

Константин Староверов

# АНАЛОГОВО-ЦИФРОВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРИМЕНЕНИЙ



Компания **Texas Instruments (TI)** выпускает широкий ассортимент аналогово-цифровых преобразователей (АЦП), удовлетворяющих требованиям различных промышленных применений. Значительная часть этих АЦП входит в производственную линейку **Burr-Brown**. Этот бренд давно стал гарантом качества и точности аналоговых и аналогово-цифровых решений.

Под компактным наименованием «промышленные применения» скрывается множество отраслей промышленности, каждая из которых имеет собственные специфику и особенности. Однако, несмотря на присущие им порой даже контрастные отличия, у них есть и общие особенности. Одна из них заключается в том, что для эффективного управления производственными процессами необходимо применять специальные электронные системы контроля и управления. Такие системы собирают информацию о процессах с помощью датчиков, а для ввода информации с тех датчиков, у которых предусмотрен аналоговый выход, предназначены специальные микросхемы — аналогово-цифровые преобразователи (АЦП). АЦП может быть основан на различных архитектурах, однако в промышленных применениях широкое распространение получили следующие типы преобразователей: сигма-дельта АЦП, АЦП последовательного приближения и конвейерные АЦП. Компания TI предлагает широкий ассортимент таких преобразователей, из которого разработчик сможет выбрать оптимальный по цене и качеству.

## Сигма-дельта АЦП

Данные АЦП являются современной альтернативой АЦП интегрирующего типа, от которых они изначально унаследовали отличную стойкость к низкочастотному электрическому шуму, что очень важно для многих промышленных применений. Однако свойственное многим сигма-дельта АЦП невысокое быстродействие, которое в принципе допустимо во многих промышленных измерительных устройствах, с запасом компенсируется высокой разрешающей способностью и высокой линейностью

передаточной характеристики. Компания TI предлагает сигма-дельта АЦП с разрешением от 12 до 31 бит. Общие технические характеристики некоторых сигма-дельта АЦП TI представлены в таблице 1. Типичными областями их применения являются контрольно-измерительное оборудование низкого и среднего быстродействия, цифровые аудиосистемы, модули аналогового ввода промышленных контроллеров, системы сбора данных.

Помимо разрешающей способности АЦП различаются быстродействием преобразования, количеством входных каналов и их электрическими характеристиками, интерфейсами управления и вывода результата преобразования, логикой управления преобразованиями, типом корпуса и прочими особенностями. Большинство многоканальных мультиплексированных АЦП могут

работать в несимметричном или дифференциальном режиме входов, что повышает гибкость их применения. Например, 24-битный АЦП **ADS1258** оснащен мультиплексором, который позволяет подключить ко входу АЦП либо 8 дифференциальных, либо 16 несимметричных сигналов. В состав некоторых АЦП, как, например, **ADS1282**, входит программируемый усилитель (PGA). Наличие PGA позволяет существенно расширить динамический диапазон АЦП, делая возможной прямую оцифровку слабых сигналов, например, температуры термпар, часто применяемых в промышленных системах контроля. Максимальную гибкость по конфигурации входов представляют оснащенные PGA многоканальные АЦП. Такие АЦП позволяют программно настроить входной диапазон для каждого канала и, за счет этого, напрямую подключиться к различного рода источникам сигналов. Среди представленных в таблице 1 АЦП есть два преобразователя, которые поддерживают одновременное преобразование каналов. Речь идет о **ADS1274** и **ADS1278**. У них вместо мультиплексирования каналов предусмотрены отдельные дельта-сигма модуляторы и филь-

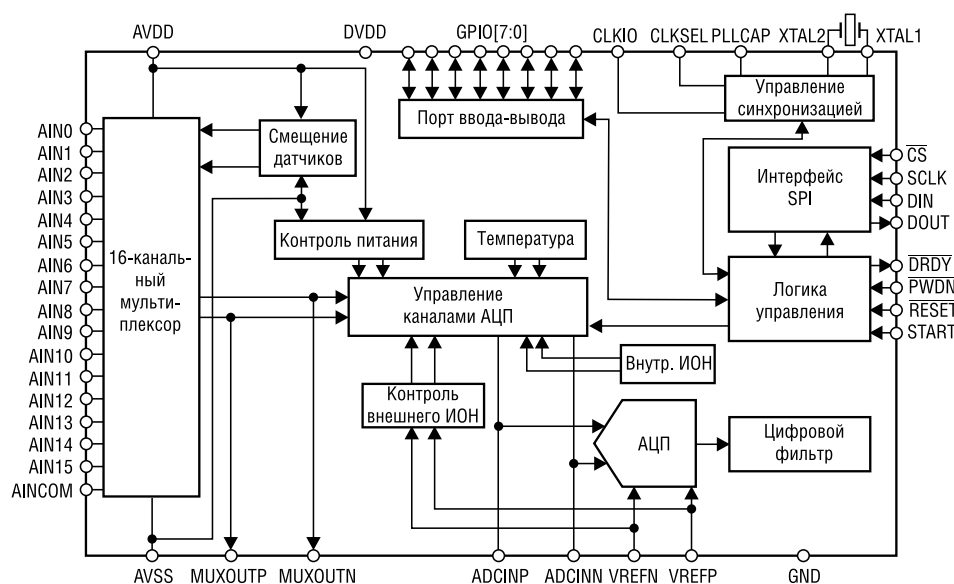


Рис. 1. Функциональная схема АЦП ADS1258

Таблица 1. Сигма-дельта АЦП Texas Instruments

Наименование <sup>1)</sup>	Разрешающая способность, бит	Частота дискретизации, кГц	Количество входных каналов <sup>2)</sup>	Интерфейс	Входное напряжение, В <sup>3)</sup>	ИОН	Нелинейность, %	Потребляемая мощность, мВт	Корпус
<b>ADS1281</b>	31	4	1	Послед., SPI	5	Внеш.	0,00006	12	TSSOP-24
<b>ADS1282</b>	31	4	1	Послед., SPI	5, PGA (1...64)	Внеш.	0,00006	27	TSSOP-28
<b>ADS1672</b>	24	625	1	Послед.	+5	Внеш.	0,0003	350	TQFP-64
ADS1258	24	125	16Н/8Д	Послед., SPI	5; ±2,5	Внеш.	0,0015	40	QFN-48
<b>ADS1278</b>	24	128	8Д (ОП)	Послед., SPI или FSYNC	2,5	Внеш.	0,001	60...600	TQFP-64
<b>ADS1274</b>	24	128	4Д (ОП)	Послед., SPI или FSYNC	2,5	Внеш.	0,001	30...300	TQFP-64
ADS1271	24	105	1Д	Послед., SPI или FSYNC	2,5	Внеш.	0,0015	35...100	TSSOP-16
ADS1252	24	41	1Н/1Д	Послед.	5	Внеш.	0,0015	40	SOIC-8
ADS1256	24	30	8Н/4Д	Послед., SPI	5, PGA (1...64)	Внеш.	0,001	35	SSOP-28
ADS1255	24	30	2Н/1Д	Послед., SPI	5, PGA (1...64)	Внеш.	0,001	35	SSOP-20
ADS1253	24	20	4Н/4Д	Послед.	5	Внеш.	0,0015	7,5	SSOP-16
ADS1254	24	20	4Н/4Д	Послед.	5	Внеш.	0,0015	4	SSOP-20
ADS1251	24	20	1Н/1Д	Послед.	5	Внеш.	0,0015	7,5	SOIC-8
<b>ADS1246</b>	24	2	1Д	Послед., SPI	5; ±2,5	Внеш.	0,0003	2,56	TSSOP-16
<b>ADS1247</b>	24	2	3Н/2Д	Послед., SPI	5; ±2,5	Внеш.	0,0003	2,56	TSSOP-20
<b>ADS1248</b>	24	2	7Н/4Д	Послед., SPI	5; ±2,5	Внеш.	0,0003	2,56	TSSOP-28
<b>ADS1158</b>	16	125	16Н/8Д	Послед., SPI	5; ±2,5	Внеш.	0,0045	42	QFN-40
<b>ADS1174</b>	16	52	4	Послед., SPI или FSYNC	2,5	Внеш.	0,0045	135	HTQFP-64
<b>ADS1178</b>	16	52	8	Послед., SPI или FSYNC	2,5	Внеш.	0,0045	245	HTQFP-64
ADS1112	16	0,24	3Н/2Д	Послед., I <sup>2</sup> C	2,048, PGA (1...8)	Внут.	0,01	0,7	MSOP-10, SON-10
ADS1110	16	0,24	1Н/1Д	Послед., I <sup>2</sup> C	2,048, PGA (1...8)	Внут.	0,01	0,7	SOT23-6
ADS1100	16	0,128	1Н/1Д	Послед., I <sup>2</sup> C	VDD, PGA (1...8)	Внеш.	0,0125	0,3	SOT23-6
ADS1000	12	0,128	1Н/1Д	Послед., I <sup>2</sup> C	VDD, PGA (1...8)	Внеш.	0,0125	0,3	SOT23-6

**Примечания:**

1. Красным цветом выделены новинки, синим – находящиеся в разработке ИС
2. «Н» указывает на то, что приведенное число каналов являются несимметричными, а «Д» – что дифференциальными. «ОП» отмечает поддержку функции одновременного преобразования нескольких каналов.
3. «PGA» указывает на наличие во входном каскаде АЦП программируемого усилителя. В скобках указан диапазон программирования коэффициента усиления.

тры в каждом канале, т.е., по сути, они интегрируют в одном корпусе несколько АЦП с общим интерфейсом управления и вывода данных.

Что касается интерфейса вывода данных, то здесь пользователю доступны все наиболее популярные последовательные интерфейсы: от самого простого, по типу сдвигового регистра, до более продвинутых интерфейсов SPI и I<sup>2</sup>C. Некоторые АЦП, в том числе ориентированные на цифровые аудио-применения (например, **ADS1274/8**), в дополнение к SPI поддерживают опциональный протокол FRAME SYNC (FSYNC).

При совместной работе АЦП с микроконтроллером (МК) наличие последовательного интерфейса позволяет по минимуму расходовать линии ввода-вывода МК. Однако бывают ситуации, когда бюджет свободных линий ввода-

вывода жестко ограничен. В таких случаях может помочь наличие у некоторых АЦП порта расширения ввода-вывода. К числу таких АЦП относятся **ADS1255/56/58**.

Рассмотрим возможности одного из представленных в таблице АЦП – **ADS1258** [1] в качестве примера. Дан-

как однополярными, так и двухполярными. Функциональная схема АЦП представлена на рисунке 1. Преобразователь интегрирует множество узлов, делающих его применение особенно гибким. Например, на вход АЦП могут быть поданы не только коммутируемые мультиплексором несимметричные и дифференциальные

**Texas Instruments** предлагает бесплатную программу **ADCPro** ([www.ti.com/adcp](http://www.ti.com/adcp)), которая позволяет оценить работу АЦП при поступлении на его вход виртуального сигнала.

ный АЦП предназначен для 24-битного преобразования 16 несимметричных или 8 дифференциальных сигналов с быстродействием до 23,7 кГц/канал (т.е. время оцифровки всех 16 каналов составляет менее 700 мкс). Сигналы могут быть

сигналы, но и ряд внутренних сигналов, в том числе напряжение питания, напряжение встроенного датчика температуры и внешнее опорное напряжение. Внутренняя схема коммутации также предусматривает соединение входов АЦП и

Таблица 2. АЦП последовательного приближения компании Texas Instruments

Наименование <sup>1)</sup>	Разрешающая способность, бит	Частота дискретизации, кГц	Количество входных каналов <sup>2)</sup>	Интерфейс	Входное напряжение, В	ИОН	Нелинейность %	SINAD, дБ	Потребляемая мощность, мВт	Корпус
ADS8320	16	100	1Н, 1ПД	Послед., SPI	VREF	Внеш.	0,012	84	1,95	VSSOP-8
ADS8325	16	100	1Н, 1ПД	Послед., SPI	VREF	Внеш.	0,006	91	2,25	VSSOP-8, QFN-8
ADS8321	16	100	1Д	Послед., SPI	±VREF	Внеш.	0,012	84	5,5	VSSOP-8
<b>ADS8317</b>	16	250	1Д	Послед., SPI	±VREF	Внеш.	0,0022	89,5	6	VSSOP-8, QFN-8
<b>ADS8326</b>	16	250	1Н, 1ПД	Послед., SPI	VREF	Внеш.	0,0022	91	6	VSSOP-8, QFN-8
<b>ADS8515</b>	16	250	1Н	Парал., 16 бит	±10	Внут./Внеш.	0,0022	92	100	SSOP-28
<b>ADS8519</b>	16	250	1Н	Послед., SPI	+4; 10 ±3,3; 5; 10	Внут./Внеш.	0,0022	91	100	SSOP-28
<b>ADS7280</b>	14	1000	2Н	Послед., SPI	VREF	Внеш.	0,0061	85,7	13,7	TSSOP-16, QFN-16
<b>ADS7279</b>	14	1000	1Н	Послед., SPI	VREF	Внеш.	0,0061	85,7	15,5	TSSOP-16
<b>ADS7883</b>	12	3000	1Н	Послед., SPI	VDD	Внеш. (VDD)	0,03	72	15	SOT23-6
<b>ADS7863</b>	12	2000	2x2Д	Послед., SPI	±2,5	Внут./Внеш.	0,003	71	13,5	SSOP-24, QFN-24
<b>ADS7230</b>	12	1000	2Н	Послед., SPI	VREF	Внеш.	0,0122	73,7	13,7	TSSOP-16, QFN-16
<b>ADS7229</b>	12	1000	1Н	Послед., SPI	VREF	Внеш.	0,0122	73,7	15,5	TSSOP-16
<b>ADS7953</b>	12	1000	16Н	Послед., SPI	VREF (2,5)	Внеш.	0,024	71,3	12,5	TSSOP-38
<b>ADS7952</b>	12	1000	12Н	Послед., SPI	VREF (2,5)	Внеш.	0,024	71,3	12,5	TSSOP-38
<b>ADS7951</b>	12	1000	8Н	Послед., SPI	VREF (2,5)	Внеш.	0,024	71,3	12,5	TSSOP-30
<b>ADS7950</b>	12	1000	4Н	Послед., SPI	VREF (2,5)	Внеш.	0,024	71,3	12,5	TSSOP-30
<b>ADS7884</b>	10	3000	1Н	Послед., SPI	VDD	Внеш. (VDD)	0,781	61,7	15	SOT23-6
<b>ADS7957</b>	10	1000	16Н	Послед., SPI	VREF (2,5)	Внеш.	0,078	60	12,5	TSSOP-38
<b>ADS7956</b>	10	1000	12Н	Послед., SPI	VREF (2,5)	Внеш.	0,078	60	12,5	TSSOP-38
<b>ADS7955</b>	10	1000	8Н	Послед., SPI	VREF (2,5)	Внеш.	0,078	60	12,5	TSSOP-30
<b>ADS7954</b>	10	1000	4Н	Послед., SPI	VREF (2,5)	Внеш.	0,078	60	12,5	TSSOP-30
<b>ADS7885</b>	8	3000	1Н	Послед., SPI	VDD	Внеш. (VDD)	0,156	49,8	15	SOT23-6
<b>ADS7961</b>	8	1000	16Н	Послед., SPI	VREF (2,5)	Внеш.	0,112	49	12,5	TSSOP-38
<b>ADS7960</b>	8	1000	12Н	Послед., SPI	VREF (2,5)	Внеш.	0,112	49	12,5	TSSOP-38
<b>ADS7959</b>	8	1000	8Н	Послед., SPI	VREF (2,5)	Внеш.	0,112	49	12,5	TSSOP-30
<b>ADS7958</b>	8	1000	4Н	Послед., SPI	VREF (2,5)	Внеш.	0,112	49	12,5	TSSOP-30

**Примечания:**

1. Красным цветом выделены новинки.
2. «Н» указывает на то, что приведенное число каналов являются несимметричными, «Д» – дифференциальными, а «ПД» – псевдодифференциальными.

подключение их к фиксированному уровню. Это позволяет в реальном времени выполнять измерение смещения входа АЦП и в дальнейшем программно компенсировать это смещение. При необходимости входы АЦП и выходы мультиплексора могут быть соединены внешней схемой аналоговой обработки. Интересной особенностью АЦП является наличие

у него опциональных источников тока на каждом входе мультиплексора. Величина тока задается программно (1,5 или 24 мкА). Данная возможность позволяет существенно снизить количество внешних компонентов и себестоимость конечного решения в применениях, где реализуются такие функции как, например, опрос резистивных датчиков, аналоговая кон-

фигурация схемы с помощью резисторов и диагностика подключения источников сигнала. ADS1258 содержит собственный ИОН, однако он не служит полноценной заменой внешнему ИОН, так как достижение истинной 24-битной разрешающей способности – это вызов не только схеме АЦП, но и его источнику опорного напряжения. Назначение встроенного ИОН

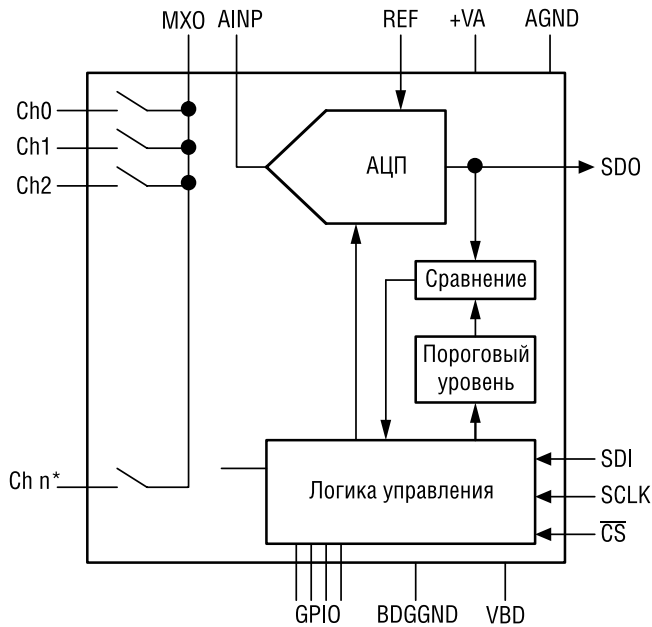


Рис. 2. Функциональная схема АЦП ADS79xx

в данном случае — диагностика внешнего опорного напряжения. С его помощью система может судить о качестве работы внешнего ИОН и в случае его ухудшения (исчезновение напряжения или выход за пределы диапазона) — принять соответствующие меры, например, заблокировать выполнение каких-либо функций, влияющих на безопасность применения системы.

#### АЦП последовательного приближения

АЦП данного типа можно назвать «рабочей лошадкой» в критичных к стоимости системах с разрешающей способностью дискретизации от 8 до 16 бит и частотой дискретизации до 1...5 МГц. Типичные области применения: встраиваемые системы управления, устройства управления электродвигателями, устройства автоматики, робототехника, обработка сигналов в реальном времени, устройства с батарейным питанием. Среди рассматриваемых здесь архитектур АЦП последовательного приближения при прочих равных условиях обеспечивают лучшие значения времени преобразования и энергопотребления. Сведения по некоторым, рекомендованным для использования в промышленных применениях, АЦП последовательного приближения TI представлены в таблице 2. Весомая часть этой таблицы занята семейством многоканальных 8...12-битных микромощных АЦП ADS79xx [2]. Данные АЦП характеризуются частотой дискретизации до 1 МГц, частотой синхронизации последовательного интерфейса до 20 МГц, напряжением питания 2,7...5,5 В и типичным потреблением 14,5 мкВт. На рисунке 2 представлена функциональная схема преобразователей ADS79xx. На рисунке видно, что выход мультиплек-

сора и вход АЦП внутренне не соединены, а выведены на отдельные выводы. Это позволяет включить между этими выводами дополнительную схему аналоговой обработки, например, программируемый усилитель. В таком случае, для программирования усиления могут быть задействованы имеющиеся у ADS79xx линии ввода-вывода общего назначения. Логикой управления микросхем поддерживаются три режима задания очередности преобразования каналов. В ручном режиме подлежащий очередному преобразованию канал задается программно. В первом автоматическом режиме соблюдается запрограммированная заранее очередность преобразования каналов, а во втором — преобразования выполняются в очередности от канала 0 до заданного предварительно последнего канала. Еще одной полезной особенностью рассматриваемых АЦП является интеграция в них блока сравнения результата преобразования каждого канала с двумя программируемыми порогами (нижний и верхний пороги). Результат сравнения можно опросить не только программно, но и аппаратно. Для этого нужно задействовать альтернативные функции линий ввода-вывода как выходов блока сравнения. Если такой выход соединить со входом внешнего прерывания МК, можно добиться быстродействующего реагирования на события, способные повлиять на надежность или безопасность работы системы, например, на перегрев, перегрузку, перенапряжение, недопустимое снижение напряжения, физическое вмешательство и т.п. К числу других альтернативных функций линий ввода-вывода относятся: вход управления включением/отключением, позволяющий снизить потребление ИС до 1 мкА, и вход зада-

ния диапазона преобразования (2,5 или 5,0 В). Для программирования ИС используется популярный интерфейс SPI.

#### Конвейерные АЦП

У таких АЦП процесс преобразования разбит на стадии. За выполнение каждой стадии отвечают независимые друг от друга, но синхронизированные между собой ступени конвейера. Благодаря этому новое преобразование можно начать сразу после освобождения первой ступени конвейера, не дожидаясь завершения всего преобразования. В результате конвейерные АЦП достигают высокой производительности преобразований (от единиц мегагерц до единиц гигагерц), но время преобразования при этом ограничивается, так как любой конвейер приносит запаздывание. Конвейерные АЦП используются в применениях, где требуется высокое быстродействие оцифровки данных, в том числе, в лабораторном контрольно-измерительном оборудовании (осциллографы, анализаторы спектра), диагностическом оборудовании, оцифровке видеосигналов, средствах связи, телекоммуникационных системах. Компания TI выпускает множество конвейерных АЦП с производительностью оцифровки от 1 до 550 МГц и разрешающей способностью от 8 до 16 бит. Полный перечень выпускаемых TI конвейерных АЦП, а также других типов АЦП, можно получить по ссылке <http://dataconverter.ti.com/>.

#### Заключение

Ассортимент АЦП TI, выполненных по различным архитектурам, с различной конфигурацией, с заложеными в них идеями и подходами по достижению различного соотношения рабочих характеристик и функциональных возможностей, дает возможность подобрать идеальное изделие для использования в электронных системах промышленного назначения с учетом соответствия каждому конкретному набору требований. Подбор такого изделия можно упростить, если воспользоваться параметрическим поиском, доступным по ссылке [dataconverter.ti.com](http://dataconverter.ti.com). Кроме того, TI предлагает бесплатную программу ADCPro ([www.ti.com/adcp](http://www.ti.com/adcp)), которая позволяет оценить работу АЦП при поступлении на его вход виртуального сигнала. Источником такого сигнала может служить либо виртуальный функциональный генератор, либо файл с данными. Данная программа также может взаимодействовать с выпускающимися TI оценочными наборами АЦП.

#### Литература

1. 16-Channel, 24-Bit Analog-to-Digital Converter ADS1258//Datasheet, lit. num. SBAS297E, Texas Instruments, June 2005 (revised October 2007). — 51 p.

# PLUG&PLAY

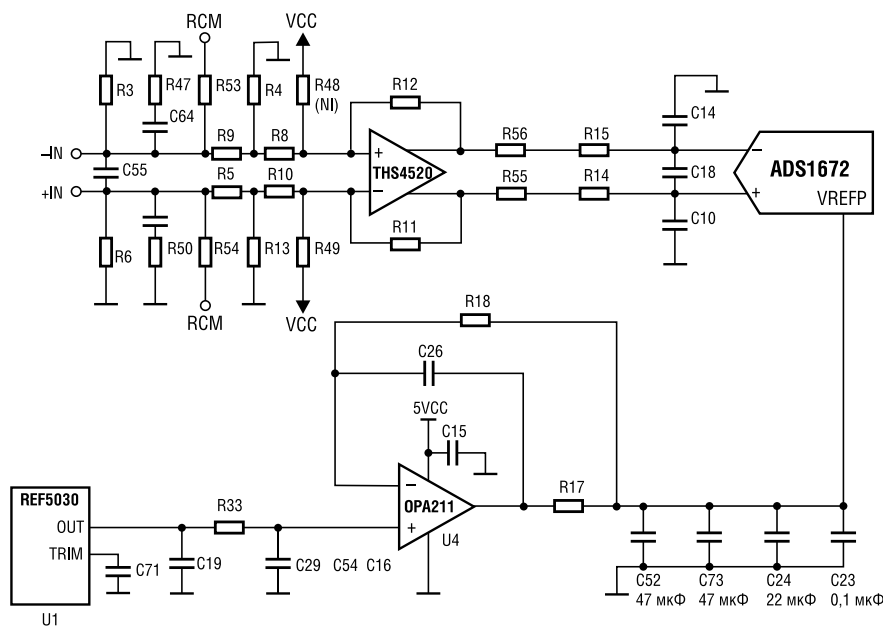


Рис. 3. Аналоговый тракт схемы включения ADS1672

**Пример применения:**

В качестве примера рассмотрим применение сигма-дельта АЦП **ADS1672**. Данный преобразователь примечателен тем, что при 24-битной разрешающей способности он обладает несвойственным для традиционной сигма-дельта архитектуры быстродействием – частота дискретизации может достигать 625 кГц. Типичными областями применения такого АЦП являются автоматическое испытательное оборудование, контрольно-измерительные системы, средства вибродиагностики, гидролокационное оборудование и др. Представленная на рисунке 3 схема включения этого АЦП является частью оценочного набора **ADS1672EVM** [3].

В этой схеме входной каскад АЦП дополнен широкополосным полно-

стью дифференциальным усилителем **THS4520**. Выбор этого усилителя обусловлен его скоростью нарастания напряжения (570 В/мкс), временем установления (7 нс до уровня напряжения с отклонением 0,1%), низким шумом (2 нВ/Гц) и малым гармоническим искажениям (HD3 [100 кГц] = 123 dBc). Непосредственно на входах подключения внешнего дифференциального сигнала –IN/+IN предусмотрены согласовывающие резисторы (R3 = R6 = 49,9 Ом). Помимо этих компонентов, обязательными на входе усилителя являются резисторы R8, R10 (383 Ом) и конденсатор C55 (750 пФ). Остальные элементы являются опциональными. В частности, резисторы R53, R54 могут использоваться при необходимости смещения дифференциальных входов ус-

лителя фиксированным напряжением. Между выходом усилителя и входом АЦП установлена RC-цепь (R56, R15, C18, R55 и R14), которая функционирует в качестве сглаживающего фильтра первого порядка (частота излома АЧХ 10,6 МГц). Конденсаторы C10, C14 – опциональные. Входы опорного напряжения ADS1672 содержат динамически изменяющуюся емкостную нагрузку, поэтому прямое подключение к внешнему ИОН приведет к существенному ухудшению результирующих характеристик преобразования. Данная особенность обуславливает наличие в схеме буферного усилителя внешнего опорного напряжения. Здесь, напряжение 3-вольтового ИОН **REF5030** поступает сначала на вход схемы, выполненной на ОУ **OPA211** (U4), а с её выхода – на вход опорного напряжения АЦП. Данная схема, помимо буферизации, выполняет функцию фильтрации опорного напряжения. Это необходимо для того, чтобы шумовая составляющая в опорном напряжении была намного меньше собственного шума АЦП и, как следствие, не влияла на результат преобразования. Конденсаторы C23, C24 устанавливаются как можно ближе ко входу опорного напряжения АЦП, а благодаря их совместной работе с ОУ OPA211 достигается установление опорного напряжения с точностью ±1/2 м.з.р. за 50 нс, что вполне приемлемо, если учесть, что частота коммутации конденсатора на входе опорного напряжения составляет 20 МГц. Также необходимо обратить внимание, что для наглядности на схеме не показаны элементы обработки питания, цифровой тракт и прочие вспомогательные элементы. Подробную схему включения АЦП ADS1672 можно найти в [3].

2. 12/10/8-Bit, 1 MSPS, 16/ 12/ 8/ 4-Channel, Single-Ended, MicroPower, Serial Interface ADCs ADS7950, ADS7951, ADS7952, ADS7953, ADS7954, ADS7955, ADS7956, ADS7957, ADS7958, ADS7959, ADS7960, ADS7961//Datasheet, lit. num. SLAS605, Texas Instruments, June 2008. – 44 p.

3. ADS1672EVM and ADS1672EVM-PDK//User's Guide, lit. num. SBAU147, Texas Instruments, March 2009. – 34 p.

Получение технической информации, заказ образцов, поставка – e-mail: [analog.vesti@compel.ru](mailto:analog.vesti@compel.ru)

ADS795x:
12-битный, 1MSPS, SAR АЦП с 4-/8-/12-/16-канальным настраиваемым мультиплексорным входом

ПРИМЕНЕНИЕ:

- портативное медицинское оборудование
- контроль производственных процессов
- контроль блоков питания