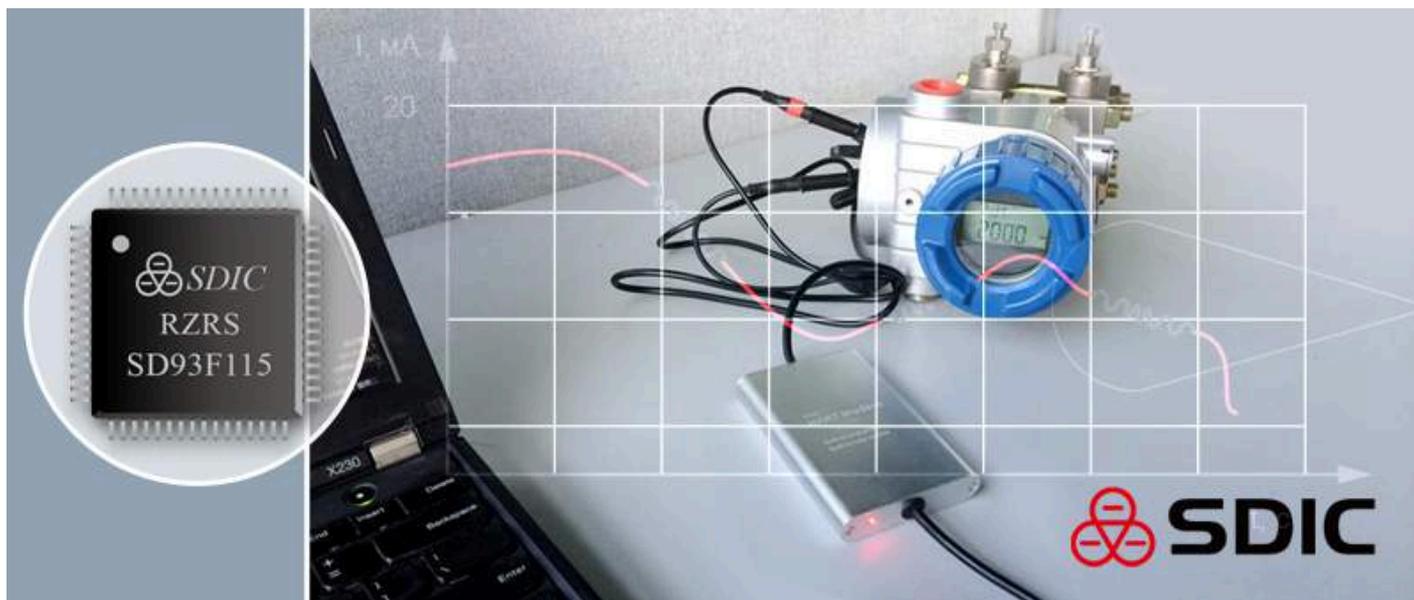


Решения SDIC для токовой петли 4...20 мА

25 мая 2023



учёт ресурсов | автоматизация | лабораторные приборы | SDIC | статья | интегральные микросхемы | 4-20 мА | HART | ЦАП |
токовая петля | current loop

Константин Кузьминов (г. Заполярный)

Развитие стандарта HART позволяет модернизировать существующие системы и создавать новые – надежные, простые и имеющие расширяемый функционал. Компания SDIC предлагает HART-модемы SD2015, SD2017, SD2057, SD2085 и их обновленные версии SD2015B, SD2017B, а также токовый ЦАП SD2421 для преобразования цифровых данных в аналоговый сигнал интерфейса токовой петли.

Компания **Hangzhou SDIC Microelectronics Inc. (SDIC)**, основанная в 2005 году в городе Ханчжоу (КНР), является разработчиком интегральных схем (ИС) и размещает их производство на сторонних фабриках. Основная техническая команда имеет опыт работы в аналогичных компаниях США. Непосредственно над разработкой и проектированием микросхем на данный момент трудятся 65% коллектива. Многолетний технический опыт, принесящий компании несколько патентов, в том числе и в смежных областях, и развитие бизнеса сделали SDIC одной из ведущих компаний Китая по разработке и производству высококачественных ИС для смешанных (аналоговых и цифровых) сигналов. Продукция включает в себя решения для медицины, промышленного оборудования, систем контроля и измерений, приборостроения, в том числе:

- HART-модемы и токовые ЦАП для интерфейса «токовая петля» 4...20 мА;
- 8- и 32-разрядные микроконтроллеры с высокоточными АЦП;
- специализированные ИС для метрологии;
- интегральные цифровые термодатчики.

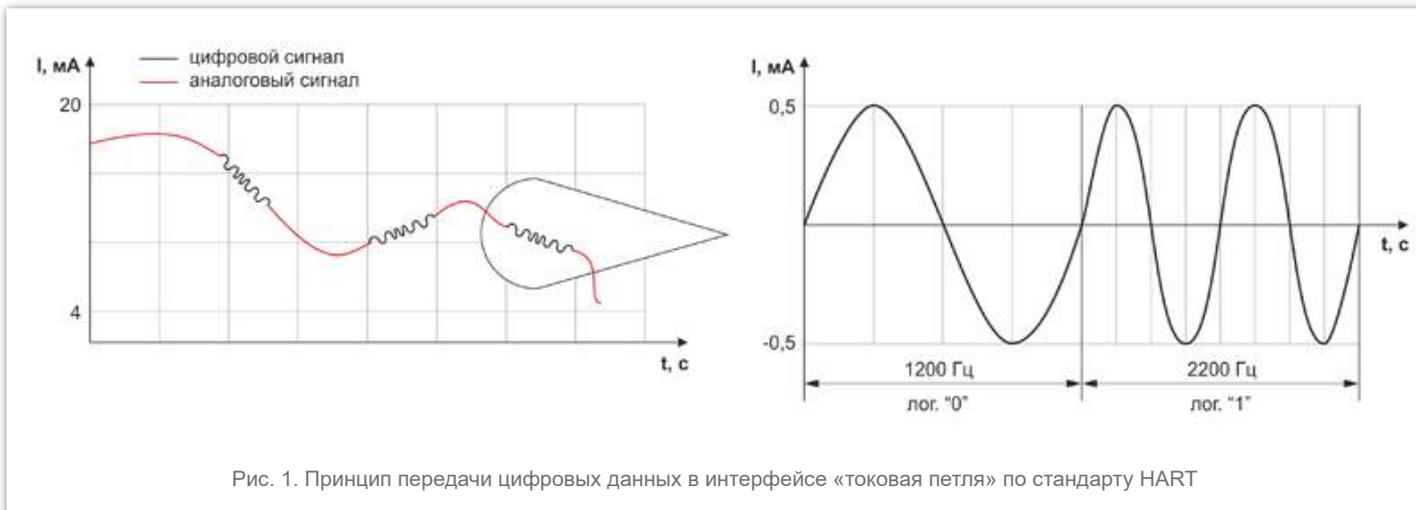
Надежность, качество и востребованность продукции обеспечивают компании продажи более 100 млн микросхем ежегодно. SDIC стал первым массовым производителем HART-модемов и токовых ЦАП для приложений с интерфейсом «токовая петля».

Токовая петля представляет собой систему из передатчика, источника тока, проводного контура в виде петли и приемника. Передатчик, получив информацию от какого-либо сенсора, преобразует ее или в аналоговый сигнал, представляющий собой изменения тока в петле в диапазоне 4...20 мА, или в цифровой, используя границы диапазона тока в качестве логических «0» (4 мА) и «1» (20 мА). Изменение именно тока, а не напряжения позволяет использовать интерфейс в условиях сильных электромагнитных помех и на значительном расстоянии между передатчиком и приемником. При этом передатчику не требуется информация

о сопротивлении линии для поддержания необходимого значения тока, а в случае ее обрыва и передатчик, и приемник это легко обнаруживают. Помимо помехоустойчивости и возможности самодиагностики, этот интерфейс обладает и другими достоинствами:

- высокой надежностью;
- возможностью питания маломощных устройств от линии;
- экономичностью;
- легкостью обслуживания.

С развитием электронных приложений возможностей токовой петли стало недостаточно. Объемы передаваемой информации возросли, потребовалась стандартизация обмена данными между оборудованием различных производителей. В ответ на эти требования появился стандарт HART (*Highway Addressable Remote Transducer*), физический принцип которого схематично изображен на рисунке 1.



Стандарт HART определяет полудуплексный обмен цифровыми данными в токовой петле посредством наложения на аналоговый сигнал цифрового, кодируемого частотной манипуляцией с непрерывной фазой амплитудой $\pm 0,5$ мА, для логических сигналов «0» и «1» используется модуляция частотой 1200 и 2200 Гц, соответственно. Использование фильтров на стороне приемника позволяет разделить цифровой и аналоговый сигналы и исключить влияние частотной модуляции на основной аналоговый сигнал 4...20 мА. Скорость передачи цифровых данных составляет 1200 бит/с, происходит обмен несколькими полями, перечисленными в таблице 1. Формат передачи одного байта изображен на рисунке 2.



Таблица 1. Формат сообщения протокола HART

Обозначение	Наименование	Размер, байт	Назначение
PA	Преамбула	5...20	Синхронизация приемника.
SD	Признак старта	1	Тип сообщения: ведущий ведомому, ведомый ведущему или пакет от ведомого; формат адреса: короткий или длинный; количество байт в поле EXP (для HART rev. 6).
AD	Адрес	1 или 5	Адрес ведущего размером в один бит: 1 – первый ведущий, 0 – второй; адрес ведомого: 4 бита в коротком формате адреса, 38

			бит – в длинном; признак состояния ведомого в пакетном режиме (1 бит).
EXP	Расширение	0...3	Только для HART версии 6 и выше.
CD	Команда	1	Команды для ведомого, подразделяющиеся на: универсальные, выполняемые всеми HART-устройствами; стандартные (для большинства устройств); специфичные (для конкретных устройств).
BC	Размер данных	1	Количество байтов полей ST и DT.
ST	Статус	0 (ведущий), 2 (ведомый)	Только для ведомого. Информация об ошибках связи, статусе принятой команды и статусе самого устройства.
DT	Данные	0...25	Данные. Размер поля ограничивается лишь первыми спецификациями протокола и фактически может быть до 255 байт (ограничение размером поля BC). Начиная с версии 6, первые два байта этого поля отводятся под расширенную систему команд (продолжение поля CD).
CHK	Контрольная сумма	1	Обнаружение ошибок.

Наличие адреса позволяет работать с несколькими датчиками в одной токовой петле, что значительно снижает стоимость эксплуатации, поскольку прокладывать новых линий связи не требуется. В сообщении присутствует информация о производителе электронного устройства, что дополнительно упрощает работу при монтаже и обслуживании.

Компания SDIC является производителем HART-модемов и токовых ЦАП. Первый HART-модем **SD2015** был выпущен в 2008 году, а в 2015 году появились сразу три модели: **SD2017**, **SD2057** и **SD2085**. Через три года они прошли обновление. В настоящее время **SD2015B** снимается с производства, вместо него предлагается аналогичная модель **SD2017B** в корпусе LQFP-32. Замена не требует никаких изменений в проекте печатной платы, некоторые компоненты не устанавливаются (R5, R6, R7, R8, C4 и Z1), а у некоторых изменяются значения и тип (рисунок 3):

- R1, R10 и C3 заменяются на перемычки 0 Ом;
- конденсатор C2 заменяется на резистор 200 кОм;
- резисторы R4 и R9 заменяются на конденсаторы 180 пФ и 1 мкФ, соответственно;
- значения резисторов R2 и R3 изменяются на 1,2 МОм (ранее были 3 МОм и 787 кОм);
- значение конденсатора C1 изменяется на 300 пФ (было 1000 пФ).

Основные отличия характеристик этих модемов показаны в таблице 2.

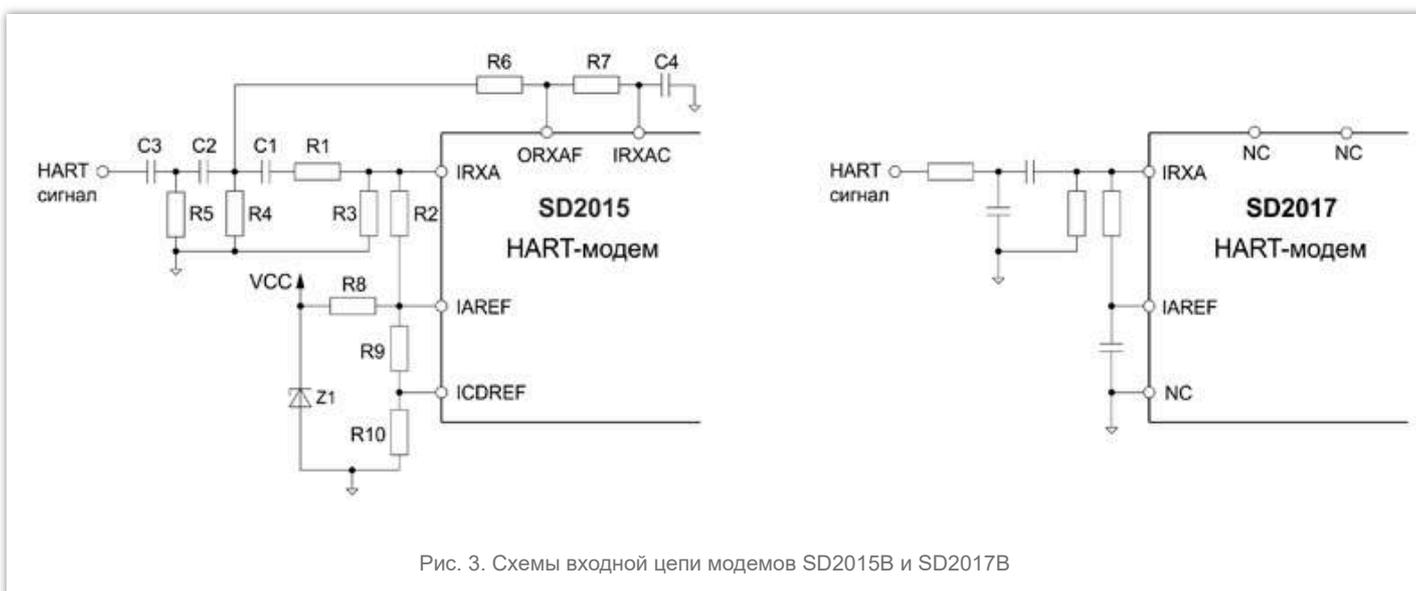
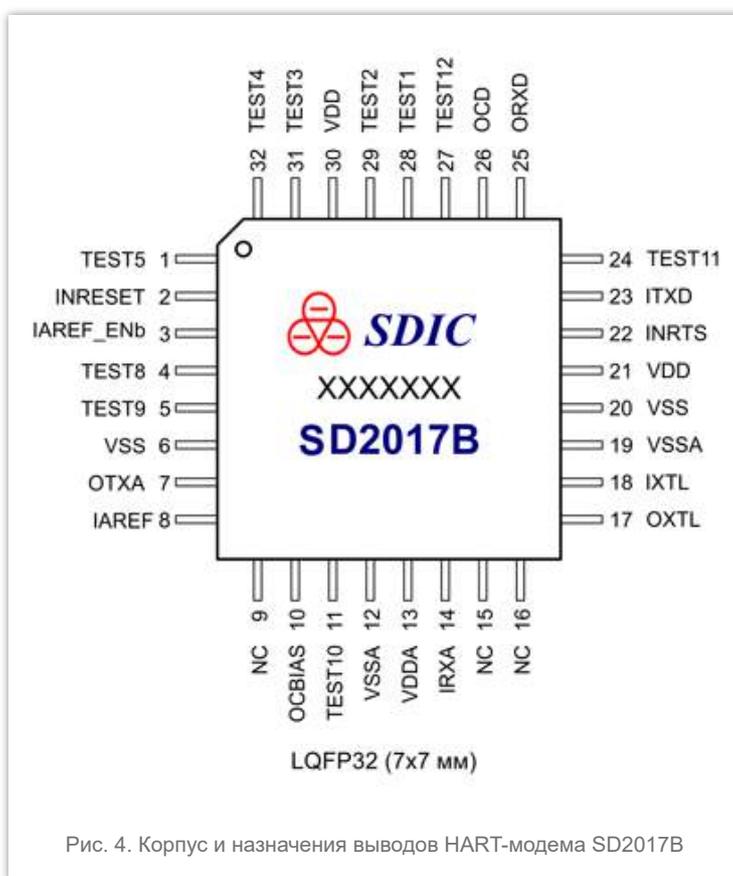


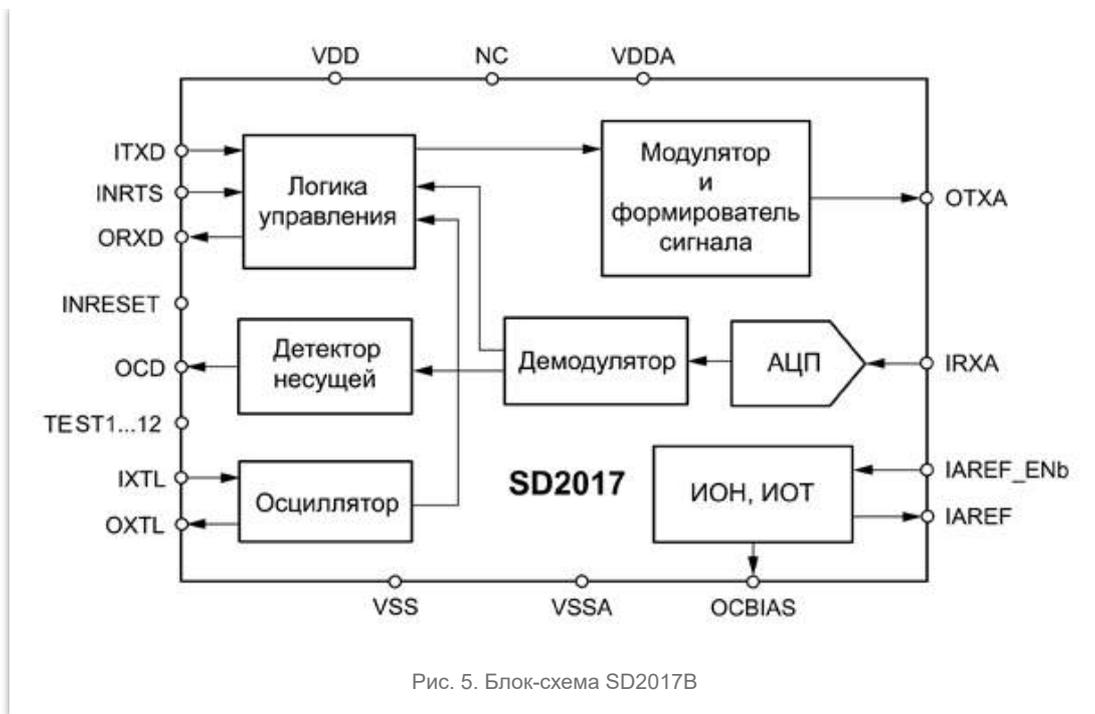
Таблица 2. Основные отличия HART-модемов SD2015B и SD2017B

Параметр	SD2015B	SD2017B
Диапазон напряжений питания, В DC	3,0...5,5	2,7...5,5
Частота, МГц	0,4608	3,6864
Диапазон рабочих температур, °C	-40...85	-55...125

HART-модемы SD2017, SD2057 и SD2085 имеют различный форм-фактор корпусов и функционал. Интегральная схема SD2017B выполнена в корпусе LQFP-32 (рисунок 4) и, за исключением вышеуказанных особенностей замены SD2015B, является полностью совместимым аналогом **HT2015** и **A5191HRT** производства других компаний: **Smar Research**, **SPRING Technology** и **ON Semiconductor**. Несмотря на большее количество, некоторые выводы не используются, например, три вывода NC (это отличает SD2017B от SD2015B). При разработке требуется обязательное подсоединение к минусу питания цифровой части (VSS) лишь трех из них: TEST5, TEST8 и TEST9. Остальные могут оставаться неподключенными либо также присоединиться к VSS.

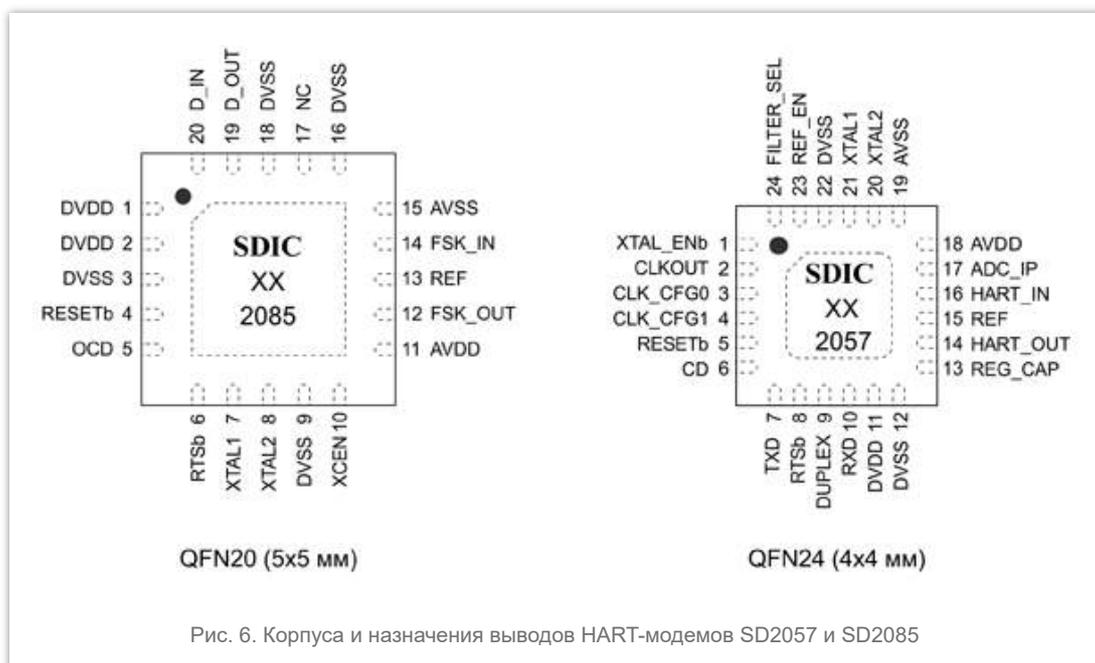


Блок-схема SD2017B показана на рисунке 5. ИС имеет два вывода IXTL и OXTL для подключения внешнего источника частоты, например, кварцевого резонатора, цифровые линии INRESET (сброс цифровой части), ITXD, ORXD, INRTS для подключения к последовательному интерфейсу (UART) и OCD – сигнал наличия несущей частоты, высокий уровень которого означает появление валидных данных в приемном буфере.



Аналоговая часть состоит из выхода модулятора для управления каскадом подключения к токовой петле и входа приемника, подключаемого ко внешним фильтрам. В SD2017B есть источник опорного напряжения 1,5 В, включаемый низким уровнем на выводе IAREF_ENb. В случае отключения встроенного ИОН вывод IAREF должен быть подключен ко внешнему ИОН 2,5 В. Встроенный источник опорного тока имеет выход OCBIAS для подключения резистора.

ИС SD2057 и SD2085 выполнены в корпусах QFP различного размера и с разным числом выводов (рисунок 6).



Функциональность также различается, что легко заметить на блок-схеме, показанной на рисунке 7: SD2057 имеет конфигурируемый выход генератора частоты CLKOUT (3,6864, 1,8432 и 1,2288 МГц или неактивен), режим полнодуплексной работы, управление встроенным ИОН и встроенный полосовой фильтр (BPF) для входного сигнала.

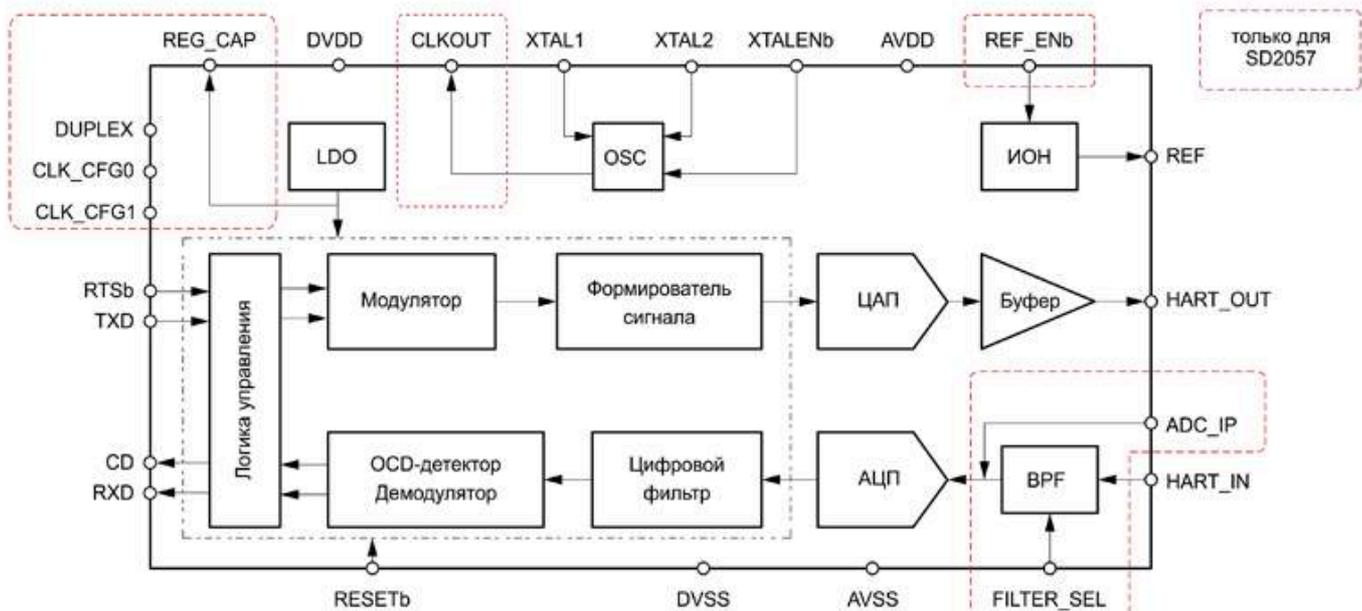


Рис. 7. Блок-схема SD2057 и SD2085

Встроенный фильтр SD2057 можно отключить при помощи низкого уровня сигнала на входе FILTER_SEL, в этом случае входной сигнал HART должен быть подан на вход ADC_IP. Полнодуплексный режим включается высоким уровнем сигнала на входе DUPLEX. Фактической полнодуплексной передачи не происходит, это всего лишь заставляет передатчик и приемник SD2057 работать одновременно. Такой режим позволяет отследить прохождение сигнала, получив диагностику состояния линии.

Основной функционал и методы включения HART-модемов SD2017, SD2057 и SD2085 практически идентичны, несмотря на то, что производитель использует в спецификациях различные наименования сигналов и изображения блок-схем. Различия в некоторых характеристиках приведены в таблице 3, данные указаны при напряжении питания 3,3 В и работе в диапазоне температур -55...85°C.

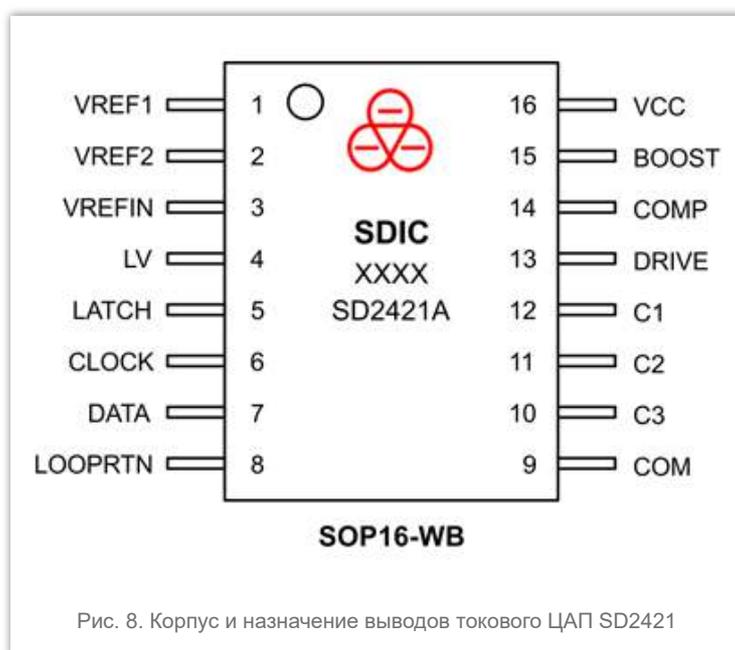
Таблица 3. Характеристики HART-модемов SD2017, SD2057 и SD2085 производства SDIC

Параметр	SD2017B	SD2057	SD2085
Диапазон напряжений питания, В DC		2,7...5,5	2,7...3,6
Номинальный ток потребления с кварцевым резонатором, мкА			
В режиме передачи	112	56	95
В режиме приема	150	93	125
Максимальное сопротивление нагрузки выхода, Ом		160	
Номинальный ток потребления от внешнего ИОН, мкА			
В режиме передачи	–	2,7	–
В режиме приема	–	3, 4	–
Внешняя частота (кварцевый резонатор или иной источник), МГц		3,6864	
Диапазон входных напряжений на входе приемника, В	0...1,5	0...1,5; 0...REF	0...1,5
Максимальный входной ток цифровых сигналов, мкА		±0,1	
Возможность использования внешнего ИОН		Да	Нет
Выход частоты, МГц	Нет	3,6864; 1,8432; 1,2288	Нет

Возможность отключения внутренней схемы генератора частоты	Нет	Да	
Встроенный полосовой фильтр	Нет	Да	Нет
Скорость передачи данных, бит/с	1200		
ESD, кВ	4		
Диапазон рабочих температур, °С	-55...125		
Корпус	LQFP-32 (7×7 мм)	QFN24 (4×4 мм)	QFN20 (5×5 мм)

Использование HART-модемов не обязательно должно иметь аналоговый сигнал. Они могут работать самостоятельно, с добавлением каскада управления источником тока в петле. При работе совместно с аналоговым сигналом возникает вопрос интеграции с токовым ЦАП. В случае ЦАП [SD2421](#) применение очень простое: достаточно подсоединить выход модема через разделительный конденсатор на один из входов ЦАП (как это будет показано далее на рисунке 10).

Токовый ЦАП SD2421 производства компании SDIC выполнен в широком корпусе SOP-16 (рисунок 8), имеет разрядность 16 бит и предназначен для преобразования цифровых данных в аналоговый сигнал интерфейса.



На рисунке 9 показана блок-схема SD2421. ИС содержит последовательный вход для цифровых данных, источники опорных напряжений и тока, сигма-дельта-ЦАП, резистивную цепь для построения RC-фильтра или подключения внешнего модулятора сигнала. Усилитель тока и регулятор напряжения обеспечивают управление аналоговым сигналом в токовой петле и питание от него ИС или всего устройства.

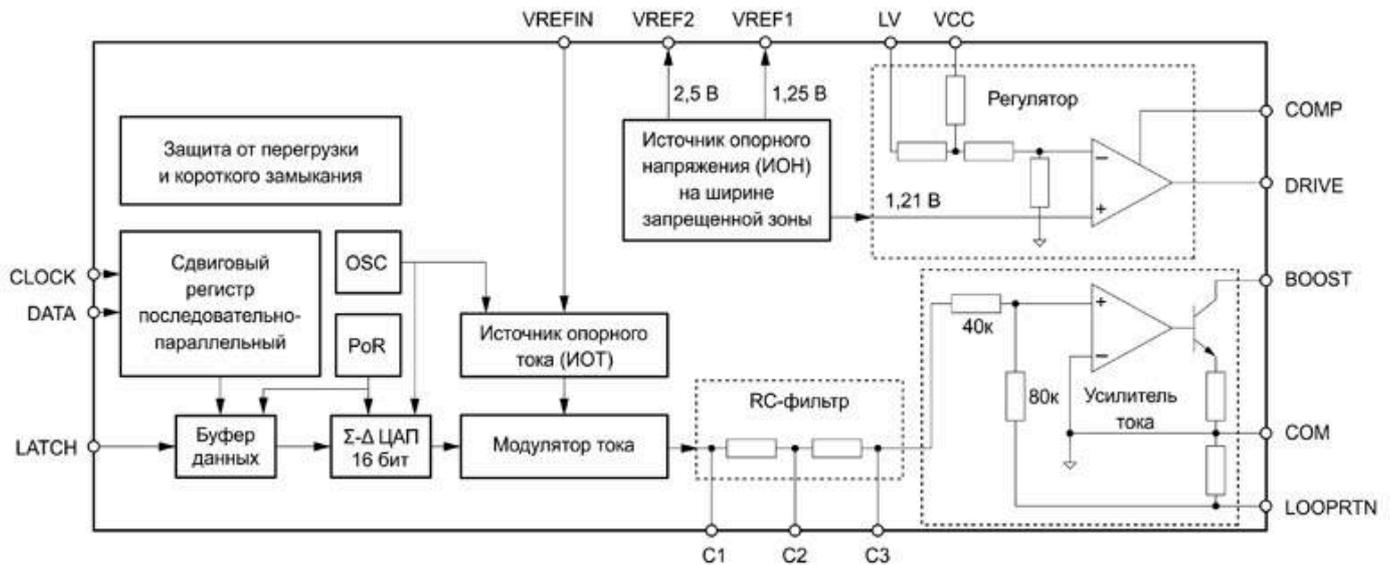


Рис. 9. Блок-схема SD2421

ЦАП имеет максимальную интегральную нелинейность $\pm 0,01\%$. Погрешность при токе 20 мА составляет $\pm 0,1\%$, при 4 мА – $\pm 0,02\%$. Погрешность, вносимая HART-модемами в аналоговый сигнал, значительно меньше (около 0,01%), что свидетельствует о минимальном искажении аналоговых данных при использовании цифрового обмена по стандарту HART.

Основные характеристики ЦАП SD2421:

- диапазон напряжений питания 2,98...5,05 В DC;
- номинальное напряжение питания 3/3,3/5 В DC;
- номинальный ток потребления при напряжении питания 3,0 В – 400 мкА;
- скорость последовательного интерфейса 3 Мбит/с;
- максимальный входной ток цифровых сигналов $\pm 0,5$ мкА;
- минимальный выходной ток при ИОН 2,5 В – 0,5 мА;
- минимальный выходной ток при ИОН 1,25 В – 0,5 мА;
- разрешение/монотонность ЦАП 16/16 бит;
- номинальная интегральная нелинейность ЦАП 0,004 %;
- номинальный температурный дрейф ЦАП ± 10 ppm/°C;
- ESD 3,5 кВ;
- диапазон рабочих температур -40...85°C.

Типовая схема построения системы передачи данных от датчиков и микроконтроллера при помощи ЦАП SD2421 показана на рисунке 10. Наличие HART-модема для передачи только аналогового сигнала не является обязательным, он показан лишь как возможность удобной аппаратной интеграции HART с аналоговым обменом данными. В случае его отсутствия значения емкостей конденсаторов на входах C2 и C3 рекомендуется изменить на 10 нФ и 3,3 нФ, соответственно.

