финансовый год	Ассортимент	Новинки АЦП/ЦАП
ROHM Semi-conductor, Япония	3,245 (2017 г.)	Микросхемы и дискретные полупроводниковые приборы (около 80% продаж), включая АЦП и ЦАП, электронное оборудование различного назначения	BH2715FV – 10-разрядный, 8-канальный АЦП последовательного приближения с частотой выборки от 50 до 220 кГц. Последовательный интерфейс, совместимый с SPITM/DSPTM/MICROWIRETM. Применение: датчики/сканеры, средства контроля источников питания, различные типы оборудования автоматизации производства
STMicroelectronics, ЕС	8,35 (2017 г.)	Различные полупроводниковые и электронные компоненты, включая АЦП и ЦАП	RHF1201 – 12-разрядный АЦП с частотой дискретизации 50 МГц, реализованный по 0,25-мкм технологии. Конвейерная структура и цифровая коррекция ошибок. Напряжение питания от 2,7 до 3,6 В, стандартный ток потребления – 1,65 мА, максимальный – 2 мА
Texas Instruments, США	14,96 (2017 г.)	Электроника и ЭКБ военного назначения, полупроводниковые приборы, включая ЦОС-процессоры и АЦП/ЦАП	ADS8509 – 16-разрядный КМОП АЦП последовательного приближения с последовательным интерфейсом. Частота дискретизации 250 кГц. Диапазон рабочих температур от –40 до 85 °С. Назначение – системы управления производственными процессами, сбора данных, медицинское оборудование. DAC81416 – 16-канальный, 16-разрядный ЦАП с последовательным интерфейсом и независимым программированием выходного сигнала каждого канала. Рабочее напряжение от 1,7 до 5,5 В. Применение: оптические сети, средства автоматизации производственных процессов, контрольно-измерительное оборудование

ЛИТЕРАТУРА

1. Data Converter Market Analysis – Forecasts to 2025 // Global Market Estimates. 2017. October 02. <https://www.globalmarketestimates.com/data-converter-market-analysis-forecasts/>
2. Data Converter Market Size, Industry Analysis Report, Regional Outlook, Application Development Potential, Price Trends, Competitive Market Share & Forecast 2017–2024 // Global Market Insights. 2017. <https://www.gminsights.com/industry-analysis/data-converter-market/>
3. Data Converter Market – Global Forecast to 2023. Markets And Markets. 2017. September. <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/data-converter-market-26991458.html/>
4. Analog-to-Digital Converters Market – Global Opportunity Analysis and Industry Forecast, 2017–2023 // Allied Market Research. 2018. Jan. <https://www.alliedmarketresearch.com/analog-to-digital-converters-market/>
5. **Majeed A.** The state of data converters and four key trends to watch // Electronic Products. 04/11/2018. https://www.electronicproducts.com/Digital_ICs/Microprocessors_Microcontrollers_DSPs/The_state_of_data_converters_and_four_key_trends_to_watch.aspx
6. <https://www.analog.com/>
7. <https://www.nxp.com/>
8. <https://www.microchip.com/>
9. Renesas to Acquire Integrated Device Technology, to Enhance Global Leadership in Embedded Solutions // Renesas. com. 2018. September 11. <https://www.renesas.com/eu/en/about/press-center/news/2018/news20180911a.html>
10. <https://www.cirrus.com/>
11. <https://www.maximintegrated.com/>
12. <https://www.rohm.com/>
13. <https://www.st.com/>
14. <http://www.ti.com/>