

РАЗНООБРАЗИЕ АРХИТЕКТУР АЦП КОМПАНИИ MAXIM



В обзорной статье рассмотрены основные типы архитектур АЦП, производимых компанией Maxim Integrated Products, дан анализ преимуществ и рекомендации по применению каждого из этих типов, а также приведена сводная таблица основных АЦП. Данный материал может быть рекомендован разработчикам в качестве краткого справочника по микросхемам АЦП известного производителя.

Классификация типов АЦП основана на том, как во времени происходит процесс преобразования аналогового сигнала в цифровой код. Основа квантования и кодирования аналогового сигнала — последовательное, параллельное или последовательно-параллельное приближение цифрового результата к преобразуемой величине. Быстродействие,

разрядность, стабильность параметров, потребляемая мощность и стоимость АЦП сильно связаны между собой. Это и порождает разнообразие типов аналого-цифровых преобразователей, выпускаемых производителями этой продукции.

Американская компания Maxim Integrated Products производит широкий спектр АЦП с различными архитектурами:

- Flash АЦП (параллельные);
- SAR АЦП (поразрядного уравнивания);
- интегрирующие АЦП (Dual Slope);
- сигма-дельта ($\Sigma\Delta$) АЦП;
- pipeline (конвейерные) АЦП.

В таблице 1 представлены характеристики и свойства АЦП с различными архитектурами фирмы MAXIM.

FLASH АЦП (ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ)

В АЦП этого типа квантование сигнала происходит одновременно с помощью компараторов, включенных па-

Таблица 1. АЦП фирмы MAXIM с различными архитектурами

Тип архитектуры	Разрядность	Количество выборок в секунду (sps*)	Примеры наименований АЦП от MAXIM	Размер кристалла АЦП	Преимущества	Недостатки
Flash (параллельные)	8	250Msps...15Gsps	MAX100 MAX101A MAX104	Увеличение разрядности ведет к экспоненциальному росту размера кристалла	Самые быстрые. Широкая полоса пропускания. Чрезвычайно простая архитектура	Высокая потребляемая мощность. Большой размер кристалла. Высокая цена
SAR (поразрядного уравнивания)	10...16	75...250ksps	MAX195 MAX144 MAX145 MAX115 MAX157 MAX159 MAX186 MAX188	Линейная зависимость размера кристалла от разрешения	Высокие разрешение и точность. Низкая потребляемая мощность. Небольшое количество внешних компонентов	Узкая полоса пропускания, но гораздо шире, чем у интегрирующих АЦП
Интегрирующие (DUAL SLOPE)	>18	<50ksps	MAX132 MAX135	Размер кристалла незначительно меняется с ростом разрешения АЦП	Высокое разрешение. Низкая потребляемая мощность. Высокое подавление шума. Простота построения	Низкое быстродействие
Сигма-дельта ($\Sigma\Delta$)	14...24	50...4800ksps	MAX1400 MAX1401 MAX1402 MAX1403	Размер кристалла незначительно меняется с ростом разрешения АЦП	Высокое разрешение. Широкая полоса пропускания. Не требуется прецизионных внешних компонентов	Ограничение по частоте выборки
Pipeline (конвейерные)	12...16	1...80Msps	MAX1200 MAX1201 MAX1205	Линейная зависимость размера кристалла от разрешения	Высокая производительность. Ниже потребляемая мощность, чем у Flash АЦП	50-процентный рабочий цикл

*sps (samples per second) — количество отсчетов (выборок) в секунду

раллельно источнику входного сигнала. Структурная схема параллельного АЦП показана на рис. 1.

Пороговые уровни компараторов устанавливаются с помощью резистивных делителей в соответствии с необходимой шкалой квантования. Цифровой код на выходах компараторов не будет соответствовать обычному двоичному коду с весовыми коэффициентами $1-2-4-8-...-2^N$. Для перекодировки в цифровой код с весовыми коэффициентами $1-2-4-8-...-2^N$ к выходам компараторов подключается приоритетный шифратор. Результаты аналого-цифрового преобразования, как правило, записываются в запоминающее устройство. Для исключения ошибок преобразования некоторые микросхемы параллельных АЦП имеют на входе сверхскоростное устройство выборки-хранения (УВХ). Например, МАХ100 содержит УВХ со временем выборки около 0,1 нс. В некоторых АЦП, например, МАХ1151 для снижения вероятности ошибки даже при параллельном преобразовании используется двухтактный цикл преобразования. По первому такту фиксируются состояния выходов компараторов, по второму – цифровой код записывается в выходной регистр.

Благодаря одновременной работе компараторов параллельные АЦП являются самыми быстрыми. Например, восьмиразрядный преобразователь МАХ108 позволяет получить 1,5 миллиарда отсчетов в секунду (1,5 Gsps) при времени задержки прохождения сигнала около 1 нс. Недостаток схемы – высокая сложность. 8-разрядный параллельный АЦП содержит $2^{8-1}=2^7$ компараторов и 2^8 согласованных резисторов. Увеличение разрешающей способности параллельных АЦП влечет за собой экспоненциаль-

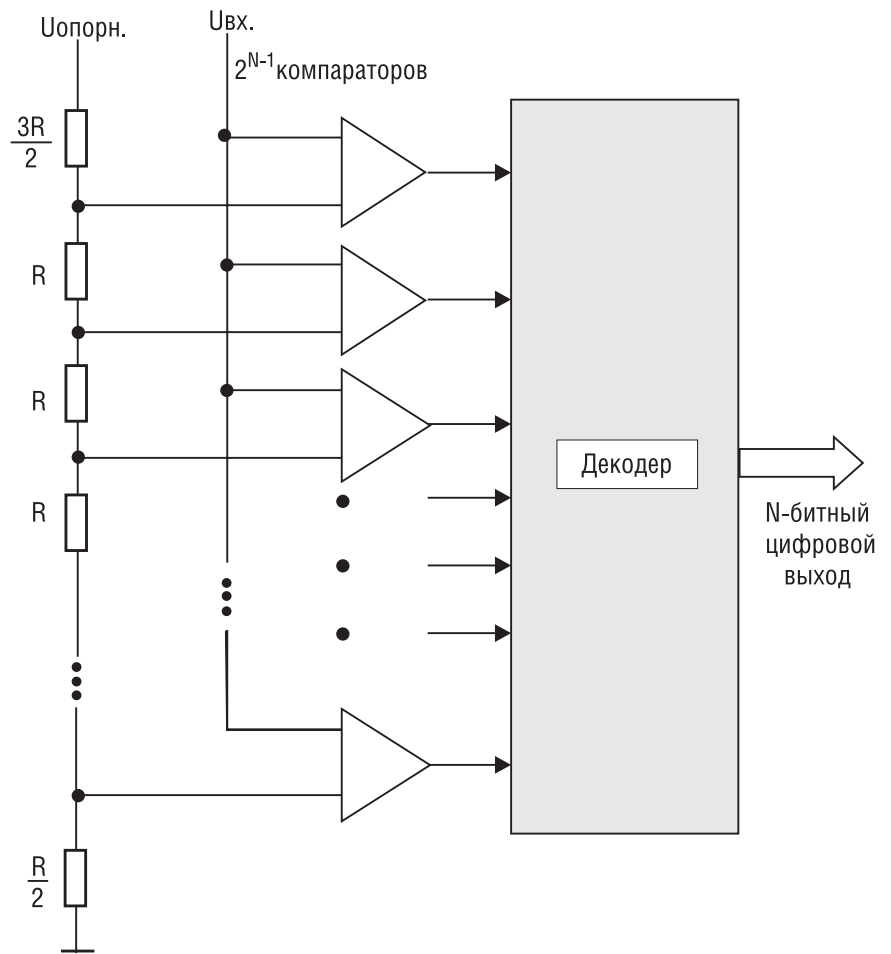


Рис. 1. Структура параллельного (Flash) АЦП

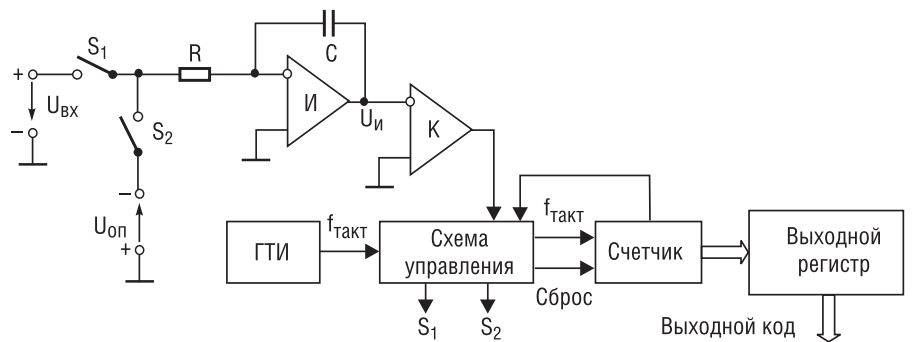


Рис. 2. Структурная схема АЦП с двухтактным интегрированием

ный рост размера кристалла. Из-за этого получается высокая стоимость и значительная потребляемая мощность (единицы Ватт). Необходимо отметить, что МАХ108, МАХ106 и МАХ104 совместимы по выводам и отличаются только быстрым действием.

ИНТЕГРИРУЮЩИЕ АЦП (DUAL SLOPE)

Своим названием преобразователи этого класса обязаны наличию у них интегратора. Ведущие мировые производители обычно выпускают подобные АЦП только с двойным циклом интегрирования. Отсю-

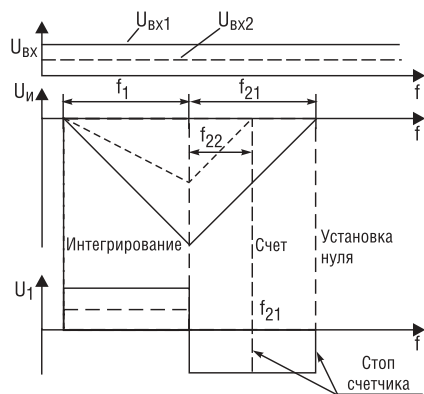


Рис. 3. Временные диаграммы АЦП с двух-тактным интегрированием

да и название в заголовке Dual Slope (двойное интегрирование). Функционирование АЦП с двойным интегрированием поясняют рис. 2 и 3.

Принцип работы этих преобразователей – измерение времени интегрирования, которое линейно зависит от величины входного аналогового сигнала (см. рис. 3). Из этого следует, что время преобразования интегрирующих АЦП является переменным и определяется входным напряжением. Максимальное значение времени преобразования соответствует максимальному входному напряжению. К сожалению, максимальная частота выборки интегрирующих преобразователей не превышает 50 кГц.

Отличительной особенностью метода двойного интегрирования является то, что ни тактовая частота, ни постоянная интегрирования RC практически не влияют на результат. Необходимо только, чтобы тактовая частота в течение времени t_1+t_2 оставалась постоянной. Это можно обеспечить при использовании простого тактового генератора, поскольку существенные временные или температурные дрейфы частоты происходят за время несопоставимо большее, чем время преобразования.

Преобразователи этого типа имеют сравнительно низкое

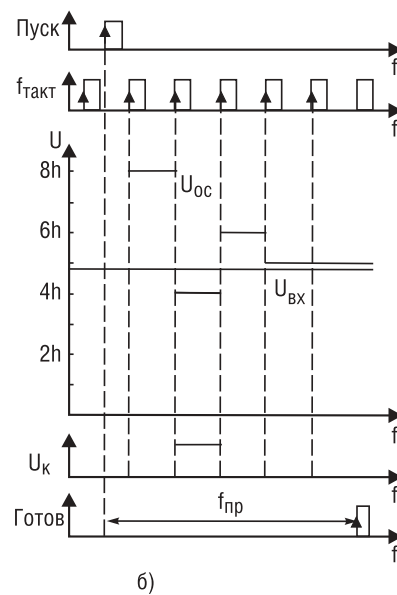
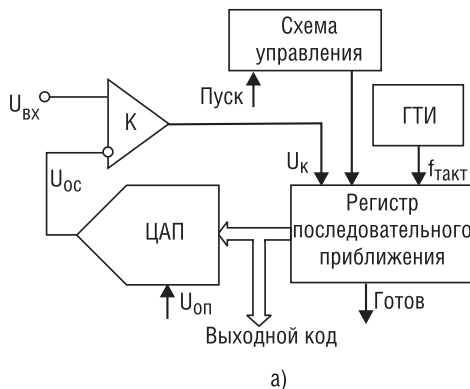


Рис. 4. Структурная схема и временные диаграммы АЦП поразрядного уравнивания

быстродействие, но благодаря своей простоте и низкой цене они находят широкое применение в цифровых вольтметрах, предназначенных для работы с постоянными и медленно меняющимися напряжениями. Еще один недостаток этих АЦП – высокие требования к качеству интегрирующего конденсатора. В настоящее время выпускаются приборы, работающие как от однополярного, так и от двуполярного напряжения питания. Автономные измерительные приборы с такими АЦП могут работать от одного элемента питания в течение нескольких лет. В производственной линейке МАХИМ есть интегрированные схемы преобразования с дешифраторами и преобразователями для семисегментных индикаторов, в основе которых обычно используются интегрирующие АЦП.

SAR АЦП (ПОРАЗРЯДНОГО УРАВНОВЕШИВАНИЯ)

В литературе SAR (Successive-Approximation Register) АЦП часто называют АЦП последовательного приближения (просьба не путать с последовательными АЦП или с АЦП последовательного счета).

В основе работы этого класса преобразователей лежит принцип последовательного сравнения измеряемой величины с $1/2, 1/4, 1/8$ и т.д. от ее возможного максимального значения. Это позволяет для N-разрядного АЦП поразрядного уравнивания выполнить весь процесс преобразования за N последовательных шагов (итераций) вместо 2^N-1 при использовании последовательного счета и получить существенный выигрыш в быстродействии. Так, уже при $N=10$ этот выигрыш достигает 100 раз и позволяет получить с помощью таких АЦП до $10^5...10^6$ и более преобразований в секунду. Точность и быстродействие таких АЦП определяются в основном метрологическими характеристиками внутреннего ЦАП и технологией производства. Разрешение SAR АЦП фирмы МАХИМ составляет 10...16 разрядов при быстродействии 75...250 ksp/s (тысяч выборок в секунду). Данный класс АЦП занимает промежуточное положение по быстродействию, стоимости и разрешающей способности между последовательно-параллельными и интегрирующими АЦП и

находит широкое применение в системах управления, контроля и цифровой обработки сигналов. С преимуществами, недостатками и примерами наименований некоторых АЦП этого класса можно еще раз ознакомиться в таблице 1.

СИГМА-ДЕЛЬТА ($\Sigma\Delta$) АЦП

Рис. 5. Структурная схема основных каскадов сигма-дельта АЦП

Своим названием эти преобразователи обязаны наличием в них двух блоков: дифференциального усилителя (Δ) и интегратора (Σ). Один из принципов, заложенных в таких преобразователях, позволяет уменьшить погрешность, вносимую шумами. При этом возрастает разрешающая способность за счет усреднения результатов измерения на большом интервале времени. Основные узлы АЦП — это сигма-дельта модулятор и цифровой фильтр, показанные на рис. 5. Работа схемы основана на вычитании из входного сигнала $U_{вх}(t)$ величины сигнала на выходе ЦАП, полученной на предыдущем такте работы схемы. Полученная разность интегрируется, а затем преобразуется в код параллельным АЦП. Последовательность кодов поступает на цифровой фильтр нижних частот. Порядок модулятора определяется численностью интеграторов и сумматоров в его схеме. Сигма-дельта модуляторы N -го порядка содержат N сумматоров и N интеграторов и обеспечивают большее соотношение сигнал/шум при той же частоте отсчетов, чем модуляторы первого порядка. Наиболее широко в составе ИМС используются однобитные сигма-дельта модуляторы, в которых в качестве АЦП используется компаратор, а в качестве ЦАП — аналоговый коммутатор. Сигма-дельта АЦП высокого разрешения имеют развитую цифровую часть, включающую

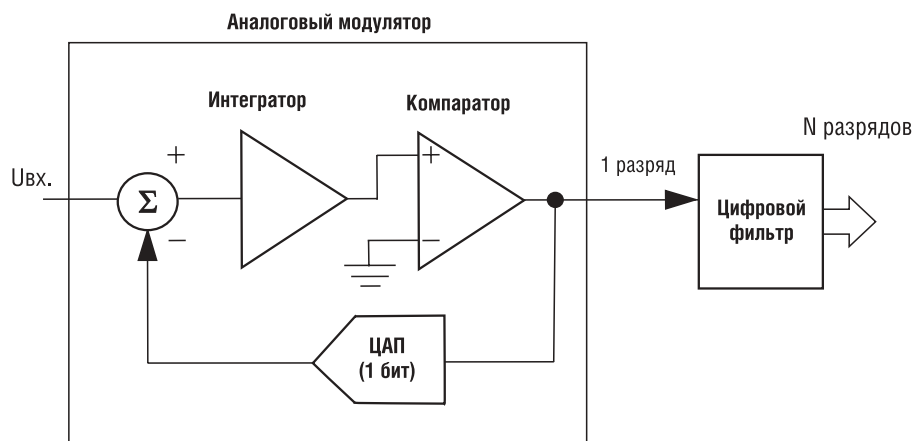


Рис. 5. Структурная схема основных каскадов сигма-дельта АЦП

микроконтроллер. Это позволяет реализовать режимы автоматической установки нуля и самокалибровки полной шкалы, хранить калибровочные коэффициенты и передавать их по запросу внешнего контроллера. Сложные методы цифровой обработки и фильтрации обеспечивают очень высокую разрешающую способность (до 24 разрядов) и большой динамический диапазон за счет подавления интерференции и усреднения шума. В последние годы появились сигма-дельта АЦП с очень высоким быстродействием при разрешении 16 разрядов и более. Избыточная дискретизация в этих преобразователях обеспечивает повышенное отношение сигнал/шум. Эта архитектура все больше привлекает разработчиков своим соотношением цена/качество.

PIPELINE (КОНВЕЙЕРНЫЕ) АЦП

Конвейерный принцип многоступенчатой обработки входного сигнала позволяет найти оптимальный компромисс между разрядностью, быстродействием и сложностью топологии АЦП. Прежде чем перейти к конвейерному принципу работы АЦП, рассмотрим принцип действия обычного многоступенчатого АЦП.

В многоступенчатом АЦП процесс преобразования вход-

ного сигнала разделен в пространстве. В качестве примера на рис. 6 представлена схема двухступенчатого 8-разрядного АЦП.

Верхний по схеме АЦП на рис. 6 осуществляет грубое преобразование сигнала в четыре старших разряда выходного кода. Цифровые сигналы с выхода АЦП поступают на выходной регистр и одновременно на вход 4-разрядного быстродействующего ЦАП. Остаток от вычитания выходного напряжения ЦАП из входного напряжения схемы поступает на вход АЦП2, опорное напряжение которого в 16 раз меньше, чем у АЦП1. Как следствие, квант АЦП2 в 16 раз меньше кванта АЦП1. Этот остаток, преобразованный АЦП2 в цифровую форму, представляет собой четыре

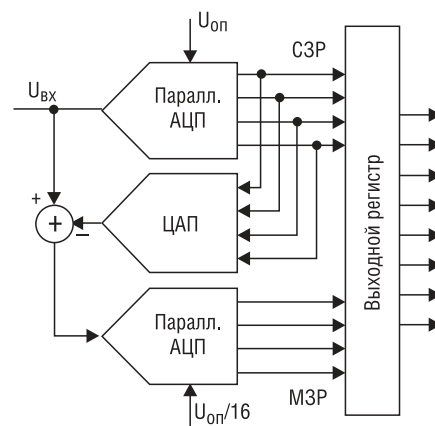


Рис. 6. Структурная схема многоступенчатого АЦП

младших разряда выходного кода. Различие между АЦП1 и АЦП2 заключается прежде всего в требовании к точности: у АЦП1 точность должна быть такой же, как у 8-разрядного преобразователя, в то время как АЦП2 может иметь точность 4-разрядного.

Грубо приближенная и точная величины должны, естественно, соответствовать одному и тому же входному напряжению $U_{вх}(t)$. Однако из-за наличия задержки сигнала в первой ступени возникает временное запаздывание. Поэтому при использовании этого способа входное напряжение необходимо поддерживать постоянным с помощью устройства выборки-хранения до тех пор, пока не будет получено все число.

Быстродействие многоступенчатого АЦП можно повысить, применив конвейерный принцип многоступенчатой обработки входного сигнала. В обыкновенном многоступенчатом АЦП (рис. 6) вначале происходит формирование старших разрядов выходного слова преобразователем АЦП1, а затем идет период установления выходного сигнала ЦАП. На этом интервале АЦП2 простаивает. На втором этапе во время преобразования остатка преобразователем АЦП2 простаивает АЦП1. Введя эле-

менты задержки аналогового и цифрового сигналов между ступенями преобразователя, получим конвейерный АЦП, схема 8-разрядного варианта которого приведена на рис. 7.

Роль аналогового элемента задержки выполняет устройство выборки-хранения УВХ2, а цифрового – четыре D-триггера. Триггеры задерживают передачу старшего полубайта в выходной регистр на один период тактовой частоты.

Сигналы выборки, формируемые из тактового сигнала, поступают на УВХ1 и УВХ2 в разные моменты времени (рис. 8). УВХ2 переводится в режим хранения позже, чем УВХ1 на время, равное суммарной задержке распространения сигнала по АЦП1 и ЦАП. Задний фронт тактового сигнала управляет записью кодов в D-триггеры и выходной регистр. Полная обработка входного сигнала занимает около двух периодов тактирующих импульсов, но частота появления новых значений выходного кода равна частоте тактового сигнала.

Таким образом, конвейерная архитектура позволяет существенно (в несколько раз) повысить максимальную частоту выборок многоступенчатого АЦП. То, что при этом сохраняется суммарная задержка прохожде-

ния сигнала, соответствующая обычному многоступенчатому АЦП с равным числом ступеней, не имеет существенного значения, так как время последующей цифровой обработки этих сигналов все равно многократно превосходит эту задержку. За счет этого можно без проигрыша в быстродействии увеличить число ступеней АЦП, понизив разрядность каждой ступени. В свою очередь, увеличение числа ступеней преобразования уменьшает сложность АЦП. Действительно, например, для построения 12-разрядного АЦП из четырех 3-разрядных необходимо 28 компараторов, тогда как его реализация из двух 6-разрядных потребует 126 компараторов.

При выборе конвейерного АЦП следует иметь в виду, что многие из них не допускают работу с низкой частотой выборок. Это вызвано тем, что внутренние схемы УВХ имеют довольно высокую скорость разряда конденсаторов хранения, поэтому работа с большим тактовым периодом приводит к значительному изменению преобразуемого сигнала в ходе преобразования. Основная проблема преобразователей с переключением сигналов во времени состоит в необходимости высокой согласованности каналов.

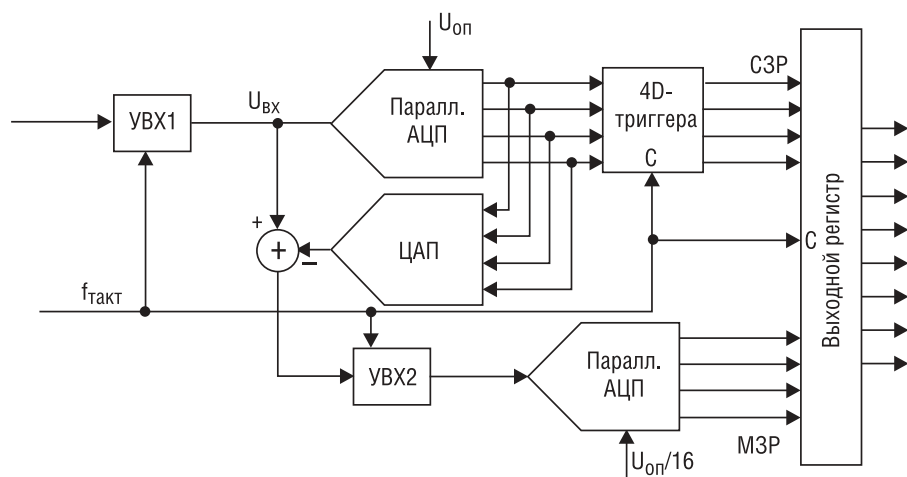


Рис. 7. Структурная схема конвейерного 8-разрядного АЦП

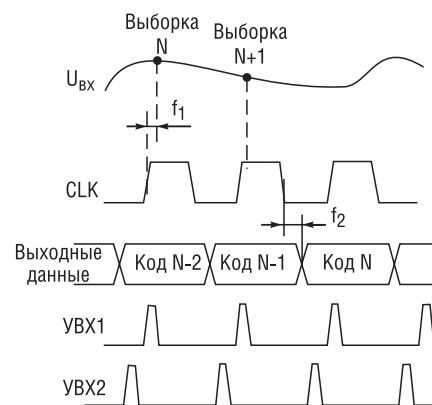


Рис. 8. Временные диаграммы работы конвейерного АЦП

Конвейерные АЦП компании МАХИМ имеют разрядность от 12 до 16 при частоте выборок 1...80 Msps. Потребляемая мощность этого типа АЦП ниже, чем у параллельных. Конвейерные АЦП имеют линейную зависимость размера кристалла при изменении разрядности преобразователя. Для сравнения, у параллельных АЦП размер кристалла растет экспоненциально при увеличении разрядности (см. таблицу 1).

На рисунке 9 наглядно показаны качественные зависимости времени преобразования, количества требуемых компонентов и каскадов, размеров кристалла в зависимости от разрядности разных типов АЦП.

В таблице 2 представлены основные параметры скоростных АЦП компании МАХИМ.

На рис. 10 представлены скоростные АЦП и ЦАП фирмы МАХИМ в координатах разрядность/быстродействие.

ВАЖНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ДЛЯ КОРРЕКТНОГО СРАВНЕНИЯ АЦ-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Для корректного сравнения АЦ-преобразователей, оценки их точности и быстродействия недостаточно знать только разрядность, максимальную частоту выборки, дифференциальную и интегральную нелинейности. Преобразователи с близкими параметрами, перечисленными выше, могут оцифровывать сигнал по-разному при обработке сигналов разных частот и спектрального состава. Для более полного описания производители АЦП приводят много дополнительных параметров, которые нельзя оставить без внимания.

INL (Integral Nonlinearity) – интегральная нелинейность. DNL (Differential Nonlinearity) – дифференциальная нелинейность. Дифференциальная и интегральная нелинейности характеризуют

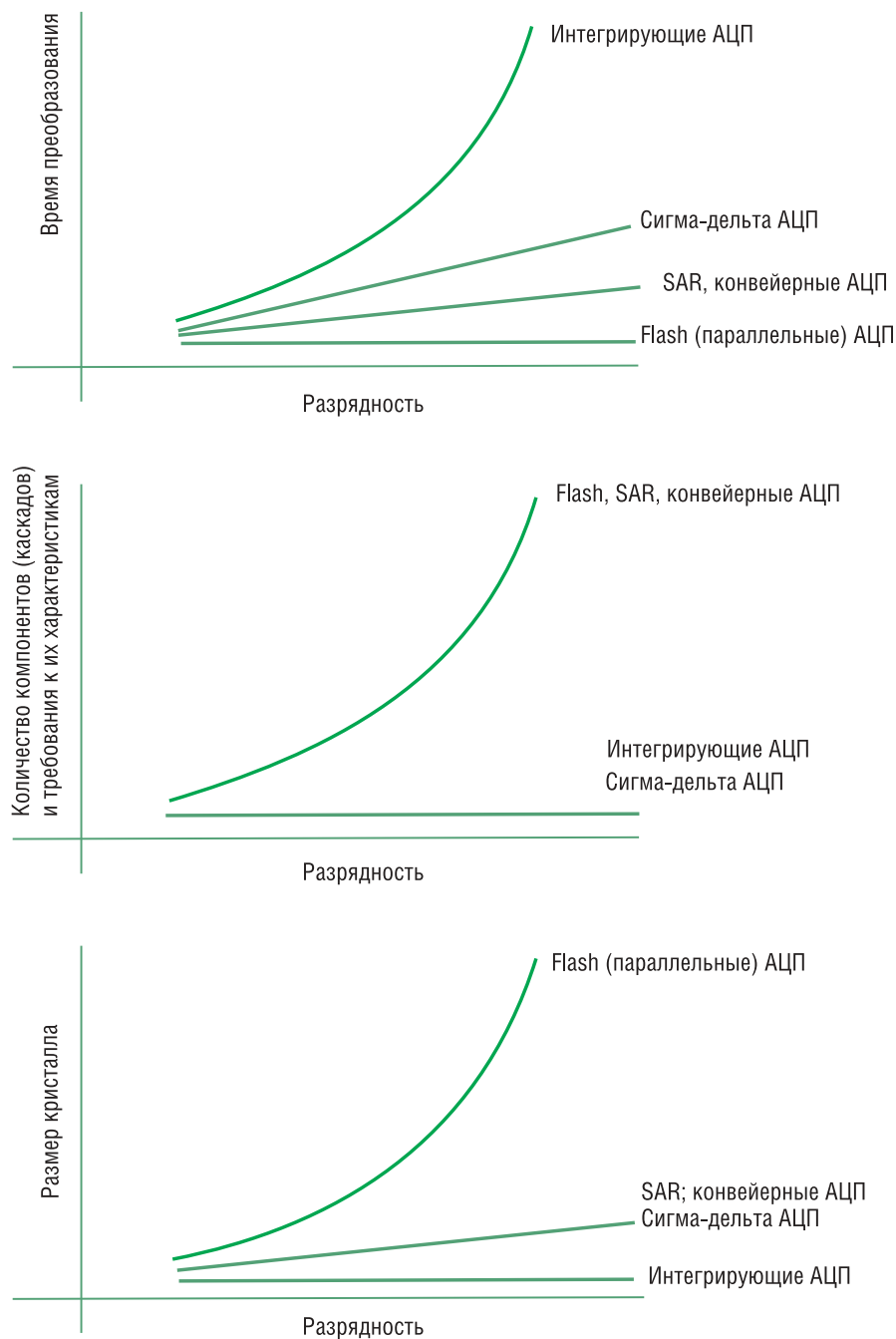


Рис. 9. Качественные зависимости параметров АЦП разных архитектур в зависимости от разрешения (разрядности)

преобразование только по постоянному току, поэтому для оценки характеристик по переменному току необходимы дополнительные параметры:

- THD (total harmonic distortion) – полные нелинейные искажения
- THD+N (noise) – полные нелинейные искажения плюс шум
- SNR (signal/noise ratio) – отношение сигнал/шум (сред-

неквадратичное). Здесь необходимо уточнить, что это отношение сигнал/шум без гармоник, возникающих на выходе любой схемы даже с минимальной нелинейностью передаточной характеристики.

- SINAD или $S/(N+D)$ – отношение сигнал/(шум + нелинейные искажения), но исключая постоянную составляющую (среднеквадратичные значения).

Таблица 2. Скоростные АЦП фирмы MAXIM

Наименование	Разрядность	Количество каналов	Количество выборок в секунду (Msps)	Интерфейс (выход)	Напряжение питания (В)
MAX105	6	2	800	LVDS	5; 3,3
MAX107		2	400	LVDS	5; 3,3
MAX1003		2	90	КМОП	5; 3,3
MAX1011		1	90	КМОП	5; 3,3
MAX1002		2	60	КМОП/ТТЛ	5
MAX108	8	1	1500	PECL	±5
MAX104		1	1000	PECL	±5
MAX106		1	600	PECL	±5
MAX1121	8	1	250	LVDS	1,8
MAX1198/7/5		2	100/60/40	КМОП	2,7...3,6
MAX1196		2	40	КМОП	2,7...3,6
MAX1193/2/1		2	45/22/7.5	КМОП	2,7...3,6
MAX1124	10	1	250	LVDS	1,8
MAX1123		1	210	LVDS	1,8
MAX1122		1	170	LVDS	1,8
MAX1449/8/6/4		1	105/80/60/40	КМОП	3,3/3/3/3
MAX1425/6		1	20/10	КМОП	5; 3,3
MAX1190	10	2	120	КМОП	3,3
MAX1180/1/2/3/4		2	105/80/65/40/20	КМОП	3,3/3/3/3
MAX1186/5		2	40/20	КМОП	3,0
MAX1434		8	50	LVDS	1,8
MAX1215/4/3	12	1	250/210/170	LVDS	1,8
MAX19542/1		1	170/125	КМОП	1,8
MAX19538		1	95	КМОП	3,3
MAX1209/11		1	80/65	КМОП	3,3
MAX1208/7/6		1	80/65/40	КМОП	3,3
MAX12528/7		2	80/65	КМОП	3,3
MAX1127/26		4	65/40	LVDS	1,8
MAX1438/7/6		8	65/50/40	LVDS	1,8
MAX1420/1/2		1	60/40/20	КМОП	3
MAX12555/4/3	14	1	95/80/65	КМОП	3,3
MAX12557		2	65	КМОП	3,3
MAX1201		1	2.2	КМОП	5/3,3
MAX1205		1	1	КМОП	5/3,3
MAX1429/30	15	1	100	КМОП	5
MAX1427/8		1	80	КМОП	5
MAX1418/9		1	65	КМОП	5
MAX1200	16	1	1	КМОП	5/3,3

SINAD — хороший показатель динамических характеристик АЦП, зависящих от частоты. Зависимости часто приводятся производителем в виде графиков для различных амплитуд входного сигнала. Типовые графики для 12-разрядного АЦП с частотой выборки 10 Msps представлены на рис. 11.

Графики SINAD на рис. 11 показывают, где характеристики АЦП по переменному току ухудшаются из-за искажений на высоких частотах, причем обычно эти зависимости строятся для частот, значительно превышающих частоту Найквиста для оценки параметров в приложениях, использующих сверхдискретизацию. SINAD часто пересчитывают в эффективное число разрядов ENOB (effective number of bits) по формуле $ENOB = (SINAD [дБ] - 1,76)/6,02$. Отношение сигнал/шум (SNR или SNR без гармоник) рассчитывается, как и SINAD, но исключая гармоники сигнала (оставлены только шумовые составляющие). На практике достаточно исключить только первые пять доминирующих гармоник. Показатель сигнал/шум будет ухудшаться на высоких частотах, но не так быстро как

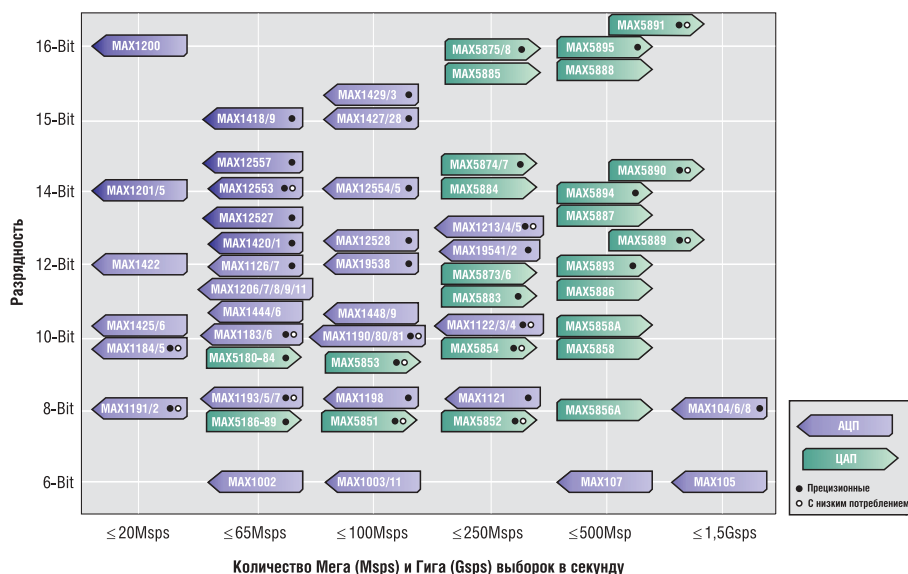


Рис. 10. Скоростные АЦП и ЦАП фирмы MAXIM

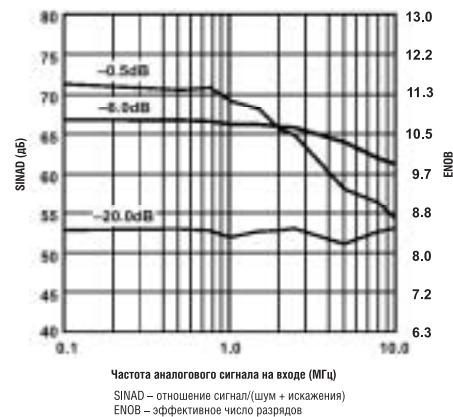


Рис. 11. Отношения сигнал/(шум + искажения) и эффективное число разрядов при различных уровнях входного сигнала 12-разрядного АЦП (10 Msps)

SINAD, так как из него исключены гармоники сигнала.

В документации на АЦП у некоторых производителей довольно свободно принимается, что отношение SINAD равно SNR. Это некорректно, поэтому необходимо очень внимательно относиться к этим характеристикам при выборе преобразователя.

- SFDR (spurious-free dynamic range) — динамический диапазон, свободный от гармоник. Это отношение значения входного синусоидального сигнала к уровню самого большого выброса (везде берутся среднеквадратические значения), наблюдаемого в частотной области. Измеряется в дБ. Наглядное представление об этой характеристике дает рис. 12.

Отношение SFDR нужно учитывать при необходимости максимального использования динамического диапазона АЦП. Дело в том, что большой выброс в частотной области мало влияет на отношение сигнал/шум (SNR), но сильно затрагивает SFDR или, проще говоря, динамический диапазон преобразователя.

MAX19586 – НОВЫЙ СТАНДАРТ СКОРОСТНЫХ АЦП

В сентябре 2005 года компания MAXIM анонсировала новый 16-разрядный АЦП с частотой выборки 80 Мвыб/с,

который по мнению производителя устанавливает новый стандарт прецизионных скоростных АЦП (см. рис. 13).

Новый преобразователь имеет отношение сигнал/шум (SNR) 80 дБ (-82 db FS Noise Floor). SFDR у MAX19586 для входной частоты 10 МГц при уровне сигнала -2 дБ от максимального равен 96 дБ (dBc). Собственные шумы, отношение сигнал/шум, динамический диапазон на несколько децибел лучше, чем у ближайших аналогов. Высокие характеристики достигнуты при вдвое меньшем потреблении энергии и в 4 раза меньшем размере корпуса по сравнению с аналогичными преобразователями этого класса. MAX19586 потребляет всего 1,1 Вт. Микросхема имеет рабочий диапазон температур -40... +85°C. Спектральная характеристика для входной частоты 10 МГц при максимальной амплитуде входного сигнала показана на рис. 14.

Широкий динамический диапазон позволяет исключить усилитель с программируемым коэффициентом усиления (PGA), что особенно важно при входном сигнале с большим динамическим диапазоном. 16-битный АЦП MAX19586 продолжает традиции выпущенного ранее MAX1215 — самого быстрого 12-разрядного АЦП с быстрым действием 250 Mpsps.

Важно отметить, что MAX19586 уже производится, его образцы доступны. Для быстрой проверки характеристик MAX19586 выпускается отладочный набор MAX19586EVKIT.

Maxim Integrated Products выпускает более 100 различных скоростных АЦП и ЦАП для самых разных областей применения. Большинство аналого-цифровых преобразователей MAXIM предназначены для низких напряжений питания. Многие из них спроектированы для достижения минимальной мощности потребления. Кстати, низковольтное питание (1,8...5 В) и экономичность — это одно из основных свойств многих приборов, выпускаемых компанией MAXIM.

Дополнительную информацию об АЦП фирмы MAXIM можно найти на сайте производителя www.maxim-ic.com и на сайте www.gaw.ru в разделе об аналого-цифровых преобразователях.

По вопросам получения технической информации, заказа образцов и поставки обращайтесь в компанию КОМПЭЛ.

E-mail: msk@compel.ru.
Тел. в Москве: (095) 995-0901.
Тел. в СПб: (812) 327-9404.

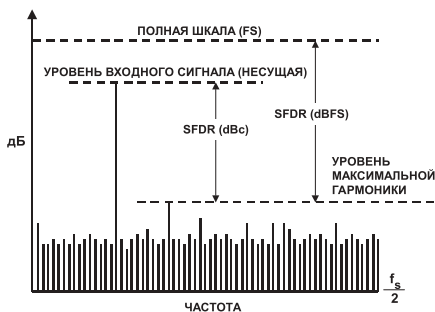


Рис. 12. SFDR – свободный от гармоник динамический диапазон

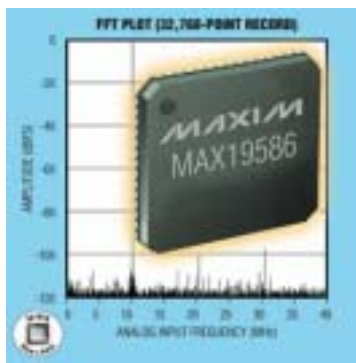


Рис. 13. Внешний вид корпуса MAX19586

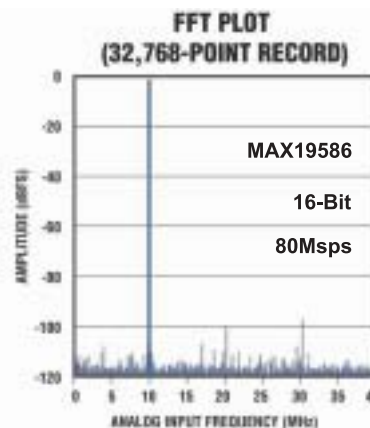


Рис. 14. Спектральная характеристика MAX19586