

Датчики Texas Instruments: эффективные решения для всех видов измерений

Д. Садеков¹, В. Ежов

УДК 681.586.72 | ВАК 05.27.01

Texas Instruments – одна из ведущих мировых компаний в области разработки и производства датчиков. В ассортимент выпускаемых ею устройств входят решения для измерения различных физических величин. Датчики температуры и влажности, датчики на основе эффекта Холла, ультразвуковые датчики для измерения расстояния до объекта и уровня жидкости, датчики индуктивности для обнаружения токопроводящих объектов – далеко не полный перечень продукции TI. С каждым годом увеличивается количество решений, предлагаемых компанией. В статье представлен обзор основных типов датчиков Texas Instruments для промышленного применения, новинок компании, выпущенных в последнее время, а также примеры решений на их основе.

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ДАТЧИКИ

Датчик температуры – самый распространенный тип этой продукции, используемый в большинстве систем промышленного назначения. Texas Instruments предлагает широкую номенклатуру устройств данного класса – более 170 типонаименований. К этой категории изделий относятся аналоговые и цифровые температурные датчики, а также термореле и термисторы.

Аналоговые температурные датчики обеспечивают высокую линейность выхода (по напряжению или по току) пропорционально измеряемой температуре. Низкое энергопотребление минимизирует самонагрев этих устройств, что обеспечивает высокую точность измерений (до $\pm 0,13$ °C). Среди других преимуществ – простое схемное решение и удобство в использовании, не требуются схемы компенсации или калибровка. Диапазон измерений аналоговых температурных датчиков достигает $-55...150$ °C. В отличие от термисторов, аналоговые температурные датчики не требуют применения резистивной цепочки, и это дополнительно экономит место на плате.

В линейке TI более 40 наименований аналоговых температурных датчиков, наиболее совершенные устройства представлены в табл. 1. Среди них следует отметить прецизионную серию LMT70/70A в суперкомпактном корпусе DSBGA, которая обеспечивает высокую точность измерений (не менее $\pm 0,36$ °C) в широком диапазоне температур $-50...150$ °C. Малое энергопотребление сочетается с простотой использования, устройства применяют

в качестве прямой замены термисторов. Особенностью LMT70 является наличие вывода разрешения выходного напряжения, что позволяет подключать несколько датчиков для измерения температуры к входу одного АЦП. Серия LMT70/70A успешно применяется в промышленных приложениях, сенсорных узлах Интернета вещей, медицинском оборудовании, электросчетчиках и других системах с батарейным питанием.

Заслуживают внимания аналоговые температурные датчики семейства LMT8x, которые обеспечивают широкий диапазон измерений (до $-50...150$ °C) и малый ток потребления (до 8 мкА). Максимальная погрешность измерения составляет $\pm 2,5$ °C (LMT89) и $\pm 2,7$ °C (LMT84/85/86/87) во всем рабочем диапазоне температур. Устройства предлагаются в стандартных корпусах: 5-выводном SC70 для планарного монтажа и 3-выводном TO-92 для выводного монтажа. Благодаря высокой нагрузочной способности LMT88 и LMT89 можно использовать с большинством АЦП без дополнительных драйверов.

Цифровые температурные датчики Texas Instruments предлагаются с различными интерфейсами, в том числе SPI, I²C/SMBus, UART, поэтому легко интегрируются в микроконтроллерную систему. Компания выпускает более 100 наименований устройств, которые отличаются высокой точностью, низким потреблением и компактным исполнением.

Среди этой категории изделий можно отметить, например, прецизионный датчик TMP117 со встроенной энергонезависимой памятью, который обеспечивает точность до $\pm 0,1$ °C в температурном диапазоне $-20...50$ °C. Рабочий диапазон температур составляет

¹ Холдинг «Золотой Шар», менеджер по развитию, тел.: +7 495 234-01-10, sadekov@zolshar.ru.

Таблица 1. Аналоговые температурные датчики для промышленных приложений

Наименование устройства	Точность измерения, $\pm^\circ\text{C}$ (макс.)	Диапазон рабочих температур, $^\circ\text{C}$	Напряжение питания, В	Ток потребления, мкА (макс.)	Чувствительность, мВ/ $^\circ\text{C}$	Корпус
LM20	1,5	-40...125, -55...130	2,4...5,5	7	-11,7	DSBGA, SC70
LM50	2	-40...125	4,5...10	130	10	SOT-23
LM94021	1,5	-55...150	1,5...5,5	12	-5,5... -13,6	SC70
LM94022	1,5	-55...150	1,5...5,5	8,1	-5,5... -13,6	SC70
LM94023	1,5	-55...150	1,5...5,5	8,1	-5,5 или -8,2	DSBGA
LMT70/70A	0,36	-55...150	2...5,5	12	-5,19	DSBGA
LMT84	2,7	-55...150	1,5...5,5	8,1	-5,5	SC70, TO-92
LMT85	2,7	-55...150	1,8...5,5	8,1	-8,2	SC70, TO-92
LMT86	2,7	-55...150	2,2...5,5	8,1	-10,9	SC70, TO-92
LMT87	2,7	-55...150	2,7...5,5	8,1	-13,6	SC70, TO-92
LMT88	5	-55...130	2,4...5,5	7	-11,77	SC70
LMT89	2,5	-55...130	2,4...5,5	7	-11,77	SC70
LMT90	4	-40...125	4,5...10	130	10	SOT-23
TMP235	1,2	-40...150	2,3...5,5	12	10	SC70, SOT-23
TMP236	1	-10...125	3,1...5,5	12	19,5	SC70, SOT-23
LM57	0,7	-50...150	2,4...5,5	28	-5,2... -12,9	TSSOP, WSON

-55...150 $^\circ\text{C}$. Датчик в корпусе DSBGA или WSON оснащен I²C/SMBus-совместимым интерфейсом с поддержкой до четырех устройств на одной шине. TMP117 работает в диапазоне питающих напряжений от 1,8 до 5,5 В и обеспечивает на выходе 16-разрядный результат измерения температуры с разрешением 0,0078 $^\circ\text{C}$.

Еще одно интересное устройство – 2-выводной цифровой температурный датчик LMT01, его цифровой интерфейс представляет собой последовательность импульсов, количество которых пропорционально измеренной температуре. Данные передаются последовательностью токовых импульсов, следующих каждые 100 мс. Благодаря такому интерфейсу легко сопрягать датчик с контроллером через стандартный порт ввода-вывода или вход компаратора. LMT01 обеспечивает точность до $\pm 0,5^\circ\text{C}$ в диапазоне температур от -20 до 90 $^\circ\text{C}$ с разрешением 0,0625 $^\circ\text{C}$. Ток потребления в режиме измерений составляет всего 34 мкА, что позволяет использовать устройство в системах с батарейным питанием. Встроенная в LMT01 схема подавления электромагнитных помех обеспечивает высокую помехозащищенность.

МАГНИТНЫЕ ДАТЧИКИ

К магнитным датчикам компания Texas Instruments относит устройства на основе эффекта Холла для определения положения, скорости перемещения и ускорения объекта, а также датчики для прецизионного измерения тока. Условие применения магнитных датчиков – наличие магнитного поля, под воздействием которого возникает электрическое поле, необходимое для дальнейших измерений.

Датчики Холла отличаются повышенной надежностью, способностью работать в жестких условиях внешней среды, поэтому они широко применяются в промышленных приложениях. В ассортименте компании TI представлены триггеры и ключи на основе эффекта Холла для детектирования наличия магнитного поля (табл. 2) и линейные датчики Холла с аналоговым выходным сигналом (биполярным, однополярным, ШИМ), пропорциональным плотности магнитного потока, для измерения абсолютных координат положения объекта (табл. 3).

TI предлагает также высокоточные датчики для измерения тока на основе эффекта Холла, которые отличаются малым температурным дрейфом. К этой

Таблица 2. Триггеры и ключи на основе эффекта Холла для промышленного применения

Характеристика	DRV5021	DRV5023	DRV5015	DRV5011	DRV5012	DRV5013	DRV5032	DRV5033
Функционал	Униполярный ключ		Триггер					Омниполярный ключ
Напряжение питания, В	2,5...5,5	2,5...38	2,5...5,5	2,5...5,5	1,65...5,5	2,5...38	1,65...5,5	2,5...38
Ток потребления, мА	2,3	2,7	2,3	2,3	0,0013; 0,142	2,7	0,00054; 0,0016	2,7
Рабочая точка, мТл (макс.)	4,4; 12,5; 22,7	6,8; 12; 24	2; 3,7	3,8	3,3	3,4; 5; 9; 18	3,9; 4,8; 9,5; 63	6,8; 12
Порог отключения, мТл (мин.)	0,4; 3,6; 6,7	0,5; 1; 3	-2; -3,7	-3,8	-3,3	-3,4; -5; -9; -18	0,9; 0,5; 3; 30	0,5; 1
Частота, кГц	30	30	30	30	0,020; 2,5	30	0,005; 0,020	30
Выход	С открытым стоком			Двухтактный		С откр. стоком	Двухтактный, с откр. стоком	С откр. стоком
Диапазон рабочих температур, °С	-40...125			-40...125; -40...135	-40...85	-40...125; -40...150	-40...85	-40...125
Корпус	SOT-23	SOT-23, TO-92	SOT-23	SOT-23, DSBGA, TO-92, X2SON	X2SON	SOT-23, TO-92	SOT-23, TO-92, X2SON	SOT-23, TO-92

Таблица 3. Линейные датчики Холла с аналоговым выходом для промышленных применений

Характеристика	DRV5057	DRV5056	DRV5055	DRV5053
Тип выхода	Логометрический, ШИМ	Логометрический, однополярный	Логометрический, биполярный	Биполярный
Напряжение питания, В	3...5,5	3...5,5	3...5,5	2,5...38
Точность, %	6	5	5	70
Корпус	SOT-23, TO-92	SOT-23, TO-92	SOT-23, TO-92	SOT-23, TO-92
Частота, кГц	2	20	20	10
Аналоговый выход	8...92%D	0,6 В...V _{CC}	0,2 В...V _{CC}	0,2...1,8 В
Чувствительность, мВ/мТл (тип.)		25; 50; 100; 200	12,5; 25; 50; 100	-11; -23; -45; -90; 23; 45
Диапазон рабочих температур, °С	-40...125	-40...125	-40...125	-40...125

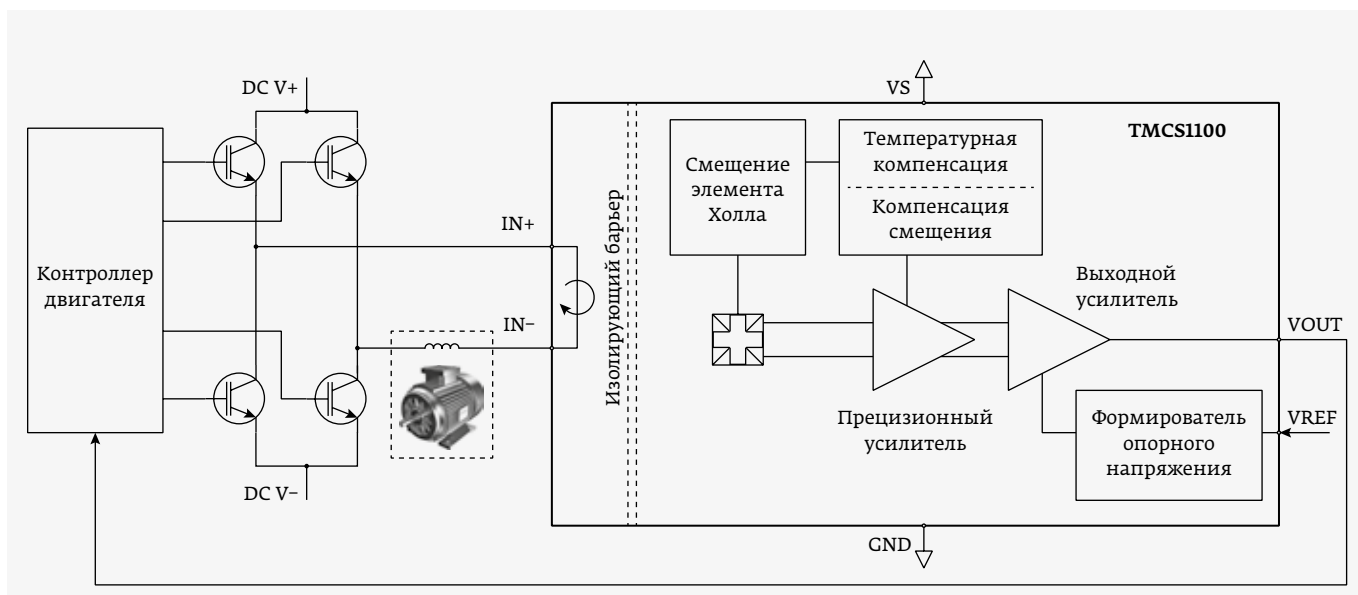


Рис. 1. Пример включения TMCS1100 для измерения тока в системе управления электродвигателем

категории относятся два новых устройства, представленные в 2019 году, – TMCS1100 и TMCS1101.

TMCS1100 – это изолированный усилитель для измерения тока с помощью встроенного датчика Холла без применения внешнего шунта. Усилитель с внешним опорным напряжением обеспечивает измерение постоянного и переменного тока в диапазоне от 0,125 до 96 А ($\pm 3,625 \dots \pm 46$ А) в таких приложениях, как управление электродвигателями, источники питания, инверторы, системы защиты по току и др. На рис. 1 показана блок-схема включения TMCS1100 для измерения тока в контроллере двигателя.

Ток на входе TMCS1100 проходит через внутренний 1,8-мОм проводник, который генерирует магнитное поле, измеряемое встроенным датчиком Холла. Низкое сопротивление проводника минимизирует потери мощности и выделение тепла. Встроенная гальваническая развязка обеспечивает напряжение изоляции 600 В, а электрическая прочность изоляции между измерительной цепью

и схемой составляет 3 кВ. Доступно четыре модификации микросхемы с разными коэффициентами усиления. TMCS1100 работает от одного источника питания напряжением от 3 до 5,5 В в диапазоне температур от -40 до 125 °С, максимальный ток потребления составляет 5 мА. Общая погрешность измерения тока не превышает 1%.

TMCS1101 отличается от TMCS1100 наличием встроенного резисторного делителя в цепи источника опорного напряжения.

ДАТЧИКИ ВЛАЖНОСТИ

Датчики влажности определяют количество водяного пара / влаги в воздухе и представляют собой разновидность емкостных датчиков. Они находят широкое применение в системах управления технологическими процессами и климат-контроля. В линейке TI представлены пять микросхем для измерения влажности (табл. 4). Кроме определения влажности в диапазоне 0...100%RH они позволяют дополнительно измерять температуру. Точность

Таблица 4. Датчики влажности для промышленного применения

Характеристика	HDC2021	HDC2080	HDC2010	HDC1010	HDC1080
Точность измерения влажности, %RH (тип.)			±2		
Точность измерения температуры, °C (тип.)			±0,2		
Напряжение питания, В	1,62...3,6			2,7...5,5	
Средний ток потребления, мкА (тип.) на частоте 1 выб./с	0,55			1,2	
Рабочий диапазон температур, °C	-40...125		-40...85		-40...85
Корпус	WSO	WSO	DSBGA	DSBGA	WSO

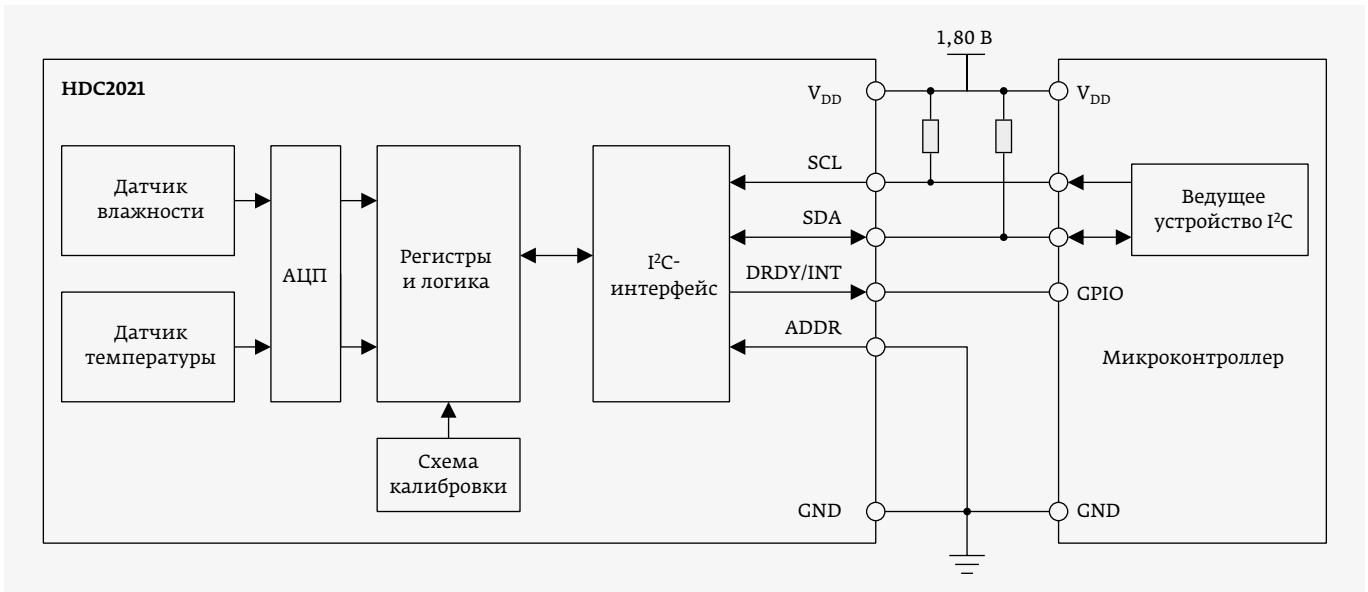


Рис. 2. Пример подключения HDC2021 к микроконтроллеру в типовом приложении

датчиков при измерении влажности достигает $\pm 2\%$, при измерении температуры – $\pm 0,2$ °C. Для коммуникации с микроконтроллером используется интерфейс I²C.

Новинка 2019 года в этой категории устройств – микросхема HDC2021 – отличается малым энергопотреблением (в дежурном режиме всего 50 нА) и широким диапазоном рабочих температур (–40...125 °C). Компактный 6-выводной корпус WSON (3×3 мм) занимает минимум места на плате. К цифровым функциям HDC2021 относятся программируемый порог срабатывания сигнала

предупреждения и активации системы, программируемая частота выборки. Благодаря малому потреблению и поддержке 1,8-В напряжения питания устройства востребованы в системах с батарейным питанием. Пример подключения HDC2021 к микроконтроллеру в типовых приложениях показан на рис. 2.

УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ ДАТЧИКИ

Работа ультразвуковых датчиков основана на измерении промежутка времени между отправкой и возвращением

Таблица 5. Ультразвуковые датчики для промышленного применения

Характеристика	TDC1000	TDC1011	TDC7200	TDC7201	PGA460	TUSS4440	TUSS4470
Тип устройства	Аналоговый интерфейс		Преобразователь «время-код»			Аналоговый интерфейс	
Частота, кГц	31,25...4 000				30...80, 180...480	40...400	40...1 000
Коэффициент усиления, дБ	20...41				32...90	19...113	
Интерфейс	SPI		SPI		UART/USART	SPI	
Количество входных каналов	2	1	1	2	1	1	1
Напряжение питания, В	2,7...5,5		2...3,6		6...28	5...36	
Диапазон рабочих температур, °C	–40...125		–40...85		–40...105	–25...105	
Корпус	TSSOP		TSSOP	NFBGA	TSSOP	QFN	

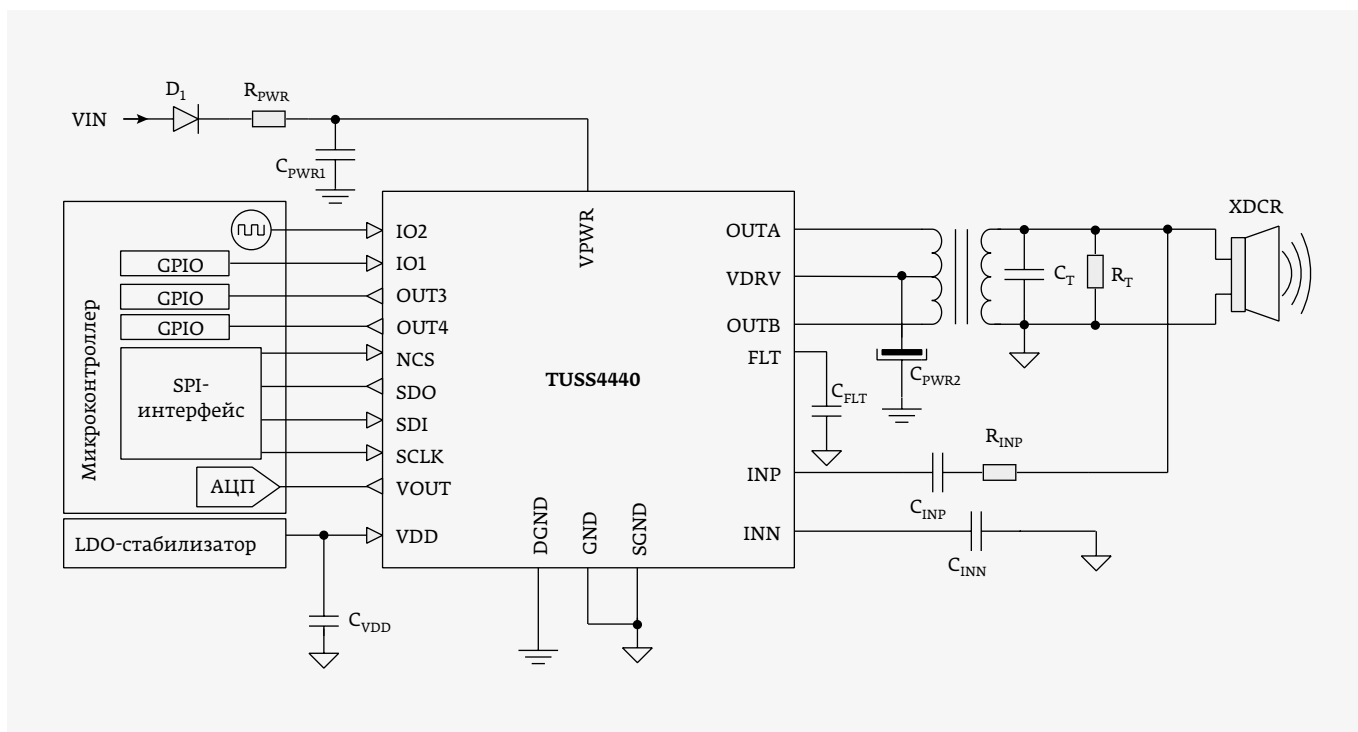


Рис. 3. Блок-схема типowego приложения для TUSS4440

ультразвукового сигнала, отраженного от объекта. На основе этих данных определяется расстояние до объекта без физического контакта с ним. Метод позволяет измерять уровень жидкости, анализировать состав жидкости или газа, скорость потока вещества.

Ультразвуковые датчики отличаются высокой точностью, независимостью от вибраций, простотой конструкции, подходят для использования с любыми типами материалов. Основные промышленные приложения для этих устройств – промышленные и логистические роботы, датчики уровня жидкости, анализаторы свойств материалов и др.

Для реализации устройств, использующих ультразвуковой метод измерения, TI предлагает ряд интегрированных решений (табл. 5). Новинки 2019 года – микросхемы TUSS4440 и TUSS4470 – представляют собой аналоговые интерфейсы с логарифмическим усилителем для выполнения ультразвуковых измерений.

TUSS4440 содержит каскад возбуждения пьезодатчика и приемный каскад с аналоговым выходом. Каскад возбуждения состоит из драйверов нижнего плеча, которые могут быть сконфигурированы для подачи напряжения на пьезоэлемент через повышающий трансформатор.

Каскад приемного сигнала включает в себя маломощный линейный усилитель и полосовой фильтр, за которым следует логарифмический усилитель. Логарифмический усилитель обеспечивает высокую чувствительность

при слабых эхосигналах и широкий динамический диапазон.

Драйверы микросхем TUSS4440 и TUSS4470 могут управляться непосредственно микроконтроллером через SPI-интерфейс (рис. 3). TUSS4470 отличается от TUSS4440 тем, что его каскад возбуждения представляет собой H-мост для непосредственной подачи напряжения на пьезоэлемент, чтобы обеспечить максимальное напряжение на нем. Встроенный H-мост можно сконфигурировать как предварительный драйвер внешнего полевого транзистора, если нужно достичь более высоких токов.

В кратком обзоре невозможно отразить все многообразие датчиков, предлагаемых компаний Texas Instruments для измерения различных физических величин. Кроме представленных в статье, в ассортимент производителя входят емкостные датчики для измерения расстояний, датчики интенсивности окружающего освещения, датчики давления, измерители тока шунта, преобразователи для работы с электрохимическими элементами и другие решения. Особого внимания заслуживают высокоинтегрированные решения, которые обеспечивают возможность полного цикла обработки аналогового сигнала. Они позволяют упростить процесс калибровки, повысить точность измерений, оптимизировать схемное решение и сэкономить площадь на печатной плате за счет сокращения числа компонентов.