

# Сенсорные устройства Texas Instruments для широкого спектра задач измерения

Светлана СЫСОЕВА

**В статье представлен развернутый обзор различных типов датчиков и других сенсорных устройств производства компании Texas Instruments. Основной акцент сделан на новых продуктах и целевых рынках для них.**

## Введение

Компания Texas Instruments (TI) — глобальный производитель электронных компонентов с 85-летней историей. В течение полувека фирма является лидером в производстве датчиков самого различного назначения. Они широко известны во всем мире и активно используются в самых различных отраслях науки и техники. Имеющийся технологический и конструкторский опыт позволяет TI производить изделия, надежность которых подтверждается десятками лет безотказной работы. При этом ведется непрерывное совершенствование конструкций датчиков с целью увеличения срока службы, расширения номенклатуры и улучшения технических характеристик этих изделий.

На данный момент линейка датчиков TI значительно расширена, в ней представлены как обычные датчики температуры, так и, например, инфракрасные (ИК) MEMS-датчики, интегрированные датчики влажности и температуры, датчики Холла, цифровые преобразователи емкости и индуктивности, фронтенд датчиков газа, ИК MEMS DLP чипы для контроля освещенности и широкий ряд других микросхем.

Компания TI позиционирует себя в качестве пионера в области инновационных сенсорных технологий, поддерживаемых следующими продуктами:

- емкостные преобразователи;
- индуктивные преобразователи;
- фронтенды датчиков газа/химических датчиков;
- датчики Холла;
- ИС для мониторинга тока и измерения мощности;
- датчики температуры;
- датчики влажности;
- оптические устройства/датчики освещенности;
- преобразователи давления;
- ультразвуковые фронтенды и преобразователи.

Целевыми областями применения устройств являются промышленность, автомобилестроение, персональная электроника, телекоммуникации, медтехника и др. Рекомендованные области применения типичны для конкретной сенсорной технологии. Так, в частности, емкостные преобразователи используются далеко за пределами традиционных сенсорных панелей, а именно — для распознавания жестов, приближения, определения уровня и свойств материалов. Индуктивные преобразователи детектируют движение, положение и состав металла, растяжение или сжатие пружин в условиях, где возможно присутствие масла, воды или иных загрязнений. Ультразвуковые технологии традиционно используются в расходомерах, датчиках дальности, уровня, а также для определения концентрации и состава жидких и газовых сред. Датчики Холла функционируют как датчики магнитного поля и детекторы приближения/движения/положения. Датчики освещенности и датчики влажности — неотъемлемые атрибуты современных автоматизированных зданий, где данные устройства выполняют функции контроля потребления энергии или защиты. Рассмотрим некоторые продукты подробно.

## Емкостные преобразователи

Емкостные сенсорные продукты TI представляют собой преобразователи «емкость – цифровой код» (capacitance-to-digital converter, CDC), работающие в паре с заземленными конденсаторами — собственно сенсорными элементами емкостной системы. Сенсором в такой системе может служить любой проводник (например, медный проводник на печатной плате), любая металлическая часть либо проводящие чернила. В зависимости от назначения устройства проводник выступает как датчик приближения или датчик уровня, дождя/снега, позволяет обнаруживать жесты или избегать столкно-

вений. Емкостной метод — это бесконтактный, недорогой, высокочувствительный и надежный способ обнаружения, устойчивый к внешним шумам, паразитной емкости, электромагнитным помехам.

Емкостные преобразователи TI представлены двумя сериями продуктов: FDC1xxx и FDC2xxx. Например, FDC1004 (рис. 1а) — это 24-битный четырехканальный CDC с эффективным разрешением более 16 бит. Прибор способен компенсировать смещение емкости до 100 пФ и рекомендован для использования с удаленными датчиками в широком спектре применений так называемого «P-CAP метода», от датчиков приближения до обнаружения жестов или измерений уровня. Входной диапазон емкости при этом составляет  $\pm 15$  пФ. FDC1004 обладает возможностью фокусировки в направлении чувствительности и уменьшения электромагнитной интерференции.

Полная продуктовая линейка емкостных преобразователей включает шесть продуктов. Самые новые из них — автомобильная версия FDC1004-Q1, а также FDC2112/2114 и FDC2212/2214 (рис. 1б) — 12- и 28-битные преобразователи с входным диапазоном  $\pm 250\,000$  пФ для датчиков приближения и уровня, отличающиеся высокой устойчивостью к электромагнитным помехам.

Модели с повышенной электромагнитной устойчивостью FDC2xxx по шумовым характеристикам превосходят FDC1xxx и обеспечивают более высокое быстродействие (скорость семплирования). Все модели обеих серий функционируют в температурном диапазоне  $-40 \dots +125$  °C. Устройства поставляются в разных корпусах, существуют также и ценовые различия. Так, стандартная версия FDC1xxx продается по \$2,5 (при заказе 1000 шт.), автомобильная — по \$2,95, а стоимость 28-битного FDC2214 с высокой электромагнитной устойчивостью достигает \$4,75 (здесь и далее приведены цены, указанные на сайте производителя на момент подготовки статьи).

Для демонстрации возможностей изменения уровня и системной настройки конфигурации для снижения влияния емкостных помех, наводимых внешней средой, TI предоставляет на основе преобразователя FDC1004EVM готовое решение TIDA-00317 (рис. 1в), в которое входит программное обеспечение для просмотра и анализа данных.

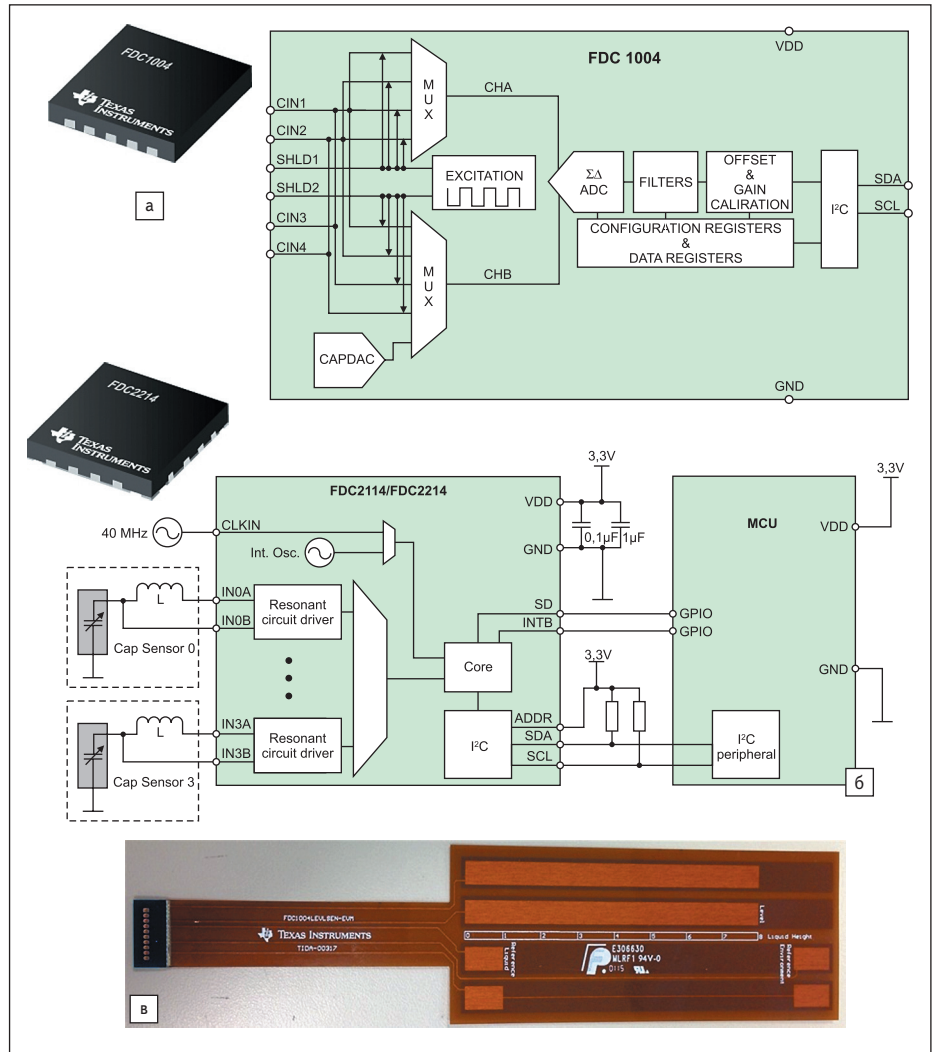
**Датчики влажности**

В линейку датчиков влажности TI, которые позволяют определять количество водяного пара или жидкости в воздухе, входят три продукта: HDC1000, HDC1008, HDC1050. Все они представляют собой цифровые датчики влажности, интегрированные с датчиками температуры. Устройства полностью калибруются при производстве, что позволяет достигать измерительной точности в ±3% при низкой мощности потребления. Инновационный метод корпусирования WLCSP (Wafer Level Chip Scale Package) позволяет достигать ультракомпактности и упрощать дизайн конечного устройства.

TI реализовала метод, по которому сенсорный элемент устройства (базовый пример — HDC1000, рис. 2а) расположен в донной части. Поэтому модель HDC1000 весьма устойчива к загрязнениям, пыли и прочим подобным отрицательным факторам окружающей среды. HDC1000 функционирует в температурном диапазоне -40...+125 °С.

HDC1000 и HDC1008 выпускаются в корпусах WLCSP 8DSBGA, а HDC1050 — в пластиковом безвыводном корпусе WSON (рис. 2б). В данном корпусе сенсорный элемент расположен сверху датчика с целью повышения тепловой изоляции от платы.

Для демонстрации работы датчиков влажности Texas Instruments представила референсный беспроводной дизайн системного таймера на основе микроконтроллера SimpleLink. Датчики влажности демонстрируют ультрамаломощную работу конечных



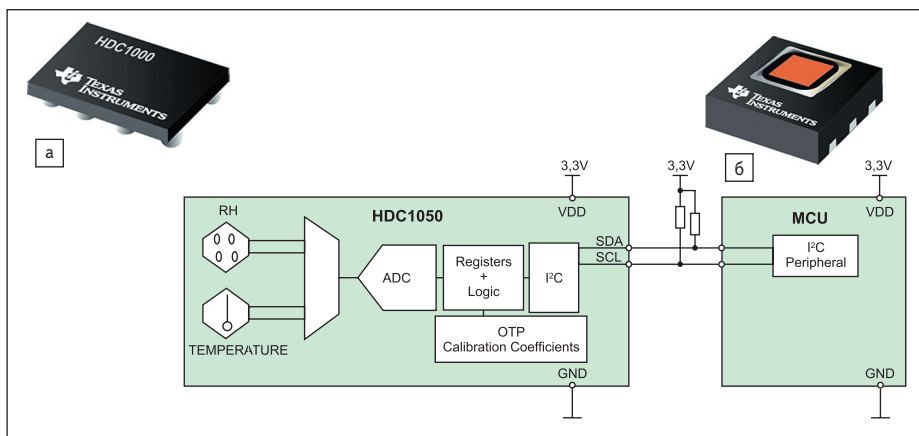
**Рис. 1.** Внешний вид и функциональные схемы решений на базе цифровых емкостных преобразователей: а) четырехканальный преобразователь «емкость – цифра» FDC1004; б) 28-битный CDC FDC2214; в) референсный дизайн TIDA-00317 для измерения уровня жидкостей

сенсорных узлов посредством варьирования рабочего цикла, что продлевает срок службы использованной в дизайне литий-ионной батареи-«таблетки» CR2032.

**Датчики освещенности и другие оптические устройства**

При помощи датчиков окружающего света (Ambient Light Sensors, ALS) измеряется интенсивность окружающего света или ее изменение.

ОРТ3001 — маломощный датчик окружающего света (рис. 3), который максимально близко согласован со спектральной чувствительностью человеческого глаза. Спектральная характеристика чувствительности датчика показана на рис. 3б. Датчик отличается также встроенным «сбросом» ИК-освещения, что позволяет поддерживать точность измерений вне зависимости от источника освещения, а также в тех случаях, когда датчик устанавливается под темным стеклом. Данные отличительные признаки позволяют рекомендовать ОРТ3001 для замещения фотодиодов, фоторезисторов или датчиков окружающего света других производителей, имеющих меньшую спектральную чувствительность и меньший «сброс» ИК.



**Рис. 2.** Емкостные датчики влажности, интегрированные с датчиками температуры: а) HDC1000 — устройство в BGA-корпусе; б) HDC1050 в пластиковом корпусе WSON (внешний вид и функциональная схема)

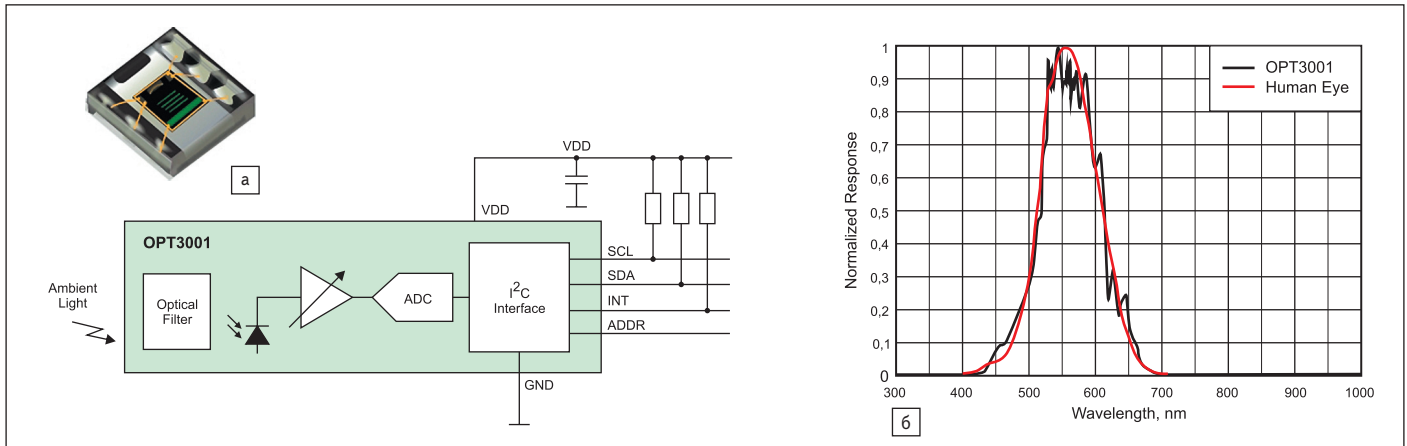


Рис. 3. Датчик окружающего света OPT3001: а) внешний вид и функциональная схема; б) спектральная характеристика чувствительности

ALS OPT3001 — однокристальное цифровое устройство для измерения освещенности в полном диапазоне 0,1–83 000 лк. Настройка происходит автоматически, в результате эффективный динамический диапазон равен 23 бит.

OPT3001 может производить как непрерывные, так и по кадровые измерения, включает схему контроля и прерывания, которая позволяет процессору уходить в энергоэкономичный режим ожидания до обнаружения событий пробуждения (устройства оптимизированы для батарейных систем). Имеется двухпроводной последовательный интерфейс, I<sup>2</sup>C- и SMBus-совместимый.

ALS повсеместно используются для контроля освещенности в смартфонах, планшетах, ноутбуках, смарт-часах, POS-терминалах, в автоматизации зданий и уличном освещении. Кроме того, оптические сенсорные технологии применяются для контроля дополнительных характеристик, таких как спектр, фаза, геометрические параметры или синхронизация, и находят применение при решении задач химического анализа, трехмерного картирования, медицинского сканирования, пульсоксиметрии.

В группу оптических продуктов TI также входят два DLP-чипа. DLP4500NIR — устройство с программируемой спектральной фильтрацией для измерения уникальных сигнатур газов или жидкостей при пропускании или поглощении света, а DLP4500 — пространственный световой модулятор для программирования структурированного освещения. Области применения этих устройств — 3D-биометрия, сканеры, спектрометры.

### Индуктивные цифровые преобразователи

Индуктивные решения TI основаны на бесконтактной технологии обнаружения металлических или проводящих объектов без использования постоянных магнитов. В зависимости от своего назначения индуктивные датчики могут измерять положение,

движение, состав цели, обнаруживать растяжение, сжатие или скручивание пружины. Как цели, могут использоваться не только объемные металлические объекты или пружины, но и фольга, а также проводящие чернила. Как сенсорные элементы, могут использоваться объемные или печатные обмотки, а также пружины.

Текущая линейка индуктивных сенсорных продуктов состоит из девяти преобразователей «индуктивность – цифровой код» серии LDC (LDC1001, LDC1001-Q1, LDC1041/1051/1101/1312/1314/1612/1614). В эту же группу входит аналоговый фронтенд датчика приближения LDC91300. Преобразователи покрывают широкий диапазон частот датчиков и имеют различный выходной интерфейс (SPI, I<sup>2</sup>C или SWIF). Новинкой является LDC1101 (рис. 4) на напряжение 1,8 В.

Ключевые преимущества технологии LDC:

- разрешение до 28 бит, что эквивалентно субмикронному разрешению при измерении положения;

- устойчивость к загрязнителям, не влияющим на электромагнитные характеристики цели, включая воду, масло, пыль и др.;
- возможность удаленного монтажа датчика;
- невысокая стоимость;
- возможность мультиканальных измерений.

Индуктивные преобразователи семейства LDC имеют весьма широкое применение — от простых кнопочных переключателей до высокоразрешающих датчиков сердечной активности и турбинных расходомеров. Целевые отрасли — автомобилестроение, промышленность, компьютеры, медицина, потребительские товары, мобильная и переносная электроника.

Стандартный диапазон рабочих температур: –40...+125 °С; автомобильная версия LDC1001 имеет диапазон, расширенный до +150 °С. Устройства могут быть помещены в корпуса WSON, TSSOP, VSON, WQFN и DSBGA.

Для разработки индуктивных датчиков доступно большое число оценочных модулей. Примеры референсного дизайна включают датчики положения и веса, металлические

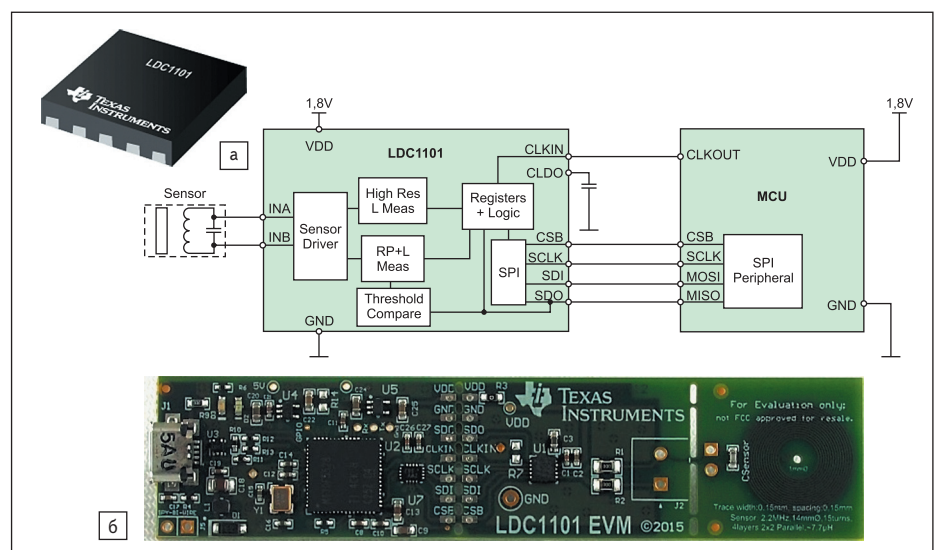


Рис. 4. Преобразователи «индуктивность – цифровой код»:

а) LDC1101 (внешний вид и функциональная схема); б) оценочный модуль LDC1101 EVM

сенсорные кнопки с тактильной обратной связью, 16-кнопочную клавиатуру.

**Датчики Холла**

Эффект Холла состоит в возникновении поперечного электрического поля и разности потенциалов в проводнике или полупроводнике, по которым проходит электрический ток, при помещении их в магнитное поле, перпендикулярное к направлению тока. В настоящее время эффект Холла широко используется для обнаружения присутствия/измерения магнитного поля, положения, скорости, контроля различных видов и параметров движения магнитных и ферромагнитных объектов, измерения тока.

TI предлагает датчики Холла серий DRV5023, DRV5053, DRV5013, DRV5033, представляющих собой полную гамму переключателей — биполярного (DRV5053), защелкивающего (DRV5013), униполярного (DRV5023) и омниполярного (DRV5033) типов (рис. 5). Датчики интегрированы с логической схемой для обеспечения функционала переключателей и защиты от превышения рабочих пределов напряжения и тока. В схеме для сенсорного элемента обеспечивается так называемая переключаемая стабилизация (chopper-stabilisation), позволяющая эффективно удалять смещение нулевого сигнала, достигается высокая температурная стабильность чувствительности и в итоге повышается общая прецизионность ключей.

Основные отличительные особенности технологии TI:

- диапазон напряжения питания 2,5–38 В, с возможностью перегрузки порядка 40 В;
- защита от обратного напряжения до 22 В;
- начало работы через 35 мкс после включения;
- время переключения 15 мкс.

Диапазон рабочих температур всех устройств этой группы: –40...+125 °С. Цена одного датчика составляет порядка \$0,26 при заказе от 1000 шт.

Рекомендованные применения: датчики открытия/закрытия, приближения, присутствия, переключение бесколлекторных двигателей постоянного тока, сервоприводы, 3D-принтеры, робототехника. Целевые рынки — автомобильный (имеются автомобильные Q1-версии представленных устройств), промышленный, потребительские товары, бытовая и персональная электроника.

**Интерфейсы для датчиков давления**

Для измерения давления жидкостей и газов TI предлагает широкий ассортимент устройств, включая аналоговые и специализированные, в том числе программируемые обработчики сигналов PGA900, PGA400, PGA309 (рис. 6).

Новинка PGA900 (рис. 6а) представляет собой обработчик сигналов с резистивных

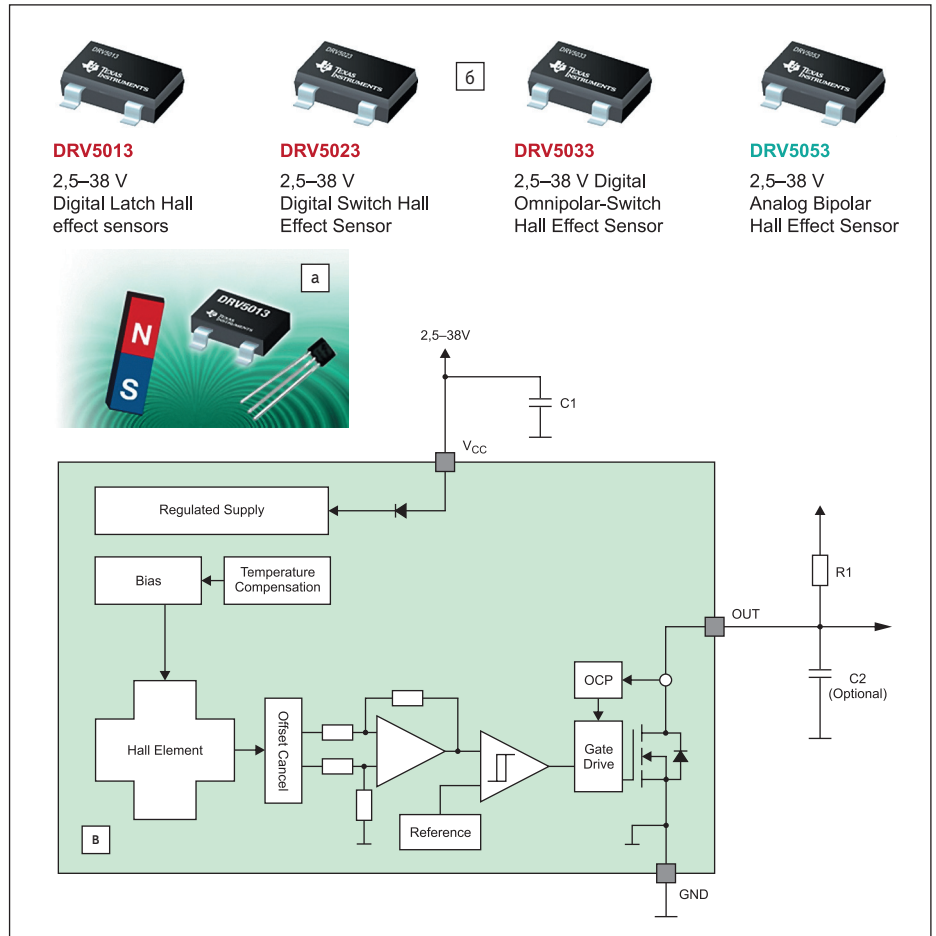


Рис. 5. Интегральные датчики Холла: а) иллюстрация применения эффекта Холла; б) полная линейка цифровых ключей; в) функциональная схема DRV5023

датчиков на базе МК. Устройство последовательно выполняет усиление, оцифровку посредством двух аналоговых каналов фронтендов, а затем линеаризацию, температурную компенсацию и другие пользова-

тельские алгоритмы, необходимые для предоставления выходного сигнала в форме аналогового напряжения (пропорционального или абсолютного), токовой петли 4–20 мА или ШИМ. Имеются широкие возможности

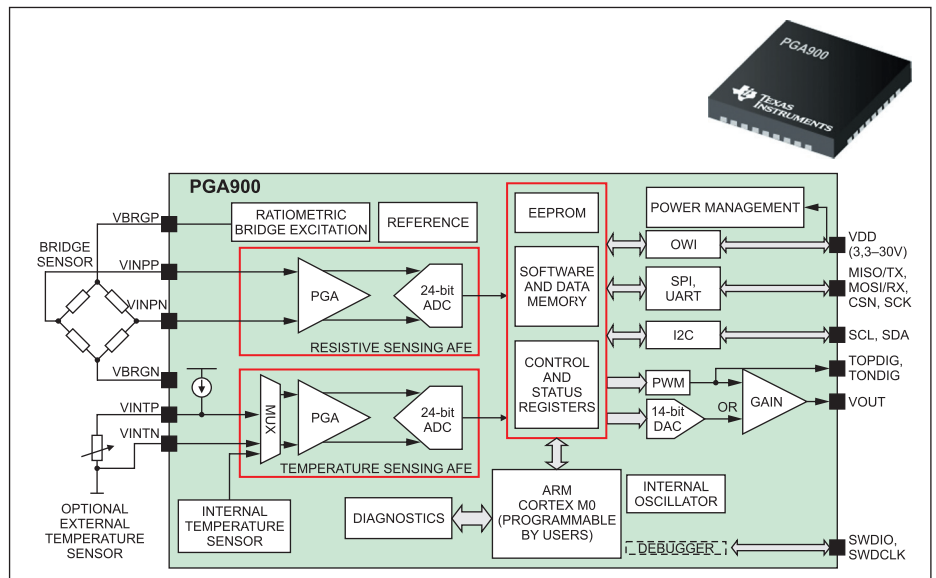


Рис. 6а. Внешний вид и функциональная схема программируемого резистивного обработчика сигналов с аналоговым и цифровым выходами PGA900

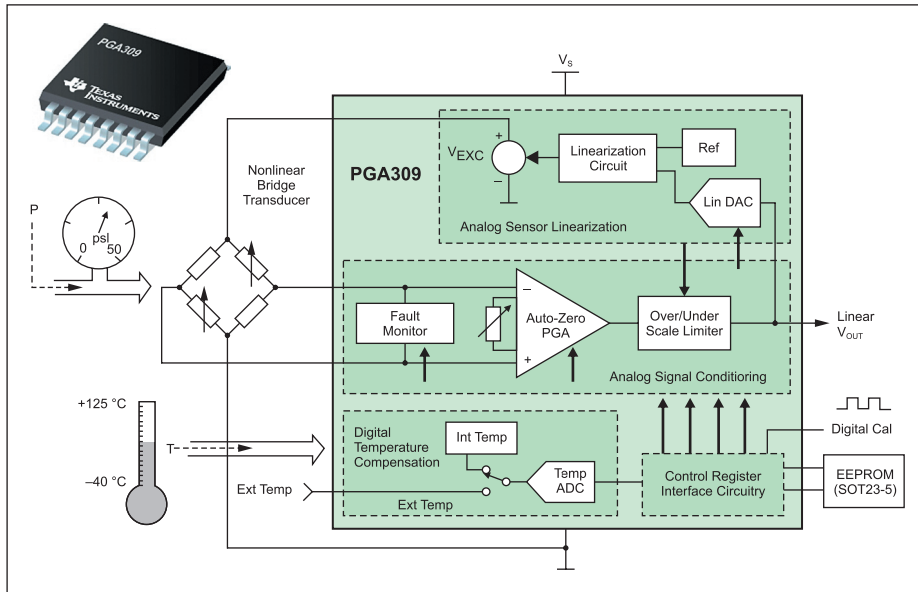


Рис. 66. Внешний вид и функциональная схема программируемого аналогового обработчика сигналов для мостовых датчиков PGA309

пользовательского доступа к регистрам данных и конфигурации. Встроенная память — 8 кбайт, 128 байт — EEPROM, SRAM — 1 кбайт. Диапазон рабочего напряжения: 3,3–30 В. Целевые рынки — промышленный и коммерческий. Цена за устройство при заказе от 1000 шт. составляет порядка \$4,5.

PGA400-Q1 — автомобильный интерфейс для датчиков пьезорезистивного типа, механического напряжения (strain gauges) и емкостных сенсорных элементов. Устройство включает аналоговый фронтенд, прямо подключаемый к сенсорному элементу, а также регуляторы напряжения и осциллятор, сигма-дельта АЦП и МК 8051 с ядром WARP и память OTP. Компенсационные алгоритмы осуществляются программно.

PGA309 (рис. 66) — программируемый аналоговый обработчик сигналов для мостовых датчиков, включающий усиление и калибровку нуля, семплирования, дрейфов нуля и диапазона, а также ошибок линейри-

зации вследствие механических напряжений. Калибровка выполняется через одно- или двухпроводные интерфейсы, а калибровочные параметры сохраняются во внешней энергонезависимой памяти.

### Датчики температуры

TI предлагает кремниевые датчики температуры для самых различных задач контроля, калибровки, защиты. В 2013 г. была выпущена линейка LMT, в которую вошли аналоговые датчики температуры (LMT8x, LMT70, LMT90) с диапазоном измерений:  $-55...+150$  °C, высокоточные, с малым энергопотреблением.

LMT8x — серия аналоговых CMOS-датчиков температуры различного назначения с возможностью питания до 1,5 В и потреблением мощности до 5,4 мкА с расчетом на батарейные применения и замещение термисторов. Имеется выбор типов корпусов

и монтажа: корпуса TO-92 и TO-126 допускают возможность монтажа на плате, за пределами платы, на радиаторах. Датчики обеспечивают высокую точность измерений, например точность LMT84 составляет  $\pm 0,4$  °C, LMT86 —  $\pm 0,25$  °C, а LMT-88 —  $\pm 5$  °C. Разработаны автомобильные исполнения датчиков: LMT84-Q1, LMT85-Q1, LMT86-Q1, LMT87-Q1.

LMT90 — прецизионная ИС датчика температуры для диапазона  $-40...+125$  °C. Выходное напряжение LMT90 линейно пропорционально измеряемой температуре (чувствительность  $+10$  мВ/°C) и имеет постоянное смещение в  $+500$  мВ. Данное смещение позволяет фиксировать отрицательные температуры без отрицательного входа напряжения питания. Для данного диапазона измерений оптимально подходит выходное напряжение от  $+100$  мВ до  $+1,75$  В. Внешняя калибровка осуществляется при производстве, точность составляет  $\pm 3$  °C при комнатной температуре и  $4$  °C в полном диапазоне.

LMT70/70A — ультрамалый, высокопрецизионный (с заявленной точностью лучше  $\pm 0,1$  °C для LMT70A) и маломощный (36 мкВт) аналоговый CMOS-датчик температуры для измерений в диапазоне  $-55...+150$  °C. (рис. 7а). LMT70 может применяться для «Интернета вещей», в медицинских термометрах, счетчиках электроэнергии (LMT70A), контрольно-измерительной аппаратуре, батарейных устройствах и т. п. LMT70 подходит для замещения платиновых термометров сопротивления (RTD) или прецизионных термисторов с положительным или отрицательным ТК (NTC/PTC).

LMT01 — цифровой двухвыводный датчик температуры, который позволяет достигать точности в  $\pm 0,5$  °C с высоким разрешением ( $0,0625$  °C) в температурном диапазоне  $-20...+90$  °C без системной калибровки или аппаратно-программной компенсации (рис. 7в). Полный диапазон рабочих температур такой же, как и у большинства аналоговых датчиков.

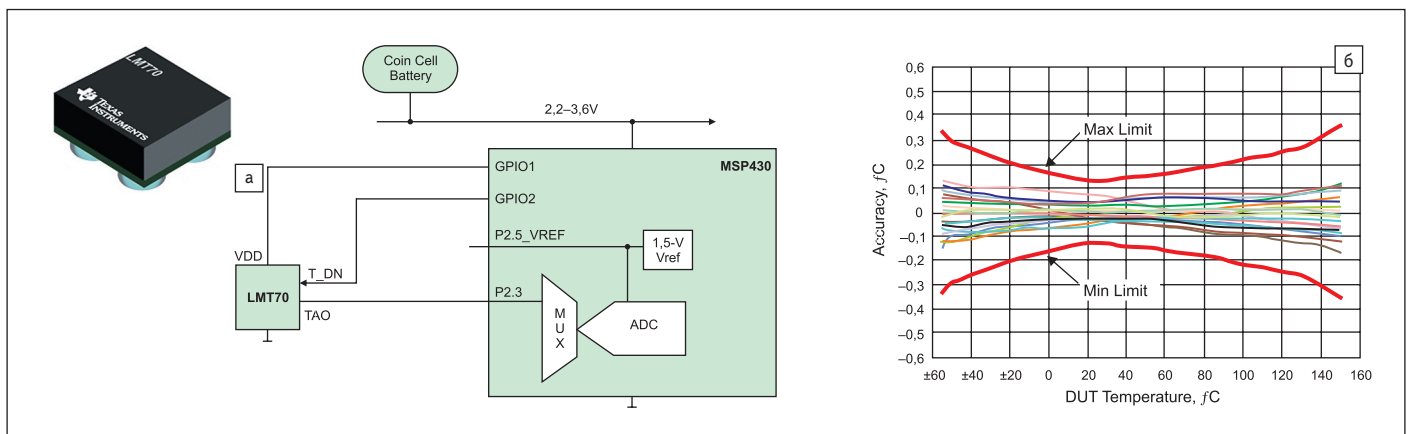


Рис. 7а, б. Высокоточный маломощный датчик температуры с аналоговым выходом LMT70/70A: а) внешний вид и функциональная схема; б) зависимость точности от температуры

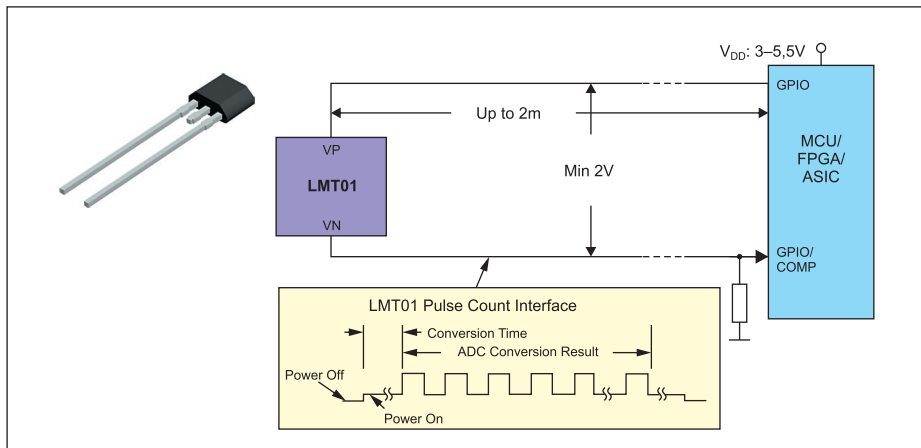


Рис. 7в. Высокоточный маломощный датчик температуры с аналоговым выходом LMT01 (внешний вид и функциональная схема)

Оценочные модули доступны для каждого из датчиков линейки, весьма интересны также и предложения референсных дизайнов — например, носимый датчик температуры.

Мы рассмотрели примеры локальных интегральных датчиков, причем в данный краткий обзор вошли только последние обновления из семейства LMT. Полная линейка TI локальных датчиков температуры на данный момент включает 82 устройства — 38 аналоговых и 44 цифровых датчика.

К продукции TI, предназначенной для измерения температуры, также относятся: бесконтактные ИК термобатареи в корпусах WLCSР (TMP006 и TMP007); удаленные датчики (с каналами для измерений температуры удаленных устройств типа компьютерных процессоров или диодов); температурные ключи и термостаты, многие из которых предназначены для автомобильного применения.

**Ультразвуковые фронтенды и ВЦП**

Ультразвуковые (УЗ) технологии измерения традиционно основываются на определении времени между моментом послышки и возвращения УЗ-сигнала, отраженного от цели. Данный интервал называется ToF (Time of Flight). Принцип, основанный на измерении ToF, с учетом уравнения, связывающего скорость распространения УЗ-волны в среде с пройденным расстоянием ( $время = расстояние/скорость$ ), широко используется в УЗ-расходомерах, датчиках расстояния/дальности, уровня, а также для идентификации или определения концентрации и состава жидких и газовых сред. Здесь важны такие преимущества УЗ-технологии, как бесконтактный, неразрушающий метод контроля и низкое энергопотребление (~2 мкА).

TI предлагает универсальное решение на базе полностью интегрированных аналоговых фронтендов типа

TDC1000 и TDC1011 (рис. 8а), которые отличаются гибкостью конфигурирования для широкого круга применений, конечного оборудования и сред.

TDC1000 настраивается для передачи импульсов с различными характеристиками частоты, усиления, могут также устанавливаться сигнальные пороги. Допускается использование широкого диапазона расстояний, размеров баков и различных сред. Маломощные усилители и компараторы обеспечивают весьма низкий джиттер, пикосекундное разрешение и точность измерения нулевого или малого расхода. TDC1011 представляет собой интегрированный аналоговый фронтенд (рис. 8а), имеющий один входной канал (вместо двух у TDC1000). Выпущены автомобильные версии TDC1000-Q1 и TDC1011-Q1.

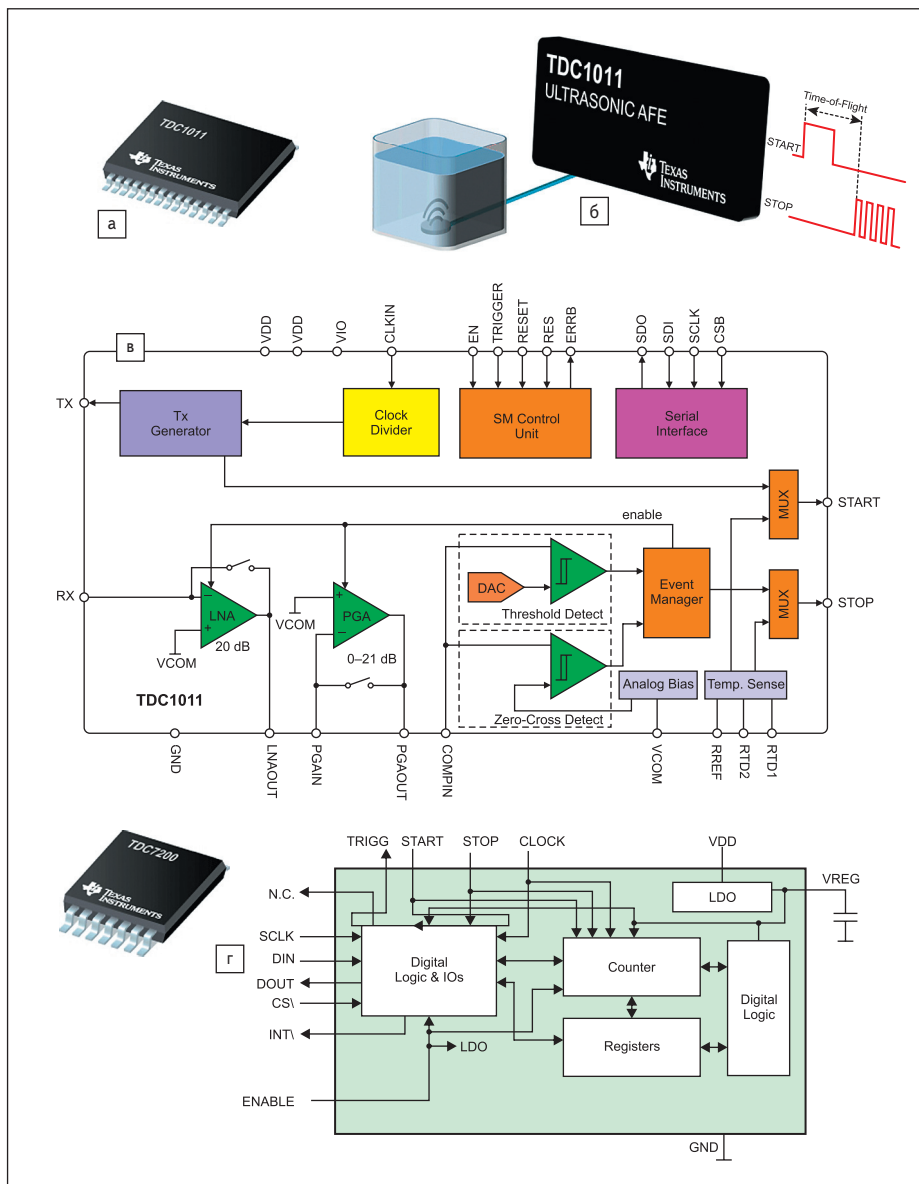


Рис. 8. а–в) Одноканальный ультразвуковой фронтенд для контроля уровня TDC1011: а) внешний вид; б) иллюстрация применения; в) функциональная схема; г) время-цифровой преобразователь для любого типа расходомеров и УЗ магнетострикционных датчиков TDC7200 (внешний вид и функциональная схема)

TDC7200 (рис. 8г) — это время-цифровой преобразователь (ВЦП), разработанный специально для измерений расхода воды, газа и тепла, а также лидаров и УЗ магнетострикционных датчиков, непосредственно измеряющий время между старт- и стоп-импульсами. Устройство имеет встроенный режим самокалибровки, позволяющий минимизировать дрейф под действием температуры и старения, а также автономный режим мультициклического усреднения, позволяющий ему переходить в спящий режим и экономить заряд батареи.

Для поддержки разработчиков TI выпустила оценочные комплекты и референсные дизайны УЗ-систем измерения расхода, уровня, концентрации, вместе с соответствующим ПО.

### Датчики тока

Назначение датчиков тока — мониторинг потребления нагрузкой тока/мощности. Традиционные способы измерений включают токовые шунты, датчики Холла. Устройства имеют широкий спектр применений — от электросчетчиков до инверторов гибридных автомобилей и солнечных батарей.

TI предлагает широкую линейку токочувствительных усилителей, компараторов и ИС для мониторинга шунтов с аналоговым или цифровым выходом. Имеются также интерфейсные преобразователи для датчиков магнитного поля.

В данной группе наиболее примечательным является токовый шунт INA250 (рис. 9). Измерения тока могут производиться с высокой точностью на синфазных напряжениях 0–36 В, вне зависимости от напряжения питания. Устройство является двунаправленным, прецизионным и температурно-стабильным. Точность, согласно спецификации, определяется двумя характеристиками: погрешность усиления, общая для шунта и усилителя, — 0,3% max; ток смещения — 50 мА max.

Семейство INA250 предлагается в четырех вариантах чувствительности/размаха выходного напряжения: 200, 500, 800 мВ/А, 2 В/А. Данное устройство полностью протестировано для работы с токами до 10 А при температурах до +125 °С. Датчик INA250 питается от напряжения 2,7–36 В и рассеивает 300 мкА тока. Все версии INA250 специфицированы для работы в температурном диапазоне –40...+125 °С и поставляются в корпусах TSSOP-16.

### Фронтенды датчиков газа

В линейке преобразователей TI представлены пять устройств для газовых/химических измерений серий LMP9105x, LMP9100x — аналоговые фронтенды для различных сенсорных платформ (рис. 10).

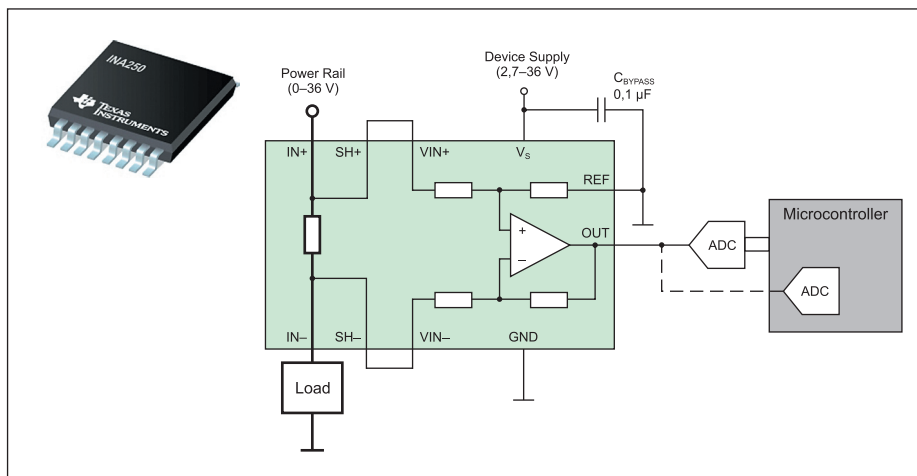


Рис. 9. Интегрированный токовый шунт INA250 — прецизионный 36-В двунаправленный токочувствительный усилитель для высокой и низкой стороны, интегрированный с резисторным шунтом (внешний вид и функциональная схема)

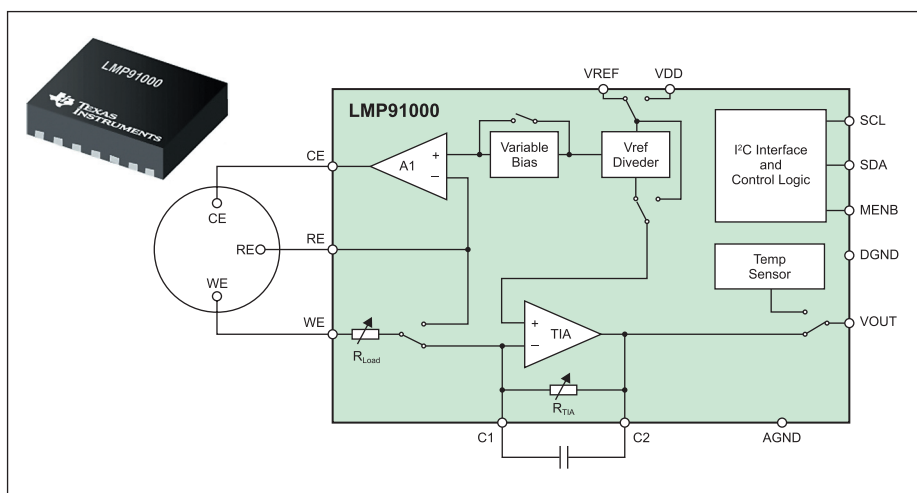


Рис. 10. Программируемый потенциостат с аналоговым фронтендом для электрохимических ячеек LMP91000 (внешний вид и функциональная схема)

Газовое детектирование — важная составляющая для автомобильного рынка и автоматизации зданий, позволяющая контролировать содержание токсичных примесей в воздухе, концентрацию кислорода, углекислого и угарного газа. Для газового детектирования применяются две ключевые технологии: электрохимические ячейки и NDIR-датчики (Non-Dispersive Infrared).

Электрохимические ячейки позволяют детектировать газ, измеряя ток через ячейку, различающуюся для разных газов. LMP91000 (рис. 10) — полностью интегрированный и высоко конфигурируемый аналоговый фронтенд электрохимического датчика газа. LMP91000 поддерживает различные типы датчиков и различные характеристики газовой чувствительности ячеек в диапазоне 0,5–9500 нА/ррm, а также преобразует значения токов в полном диапазоне 5–750 мкА.

Технология недисперсных датчиков NDIR основана на применении ИК-освещения газа в контейнере. LMP91050 (рис. 10) — про-

граммируемый интегрированный аналоговый фронтенд для сопряжения с недисперсионными датчиками, оптимизированный для применения термобатарей различной чувствительности в NDIR-системах.

Кроме того, в этой группе есть решение для определения pH для контроля качества воды, основанное на определении концентрации ионов водорода. LMP91200 — специализированное устройство для сопряжения с датчиками pH.

### Заключение

Линейка сенсорных компонентов TI — датчиков, устройств сопряжения с датчиками и преобразователей сигналов — весьма обширна. Предлагаемые TI высоко интегрированные сенсорные устройства имеют невысокую цену, при этом удобны в применении, обладают возможностью конфигурирования для различных электронных устройств и актуальных измерительных задач.