

# АЦП И ЦАП КОМПАНИИ TEXAS INSTRUMENTS: НОВЫЕ ПРОДУКТЫ НА РЫНКЕ

И. Романова

Texas Instruments (TI) является крупнейшим разработчиком и производителем аналого-цифровых (АЦП) и цифро-аналоговых (ЦАП) преобразователей. Компания предлагает все типы АЦП и ЦАП – от прецизионных (с разрядностью до 32 бит) до высокоскоростных (с частотой выборки свыше 1 Гвыб/с). Одних только ЦАП она выпускает сегодня около трех сотен типов, отличающихся скоростью преобразования, разрядностью, числом каналов и другими характеристиками. Три типа выпускаемых компанией АЦП – сигма-дельта, последовательного приближения и конвейерные – перекрывают весь спектр приложений: от высококачественной аудиотехники и медицинских приборов до телекоммуникационных систем и авиакосмического оборудования. АЦП и ЦАП этого производителя отличаются высокой надежностью и традиционно пользуются спросом практически во всех высокотехнологичных отраслях. Какие новинки компании в области АЦП и ЦАП появились на рынке в 2014/15 году?

## АНАЛОГО-ЦИФРОВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

В 2015 году компания TI объявила о выпуске самых быстрых в отрасли 14/16-разрядных АЦП. Частота выборки 2-канального 16-разрядного АЦП **ADS54J60** составляет 1 Гвыб/с, а отношение сигнал/шум – 70 дБПШ (децибел полной шкалы) на частоте дискретизации 1 ГГц. Частота выборки 4-канального 14-разрядного АЦП **ADS54J54** – 500 Мвыб/с. Новые приборы предназначены для применения в радарных системах, коммуникационном оборудовании, тестовой и испытательной аппаратуре. Эти АЦП потребляют на 20% меньше энергии, чем конкурирующие приборы.

АЦП ADS54J60 поддерживает последовательный интерфейс JESD204B, который обеспечивает скорость передачи данных до 10 Гбит/с (с использованием двух или четырех линий передачи данных). Уровень шума этого АЦП – 159 дБПШ/Гц, а динамический диапазон без

паразитных составляющих – 86 дБн. Буферированный аналоговый вход обеспечивает постоянное входное сопротивление в широком диапазоне частот и минимизирует выбросы при переключении схемы выборки/хранения. Каждый канал АЦП с помощью SPI-интерфейса можно опционально подключить к блоку широкополосного цифрового преобразования с понижением частоты (digital down converter – DDC). Блок DDC содержит три КИХ-фильтра с коэффициентами децимации 2 и 4. Различные опции фильтров децимации программируются через SPI-интерфейс. Встроенная схема ФАПЧ выполняет умножение частоты выборки АЦП на 20 или на 40 для преобразования 16-разрядных данных в последовательный код (рис.1).

В ADS54J60 предусмотрена функция быстрой индикации выхода сигнала за пределы диапазона полной

шкалы с помощью программирования специального бита в выходном потоке цифровых данных. Эту опцию можно выбрать также через SPI-интерфейс. АЦП ADS54J60 поставляется в 72-выводном корпусе типа VQFN размером 10×10 мм.

Примером оптимального соотношения потребляемой мощности и быстродействия является представленная в 2014 году серия аналого-цифровых преобразователей **ADC3k**. Это семейство АЦП включает в себя совместимые по выводам устройства с разрядностью 12 или 14 бит и несколькими уровнями быстродействия (частота выборки от 25 до 160 Мвыб/с). АЦП с напряжением питания 1,8 В содержит два или четыре канала с поддержкой интерфейсов LVDS или JESD204B (табл. 1). При максимальной частоте 160 Мвыб/с устройство расходует всего 200 мВт на канал – примерно на 80 мВт меньше аналогов. На частоте 25 Мвыб/с АЦП потребляет всего 44 мВт на канал.

Рассчитанные на диапазон рабочих температур от –40 до 85°C АЦП серии ADC3k предназначены для использования как в промышленной, так и в военной аппаратуре. Приборы выпускаются в компактных корпусах типа QFN размером 7×7 мм, за исключением 4-канальных версий с LVDS, для которых предусмотрен корпус QFN размером 8×8 мм.

Рассмотрим особенности 4-канальной 14-разрядной версии АЦП этой серии – **ADC34J4x** (рис.2.). Это устройство содержит делитель входной частоты (с коэффициентом деления от 1 до 4) тактового сигнала, что обеспечивает гибкость при проектировании системной архитектуры. Таким образом, это АЦП поддерживает максимальную частоту входного тактового сигнала 640 МГц. В ADC34J4 для передачи оцифрованных данных используется последовательный интерфейс JESD204B, который обеспечивает максимальную скорость передачи до 3,2 Гбит/с (поддержка подкласса 1). В интерфейсе JESD204B используются дифференциальные драйверы с CML-выходами (логика с токовыми переключателями). Выходной ток драйверов программируется через SPI-интерфейс и может быть установлен на уровне от 5 до 20 мА. Для расширения динамического диапазона без паразитных составляющих (SFDR) и устранения фликер-шумов в АЦП этой серии можно использовать встроенный алгоритм подмешивания шума (dithering). Встроенная схема ФАПЧ выполняет умножение частоты выборки на 20 для получения битового тактового сигнала, используемого для преобразования 14-разрядных данных каждого канала в последовательный цифровой поток данных.

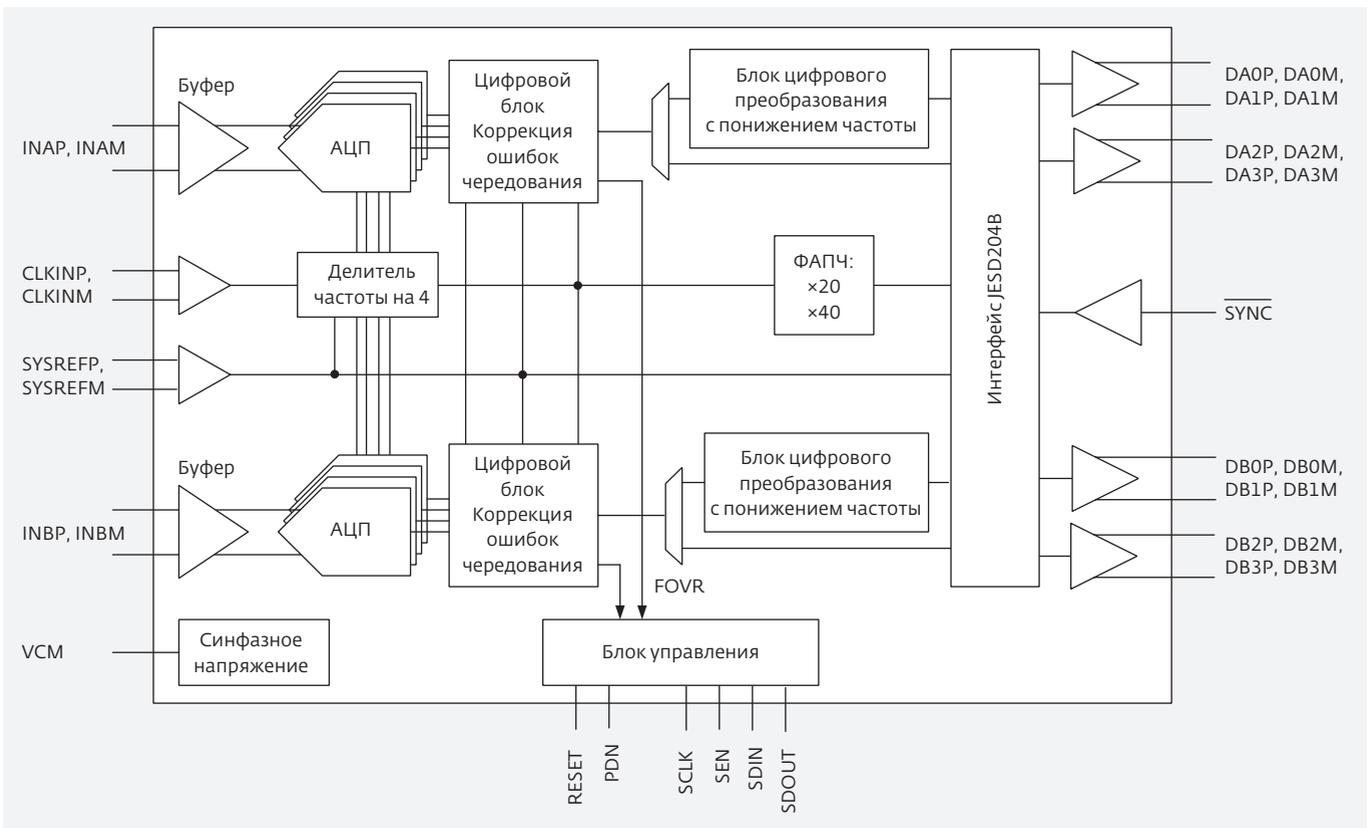


Рис.1. Функциональная схема 2-канального 16-разрядного АЦП ADS54J60

Для многоканальных систем сбора данных Texas Instruments предлагает 8-канальный 12-разрядный АЦП **ADS5295** с частотой выборки до 100 Мвыб/с. Этот АЦП обладает наименьшим в своем классе энергопотреблением – 80 мВт на канал. ADS5295 предназначен для применения в таких приложениях, как приборы для ультразвуковых исследований, коммуникационные системы и приборы для неразрушающего контроля.

Для вывода цифровых данных в АЦП ADS5295 используется LVDS-интерфейс: для каждого канала может использоваться одна или две LVDS-линии. При использовании однопроводного интерфейса частота выборки составляет 80 Мвыб/с, а при двухпроводном – 100 Мвыб/с. Отношение сигнал/шум этого АЦП составляет 71 дБ.

АЦП ADS5295 содержит встроенный источник опорного напряжения, однако для работы преобразователя можно также использовать внешнее опорное напряжение. В состав АЦП входит блок цифровой обработки сигнала, который содержит программируемые КИХ-фильтры децимации для минимизации гармонических помех, программируемые БИХ-фильтры верхних частот для минимизации постоянного смещения, а также блок программирования коэффициента

Таблица 1. АЦП семейства ADC3k

Серия	Тактовая частота, Мвыб/с	Разрешение, бит	Число каналов
<b>Интерфейс JESD204B</b>			
ADC34j45	160	14	4
ADC34j44	125	14	4
ADC34j43	80	14	4
ADC34j42	50	14	4
ADC32j45	160	14	2
ADC32j25	160	12	2
ADC32j24	125	12	2
<b>Интерфейс LVDS</b>			
ADC3444	125	14	4
ADC3443	80	14	4
ADC3424	125	12	4
ADC3423	80	12	4
ADC3244	125	14	2
ADC3223	80	12	2

усиления в диапазоне от 0 до 12 дБ (рис.3). В АЦП ADS5295 реализованы несколько цифровых функций, в том числе, функция подавления низкочастотного шума и возможность программирования назначения входных аналоговых каналов АЦП для выходных LVDS-каналов. АЦП ADS5295 выпускаются в 80-выводных корпусах типа QFP размером 12x12 мм. Диапазон рабочих температур от -40 до 85°C.

В 2014 году на рынке была представлена микросхема **ADS8881** – компактный 18-разрядный АЦП с частотой выборки до 1 Мвыб/с, который отличается низким энергопотреблением. ADS8881 – это АЦП последовательного приближения с полностью дифференциальным входом и интерфейсом SPI, который поддерживает работу нескольких микросхем, включенных последовательно. АЦП содержит схему выборки-хранения на входе и встроенный генератор тактового сигнала (рис.4). Вход АЦП ADS8881 рассчитан на униполярный дифференциальный сигнал с максимальным размахом от  $-V_{REF}$  до  $V_{REF}$ . Источник опорного напряжения – внешний, величина опорного напряжения устанавливается независимо от напряжения питания.

Энергопотребление микросхемы линейно зависит от частоты тактового сигнала и составляет: 5,5 мВт при 1 Мвыб/с, 0,55 мВт при 100 квыб/с и 55 мкВт при 10 квыб/с. Ток потребления в режиме отключения составляет всего 50 нА. Еще одной особенностью ADS8881 является высокое допустимое значение напряжения синфазного сигнала (смещения) между дифференциальными входами. Напряжение питания АЦП составляет 2,7...3,6 В, опорное напряжение можно устанавливать в диапазоне от 2,5 до 5 В.

Основные характеристики АЦП ADS8881:

- широкий диапазон входных синфазных напряжений: от 0 В до  $V_{REF}$  с коэффициентом ослабления синфазного сигнала 90 дБ (мин.);
- отношение сигнал/шум: 100 дБ;
- коэффициент гармонических искажений (THD): -115 дБ;
- интегральная нелинейность:  $\pm 1,5$  МЗР (тип.),  $\pm 3,0$  МЗР (макс.);

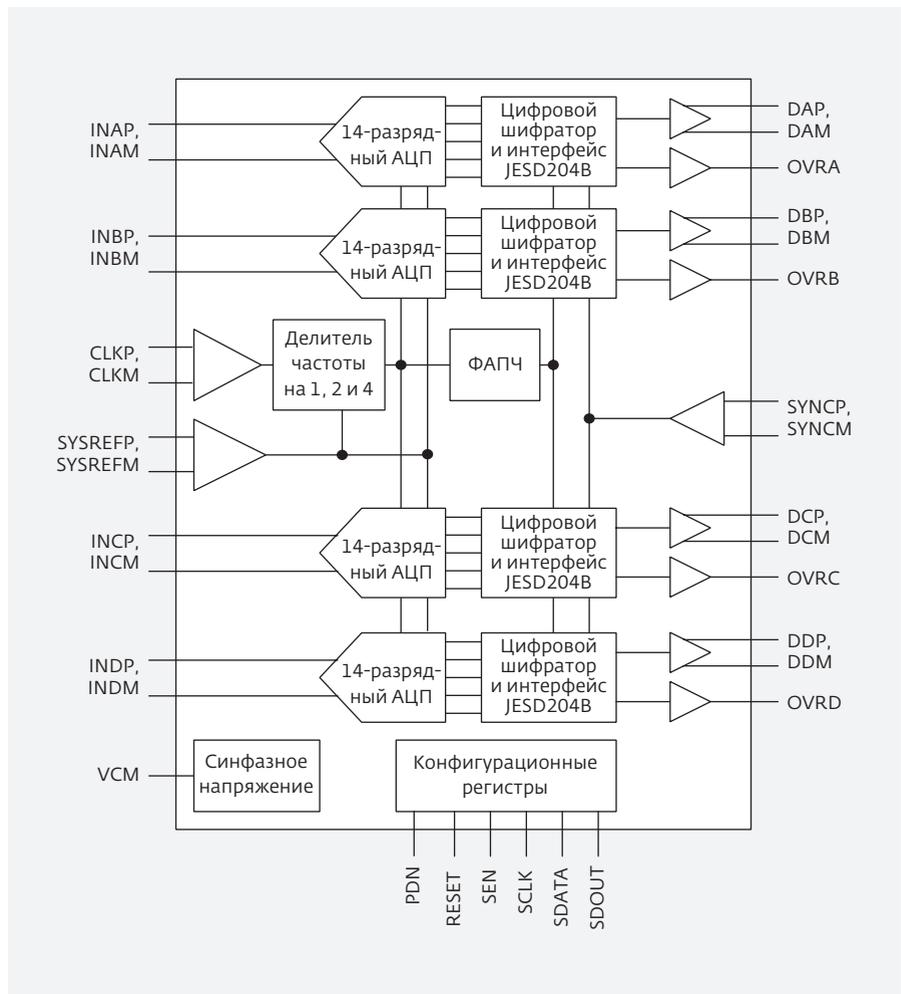


Рис.2. Функциональная схема 4-канальных 14-разрядных АЦП семейства ADC34J4x

- дифференциальная нелинейность: +1,5 и -1 МЗР (макс.), эффективное разрешение 18 бит
- время установления выходного кода (18 бит) в пределах полной шкалы: 290 нс;
- рабочий диапазон температур -40...85°C.

АЦП ADS8881 выпускаются в весьма компактных 10-выводных корпусах VSSOP или VSON размером 3x3 мм. Данные АЦП предназначены для применения в автоматизированном тестовом оборудовании, прецизионных медицинских приборах и портативных измерительных устройствах с батарейным питанием.

## ЦИФРО-АНАЛОГОВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

В 2014 году на рынке появились 12/16-разрядные ЦАП семейства **DAC7760/DAC8760**, предназначенные для устройств промышленной автоматики, систем технологического контроля и оборудования автоматизации зданий. DAC7760/DAC8760 – это первое в отрасли семейство ЦАП, имеющих одновременно активные выходы

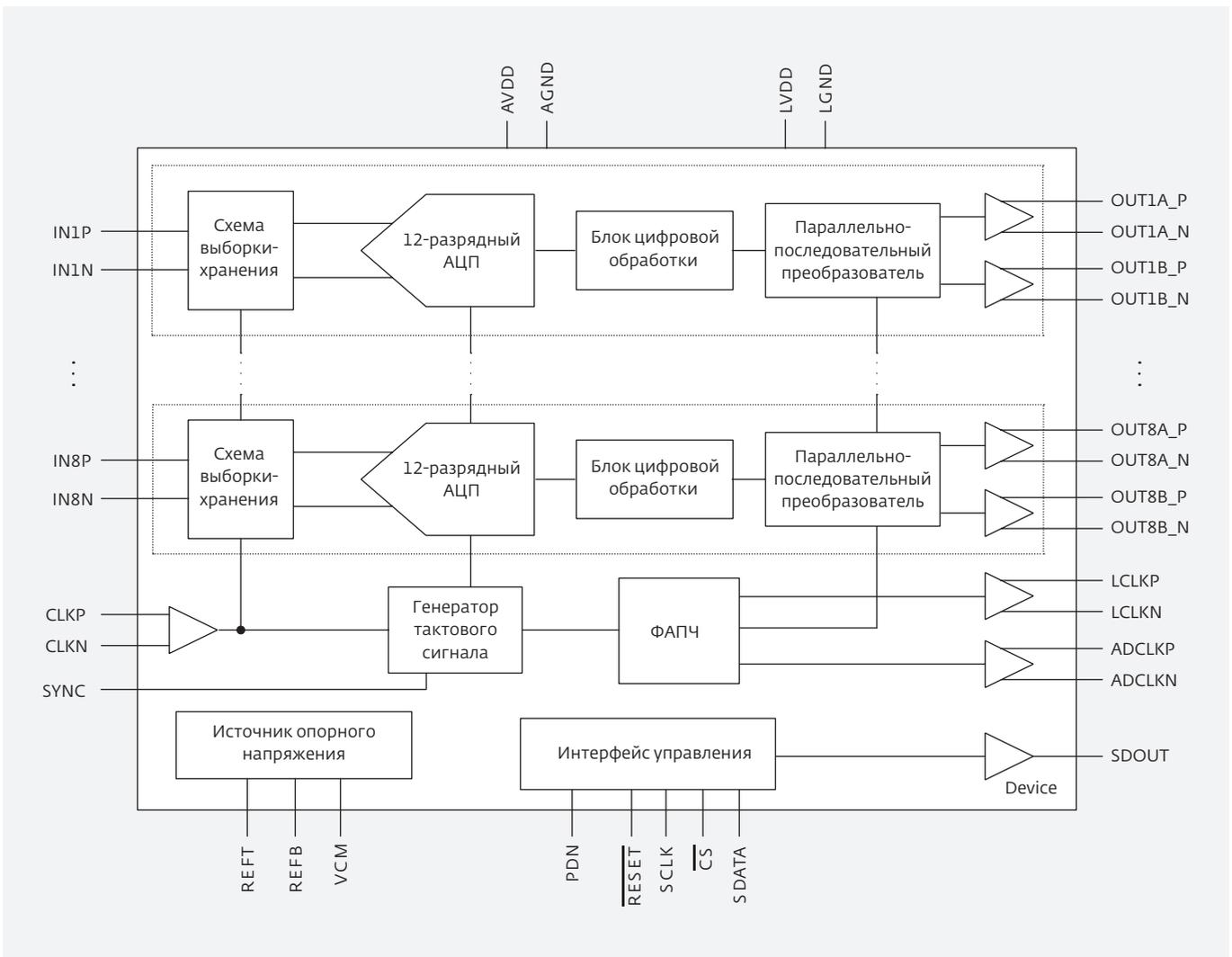


Рис.3. Функциональная схема 8-канального 12-разрядного АЦП ADS5295

по току и по напряжению, что предоставляет разработчикам систем дополнительную возможность выбора – использовать один или оба выхода.

DAC7760 (12 бит) и DAC8760 (16 бит) могут быть запрограммированы для работы в следующих режимах: с токовым выходом в диапазонах 4–20 мА, 0–20 мА или 0–24 мА; с выходом по напряжению в диапазонах 0–5 В, 0–10 В, ±5 В или ±10 В. Оба режима (ток или напряжение) могут быть разрешены одновременно. Управление выходным током/напряжением осуществляется одним регистром данных. Также может быть запрограммирована скорость изменения выходных значений тока и напряжения. Микросхема содержит высокоточный встроенный источник опорного напряжения номиналом 5 В, LDO-стабилизатор напряжения, а также такие средства обеспечения надежности и диагностики ошибок, как сторожевой таймер и контроль циклическим избыточным кодом (рис.5). В ЦАП данной серии

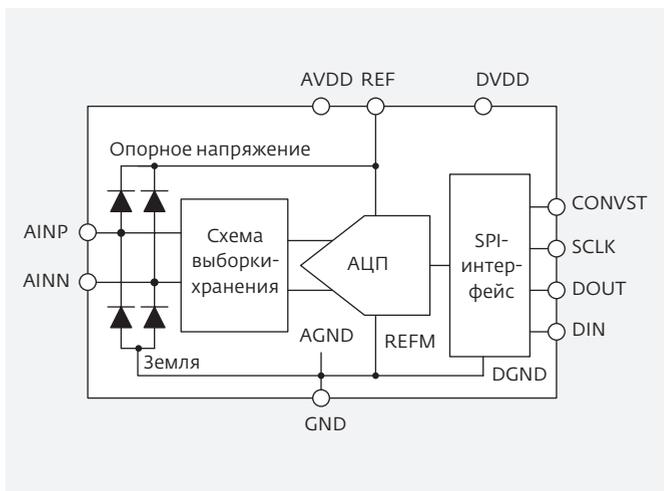


Рис.4. Функциональная схема 18-разрядного АЦП ADS8881

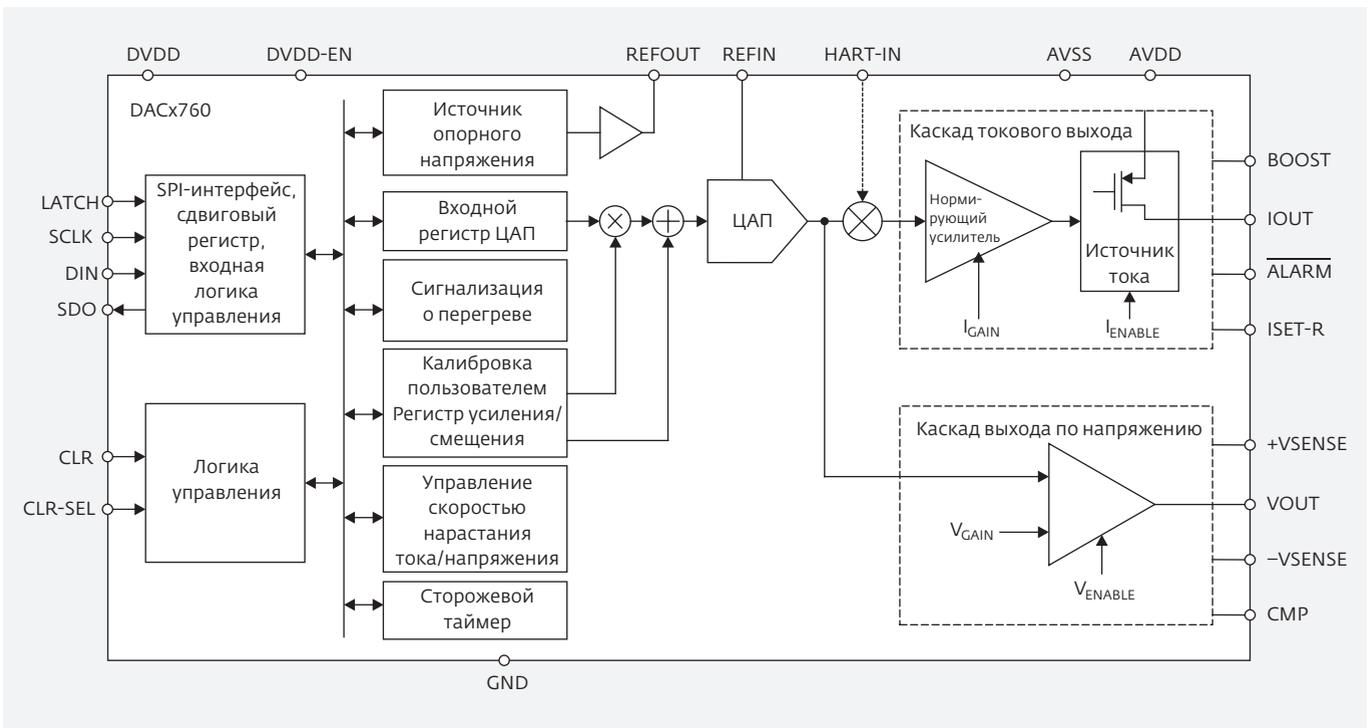


Рис.5. Функциональная схема 12/16-разрядных ЦАП DAC760/DAC8760

предусмотрена защита от перегрузки по току и сигнализация перегрева.

ЦАП DAC7760/DAC8760 отличаются высокой точностью: максимальная полная погрешность без регулировки (total unadjusted error – TUE) составляет 0,1%, что исключает необходимость в калибровке. Дифференциальная нелинейность микросхем DAC7760/DAC8760 не превышает ±1 МЗР, а диапазон рабочих температур составляет от –40 до 125°C.

Микросхемы DAC7760/DAC8760 могут работать как от однополярного источника питания напряжением 10...36 В, так и от биполярного источником напряжением до ±18 В. Выпускаются микросхемы как в 40-выводном корпусе типа QFN размером 6×6 мм, так и в 24-выводном TSSOP (табл. 2).

К сверхбыстродействующим ЦАП, которые недавно появились на рынке, относится семейство **DAC5670-S**. Это 14-разрядные ЦАП с максимальной частотой

Таблица 2. Основные характеристики ЦАП серий DAC8760/DAC7760

Серия	Разрешение, бит	Число каналов	Выход	Потребляемая мощность, мВт	Тип корпуса (размер, мм)	Оценочный модуль	Оценочный модуль с расширенными возможностями
DAC8760	16	1	Ток/напряжение	135	TSSOP (4,4×7,8) QFN (6×6)	DAC8760EVM	DAC8760EMC-EVM
DAC8750	16	1	Ток	135		DAC8750EVM	-
DAC7760	12	1	Ток/напряжение	135		DAC7760EVM	DAC7760EMC-EVM
DAC7750	12	1	Ток	135		DAC7750EVM	-

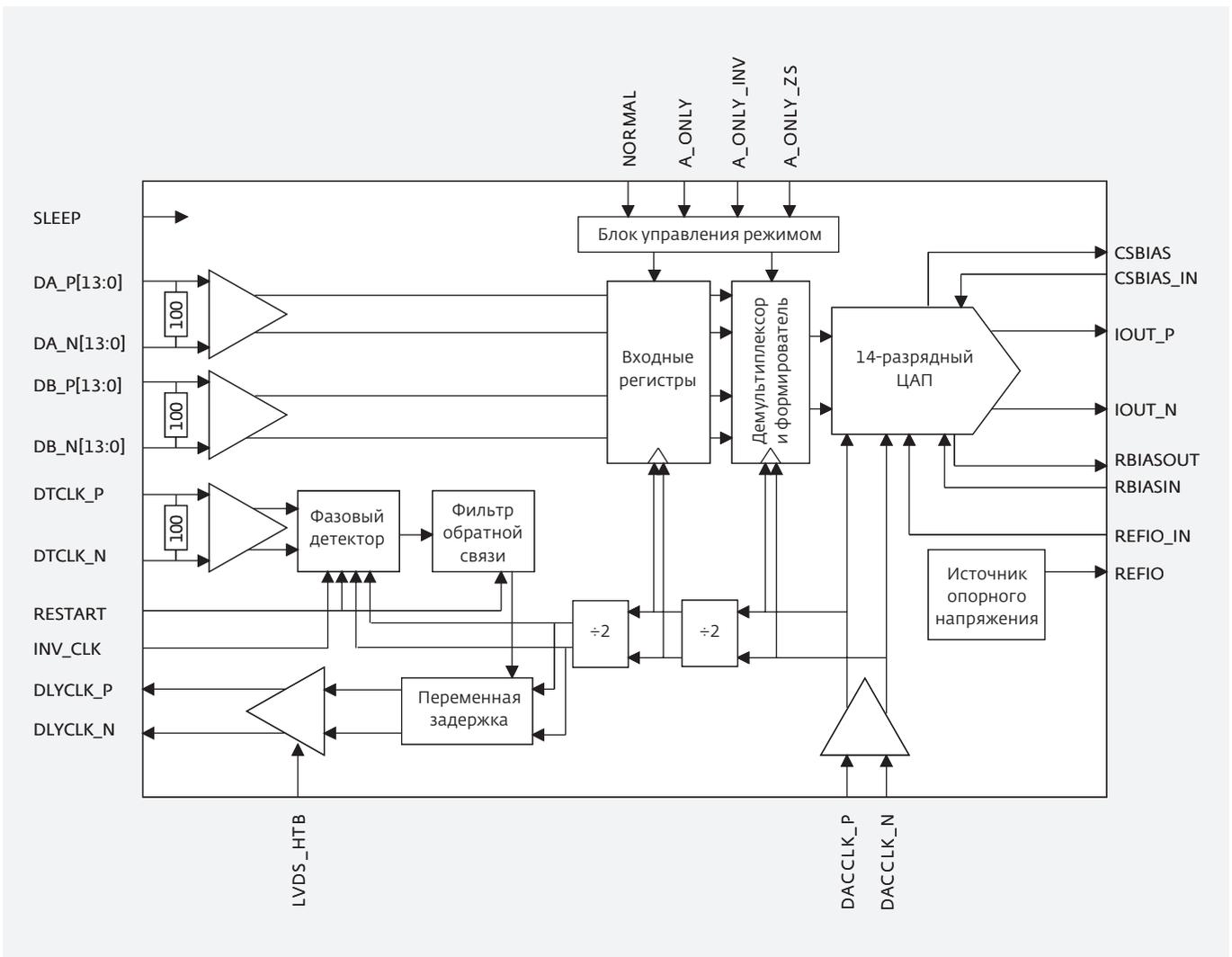


Рис.6. Функциональная схема 14-разрядного ЦАП DAC5670-S

преобразования 2,4 Гвыб/с, что является рекордным показателем в отрасли. ЦАП этой серии предназначены для применения в тестовом оборудовании, измерительных приборах (в частности, в генераторах сигналов произвольной формы) и коммуникационных системах.

ЦАП имеет два дифференциальных входа. При совместном использовании обоих входов достигается максимальная частота преобразования в 2,4 Гвыб/с; при использовании одного входа скорость преобразования вдвое ниже. Цифровые входы совместимы по уровням с интерфейсами LVDS и HyperTransport.

DAC5670-S работает от одного источника питания напряжением

от 3 до 3,6 В. Максимальная потребляемая мощность составляет 2 Вт. Имеется возможность регулировки выходного тока в диапазоне от 5 до 30 мА. Номинальный выходной ток полной шкалы составляет 20 мА.

Таблица 3. Характеристики ЦАП DAC8562/DAC8162/DAC7562

Серия	Разрешение, бит	Число каналов	Время установления, мкс	Максимальная потребляемая мощность, мВт	Корпус
DAC8562	16	2	7	5	WSO-10 VSSOP-10
DAC8162	14	2	7	5	WSO-10 VSSOP-10
DAC7562	12	2	7	5	WSO-10 VSSOP-10

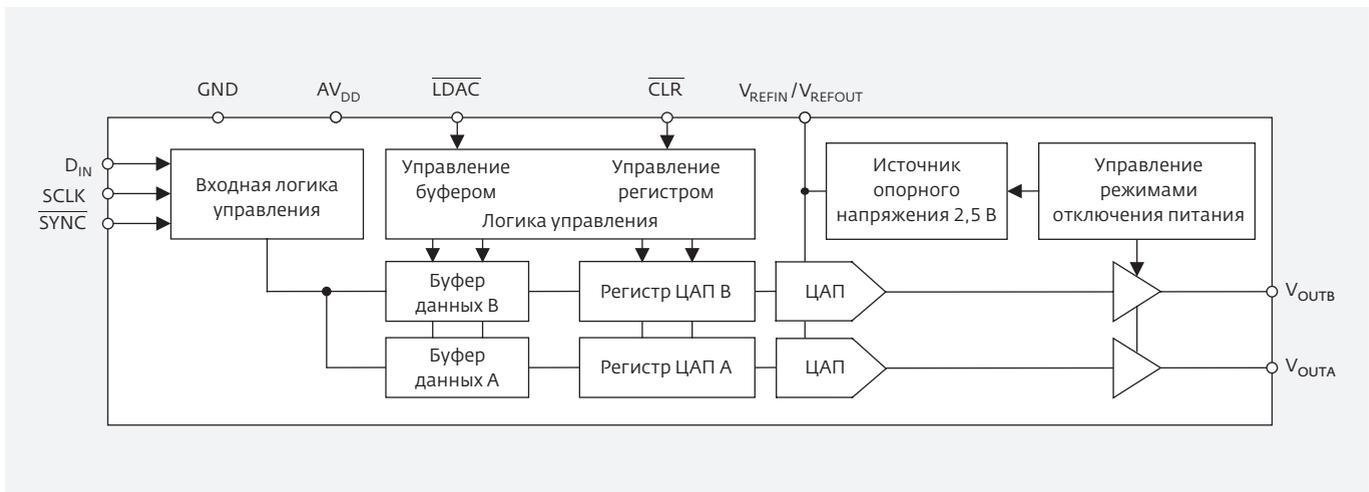


Рис.7. Функциональная схема 2-канальных 16/14/12-разрядных ЦАП DAC8562/DAC8162/DAC7562

В ЦАП DAC5670-S реализована система автоматической подстройки по задержке (delay lock loop – DLL) для оптимизации частоты входного тактового сигнала. Для этого используется опорный бит (reference bit) в составе входной последовательности данных. В состав ЦАП DAC5670-S входит встроенный высокостабильный источник опорного напряжения на ширине запрещенной зоны напряжением 1,2 В и выходной усилитель для контроля выходного тока (рис.6). Микросхемы DAC5670-S поставляются в корпусе типа CBGA (GEM) с шариковыми выводами (192 вывода). ЦАП рассчитан на работу в военном диапазоне температур от  $-55$  до  $125^{\circ}\text{C}$ .

Среди высокоточных и малопотребляющих ЦАП стоит отметить семейство **DAC8562/DAC8162/DAC7562** – двухканальные, соответственно, 16-, 14- и 12-разрядные ЦАП с выходом по напряжению (табл. 3). Эти ЦАП обеспечивают лучшую в своем классе точность и линейность. Интегральная нелинейность этих приборов на 25% выше аналогичных устройств на рынке: для DAC7562 (12 разрядов) типовое значение интегральной нелинейности составляет  $\pm 0,3$  МЗР, для DAC8162 (14 разрядов) –  $\pm 1$  МЗР, а DAC8562 (16 разрядов) –  $\pm 4$  МЗР. Энергия выбросов напряжения на выходе составляет  $0,1$  нВ·с.

Эти микросхемы содержат встроенный источник опорного напряжения на ширине запрещенной зоны номиналом 2,5 В с типовой величиной температурного дрейфа  $4$  ppm/ $^{\circ}\text{C}$  (максимальный дрейф  $10$  ppm/ $^{\circ}\text{C}$ ). Опорный источник имеет точность  $\pm 5$  мВ и обладает нагрузочной способностью до 20 мА, что устраняет потребность во внешнем буфере. Напряжение полной шкалы на выходе этих ЦАП составляет от 2,5 до 5 В.

В устройствах семейства DAC8562/DAC8162/DAC7562 используется универсальный 3-проводный последовательный интерфейс, совместимый со стандартными интерфейсами SPI, QSPI, Microwire и работающий на частоте до 50 МГц. В состав ЦАП входит схема сброса по включению питания, которая обеспечивает нулевой уровень напряжения на выходе при включении питания (рис.7).

Семейство ЦАП DAC8562/DAC8162/DAC7562 обеспечивает самое низкое энергопотребление в отрасли: типовое значение потребляемой мощности составляет всего 4 мВт при напряжении питания 5 В. В микросхемах предусмотрена функция снижения энергопотребления при отключении, которая уменьшает ток потребления до 550 нА при напряжении питания 5 В. Кроме того, эти ЦАП – сверхкомпактные, что делает их подходящими для использования в портативных устройствах, системах с ограниченной мощностью источника питания и ограниченными габаритами, где требуется высокая точность, например, в аналоговых модулях вывода программируемых логических контроллеров, системах сбора данных, системах управления двигателями, прецизионных переносных медицинских приборах, схемах управления усилителями с регулируемым коэффициентом усиления, а также в схемах управления генераторами, управляемыми напряжением.

ЦАП семейства DAC8562/DAC8162/DAC7562 доступны в 10-выводных корпусах типа VSSOP или WSON размером  $3 \times 3$  мм. Семейство DAC8562/DAC8162/DAC7562 разработано для применения в жестких условиях эксплуатации: диапазон рабочих температур составляет от  $-40$  до  $125^{\circ}\text{C}$ , что на  $20^{\circ}\text{C}$  выше по сравнению с решениями ближайших конкурентов. ●