

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ АЦП производства TEXAS INSTRUMENTS



В статье рассмотрены современные и новейшие АЦП для точных измерительных устройств и систем управления фирмы Texas Instruments. Перечень выпускаемых преобразователей этого мирового лидера начинается от недорогих АЦП общего применения и заканчивается прецизионными системами сбора данных. Подробно рассматриваются ключевые характеристики дельта-сигма ($\Delta\Sigma$) АЦП – наиболее популярного класса преобразователей для обработки аналоговых сигналов с высокой точностью.

В последнее десятилетие аналого-цифровые преобразователи, построенные по принципу дельта-сигма модуляции, завоевали большую популярность у разработчиков. Ряд уникальных свойств позволяет им успешно конкурировать с интегрируемыми и АЦП поразрядного уравнивания на основе регистра последовательных приближений (Successive-Approximation Register или SAR-АЦП). Там, где необходима высокая разрешающая способность системы в диапазоне частот от нуля до нескольких мегагерц, использование $\Delta\Sigma$ -преобразователей становится более чем оправданным. Главное отличительное свойство $\Delta\Sigma$ -АЦП – возможность увеличения скорости преобразования за счет разрешающей способности. Есть еще возможность повышения быстродействия и разрешающей способности за счет роста потребляемой мощности. Взаимосвязь этих трех параметров позволяет использовать дельта-сигма преобразователи в самых разных приложениях. В то же время, так как этот класс АЦП работает по принципу избыточной дискретизации с последующей цифровой фильтрацией, имеется возможность снизить требования к фильтру защиты от наложения спектров. Важно и то, что требования к точности компонентов для построения цифровых фильтров гораздо ниже, чем для аналоговых фильтров, что делает $\Delta\Sigma$ -преобразователи иде-

альным выбором для устройств с низкой стоимостью и высоким разрешением.

В заголовке статьи присутствует слово «инструментальные». Термин «инструментальный» используется для приборов, предназначенных для применения в медицине, промышленных прецизионных измерительных системах. Важнейшими свойствами инструментальных ИС являются линейность и монотонность передаточной характеристики, точность и стабильность параметров, высокое отношение сигнал/шум. Время преобразования (быстродействие) не имеет принципиального значения, но для максимальной частоты дискретизации должна быть гарантия отсутствия пропуска кодов. Разрядность (разрешающая способность) инструментальных

АЦП полностью определяется конкретной сферой применения, но, «в среднем», составляет от 16 до 24 двоичных разрядов. Приборы с разрядностью 12...14 бит уже давно встраиваются в качестве аналоговых интерфейсов в некоторые микроконтроллеры и цифровые процессоры.

Современные ИС инструментальных АЦП реализуются с использованием трех основных архитектур:

- поразрядного уравнивания (ПУ) на основе регистра последовательных приближений (SAR),
- дельта-сигма (DS) модулятора и управляемого интегратора (dual-slope/multi-slope),
- в редких случаях применяется более дорогое решение на базе параллельно-последовательной (subranging, two-flash, pipeline) архитектуры, поскольку основная «ниша» таких АЦП находится выше по частоте выборки.

Развитие интегральной технологии и цифровой фильтрации привело к тому, что из номенклатуры многих фирм-производителей ИС исчезли

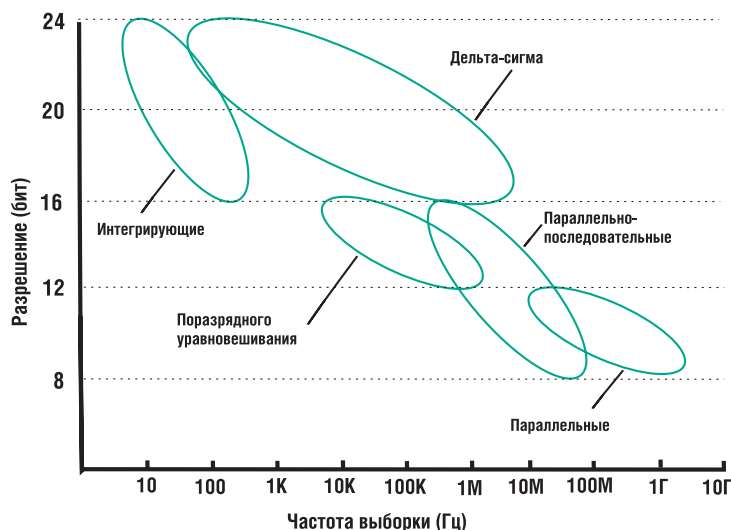


Рис. 1. Архитектуры АЦП в зависимости от разрешения и частоты выборки

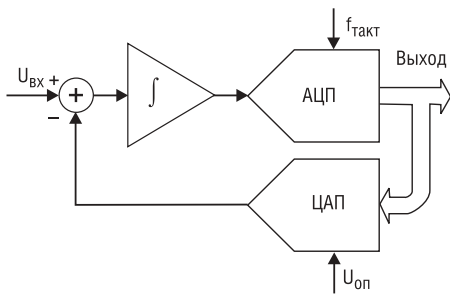


Рис. 2. Структурная схема дельта-сигма модулятора

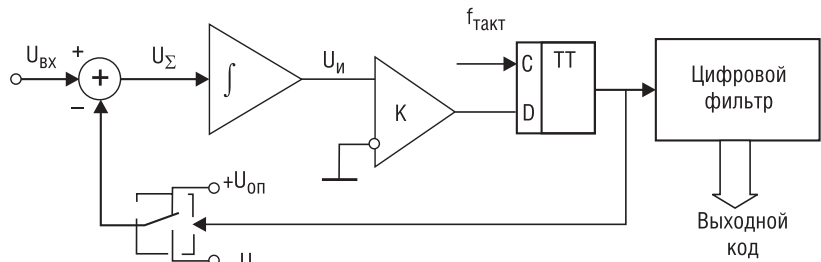


Рис. 3. Структурная схема дельта-сигма АЦП

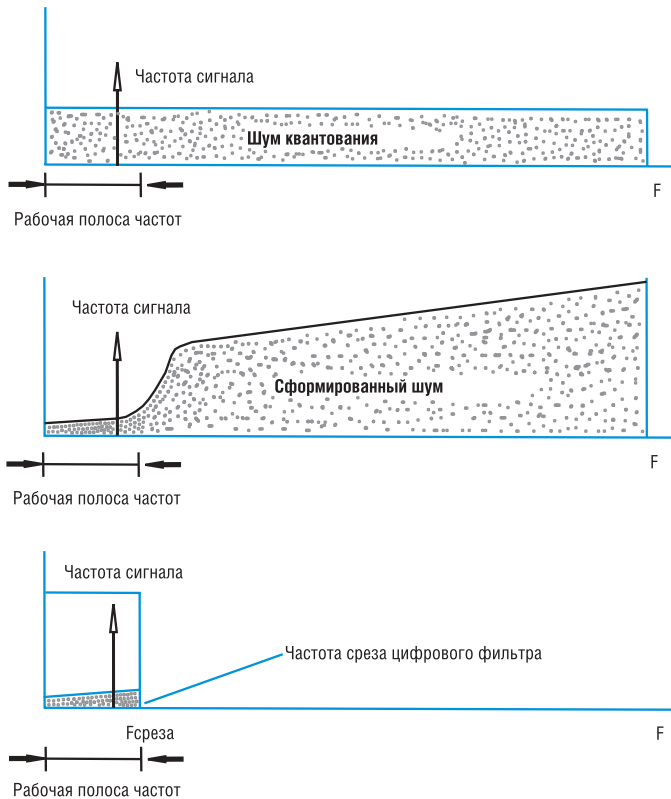


Рис. 4. Перенос шума квантования в более высокочастотную область спектра

интегрирующие АЦП, — их заменили преобразователи, построенные по дельта-сигма архитектуре. На рисунке 1 показано расположение АЦП, реализованных по различным структурным схемам, в координатах разрешение/частота выборки.

Своим названием дельта-сигма 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 ус-

реднения результатов измерения на большом интервале времени. Основные узлы АЦП — это сигма-дельта модулятор и цифровой фильтр. Схема N-разрядного сигма-дельта модулятора первого порядка приведена на рис. 2.

Работа этой 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 (структурная схема — см. рис. 3) имеют развитую цифровую часть, включающую микроконтроллер. Это позволяет реализовать режимы автоматической установки нуля и самокалибровки полной шкалы, хранить калибровочные коэффициенты и передавать их по запросу внешнего контроллера.

Еще один важный момент $\Delta\Sigma$ -АЦП — автоматический перенос спектра шума квантования в более высокочастотную область (см. рис. 4).

Сложные методы цифровой обработки и фильтрации обеспечивают очень высокую разрешающую способность (до 24 разрядов) и большой динамический диапазон (до 109 дБ) за счет подавления интерференции и усреднения шума. Основные параметры $\Delta\Sigma$ -АЦП производства Texas Instruments представлены в таблице 1.

Развитие интегральной технологии, архитектуры и схемотехники модуляторов позволяет со-

здавать прецизионные $\Delta\Sigma$ -АЦП с очень высоким быстродействием. Показательный пример такого новейшего преобразователя – ADS1610. При точности преобразования в 16 разрядов этот преобразователь может работать на максимальной частоте

дискретизации 10 МГц. Рабочая полоса частот входного сигнала в этом случае составляет 4,9 МГц. Отношение сигнал/шум ADS1610 около 86 дБ при –94 дБ суммарных гармонических искажениях. Рабочий диапазон температур ADS1610 от –40 до +85°С. Па-

раллельный интерфейс рассчитан на непосредственное подключение DSP процессоров TMS320 компании Texas Instruments. Преобразователь ADS1610 совместим по выводам с ADS1605, максимальная частота дискретизации которого равна 5 МГц.

Таблица 1. Инструментальные $\Delta\Sigma$ -АЦП компании Texas Instruments

Наименование	Разрядность, бит	Максимальная частота дискретизации, кГц	Кол-во входных каналов (дифф.)	Интерфейс	Диапазон входного сигнала, В или заряда, пКл	ИОН (внутренн./внешний)	Нелинейность, %	Потребляемая мощность, мВт	Корпус(а)
ADS1258	24	125	16 (8)	Serial, SPI	±5	внешний	0.0015	40	QFN-48
ADS1271*	24	105	(1)	Serial, SPI	±2,5	внешний	0.0015	35-100	TSSOP-16
ADS1252	24	41	1 (1)	Serial	±5	внешний	0.0015	40	SO8
ADS1255	24	30	2 (1)	Serial, SPI	PGA (1-64), ±5 В	внешний	0.001	35	SSOP-20
ADS1256	24	30	8 (4)	Serial, SPI	PGA (1-64), ±5 В	внешний	0.001	35	SSOP-28
ADS1251	24	20	1 (1)	Serial	±5	внешний	0.0015	7.5	SO8
ADS1253	24	20	4 (4)	Serial	±5	внешний	0.0015	7.5	SSOP-16
ADS1254	24	20	4 (4)	Serial	±5	внешний	0.0015	4	SSOP-20
ADS1210/11	24	16	1/4 (1/4)	Serial, SPI	PGA (1-16), ±5В	внеш./внут.	0.0015	27.5	DIP18/24, SO18/24, SSOP28
ADS1216	24	0,78	8 (4)	Serial, SPI	PGA (1-128), ±2,5 В	внеш./внут.	0.0015	0.6	TQFP-48
ADS1217	24	0,78	8 (4)	Serial, SPI	PGA (1-128), ±5 В	внеш./внут.	0.0012	0.8	TQFP-48
ADS1218	24	0,78	8 (4)	Serial, SPI	PGA (1-128), ±2,5 В	внеш./внут.	0.0015	0.8	TQFP-48
ADS1222	24	0,24	2 (2)	Serial	±5	внешний	0.0015	0.5	TSSOP-14
ADS1224	24	0,24	4 (4)	Serial	±5	внешний	0.0015	0.5	TSSOP-20
ADS1232**	24	0,8	2 (2)	Serial	PGA (1-128), ±2.5 В	внешний	0.0015	3	TSSOP-24
ADS1234	24	0,8	4 (4)	Serial	PGA (1-128), ±2,5 В	внешний	0.0015	3	TSSOP-28
ADS1244	24	0,015	1 (1)	Serial	±5	внешний	0.0008	0.3	MSOP-10
ADS1245	24	0,015	1 (1)	Serial	±2,5	внешний	0.0015	0.5	MSOP-10
ADS1240	24	0,015	4 (2)	Serial, SPI	PGA (1-128), ±2,5 В	внешний	0.0015	0.6	SSOP-24
ADS1241	24	0,015	8 (4)	Serial, SPI	PGA (1-128), ±2,5 В	внешний	0.0015	0.5	SSOP-28
ADS1242	24	0,015	4 (2)	Serial, SPI	PGA (1-128), ±2,5 В	внешний	0.0015	0.6	TSSOP-16
ADS1243	24	0,015	8 (4)	Serial, SPI	PGA (1-128), ±2,5 В	внешний	0.0015	0.6	TSSOP-20
ADS1212/13	22	6,25	1/4 (1/4)	Serial, SPI	PGA (1-16), ±5 В	внеш./внут.	0.0015	1.4	DIP18/24, SO18/24, SSOP28
ADS1250	20	25	1 (1)	Serial, SPI	PGA (1-8), ±4 В	внешний	0.003	75	SO-16
ADS1100	16	0,128	1 (1)	Serial, I ² C	PGA (1-8), VDD	внешний	0.00125	0.3	SOT23-6
ADS1110	16	0,24	1 (1)	Serial, I ² C	PGA (1-8), ±2,048 В	внутренний	0.001	0.7	SOT23-6
ADS1112	16	0,24	3 (2)	Serial, I ² C	PGA (1-8), ±2,048 В	внутренний	0.001	0.7	MSOP-10, SON-10
$\Delta\Sigma$-АЦП для измерения микротоков или малых зарядов (например, токов фотодиодов)									
DDC101	20	10	1	Serial	500 пКл	внешний	0.025	170	SO-24
DDC112	20	3	2	Serial	50-1000 пКл	внешний	0.025	80	SO-28, TQFP-32
DDC114	20	3	4	Serial	12-350 пКл	внешний	0.025	55	QFN-48
DDC118	20	3	8	Serial	12-350 пКл	внешний	0.025	110	QFN-48
Широкополосные (скоростные) $\Delta\Sigma$-АЦП									
Наименование	Разрядность, бит	Максимальная частота дискретизации, кГц	Рабочая полоса частот, кГц	Кол-во входных каналов	Интерфейс	Диапазон входного сигнала, В	Отношение сигнал/шум, дБ	Потребляемая мощность, мВт	Корпус
ADS1271	24	105	51	1 дифф.	Serial	±2,5	109	35-100	TSSOP-16
ADS1625	18	1250	615	1 дифф.	P18	±3,75	93	520	TQFP-64
ADS1626	18	1250	615	1 дифф.	P18 и FIFO	±3,75	93	520	TQFP-64
ADS1610	16	10000	4900	1 дифф.	P16	±3	84	1000	TQFP-64
ADS1605	16	5000	2450	1 дифф.	P16	±3,75	88	570	TQFP-64
ADS1606	16	5000	2450	1 дифф.	P16 и FIFO	±3,75	88	570	TQFP-64
ADS1602	16	2500	1230	1 дифф.	Serial	±3	91	550	TQFP-48
ADS1601	16	1250	615	1 дифф.	Serial	±3	92	350	TQFP-48

* Новая продукция

** Выпуск начнется в ближайшее время

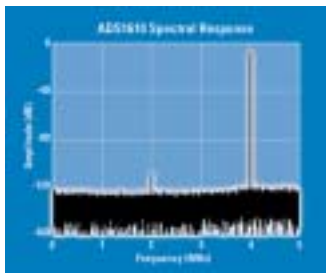


Рис. 5. Спектральная характеристика новейшего $\Delta\Sigma$ -АЦП ADS1610

Спектральная характеристика новейшего скоростного $\Delta\Sigma$ -АЦП ADS1610 показана на рис. 5.

Среди выпускаемых преобразователей Texas Instruments есть специализированные $\Delta\Sigma$ -АЦП с токовым входом для подключения высокоомных источников сигналов, например, фотодиодов и других датчиков. Это серия DDC1xx для измерения микротоков и малых зарядов (см. таблицу 1). Диапазон входного сигнала этого класса $\Delta\Sigma$ -АЦП измеряется в пикоКулонах (пКл). Наиболее широкий диапазон у DDC112 (50-1000 пКл).

Применение встроенного усилителя с программируемым коэффициентом усиления (PGA – Programmable Gain Amplifier) позволяет снизить требования к разрешающей способности АЦП. Texas Instruments выпускает PGA усилители в отдельных корпусах (серия PGAxxx). В некоторых случаях при необходимости дополнительного увеличения динамического диапазона входного сигнала АЦП внешний PGA может существенно увеличить разрядность преобразователя.

Практически все дельта-сигма АЦП имеют дифференциальные

входы, что удобно для измерения сигналов, источниками которых являются, например, мостовые датчики и термопары. Для АЦП, используемых в устройствах с высоким разрешением, необходимы внешние малошумящие прецизионные источники опорного напряжения с малым дрейфом. Большинство дельта-сигма АЦП Texas Instruments имеют дифференциальные входы для таких ИОНов.

В производственной линейке Texas Instruments есть и широкая номенклатура АЦП с поразрядным уравниванием (SAR-АЦП). В литературе их часто называют АЦП последовательного приближения. Среди них к инструментальным можно отнести преобразователи с разрядностью от 16 до 18.

Количество шагов приближения этих преобразователей соответствует количеству двоичных разрядов. Точность и быстродействие таких АЦП определяется в первую очередь метрологическими характеристиками внутреннего ЦАП и технологией производства. Для увеличения точности и стабильности параметров применяется лазерная подгонка резисторов. Обойтись без этого сложного процесса позволяют ЦАП, построенные на основе метода перераспределения заряда (Capacitive DAC) со схемой самокалибровки. Данный ЦАП реализует также и функцию выборки-хранения, то есть отпадает необходимость в УВХ. Другими преимуществами АЦП ПУ являются небольшой размер

кристалла, низкая потребляемая мощность и простота применения. Данный класс АЦП занимает промежуточное положение по быстродействию, разрешающей способности и стоимости между последовательно-параллельными и интегрирующими преобразователями и находит широкое применение в системах управления, контроля и цифровой обработки сигналов.

В таблице 2 представлены только новые 18-ти и 16-ти разрядные АЦП поразрядного уравнивания (SAR-АЦП) из очень большого перечня всех преобразователей этого класса, выпускаемых Texas Instruments.

Много дополнительной информации по этой теме можно найти в статье Андрея Данилова «Микросхемы инструментальных АЦП» («Электронные компоненты» №2, 2004) и в статье Валерия Ячменникова («Электронные компоненты» №1, 2005), а также на сайте www.gaw.ru в разделе, посвященном АЦП.

В следующих номерах журнала «Новости электроники» планируются статьи об АЦП других ведущих мировых производителей.

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

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

Таблица 2. Новые инструментальные АЦП поразрядного уравнивания (SAR-АЦП) фирмы Texas Instruments

Наименование	Разрядность, бит	Максимальная частота дискретизации, кГц	Кол-во входных каналов (дифф.)	Интерфейс	Диапазон входного сигнала, В	ИОН (внутренн./внешний)	Нелинейность, %	Отношение сигнал / шум, дБ	Потребляемая мощность, мВт	Корпус
ADS8380	18	600	1 (1)	Serial, SPI	Вопорн.	внеш./внут.	0,0015	91	115	6x6 QFN-48
ADS8382	18	600	(1)	Serial, SPI	+/-Вопор. (4.2В)	внеш./внут.	0,0012	96	115	6x6 QFN-48
ADS8381	18	580	1 (1)	P8/P16/P18	Вопорн.	внешний	0,0015	93	115	TQFP-48
ADS8406	16	500	(1)	P8/P16	+/-Вопор. (4.2В)	внеш./внут.	0,003	90	155	TQFP-48