

# ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ RA2A1 В ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

ПО МАТЕРИАЛАМ КОМПАНИИ RENESAS

*Измерительные системы в таких сферах применения как автоматизация зданий, здравоохранение и промышленность играют важную роль в сборе данных с датчиков, обеспечении эффективности эксплуатации и надежности оборудования, подтверждении его безопасной работы. В этой статье рассматривается устройство микроконтроллеров RA2A1, оснащенных гибко настраиваемой аналоговой схемой входного каскада. Эти МК способствуют уменьшению количества монтажных узлов, облегчению проектирования и сокращению времени выхода нового изделия на рынок.*

## ВВЕДЕНИЕ

Датчики, например давления, веса, температуры, расстояния и биодатчики, обычно применяются в медицинских устройствах, промышленных системах и системах автоматизации зданий. Поскольку выходные сигналы большинства датчиков представляют собой чувствительные к помехам слабые аналоговые сигналы, для сбора данных с высокой точностью необходимо надежно регистрировать, усиливать эти сигналы и преобразовывать их в высокоточный цифровой вид, что требует большого опыта и высокой квалификации. С другой стороны, снижение нагрузки на сложные проекты является

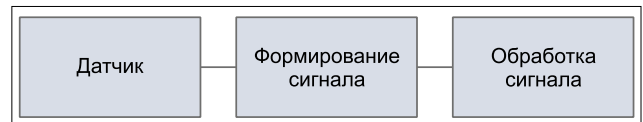


Рис. 1. Базовая конфигурация измерительной системы

одним из основных способов преодоления многих проблем разработки.

В статье описывается, как микрокомпьютер со встроенными высокоточными аналоговыми схемами для измерительных систем позволяет сократить количество внешних узлов

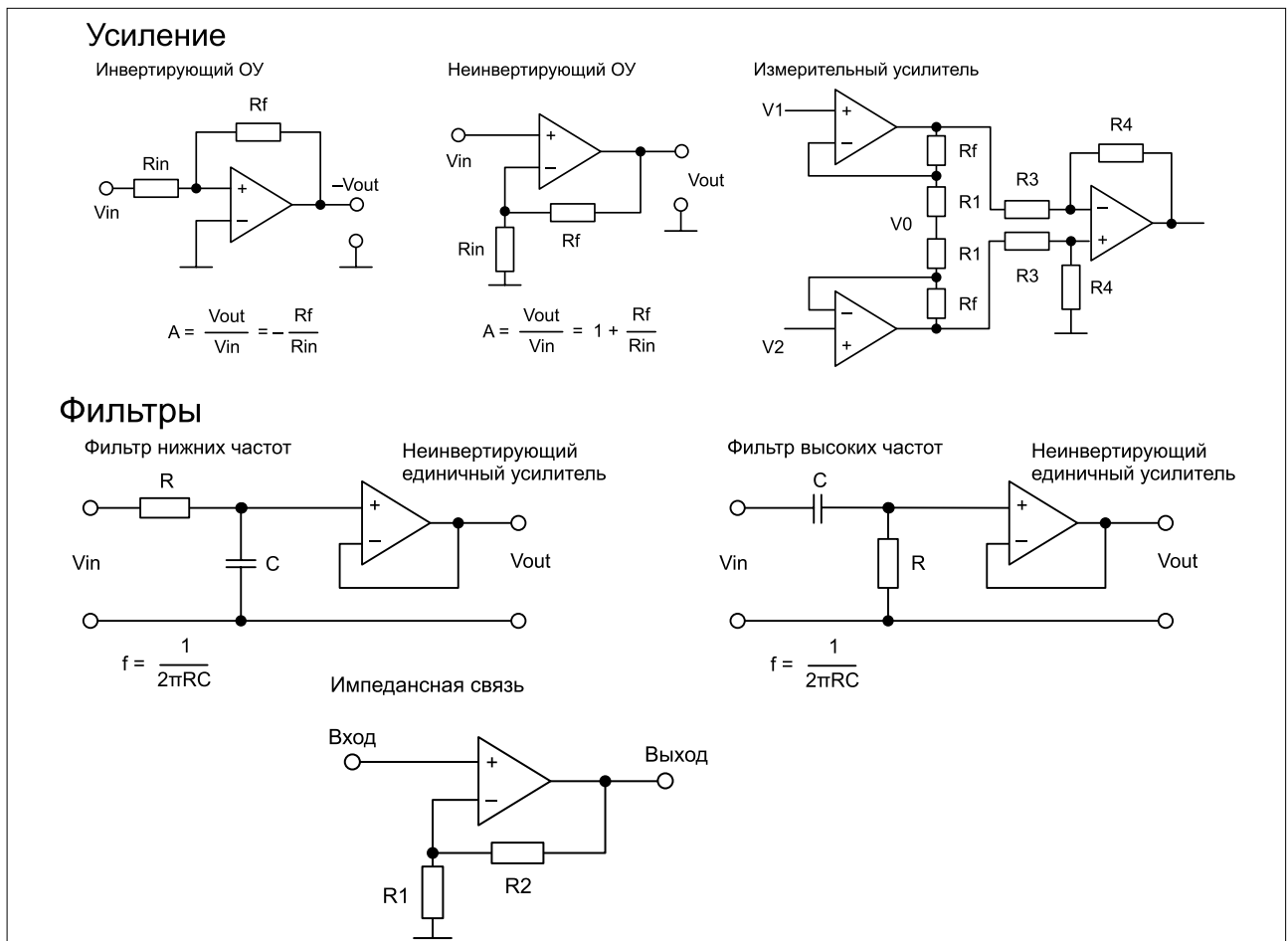


Рис. 2. Пример типичной схемы формирования сигнала

и упростить проектирование за счет высокой степени интеграции и универсальности. Микроконтроллеры RA2A1 оснащены многоцелевой аналоговой функцией с высоким разрешением. Управляя аналоговыми блоками коммутаторов, подключенными к нескольким операционным усилителям (ОУ) микроконтроллера, можно с помощью программного обеспечения и разных схем соединения ОУ построить входные аналоговые схемы, начиная с базовых и заканчивая сложными аналоговыми блоками с минимальным количеством внешних компонентов.

### КОНФИГУРАЦИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Как показано на рисунке 1, в своей базовой конфигурации измерительная система состоит из трех блоков: датчиков, формирования и обработки сигналов. Блок датчика преобразует физические характеристики датчика (например, силу воздействия на него) в электрические сигналы (напряжение,

ток, емкость и т. д.). Блок формирования сигнала преобразует изменение слабого сигнала в уровень напряжения, пригодный для обработки последующим блоком. Блок обработки преобразует аналоговые сигналы в цифровые. Их анализ позволяет решать определенные задачи и выполнять разные операции.

Блок формирования сигнала является очень важным элементом, определяющим преимущества или недостатки измерительной системы. Поскольку из-за невысокого уровня выходные сигналы датчиков очень чувствительны и восприимчивы к помехам, на этапе регулировки требуется тщательная обработка сигнала. Помехи некоторых типов формирует микроконтроллер, или они обусловлены внешними наводками, что искажает выходной сигнал датчика.

Применяемые в блоке формирования сигнала электронные узлы должны тщательно отбираться, поскольку их электрические характеристики могут оказать значительное влияние

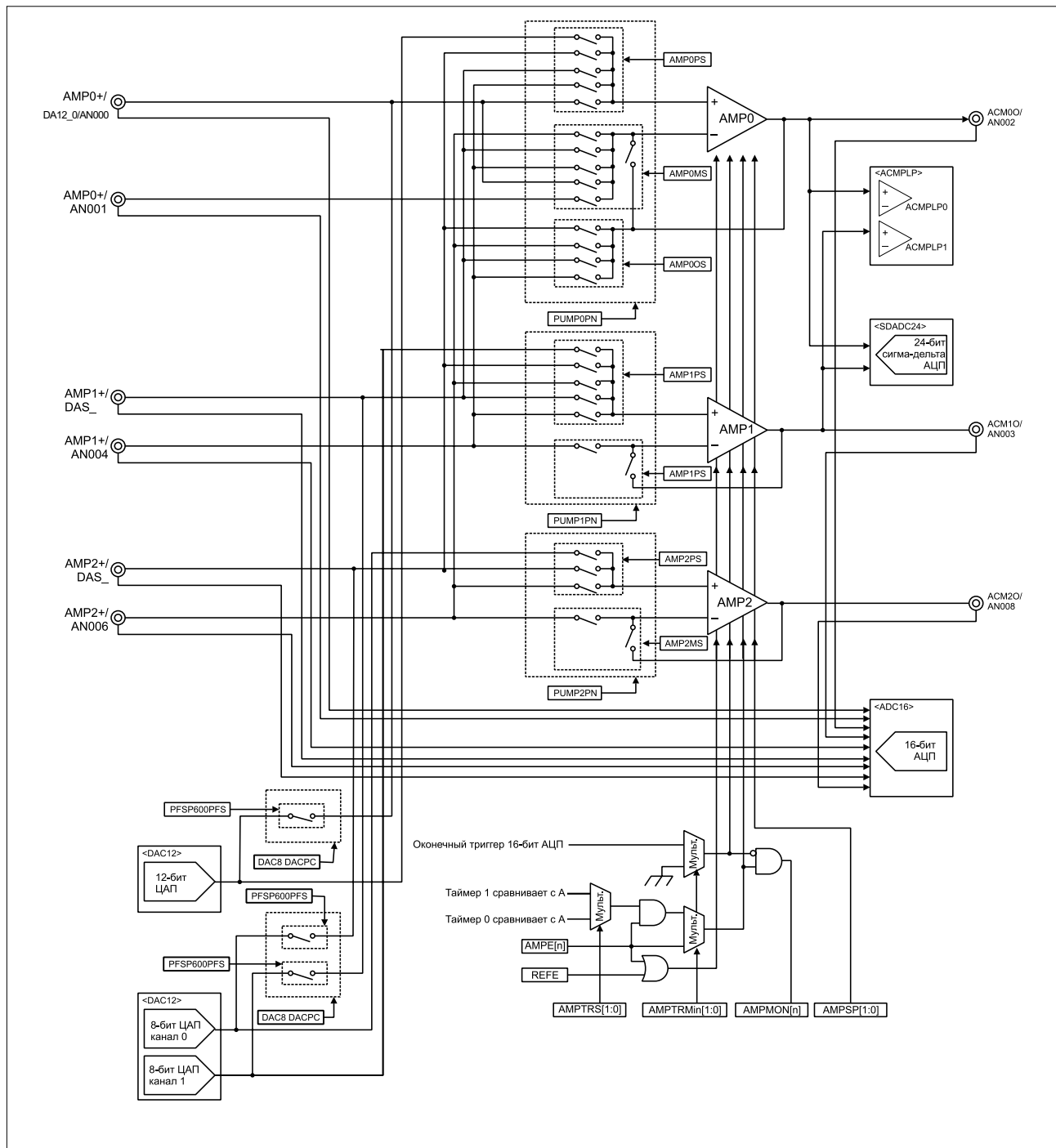


Рис. 3. Схема формирования сигналов с операционным усилителем RA2A1

на качество формирования сигнала. Мы кратко опишем схему формирования сигнала и влияние наиболее важных электрических характеристик электронных компонентов, обычно используемых в подобных схемах.

Блок обработки сигналов представляет собой преобразователь, который обычно состоит из АЦП и схемы линейризации. Точность и разрешающая способность АЦП особенно важны, поскольку они могут оказать значительное влияние на эксплуатационные качества всей измерительной системы. Разрешающая способность определяется как разница (погрешность) между фактическим и измеренным значениями. Слишком большая погрешность может привести к неправильной работе или ошибочной реакции всей измерительной системы. Мы остановимся на наиболее распространенных элементах обработки сигналов и их электрических характеристиках.

Поскольку МК RA2A1 оснащен высокоэффективной аналоговой функцией, которая позволяет конфигурировать приспособляемую и простую в использовании аналоговую схему, блок формирования сигнала и блок обработки сигнала могут быть выполнены в одном кристалле.

### ФОРМИРОВАНИЕ СИГНАЛА

Как правило, выходной сигнал датчика является слабым, поэтому перед цифровой обработкой его необходимо отрегулировать. На рисунке 2 показаны наиболее распространенные схемы формирования сигналов – усиления, фильтрации и импедансной связи.

Обычно в аналоговых модулях микроконтроллеров было очень трудно добиться высокого качества формирования аналоговых сигналов и совместить высокую чувствительность, малое смещение входного сигнала, работу во всем диапазоне напряжения питания и низкую спектральную плотность шума. В результате схема формирования сигнала реализовывалась с использованием внешних дискретных узлов (операционных усилителей). Однако достижения в области технологий и проектирования позволяют встраивать в микроконтроллер эти схемы весьма высокого качества и надежности.

Микроконтроллер RA2A1 содержит три встроенных ОУ. Входные и выходные сигналы каждого из них поступают в аналоговый блок коммутаторов и переключаются программ-

ным способом, что позволяет легко настраивать схемы формирования сигнала с минимальным числом внешних узлов. На рисунке 3 показана конфигурация каждого операционного усилителя и блока аналогового коммутатора.

Функции и режимы работы встроенных ОУ RA2A1 (AMP0~AMP2) позволяют создавать широкий ряд аналоговых схем входного каскада. Кроме того, внутренние соединения, содержащие аналоговые коммутаторы, устраняют необходимость в проводных соединениях для внешних узлов и в сложной разводке печатных плат.

- Из трех операционных усилителей AMP0 и AMP1 могут использоваться в качестве входов для маломощных аналоговых компараторов (ACMPLP) и 24-бит преобразователей сигма-дельта АЦП (SDADC24).
- Имеются следующие режимы работы: с высоким быстродействием (большое потребление тока); со средним быстродействием (среднее потребление тока) и режим малой мощности (малое быстродействие). Исходя из условий эксплуатации, выбирается такой режим, который обеспечивает компромисс между быстродействием (скоростью отклика) и потреблением тока.
- Операцию можно начать, запустив многофункциональный асинхронный таймер (AGT).
- Операцию можно остановить сигналом об окончании преобразования 16-бит АЦП.
- Поддача входного сигнала на ОУ переключается коммутатором. Кроме того, выходной сигнал ОУ AMP0 также можно подавать на вход других ОУ.
- Выходной сигнал операционного усилителя AMP0~AMP2 может поступать с вывода контакта AMP0O на контакт AMP2O, минуя переключатель.
- Контакты вывода/вывода всех ОУ могут использоваться для подачи входных сигналов на 16-бит АЦП (ADC16).
- 8 сигнальных выходов 8-бит ЦАП (DAC8) и 12-бит ЦАП (DAC12) можно использовать в качестве положительных входных сигналов для соответствующих ОУ.
- Схему повторителя напряжения можно конфигурировать путем обратной связи выходного сигнала каждого ОУ в качестве собственного отрицательного входного сигнала. На рисунке 4 показана общая схема формирования сигнала

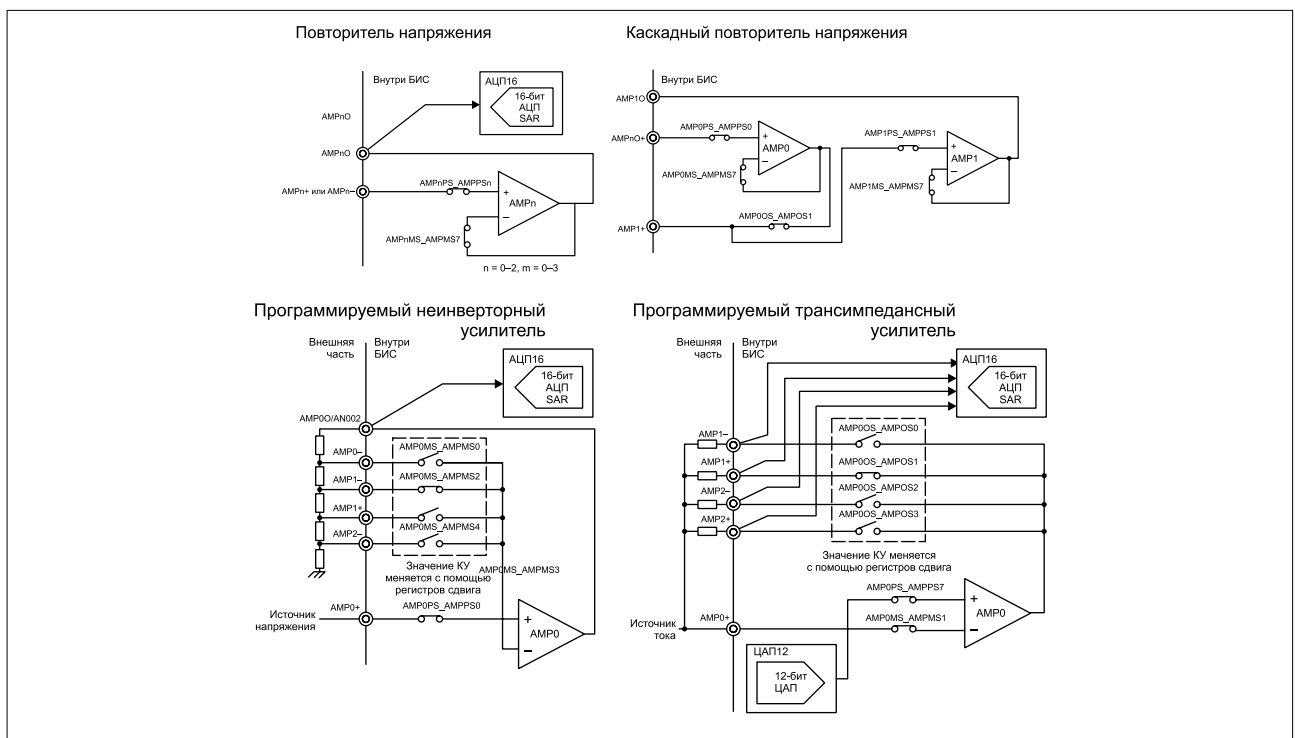


Рис. 4. Реализация схемы формирования сигналов с помощью вывода ОУ RA2A1

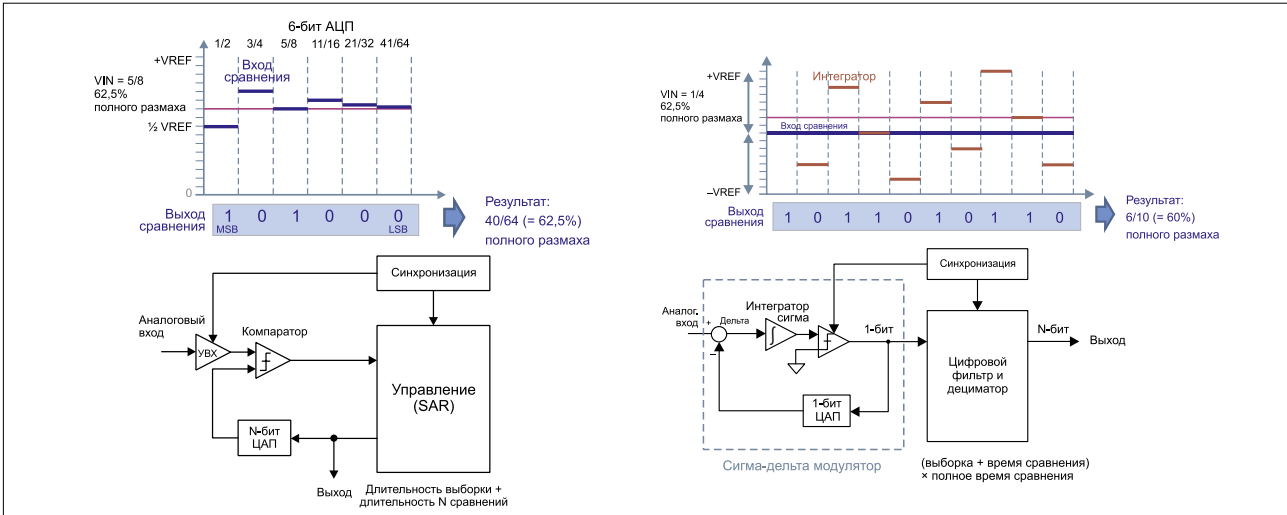


Рис. 5. Основные принципы работы АЦП последовательного приближения и сигма-дельта АЦП

ла. Эти схемы легко регулируются с помощью программного обеспечения путем настройки аналоговых блоков коммутации МК RA2A1.

Другие конфигурации усилителей, например измерительные усилители и буферные цифро-аналоговые усилители, легко реализуются с помощью регулируемых параметров аналогового блока коммутации. Поскольку его можно регулировать и настраивать программным способом, некоторые конфигурации усилителей также реализуются во время работы микроконтроллера. ОУ RA2A1 не только позволяют гибко настраивать конфигурацию усилителей, но и осуществлять требуемую коррекцию.

**ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ**

Одной из основных функций блока обработки сигналов является преобразование внешних аналоговых сигналов в цифровые с помощью АЦП, которые обрабатываются микроконтроллером.

Известны АЦП разных типов: например, АЦП последовательного приближения (SAR) и сигма-дельта преобразователи. Как правило, тип АЦП выбирается в зависимости от нужд приложения. Каждый тип имеет одинаковую основную функцию и преобразует сигнал входного напряжения в соответствующее количество битов. На рисунке 5 поясняется основной принцип работы АЦП последовательного приближения и сигма-дельта АЦП.

**АЦП ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ПРИБЛИЖЕНИЯ**

Технология аналого-цифрового преобразования с последовательным приближением широко применяется в случае 10- или 12-бит АЦП, встроенных в стандартные микроконтроллеры. АЦП последовательного приближения с N-бит разрешением содержит N-бит ЦАП, который сравнивает аналоговый входной сигнал с выходным сигналом ЦАП, начиная с половины уровня аналогового опорного напряжения до тех пор, пока не будет достигнут самый младший разряд. Как правило, общее время преобразования рассчитывается путем добавления времени выборки к времени сравнения. Порядок этого времени обычно составляет несколько микросекунд. Преимущество такого преобразования в том, что оно быстрее описанного ниже с помощью сигма-дельта АЦП. С другой стороны, непросто обеспечить аналого-цифровое преобразование последовательного приближения с высоким разрешением, поскольку разрешающая способность АЦП SAR ограничена разрешающей способностью ЦАП.

**СИГМА-ДЕЛЬТА АЦП**

Сигма-дельта АЦП сначала захватывает аналоговый входной сигнал, использует интегратор для удержания аналого-

вого входного напряжения, а затем сравнивает его с опорным напряжением. Если напряжение на выходе интегратора ниже опорного, сигнал на выходе компаратора соответствует 0, результирующий сигнал принимается, и 1-разрядный ЦАП выводит отрицательную составляющую опорного напряжения. По цепи обратной связи она поступает обратно на аналоговый вход, где производится вычитание. Затем этот аналоговый входной сигнал добавляется к предыдущему значению напряжения, хранящемуся в интеграторе, и вновь сравнивается с опорным. Если уровень аналогового напряжения выше опорного, сигнал на выходе компаратора соответствует 1, а 1-бит ЦАП выводит положительную составляющую опорного напряжения. Затем по цепи обратной связи она вновь поступает на аналоговый ввод, где производится вычитание.

При таком преобразовании используется только 1-бит ЦАП для обеспечения разрешающей способности и хорошей линейности. С другой стороны, для этого преобразования, как правило, требуется больше времени, чем для аналого-цифрового преобразования последовательного приближения, поскольку для обеспечения высокого разрешения и малого шума необходимо больше выборок или передискретизация.

**16-БИТ АЦП ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ПРИБЛИЖЕНИЯ RA2A1**

RA2A1 содержит 16-бит АЦП последовательного приближения (ADC16). На рисунке 6 приведена структурная схема ADC16, а в таблице 1 – краткие технические характеристики.

В составе блока АЦП16 – до 17 несимметричных входов или до 4 дифференциальных входов. Микроконтроллер способен генерировать опорные напряжения. Величину этого напряжения можно выбрать равной 1,5; 2 и 2,5 В. Опорные напряжения в микроконтроллере выбираются в широком диапазоне значений, благодаря чему исключается необходимость во внешней схеме формирования этого напряжения. В состав RA2A1 также входит ОУ, который соединяется с аналоговыми коммутаторами, позволяя настроить гибкую схему формирования сигналов внутри МК. Благодаря этому исключается необходимость в использовании внешней электропроводки, которая может нарушить целостность сигнала. Кроме того, сокращается количество внешних узлов, и упрощается топология печатных плат.

**24-БИТ СИГМА-ДЕЛЬТА АЦП RA2A1**

RA2A1 содержит до 10 несимметричных входов или 24-бит сигма-дельта АЦП, поддерживающий до 5 дифференциальных входов. Величину внутреннего опорного напряжения можно выбрать в интервале 0,8–2,4 В с шагом 0,2 В, что обеспечивает приспособляемость к разным условиям эксплуатации. Кроме

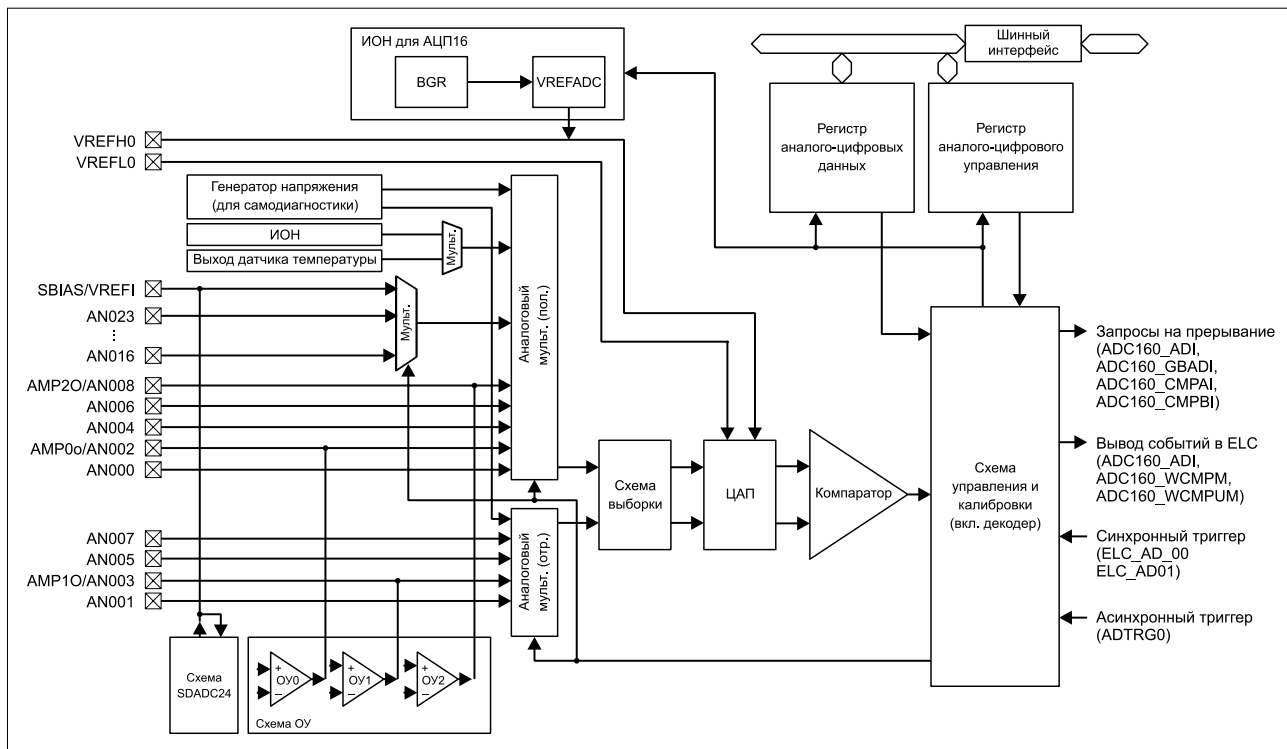


Рис. 6. Структурная схема 16-бит АЦП последовательного приближения RA2A1

того, тактовые импульсы АЦП генерируется периферийным источником микроконтроллера, благодаря чему исключается потребность во внешнем тактовом генераторе и снижаются затраты при одновременном повышении надежности системы. Как правило, интегральной схеме дискретного сигма-дельта АЦП требуется внешняя высокоточная схема опорного напряжения и внешний тактовый генератор. Эти внешние узлы усложняют схемы и увеличивают затраты на ее проектирование, однако в состав МК RA2A1 входят ИОН и источники тактовых импульсов, что упрощает конструкцию схемы и снижает затраты.

Изделиям с ограниченным энергоснабжением, например устройствам с питанием от батареек, необходима малая потребляемая мощность. Встроенный в микроконтроллер RA2A1 сигма-дельта АЦП может работать и в режиме малой мощности преобразования, используя опорные тактовые импульсы с частотой следования в диапазоне 125–500 кГц. Поскольку питание тактового генератора может осуществляться с помощью делителя в микроконтроллере, нет необходимости подавать на его вход внешние низкочастотные тактовые импульсы, благодаря чему обеспечивается более гибкая и компактная конструкция схемы.

На рисунке 7 показана структурная схема сигма-дельта АЦП RA2A1, а в таблице 2 приводятся краткие технические характеристики.

Таблица 1\*. Основные характеристики АЦП последовательного приближения RA2A1

Наименование	Эталонное значение	Ед. изм.
Разрешающая способность	16	бит
Интегральная ошибка нелинейности	±4	наименьший значащий бит (LSB)
Дифференциальная ошибка нелинейности	-1...2	наименьший значащий бит
Эффективное число двоичных разрядов	13,2	бит
Время преобразования	0,82	мкс (на канал)

\* Уточненные данные см. в руководстве пользователя.

Кроме рассмотренных выше аналоговых функций, микроконтроллеры RA2A1 также содержат коммуникационные интерфейсы, например USB и CAN, и оснащены такими периферийными средствами, как, например, функцией обеспечения безопасности и высокочувствительными сенсорными датчиками с высокой помехоустойчивостью. Комбинируя эти функции с аналоговыми, можно повысить безопасность приложения, добавив, например, измерительные IoT-устройства, возможность обновления встроенного программного обеспечения, интуитивно понятный человеко-машинный интерфейс для построения системы измерений с высокой добавленной стоимостью.

### Выводы

Достижения в области технологий производства и проектирования позволяют интегрировать те аналоговые функции в микроконтроллеры, которые прежде можно было реализовать только с помощью внешних схем с отдельными компонентами. Микроконтроллеры RA2A1 представляют собой высокоинтегрированные устройства со встроенными многофункциональными прецизионными аналоговыми модулями, к которым относятся операционные усилители, 16-бит АЦП последовательного приближения и 24-бит

Таблица 2\*. Основные характеристики сигма-дельта АЦП RA2A1

Наименование	Эталонное значение	Ед. изм.
Разрешающая способность	24	бит
Частота дискретизации	1 (норм. режим)	МГц
Скорость передачи выходных данных	0,48828–15,625	Квыб/с
Погрешность усиления	-0,5...0,5	%
Дрейф усиления	6	ppm/°C
Погрешность смещения	-1...1	мВ
Уход напряжения смещения	2	мкК/°C

\* Уточненные данные см. в руководстве пользователя.

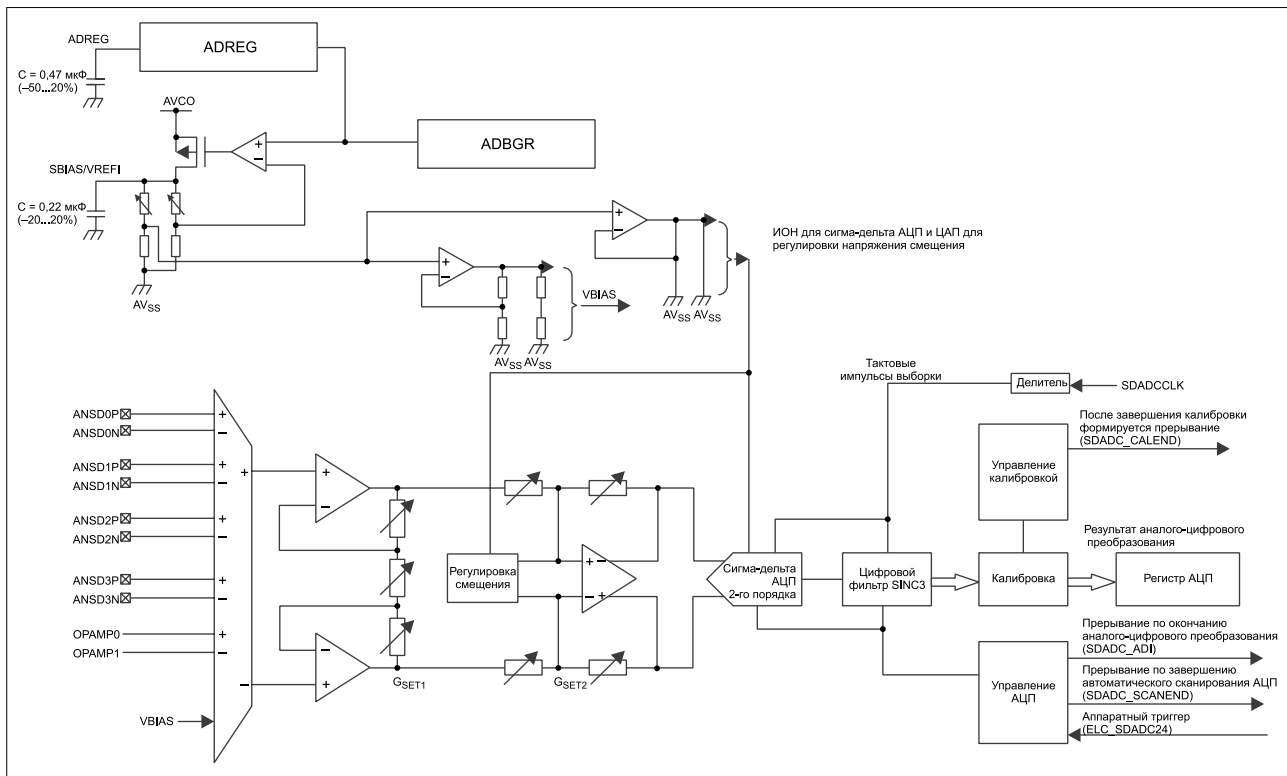


Рис. 7. Структурная схема 24-бит сигма-дальта АЦП в микроконтроллере RA2A1

сигма-дальта АЦП. Благодаря такой интеграции можно отказаться от ряда внешних компонентов для упрощения конструкции, что повышает эффек-

тивность разработки измерительных систем. Интеграция многофункционального высокоточного аналогового модуля в микроконтроллер позволяет

создать совершенно новое приложение, сочетающее в себе аналоговые и цифровые устройства, динамически управляемые пользователем. ▬

## RA6M5 – 32-битные микроконтроллеры Arm® Cortex®-M33 200 МГц с TrustZone®

RA6M5 построен на основе 40-нанометрового процесса и поддерживается гибким программным пакетом (FSP), построенным на FreeRTOS, может быть расширен для использования других ОС реального времени и промежуточного программного обеспечения.

**Области применения:** приложения проводной сети Ethernet/ системы безопасности/ контрольно-измерительные приборы/ автоматизация промышленности/ HVAC.

- 200 МГц Arm® Cortex®-M33 с TrustZone®.
- 1-2МБ flash-памяти и 448 КБ SRAM с контролем четности и 64 КБ SRAM с ECC.
- Dual-bank-Flash с фоновой работой и функцией замены блоков.
- Flash-память объемом 8 КБ для хранения данных (EEPROM).
- Масштабируемость от 100-выводных до 176-выводных корпусов.
- Контроллер Ethernet с DMA.
- Емкостный сенсорный датчик.
- Full Speed и High-Speed USB 2.0.
- CAN FD (опция CAN 2.0B).
- QuadSPI и OctaSPI.
- SCI (UART, простой SPI, простой I<sup>2</sup>C).
- SDHI, MMC, HDMI-CEC.

### Отладочный комплект EK-RA6M5 (P/N: RTK7EKA6M5S00001BE):

- Встроенный отладчик.
- Дизайн-пакет EK-RA6M5.

**Наименования МК серии RA6M5:**  
R7FA6M5AH2CBG, R7FA6M5BH3CFP



RENESAS

Сканти

Официальный дистрибьютор: [www.scanti.ru](http://www.scanti.ru)  
Заказ тестовых образцов/отладочных плат: [renesas@scanti.ru](mailto:renesas@scanti.ru)