

## Обзор

В производственных процессах для слежения за физическими параметрами используют датчики. В качестве примера измеряемых параметров можно назвать температуру в печи, давление в камере, влажность, расход протекающих по трубопроводам жидкостей и газов, вес ингредиентов, токи в обмотках электродвигателя.

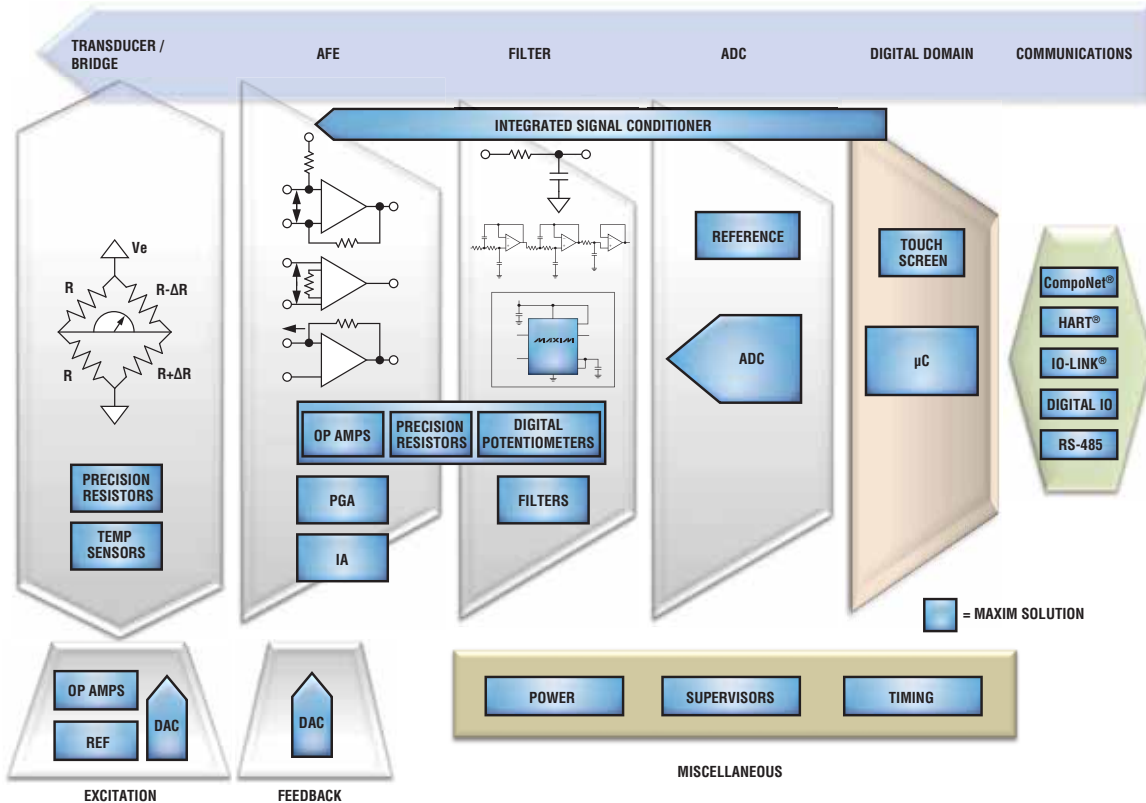
Конструктивно законченный датчик состоит из первичного преобразователя (который обычно также называют датчиком), схемы предварительной обработки сигнала и передачи данных, корпуса и разъёма. Первичный преобразователь конвертирует значения физических параметров, таких как вес, давление, температура, влажность или освещённость, в электрический сигнал. Некоторым первичным преобразователям, представля-

ющим собой резистивные элементы, для создания измеримого напряжения требуется внешнее возбуждение. Другие датчики сами генерируют ток или напряжение, величина которых зависит от значений измеряемых физических параметров, например, от степени освещённости, от температуры, от громкости звуку.

Обычно первичные преобразователи генерируют очень слабые сигналы, которые должны обрабатываться оптимизированными интерфейсными схемами, чтобы обеспечить адекватное усиление без внесения шумов, ухудшающих точность измерений. Датчики часто размещаются вдалеке от схем цифровой обработки, при этом разработчик сталкивается с требованиями обеспечения защиты от электромагнитных

помех, гальванической изоляции и малого потребления энергии. Кроме требований к тракту прохождения сигнала, иногда предъявляют жёсткие требования к питанию, коммуникационным интерфейсам (между приборами/системами) и к защищённости передачи данных.

Компания Maxim предлагает интегральные схемы, в которых учтены все аспекты, имеющие отношение к работе с сигналами первичных преобразователей: от предварительной обработки до фиксации, от передачи до временных параметров, от питания до точностных характеристик. Весьма вероятно, что именно решение от Maxim будет тем решением, которое требуется для вашего устройства, работающего с датчиками.



Блок-схема базовой измерительной системы для промышленных процессов. Список рекомендованных компанией Maxim решений для систем измерений приведён на сайте [www.maxim-ic.com/sensor](http://www.maxim-ic.com/sensor).

[www.maxim-ic.com/sensor](http://www.maxim-ic.com/sensor)

### Датчики давления и веса (динамометрические измерения)

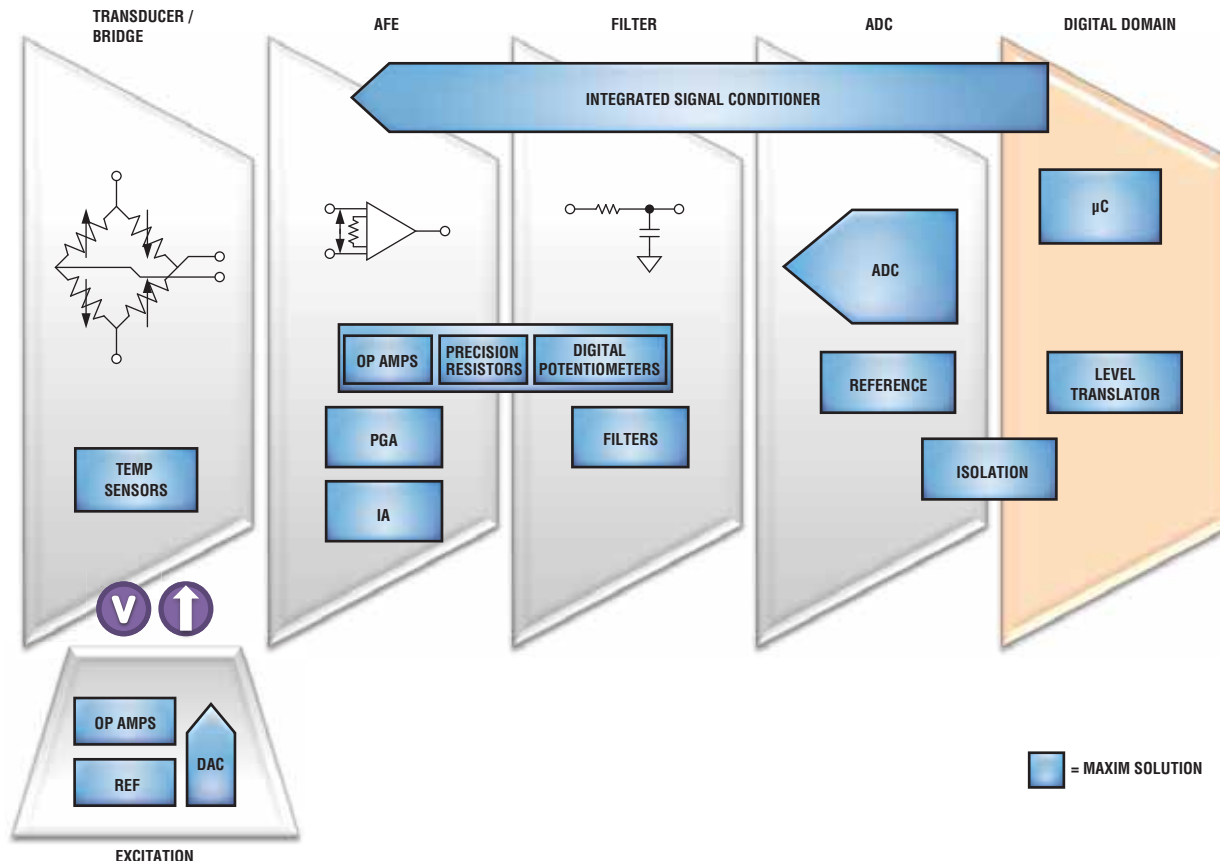
#### Введение

Необходимость измерения давления и веса — очень распространённое требование, предъявляемое к современным технологическим системам управления и мониторинга. Измерение давления особенно важно, поскольку косвенным образом оно также используется для измерения расхода, высоты и других параметров. Приборы измерения давления и веса можно считать датчиками действующей силы, поскольку именно действующая сила является той величиной, которая определяет выходной сигнал первичного преобразователя. Область применений датчиков действующей силы огромна и простирается от вакуумметров до весового оборудования, промышленного гидравлического оборудования и



датчиков абсолютного давления во впускном коллекторе двигателей внутреннего сгорания. В зависимости от приложений, к датчикам давления и веса предъявляют самые разнообразные требования

по точности измерений и стоимости. Хотя существует несколько методов и технологий измерения давления и веса (измерения силы), наиболее используемым для этих целей измерительным элементом является тензометрический датчик. Наиболее распространены два типа тензометрических датчиков. К первому типу относятся разнообразные датчики давления/веса с первичными преобразователями из металлической фольги. Второй тип — широко применяемые для измерения давления датчики с пьезорезистивными полупроводниковыми первичными преобразователями. По сравнению с первичными преобразователями из металлической фольги пьезорезистивные преобразователи характеризуются большей чувствительностью и лучшей линейностью, но при этом они сильнее подвержены влиянию



Блок-схема цепи обработки сигнала в динамометрических приложениях. Список рекомендованных компанией Maxim решений для систем измерения давления можно найти на сайте [www.maxim-ic.com/psi](http://www.maxim-ic.com/psi).

температуры и имеют большие начальные смещения.

В принципе, все тензометрические элементы реагируют на приложение силы одинаково: изменением сопротивления. Поэтому при наличии электрического возбуждения они эффективно преобразуют давление или вес в электрический сигнал. Обычно один, два или четыре таких активных резистивных элемента (тензометра) включают по схеме моста Уитстона (иногда называемой динамометрической ячейкой). На выходе моста в ответ на изменение давления или веса вырабатывается дифференциальное напряжение.

Инженерам приходится разрабатывать сенсорные модули в соответствии с уникальными требованиями различных приложений, в которых необходимо производить динамометрические измерения. Успешная конструкция будет состоять из подходящего чувствительного элемента, реагирующего на измеряемую физическую величину, и из должным образом спроектированной цепи обработки сигнала чувствительного элемента (сигнальной цепи).

### Готовые решения для сигнальных цепей

Цепи обработки сигналов первичных преобразователей должны уметь работать с чрезвычайно малыми сигналами в присутствии шумов. Для точного измерения изменений напряжения на выходе резистивного первичного преобразователя требуется такая схема, которая обеспечивает высокоточное выполнение следующих функций: возбуждение, усиление, фильтрацию и сбор данных. В некоторых случаях могут также потребоваться цифровая обработка сигналов (ЦОС), компенсация погрешностей, цифровое усиление и возможность программирования пользователем.

### Возбуждение

Для возбуждения первичных преобразователей обычно используются точные и стабильные источники тока или напряжения с малым температурным дрейфом. По отношению к возбуждающему источнику выходной сигнал датчика является логометрическим (обычно выражается в мВ/В). Следовательно, в конструкции обычно имеется общее опорное напряжение для аналого-цифрового преобразователя (АЦП) и схемы возбуждения, или напряжение возбуждения используется в ней в качестве опорного напряжения для АЦП. Для точного измерения напряжения возбуждения могут использоваться дополнительные каналы АЦП.

### Первичный преобразователь/мост

Как вкратце говорилось ранее, эта часть сигнальной цепи состоит из тензометрических первичных преобразователей, образующих совместно динамометрическую ячейку (в виде моста Уитстона).

### Усиление и сдвиг уровня — аналоговый входной блок

В некоторых случаях диапазон выходного напряжения первичного преобразователя крайне мал, что требует разрешения на уровне нановольт. В таких случаях выходной сигнал первичного преобразователя должен быть усилен перед его подачей на входы АЦП. Чтобы не вносить погрешностей на этапе усиления, следует выбирать малошумящие усилители (LNA — Low-Noise Amplifiers) с чрезвычайно низким напряжением смещения ( $V_{OS}$ ) и низким температурным дрейфом напряжения смещения. Недостаток моста Уитстона состоит в том, что синфазное напряжение на его выходе гораздо больше, чем напряжение полезного сигнала. Это означает, что малошумящие усилители должны также обладать

превосходным коэффициентами ослабления синфазных сигналов (Common-Mode Rejection Ratio), обычно более 100 дБ. При использовании АЦП с несимметричными (single-ended) входами требуется введение дополнительной схемы, которая должна удалить из обрабатываемого сигнала большие синфазные составляющие перед его дискретизацией. К тому же, поскольку полоса пропускания сигнала мала, погрешности может вносить  $1/f$ -составляющая шума усилителей. В связи с этим часто используют усилители постоянного тока со стабилизацией нуля прерыванием (chopper-stabilized amplifiers). Некоторых из этих строгих требований к параметрам усилителя можно избежать, если использовать малую часть от полного диапазона АЦП с очень высоким разрешением.

### Сбор данных — АЦП

При выборе АЦП обращайте внимание на такой параметр, как свободный от шума диапазон или эффективное разрешение, показывающий, насколько хорошо АЦП может различать фиксированные уровни напряжения на входе. Альтернативными параметрами могут быть свободные от шума отсчеты или коды внутри диапазона. В технических описаниях большинства высокоточных АЦП эти параметры приводятся в виде таблицы значений размаха (peak-to-peak) или среднеквадратичного напряжения шумов в зависимости от скорости выполнения преобразований; иногда приводятся шумовые гистограммы.

При выборе АЦП надо также смотреть, чтобы он обладал низкой погрешностью смещения, низким температурным дрейфом и хорошей линейностью. В некоторых приложениях, где требуется малое энергопотребление, важным критерием выбора может стать параметр, характеризующий зави-

симось энергопотребления АЦП от скорости преобразований.

### Фильтрация

Первичные преобразователи обычно имеют достаточно узкую полосу пропускания сигнала и высокую чувствительность к шумам. В связи с этим для снижения суммарного шума полезно ограничивать полосу пропускания сигнала с помощью фильтрации. Использование сигма-дельта АЦП может упростить задачу фильтрации шумов, поскольку сама архитектура таких АЦП предполагает избыточную дискретизацию.

### Цифровая обработка сигнала

После предварительной аналоговой обработки «захваченные» сигналы далее подвергаются обработке цифровыми методами с целью выделения полезной составляющей сигнала и снижения шума. Обычно для этого создаются специализированные алгоритмы, которые приспособлены под конкретные приложения и связанные с ними нюансы. Есть также общие методы, такие как коррекция смещения и коэффициента усиления,

линеаризация, цифровая фильтрация и компенсация температурного дрейфа (и других факторов). Такого рода обработка обычно ведётся цифровым образом.

### Обработка сигнала: интегральные решения

Современная тенденция — интегрировать все требуемые функциональные блоки в одну интегральную схему, обычно называемую схемой предварительной обработки сигнала первичного преобразователя/датчика (формирователем). Формирователь сигнала — это специализированная микросхема (ASIC), которая осуществляет компенсацию, усиление и калибровку входного сигнала, как правило, в заданном диапазоне температур. В зависимости от сложности формирователя сигнала в нём имеются все или некоторые из следующих блоков: схема возбуждения первичного преобразователя, цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП), усилитель с программируемым коэффициентом усиления, аналого-цифровой преобразователь (АЦП), память, мультиплексор, ЦПУ, датчик температуры и цифровой интерфейс.

Распространены два типа формирователей сигнала: аналоговые (с аналоговым трактом прохождения сигнала) и цифровые (с цифровым трактом прохождения сигнала). Аналоговые схемы обеспечивают более быстрый отклик и генерируют непрерывный выходной сигнал, отражающий все изменения сигнала на входе. В них обычно применяются жёстко заданные (негибкие) схемы компенсации. Цифровые формирователи, которые обычно строятся на базе микроконтроллеров, характеризуются более медленным откликом, что вызвано временными задержками, связанными с переводом сигнала в цифровую форму с помощью АЦП и конечным временем выполнения программ, реализующих различные алгоритмы цифровой обработки сигналов (ЦОС). Для минимизации погрешностей квантования следует принимать во внимание разрешающую способность АЦП. Самым крупным преимуществом цифровых методов предварительной обработки сигнала является гибкость алгоритмов компенсации, которые могут быть адаптированы под конкретное пользовательское приложение.

## Гибкие АЦП для связи с датчиками разных типов

## MAX1415/MAX1416, MX7705

Для датчиков давления обычно характерна сильная зависимость показаний от температуры. Поэтому при измерении давления следует одновременно контролировать и температуру. Отличительной особенностью АЦП MAX1415 является наличие дифференциальных опорных входов, что позволяет проводить логометрические измерения при напряжении возбуждения 3 В. Два дифференциальных входа дают возможность контролировать одним АЦП давление и температуру (при использовании резистивного датчика температуры).

## Преимущества

- **Согласование входного диапазона АЦП с выходным диапазоном датчика улучшает различимость сигнала**

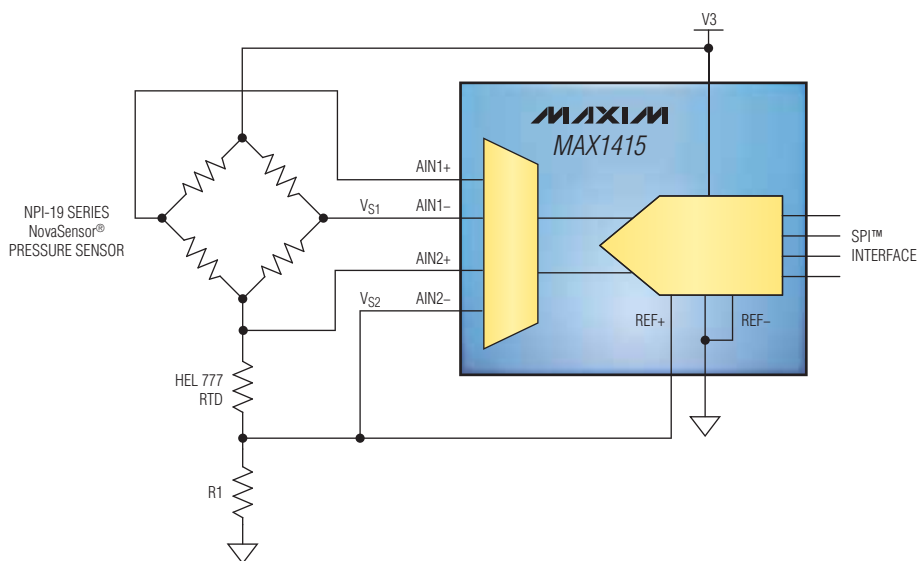
- Встроенный усилитель с программируемым коэффициентом усиления допускает работу с диапазоном полной шкалы (FSR) от 20 мВ, что позволяет обеспечить хорошее согласование с выходным диапазоном первичных преобразователей

- **Высокая степень интеграции снижает сложность конструкции**

- Встроенные режимы само- и системной калибровки улучшают точность и снижают время на разработку готового устройства
- Встроенный цифровой заграждающий фильтр на 50/60 Гц удаляет нежелательные сетевые наводки

- **Упрощение конструкции благодаря функциональным возможностям, оптимизированным под многоканальные логометрические/мостовые измерения**

- Дифференциальный опорный вход для логометрических измерений, часто используемый в схемах мостового типа
- Два дифференциальных канала позволяют одновременно измерять давление и температуру (распространённое требование)



Подключение датчиков давления и температуры к АЦП MAX1415.

### Высокая точность при низком временном и температурном дрейфе

#### MAX9617/MAX9618, MAX11200

Одна из самых больших проблем создания схем сопряжения с датчиками связана с низкими уровнями сигналов. Поскольку полоса пропускания сигналов многих датчиков лежит в низкочастотном диапазоне и составляет единицы герц, то обратно пропорциональный частоте  $1/f$ -шум становится важным критерием выбора операционных усилителей. Предлагаемые компанией Maxim операционные усилители с низким энергопотреблением ( $< 100 \mu\text{A}$ ) и автоматической установкой нуля MAX9617/MAX9618 обладают самым низким среди промышленно выпускаемых приборов уровнем шумов ( $40 \text{ нВ}/\sqrt{\text{Гц}}$ ). У этих ОУ наилучший в своем классе размах (peak-to-peak) напряжения шумов ( $< 420 \text{ нВ}$  (p-p)) в полосе частот от 0,1 до 10 Гц. Совместно с MAX11200 — одним из лучших в промышленности 24-битным (21 бит, свободный от шумов) сигма-дельта АЦП с низким энергопотреблением — эти ОУ формируют идеальную схему для точного считывания низкочастотных сигналов малой амплитуды.

#### Преимущества

- **Минимум системных калибровок (MAX9617/MAX9618)**
  - Технология автоматической установки нуля ОУ снижает температурный коэффициент напряжения смещения до  $120 \text{ нВ}/^\circ\text{C}$
- **Обеспечивает самые точные измерения при самом низком энергопотреблении (MAX11200)**
  - АЦП с самым высоким разрешением на единицу энергопотребления для датчиков с токовой петлей 4–20 мА: до  $200 \mu\text{A}$  при 21-бит свободном от шумов диапазоне и скорости 10 выб./с
  - Самая низкая ( $< 780 \text{ мкВт}$ ) плотность шума для низкочастотных схем
- **Регистрация чрезвычайно малых изменений меняющихся в широком диапазоне давлений и весов (MAX11200)**
  - Свободный от шумов 21-битный диапазон позволяет идентифицировать изменения входного сигнала с шагом до  $500 \text{ нВ}$  в широкодиапазонных высокоточных приложениях
  - Самые малозумящие из промышленно выпускаемых ОУ с автоматической установкой нуля и уровнем шума в полосе частот от 0,1 до 10 Гц не более  $420 \text{ нВ}$  (p-p)
  - Отсутствие шумовой составляющей  $1/f$  гарантирует низкие искажения в блоке предварительной обработки сигнала на частотах ниже 0,1 Гц

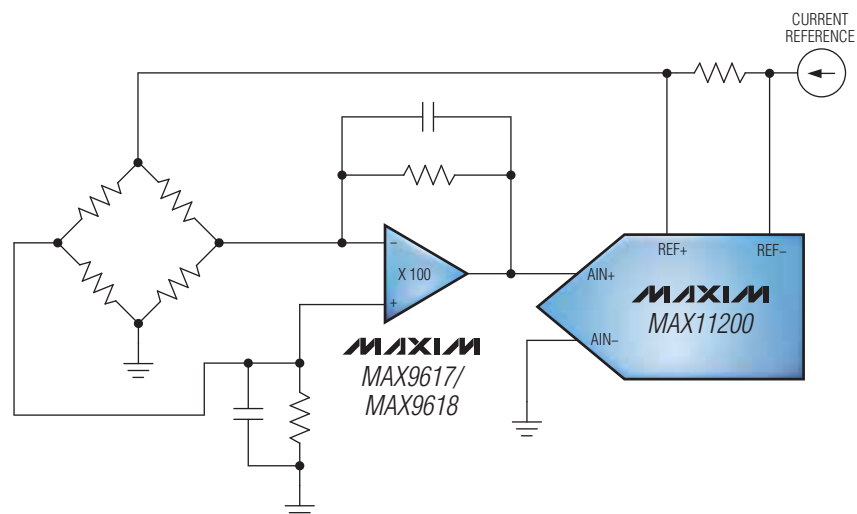


Схема с использованием ОУ MAX9617/9618 и АЦП MAX11200 обеспечивает высокую точность и высокую временную и температурную стабильность.

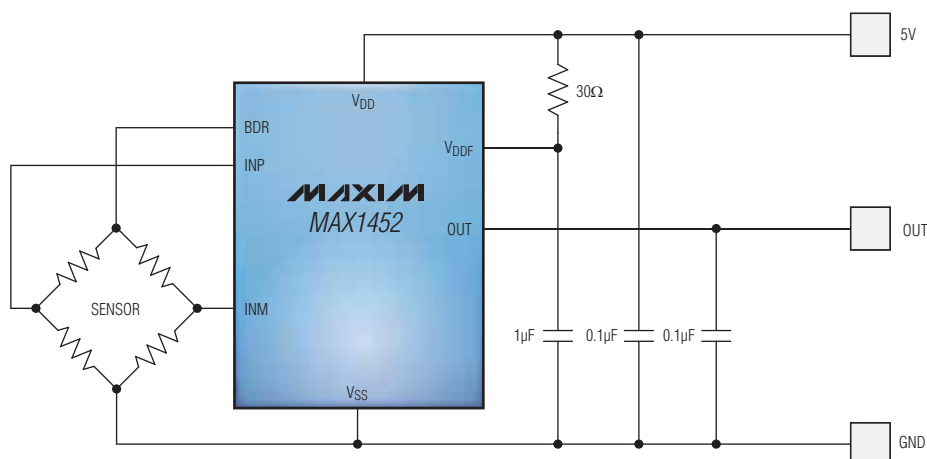
## Недорогая прецизионная схема предварительной обработки сигнала делает конструкцию датчика проще

### MAX1452

MAX1452 — микросхема аналоговой обработки, на которую можно подавать сигналы с выходов резистивных измерительных элементов всех типов. Её полностью аналоговая схема обработки характеризуется быстрым откликом на изменения входного сигнала, а возможность генерации возбуждающего воздействия в виде тока или напряжения обеспечивает оптимальную гибкость при разработке новых устройств. Четыре встроенных 16-битных ЦАП и усилитель с программируемым коэффициентом усиления обеспечивают калибровку, усиление и входную компенсацию высокого разрешения. В MAX1452 имеется встроенная флэш-память и датчик температуры, что позволяет организовать многоточечную компенсацию погрешностей, вызываемых изменением температуры, что, в свою очередь, повышает точность измерений.

### Преимущества

- **Снижение стоимости комплектующих**
  - Высокая степень интеграции минимизирует количество требуемых внешних компонентов; для получения точного калиброванного выходного сигнала не нужны элементы внешней настройки
- **Высокая точность выходного сигнала благодаря исключению всех систематических погрешностей**
  - Полностью аналоговая схема обеспечивает непрерывность выходного сигнала, отсутствуют ошибки дискретизации
  - Четыре 16-битных ЦАП (разрешение 76 мкВ) обеспечивают компенсацию смещения и точность во всём выходном диапазоне
  - Многоточечная компенсация погрешностей, связанных с влиянием температуры, позволяет проводить калибровку и добиваться повторяемости отклика на повторяющийся входной сигнал во всём диапазоне температур
- **Уменьшение сроков разработки новых устройств и уменьшение складской номенклатуры**
  - Микросхема может использоваться со многими типами первичных преобразователей и во многих приложениях
  - Применение одной и той же микросхемы в разных приложениях открывает возможность повторного использования ранее найденного схемотехнического решения
  - Может использоваться в изделиях с выходным сигналом в виде напряжения или с выходом в виде токовой петли 4–20 мА



Недорогая прецизионная аналоговая микросхема обработки сигналов датчиков (MAX1452) в конфигурации измерения соотношений (ratiometric).

### Многоканальная малошумящая схема обработки сигналов датчиков с низким энергопотреблением снижает затраты и экономит место на плате

#### MAX1464

Микросхема высокой степени интеграции MAX1464 — это цифровая многоканальная схема обработки сигналов датчиков, оптимизированная для использования в промышленных системах управления технологическими процессами и в автомобильных приложениях. Применяется для измерения давления, линеаризации характеристик резистивных датчиков температуры и термодпар, взвешивания и удалённого мониторинга с индикацией ограничений и т. п. ИС MAX1464 упрощает схемотехнические решения и делает их выгодными для производства, поскольку может работать как с несимметричными (single-ended), так и с дифференциальными сигналами датчиков. Она обеспечивает всестороннюю температурную компенсацию без необходимости использовать для этих целей какие-либо внешние настроечные компоненты. Выходной сигнал может быть получен через SPI-совместимый интерфейс с помощью цифро-аналоговых преобразователей с выходом по напряжению или используя выходы ШИМ. В MAX1464 имеется 16-битное ЦПУ; 4 Кбайт флэш-памяти для программируемых пользователем алгоритмов компенсации, 128 байт для хранения пользовательской информации и две линии ввода/вывода общего назначения. В состав микросхемы входит выходной блок из двух операционных усилителей для поддержки приложений с токовой петлёй 4–20 мА.

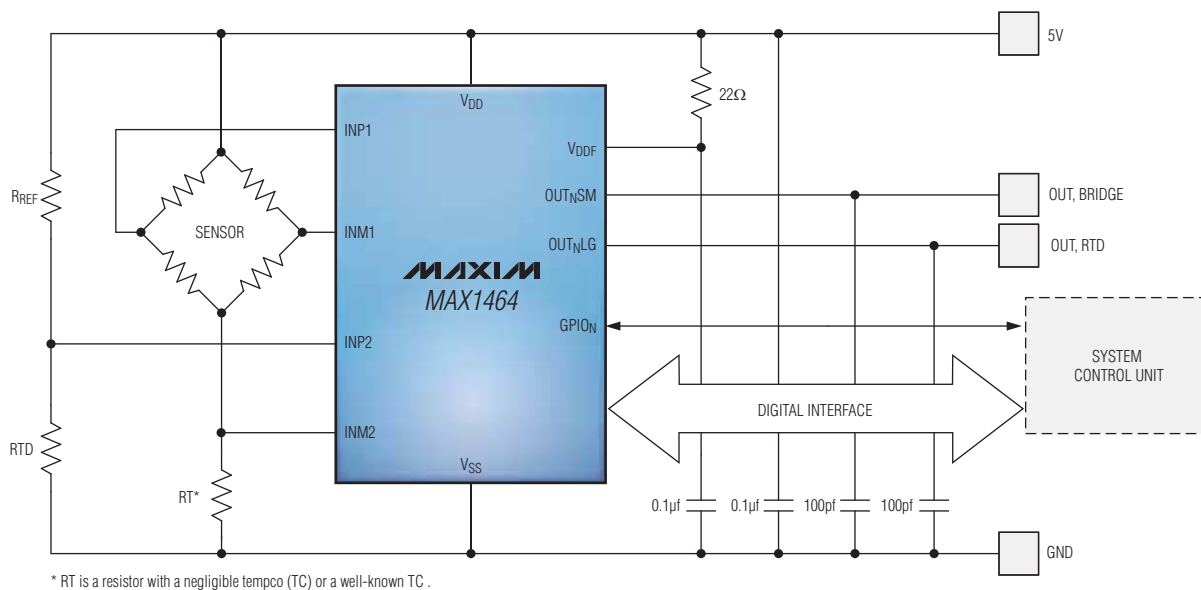
#### Преимущества

- **Благодаря прямой связи с микропроцессором или блоком управления достигается снижение затрат и экономится место на плате**
  - SPI-совместимый интерфейс исключает необходимость в интерфейсной схеме
  - Линии ввода/вывода общего назначения облегчают инструментальный контроль, выдачу системных предупреждений и двухсторонний обмен сигнальными сообщениями
- **Многоканальность снижает стоимость комплектования, улучшает параметры схемы и уменьшает занимаемую площадь на плате**
  - Использование одного многоканального устройства вместо множества одноканальных позволяет получать результаты измерений, более пригодные для сравнения при меньших затратах
  - Высокая степень интеграции минимизирует количество компонентов и позволяет сэкономить место на плате
  - Для получения точного калиброванного выходного сигнала не требуются внешние настроечные компоненты
- **Адаптируемый алгоритм компенсации позволяет оптимизировать параметры датчика**
  - Пользователь может модифицировать алгоритм компенсации под нужды своего приложения
  - Алгоритм компенсации сохраняется во встроенной энергонезависимой флэш-памяти
- **Сокращение сроков разработки**
  - Гибкость проектирования для конструкций, в которых требуется наличие цифрового выхода, выхода по напряжению, ШИМ-выхода, или токового выхода для поддержки токовой петли 4–20 мА
  - У встроенного микропроцессора всего 16 команд, что облегчает его программирование
  - Подходит для использования со многими типами первичных преобразователей

*(Блок-схема на следующей странице)*



Многоканальная малозумящая схема обработки сигналов датчиков с низким энергопотреблением снижает затраты и экономит место на плате *(продолжение)*



Многоканальная цифровая схема обработки сигналов MAX1464 позволяет проводить измерения с помощью одного дифференциального и двух несимметричных входов.

### Измерение температуры

#### Введение

Измерение температуры критически важно для реализации в промышленных системах трёх ключевых функций.

- 1. Контроль температуры**, например, в печах, холодильных установках и системах климат-контроля. На основе измерений температуры принимаются решения о включении и отключении нагрева или охлаждения.
- 2. Калибровка** различных первичных преобразователей, генераторов и других компонентов часто оказывается температурно-зависимой. Поэтому для обеспечения точности чувствительных системных компонентов следует проводить измерения температуры.

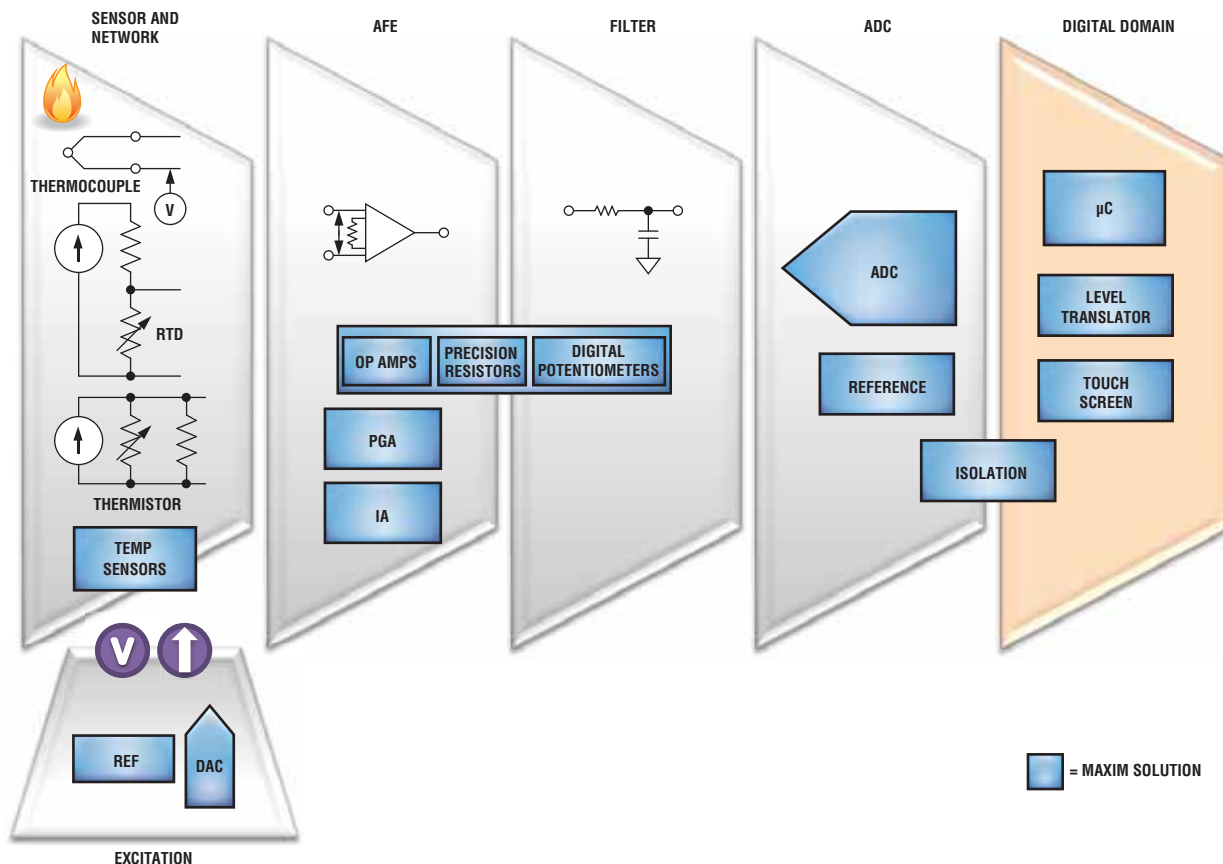


- 3. Защита** компонентов и систем от повреждений, вызванных выходом температуры за границы безопасного диапазона. Измерение температуры позволяет определить, какие меры следует предпринять.

Термисторы, резистивные датчики температуры (RTD), термопары и интегральные датчики — вот

некоторые из наиболее широко используемых на сегодняшний день способов измерения температуры. У каждого есть свои сильные стороны (например, цена, точность, диапазон измеряемых температур), которые делают его подходящим для использования в определённых приложениях. Все вышеуказанные способы будут рассмотрены ниже.

Помимо самой обширной в отрасли линейки специальных интегральных датчиков температуры, компания Maxim выпускает весь спектр компонентов, необходимых для сопряжения системы с термисторами, резистивными датчиками температуры и термопарами.



Блок-схема цепи обработки сигнала в устройствах измерения температуры. Список рекомендованных компанией Maxim решений для задач, связанных с измерением температуры, приведён на сайте [www.maxim-ic.com/-40+85](http://www.maxim-ic.com/-40+85).

### Термисторы

Термисторы — это резисторы, сопротивление которых зависит от температуры. Обычно их изготавливают из полупроводниковых материалов, таких как металлооксидная керамика или полимеры. Наиболее широко используются термисторы с отрицательным температурным коэффициентом сопротивления (ТКС), которые по этой причине называют NTC-термисторами (NTC — Negative Temperature Coefficient). Существуют также термисторы с положительным ТКС — PTC-термисторы (PTC — Positive Temperature Coefficient), или позисторы.

Термисторы характеризуются умеренным диапазоном измеряемых температур, обычно до +150°C, хотя некоторые способны работать и с гораздо более высокими температурами. Цены — от низких до умеренных, в зависимости от точности. Линейность характеристики термисторов не очень хорошая, но сама характеристика предсказуемая. Термисторы выпускаются в виде зондов, в корпусах для поверхностного монтажа, с ленточными выводами и в различных специализированных корпусах. Компания Maxim производит также микросхемы, преобразующие сопротивление термистора в температуру в цифровом формате, например MAX6682 и MAX6698,

Термисторы часто соединяют с одним или несколькими постоянными резисторами для формирования делителей напряжения. Выходной сигнал с делителя обычно оцифровывают с помощью АЦП. Нелинейность характеристики термистора может быть скорректирована либо с помощью таблицы преобразований (lookup table), либо расчётным путем.

### Резистивные датчики температуры

Резистивные датчики температуры (RTD) — это резисторы, сопротивление которых меняется с темпе-

ратурой. Наиболее распространённым материалом проволочных RTD-датчиков, который к тому же обеспечивает наилучшую точность измерений, является платина. Платиновые датчики обозначают Pt-RTD. Резистивные датчики температуры могут также изготавливаться из никеля, меди и других металлов.

Для резистивных датчиков характерен широкий температурный диапазон — вплоть до +750°C; им присущи превосходные точность и повторяемость, а также разумная линейность. Наибольшее распространение получили платиновые датчики с номинальным сопротивлением 100 Ом и 1 кОм при 0°C, хотя доступны датчики и с другими номиналами.

В случае резистивных датчиков цепь формирования полезного сигнала может представлять собой простое соединение датчика с прецизионным постоянным резисто-

ром, в результате чего образуется делитель напряжения. Сигнальная цепь может быть более сложной, особенно в случае измерения температуры в широком диапазоне. Распространённый подход, показанный на **Рис. 1**, заключается в использовании источника тока, источника опорного напряжения и АЦП с высоким разрешением. Линеаризация может выполняться с помощью корректировочных таблиц или посредством внешних схем.

### Термопары

Термопары изготавливают соединением двух проводников из разнородных металлов. В точке контакта проводников генерируется напряжение, почти пропорциональное температуре. Существует несколько типов термопар, что можно увидеть по различиям в буквенных обозначениях. Наибольшей популярностью пользуются термопары К-типа.

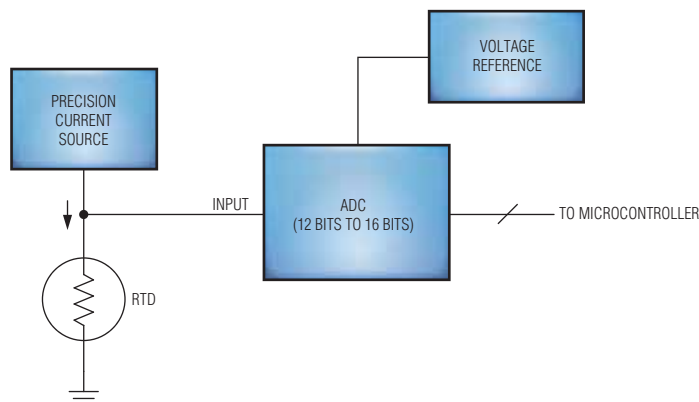


Рис. 1. Упрощённая схема обработки сигнала резистивного датчика температуры.

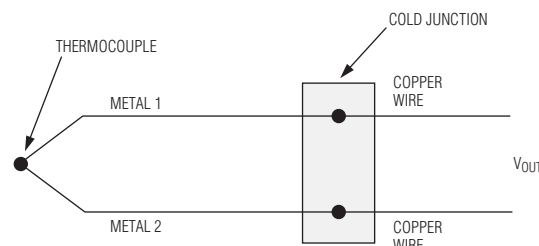


Рис. 2. Простая схема с термопарой. Точка соединения проводника из металла 1 и проводника из металла 2 — основная термопара или точка горячего спая. Другие термопары появляются там, где провода из металла 1 и металла 2 соединяются с медными проводами измерительного устройства или печатными дорожками платы (холодный спай).

Термопары характеризуются широким диапазоном измеряемых температур (вплоть до 1800°C); низкой стоимостью, которая зависит от типа корпуса; очень маленьким выходным напряжением (около 40 мкВ/°C для приборов К-типа); разумной линейностью; умеренно сложной схемой формирования сигнала (требуется компенсация температуры холодного спая и усиление).

Измерение температуры с помощью термопар представляет собой довольно сложную задачу, что связано с маленьким выходным напряжением. Процесс ещё более усложняется из-за того, что в точке контакта проводников термопары с медными проводами (или дорожками), которые обеспечивают подключение термопары к схеме последующей обработки сигнала, образуются дополнительные термопары. Эту точку контакта проводников термопары с медными дорожками называют холодным спаем (см. **Рис. 2**). Чтобы аккуратно измерить температуру термопарой, в схему следует добавить датчик температуры холодного спая, как показано на **Рис. 3**. Затем температуру, измеренную на холодном спае, добавляют к температуре, рассчитанной по напряжению на термопаре. В схеме, показанной в качестве примера на **Рис. 3**, представлен один из возможных вариантов реализации измерителя температуры с помощью термопары. Видно, что в схему входит большое количество прецизионных компонентов. Помимо компонентов,

показанных на **Рис. 3**, компания Maxim также выпускает интегральные схемы MAX6674 и MAX6675, которые выполняют функции обработки сигналов термопар К-типа. Эти микросхемы упрощают задачу измерения температуры с помощью термопар и значительно уменьшают число компонентов, требуемых для усиления, компенсации температуры холодного спая и перевода выходного сигнала термопары в цифровой формат.

### Интегральные датчики температуры

В основе интегральных датчиков температуры лежит тот факт, что тепловая характеристика  $p\eta$ -перехода в кремнии линейна и предсказуема. Из-за того, что это активные схемы, создаваемые посредством традиционных для промышленности полупроводниковых технологических процессов, на настоящий момент имеется множество разнообразных видов и вариантов таких микросхем. Они включают множество функциональных блоков, например, таких как цифровые интерфейсы, входные АЦП и модули управления вентиляторами, что недоступно при использовании других технологий. Рабочий температурный диапазон интегральных датчиков от -55 до +125°C, есть небольшое количество изделий, максимальная рабочая температура которых составляет около +150°C. Ниже приведены описания распространённых типов интегральных датчиков температуры.

### Аналоговые датчики температуры

Аналоговые интегральные датчики преобразуют температуру в напряжение или, в некоторых случаях, в ток. У простейших аналоговых датчиков температуры с выходным сигналом в виде напряжения имеется всего три вывода: общий (земля), вход подачи напряжения питания и выход. У аналоговых датчиков с расширенными функциональными возможностями присутствуют дополнительные входы и выходы, скажем выходы компаратора или источника опорного напряжения. Для получения выходного напряжения, пропорционального температуре, в аналоговых датчиках используют температурные характеристики биполярных транзисторов. Для получения удобного соотношения между напряжением на выходе датчика и температурой кристалла напряжение усиливают и добавляют к нему смещение. Точность измерения температуры может быть просто превосходной. К примеру, погрешность DS600 — самого точного в отрасли аналогового датчика температуры — гарантировано не превышает  $\pm 0,5^\circ\text{C}$  в диапазоне измеряемых температур (от -20 до +100°C).

### Цифровые датчики для локального измерения температуры

Интеграция аналогового датчика температуры с АЦП — очевидный способ создания датчика темпе-

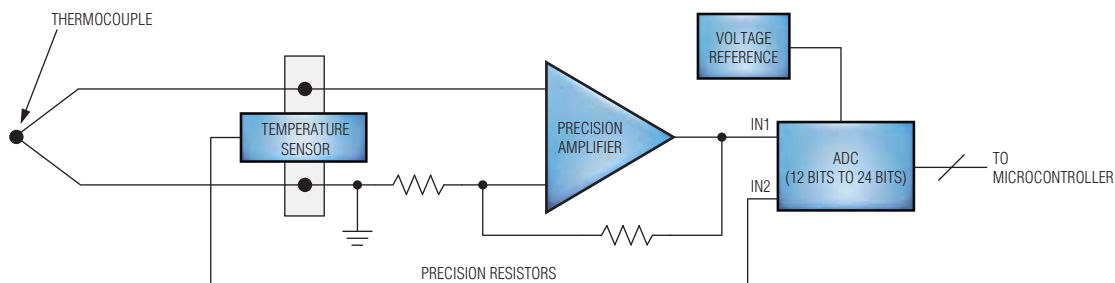


Рис. 3. Пример схемы обработки сигнала термопары.

ратуры с цифровым интерфейсом. Такое устройство обычно называют цифровым датчиком температуры или локальным цифровым датчиком температуры. Слово «локальный» указывает на то, что датчик измеряет свою собственную температуру. Такое функционирование противоположно работе удалённого датчика температуры, который измеряет температуру внешней микросхемы или дискретного транзистора.

Базовые модели цифровых датчиков просто измеряют температуру и позволяют считывать полученные результаты с помощью различных интерфейсов, например, 1-Wire®, I<sup>2</sup>C, PWM (ШИМ) и 3-wire. Более сложные цифровые датчики предлагают другие функциональные возможности, например, генерацию сигнала, свидетельствующего о том, что температура вышла за заданные пределы; в них есть регистры для установки пороговых значений и электрически стираемое программируемое ПЗУ (EEPROM). Компания Maxim выпускает несколько моделей локальных цифровых датчиков температуры, включая DS7505 и DS18B20, которые гарантируют точность измерений  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  в широком диапазоне температур.

### Цифровые датчики для удалённого измерения температуры

Цифровые датчики для удалённого измерения температуры также называют дистанционными датчиками температуры. Дистанционный датчик температуры измеряет температуру внешнего транзистора: дискретного или интегрированного в кристалл другой микросхемы, как показано на **Рис. 4**. В микропроцессоры, ПЛИС и специализированные (ASIC) микросхемы часто добавляют один или несколько измерительных транзисторов, которые обычно называют термодиодами, подобных тому, что показан на **Рис. 4**.

У дистанционных датчиков температуры есть важное преимущество: они позволяют с помощью одной интегральной схемы измерять несколько температур в разных точках. Базовый одиночный дистанционный датчик температуры, такой как MAX6642, показанный на **Рис. 4**, может отслеживать две температуры: свою собственную и в удалённой точке. Внешняя удалённая точка может находиться на кристалле целевой ИС, как на **Рис. 4**, или в месте интенсивного тепловыделе-

ния на печатной плате, где за ней следят с помощью дискретного транзистора. Некоторые датчики позволяют отслеживать температуру в семи внешних точках. Таким образом, с помощью одной микросхемы осуществляется мониторинг температуры в восьми местах, если учитывать температуру самой микросхемы. Рассмотрим в качестве примера MAX6602. У этого датчика имеется четыре входа для подключения удалённых первичных диодных преобразователей. Поэтому он может измерять температуру пары ПЛИС со встроенными термодиодами, плюс, используя в качестве первичных преобразователей дискретные транзисторы, температуры в двух наиболее теплонагруженных местах на плате, и, наконец, температуру на плате в месте размещения самой микросхемы MAX6602. И MAX6602, и упоминавшаяся здесь микросхема MAX6642 обеспечивают точность измерений  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  при работе с внешними термодиодами.

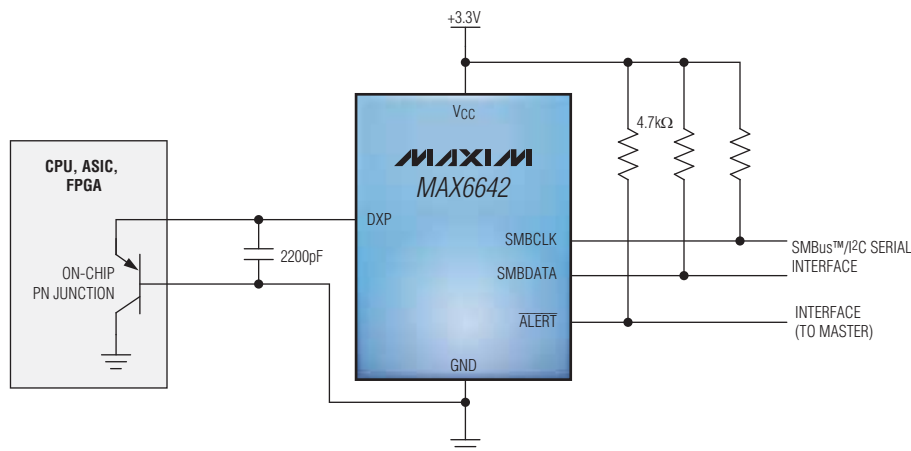


Рис. 4. Дистанционный датчик температуры MAX6642 позволяет следить за температурой измерительного транзистора (или термодиода), расположенного на кристалле внешней ИС.

[www.maxim-ic.com/-40+85](http://www.maxim-ic.com/-40+85)

### Простой интегральный преобразователь сигнала резистивного датчика температуры в цифровую форму

#### MAX1402, MAX4236/ MAX4237

Любое заметное сопротивление на выводах резистивного датчика температуры (RTD) будет вносить погрешность в результаты измерений. Поэтому в случае длинных проводов для исключения таких погрешностей используют 3- или 4-проводной способ подключения. На схеме, приведённой на **Рис. А**, показан 4-проводной интерфейс RTD-датчика с использованием АЦП с избыточной дискретизацией MAX1402. В MAX1402 имеется два согласованных источника тока, что значительно снижает количество микросхем в преобразователе сигнала резистивного датчика. Один из источников выдает ток возбуждения для RTD-датчика, в данном случае для Pt100. Так как

этот ток возбуждения не протекает по сигнальным (измерительным) проводам, то их сопротивление не оказывает никакого влияния на точность измерений. Ко второму источнику тока подключён прецизионный резистор. Протекающий через этот резистор ток создает опорное напряжение для АЦП, тем самым исключается необходимость во внешнем источнике опорного напряжения.

Для обеспечения максимальной точности измерений применяют коррекцию собранных данных с целью компенсации нелинейности RTD-датчика Pt100. Также для компенсации отклонения сопротивления опорного резистора от номинала и компенсации рассогласования источников тока корректируют коэффициент усиле-

ния. Цифровой коррекции нелинейности можно избежать, если ввести в схему усилителя контур слабой положительной обратной связи, как показано на **Рис. В**. Получаемое в результате отклонение от линейности не превышает  $\pm 0,05^\circ\text{C}$  в диапазоне температур от  $-100$  до  $+200^\circ\text{C}$ . Данная схема не устраняет погрешностей, вносимых сопротивлением длинных проводов, поэтому её следует использовать только в тех случаях, когда резистивный датчик температуры устанавливается вблизи от измерительной схемы. Более подробную информацию по этому вопросу можно найти в статье по применению (application note) 3450 «Positive Analog Feedback Compensates Pt100 Transducer» (Положительная аналоговая обратная связь корректирует характеристику датчика Pt100).

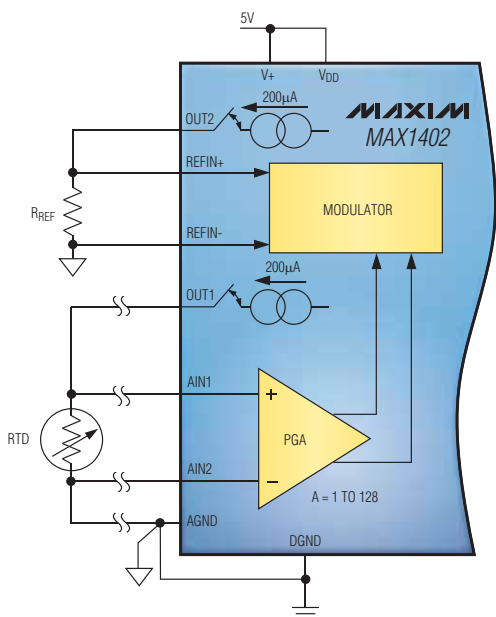


Рис. А. На схеме показано 4-проводное подключение датчика Pt100 к АЦП MAX1402.

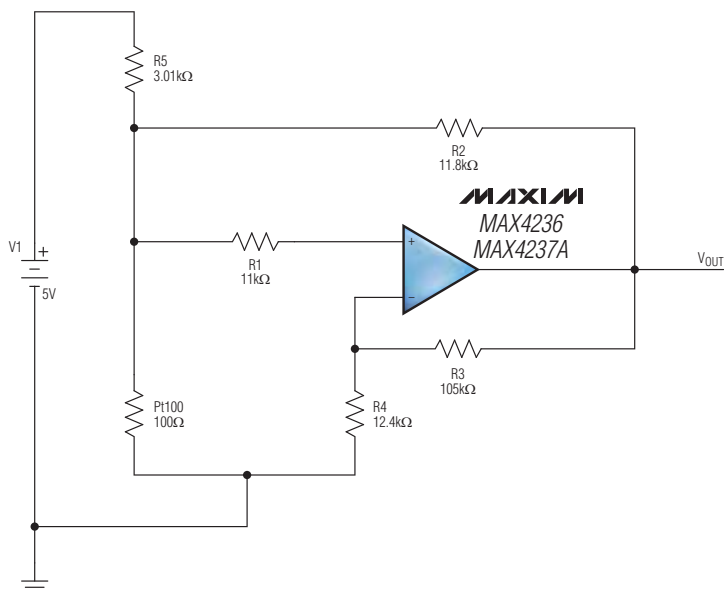


Рис. В. Схема линейризации характеристики датчика Pt100. Коррекция достигается одним дополнительным резистором. Резистор R2 формирует контур слабой положительной обратной связи.



Готовые схемы интерфейса термопар исключают внешние компоненты, занимают меньше места на плате (*продолжение*)

Больше информации по вопросам измерения температуры можно получить в руководстве по управлению тепловыми процессами на сайте [www.maxim-ic.com/thermal-handbook](http://www.maxim-ic.com/thermal-handbook).

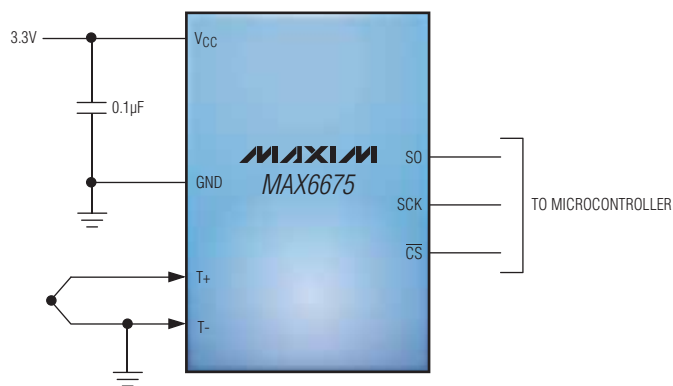


Рис. В. MAX6675 — готовый преобразователь сигнала термопары К-типа в цифровой формат.



## Измерение тока, освещённости и расстояния до объекта

### Введение

Измерять ток требуется во многих приложениях, при этом измерение тока можно разделить на две категории.

- К первой категории относятся измерения больших токов, часто для мониторинга состояния источников питания. К типичным применениям можно отнести обнаружение коротких замыканий, переходных процессов и включения батареи в обратной полярности.
- Измерять ток нужно также в приложениях, которые имеют дело с гораздо меньшими токами (вплоть до микроампер). Это, например, схемы с фотодиодами, которые генерируют небольшой ток при попадании на них светового потока. Распространённые применения — измерение окружающей освещённости, обнаружение приближения объекта и мониторинг химических процессов на основе оценки степени отражения или поглощения светового потока.

В обеих категориях для измерения тока используют различные виды токоизмерительных усилителей или управляемые током усилители напряжения (транsimpедансные усилители; Transimpedance amplifier — TIA). Все типы токоизмерительных усилителей обсуждаются далее.

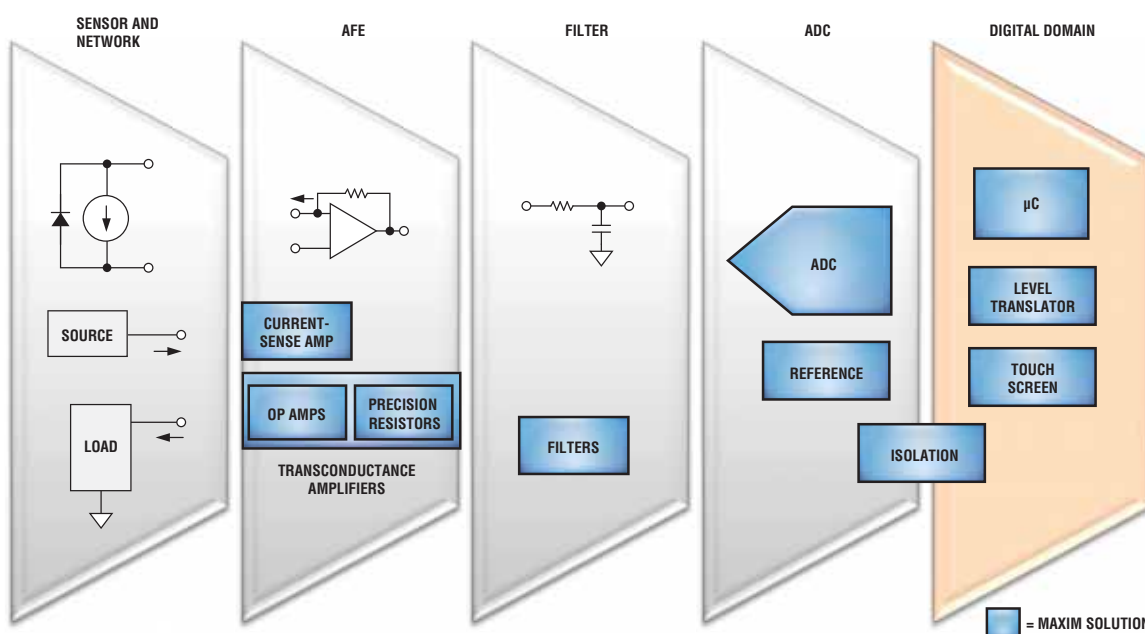
### Измерение тока токоизмерительными усилителями

Измерения тока производятся самыми разнообразными способами, но до сих пор наиболее популярным способом остаётся измерение тока с помощью резистора. Базовый принцип этого метода — усилить падение напряжения на токоизмерительном резисторе, используя дифференциальный усилительный каскад на ОУ, а затем измерить полученное напряжение. Хотя для построения усилителя можно использовать дискретные компоненты, интегральные токоизмерительные усилители обладают значительными преимуществами перед своими дискретными оппо-



нентами. У них меньше температурный дрейф, для их размещения требуется меньше места на печатной плате, они способны работать в широком диапазоне синфазных сигналов.

В большинстве приложений измерение тока производится либо со стороны положительной шины питания (в верхнем плече), либо со стороны земляной шины (в нижнем плече). В случае измерений в нижнем плече измерительный резистор включается последовательно



Блок-схема цепи обработки сигнала в устройствах измерения тока. Список рекомендованных компанией Maxim решений для задач, связанных с измерением тока, приведён на сайте [www.maxim-ic.com/detect](http://www.maxim-ic.com/detect).



с шиной земли. При таком включении синфазная составляющая входного напряжения будет невысокой, а выходное напряжение будет привязано к земле. Однако измерительный резистор при этом вносит нежелательное дополнительное сопротивление на пути протекания тока на землю. При измерениях в верхнем плече измерительный резистор включают последовательно с шиной положительного питания. В этом случае нагрузка оказывается заземлённой, но резистор должен справляться с относительно большим синфазным напряжением.

В токоизмерительных усилителях верхнего плеча компании Maxim используется токоизмерительный резистор, расположенный между положительным выводом источника питания и входом, на который подаётся напряжение питания для той схемы, мониторинг которой производится. Такое размещение исключает внесение добавочного сопротивления на пути протекания

тока нагрузки на землю, что существенно упрощает разводку платы и улучшает технические характеристики схемы в целом. Среди большого разнообразия однонаправленных и двунаправленных токоизмерительных интегральных схем компании Maxim имеются приборы как со встроенными токоизмерительными резисторами, так и без них.

### Измерение освещённости с помощью трансимпедансных усилителей

Во втором по популярности способе измерения тока используется ОУ с очень низкими входными токами, такой как трансимпедансный усилитель (усилитель напряжения, управляемый током), который преобразует входной ток в выходное напряжение. Этот способ работает при гораздо меньших токах, которые к тому же могут изменяться в широких пределах, например, как в случае токов, генерируемых фотодиодами в схемах измерения освещённости.

Простой фотодиод — очень точный первичный преобразователь уровня освещённости. Освещённость измеряется в самых разнообразных приложениях: от управления подачей электроэнергии в зависимости от уровня естес-

твенной освещённости до сложных систем управления технологическими процессами. Поскольку освещённость при этом может варьироваться в больших пределах (например, от 20 до 100 клк), широкий динамический диапазон может оказаться ключевым требованием, которому должен соответствовать датчик уровня освещённости. Интегральное решение, такое как MAX9635 — микросхема, в которую интегрированы фотодиод, усилитель и аналого-цифровой преобразователь (АЦП), обеспечивает динамический диапазон от 0,03 до 130000 лк.

### Измерение расстояния до объекта с помощью фотодиодов

Хотя определить расстояние до объекта можно по-разному, использование фотодиодов обеспечивает более высокую точность и оказывается менее энергозатратным по сравнению с другими способами. Когда свет попадает на фотодиод, генерируется ток, пропорциональный интенсивности светового потока. Буферный каскад с малощумящим входом и широкой полосой пропускания обеспечивает передачу значения этого тока в остальную систему. Точные измерения обеспечиваются усилителем с низким входным шумовым током, таким как MAX9945.

## Мониторинг электропитания системы улучшает эффективность и увеличивает надёжность

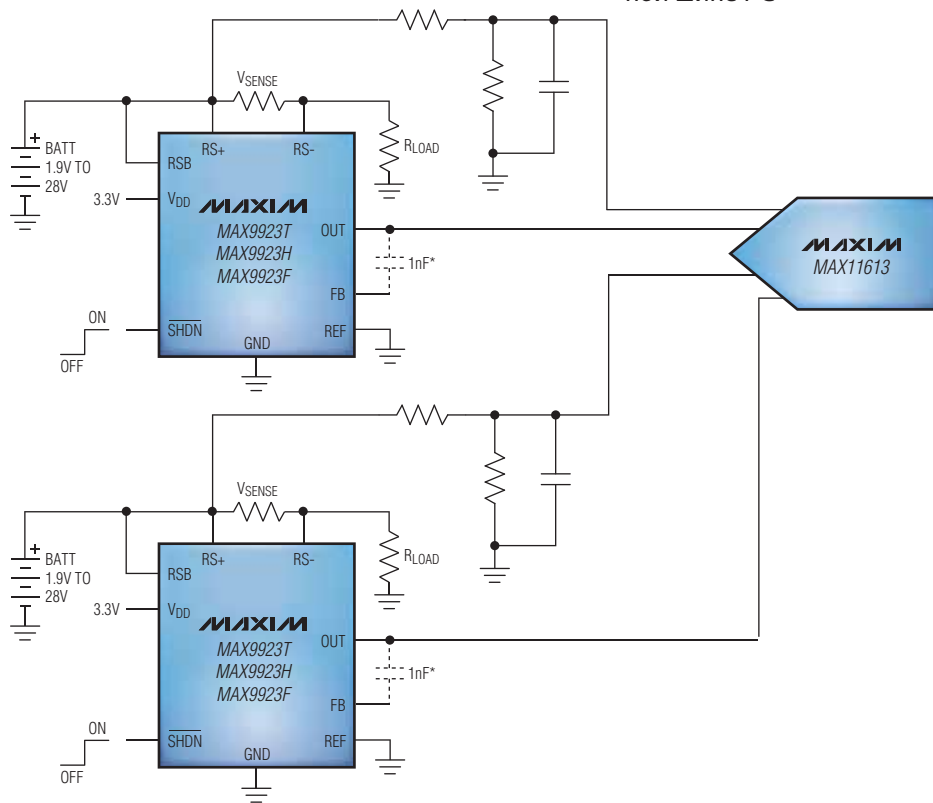
### Семейства MAX9922/MAX9923, MAX11601, MAX11607, MAX11613

На представленном здесь рисунке приведена очень распространённая схема, которую можно найти в приложениях, обеспечивающих контроль электропитания. Малошумящий усилитель MAX9923 с чрезвычайно низким напряжением смещения используется для усиления дифференциального напряжения на токоизмерительном резисторе (шунте).

Сигнал на выходе MAX9923 и выходное напряжение источника питания после резистивного делителя подаются на недорогой 4-канальный 12-битный АЦП MAX11613. При использовании двух независимых источников, как показано на рисунке, АЦП может отслеживать напряжение и ток группы источников. Семейства АЦП MAX11601, MAX11607 и MAX11613 идеальны для такого приложения, так как представляют собой дешёвое, занимающее мало места (корпус  $\mu\text{MAX}^*$  или QSOП) решение с I<sup>2</sup>C-интерфейсом и числом каналов от 4 до 12.

### Преимущества

- **Непосредственное высокоточное измерение тока на стороне источника питания**
  - На MAX9922 можно напрямую подавать сигналы напряжением до 28 В
  - В MAX9922/9923 используется патентованная технология широкодиапазонного автоматического обнуления\* для исключения смещения, временного и температурного дрейфа
  - 12-битные АЦП
- **Разнообразные и простые решения, различающиеся по характеристикам и по цене**
  - Совместимые по выводам 8-, 10- и 12-битные АЦП в одинаковых корпусах
  - АЦП с числом каналов от 4 до 12 с возможностью подключения к одной двухпроводной шине I<sup>2</sup>C



\*OPTIONAL NOISE REDUCTION

Схема мониторинга системных источников питания.

\* Патент США №6,847,257.

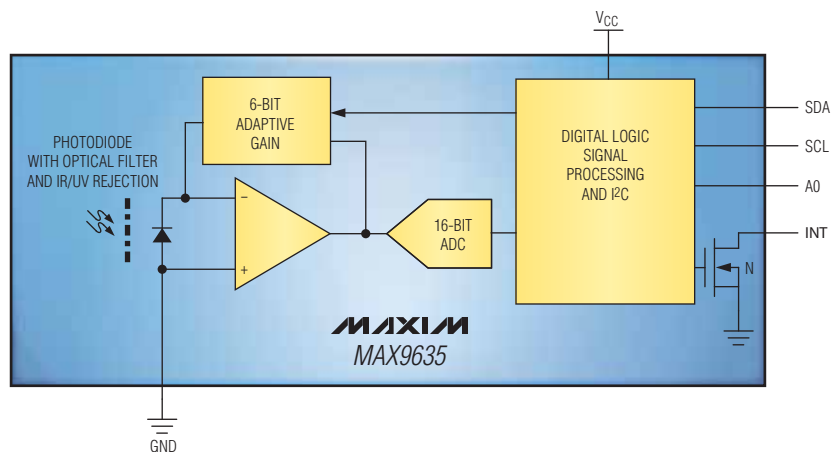
### 22-битный интегральный датчик освещённости — снижение энергопотребления, сложности и стоимости системы

#### MAX9635

MAX9635 — датчик освещённости высокой степени интеграции с цифровым выходом. Низкий потребляемый ток (1 мкА) способствует общему снижению энергопотребления системы. Встроенный АЦП и коммуникационный канал на основе последовательного интерфейса I<sup>2</sup>C снижают затраты, исключая необходимость во внешних компонентах. Также снижаются габариты, поскольку для установки интегральной схемы требуется посадочное место размером всего 2 × 2 мм. Дополнительные функциональные возможности в виде блока адаптивного усиления упрощают интеграцию данного компонента в систему.

#### Преимущества

- **Минимизация требований к системе питания**
  - Ультранизкий рабочий ток потребления (1 мкА)
  - Напряжение питания  $V_{CC}$  от 1,7 до 3,6 В, нет необходимости в двуполярном питании
- **Возможна адаптация под широкий круг задач**
  - Широкий диапазон измерений (от 0,03 до 130000 лк)
  - Гибкость благодаря возможности настройки времени преобразования
- **Высокая степень интеграции упрощает схемотехнику системы**
  - 6-битное адаптивное управление усилением для автоматического выбора диапазонов измерений упрощает схемотехническое решение
  - Оптические фильтры отсекают инфракрасное и ультрафиолетовое излучение, обеспечивая оптимальное восприятие, подобное восприятию человеческого глаза



Типовая схема включения 22-битного интегрального датчика освещённости MAX9635.

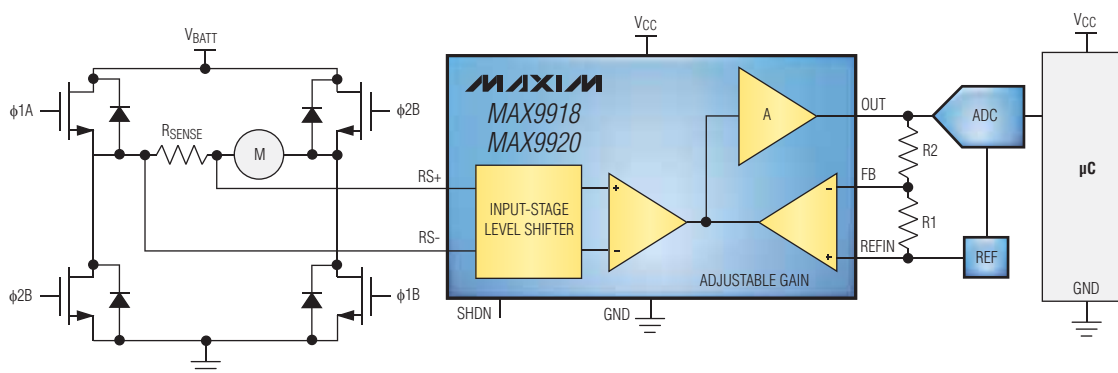
## Прецизионные измерения в очень жёстких условиях работы

### MAX9918/MAX9919/MAX9920

Усилители MAX9918/MAX9919/MAX9920 обеспечивают измерение сигналов датчиков тока, при этом ток может быть как одно-, так и двунаправленным. Микросхемы рассчитаны на работу в очень жёстких условиях, так синфазное напряжение на входе может становиться отрицательным. Рабочий диапазон синфазных напряжений для данных усилителей — от  $-20$  до  $+75$  В, что позволяет использовать их в схемах измерения тока индуктивных нагрузок. Способность усилителей работать с сигналами токов, текущих как в прямом, так и в обратном направлениях, позволяет измерять токи заряда и разряда в системе. Для работы требуется одно напряжение питания  $4,5 \dots 5,5$  В, что снижает общую стоимость системы.

### Преимущества

- Микросхемы рассчитаны на применение в технологическом оборудовании и способны работать в очень жёстких условиях
  - Диапазон синфазных входных напряжений от  $-20$  до  $+75$  В позволяет измерять токи индуктивных нагрузок
  - Автомобильный диапазон рабочих температур от  $-40$  до  $+125^\circ\text{C}$
- Интегрированные функциональные возможности снижают системные издержки и сокращают этап проектирования
  - Измерение токов, протекающих как в прямом, так и в обратном направлении
  - Одно напряжение питания  $4,5 \dots 5,5$  В исключает необходимость во втором источнике питания
  - Входное напряжение смещения  $V_{OS}$  не превышает  $400$  мкВ
  - Максимальная погрешность установленного усиления не более  $0,6\%$



Типовая схема включения токоизмерительных усилителей MAX9918/MAX9920, способных работать в жёстких условиях.

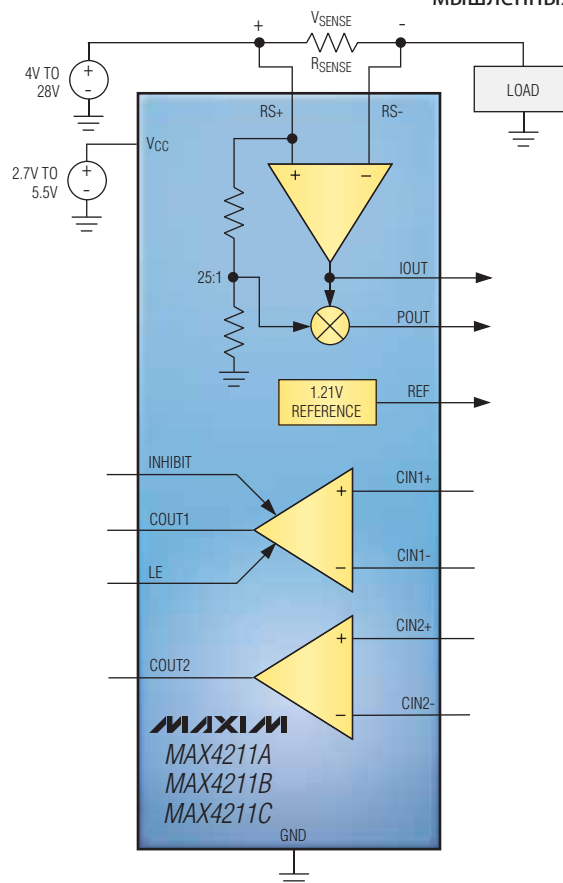
### Системная диагностика гарантирует большой срок службы в жёстких рабочих условиях

#### MAX4211

MAX4211 — полнофункциональная микросхема, осуществляющая непрерывный мониторинг тока и мощности. Микросхема содержит токоизмерительный усилитель верхнего плеча, источник опорного напряжения 1,21 В и два компаратора с открытыми стоками, что позволяет создавать схемы обнаружения таких нештатных ситуаций, как перегрузка по мощности, току и/или напряжению.

#### Преимущества

- **Мониторинг тока и мощности в режиме реального времени повышает надёжность системы**
  - Точность измерения тока  $\pm 1,5\%$  (макс.)
  - Точность измерения мощности  $\pm 1,5\%$  (макс.)
  - Диапазон входных напряжений: от 4 до 28 В
- **Встроенные функциональные возможности снижают стоимость системы и сокращают время проектирования**
  - Два интегрированных свободных компаратора позволяют организовать выдачу диагностических оповещений
  - Выход интегрированного опорного напряжения 1,21 В
  - Три варианта выбора коэффициента усиления сигнала ток/мощность обеспечивают гибкость применения микросхемы в промышленных приложениях



Типовая схема включения MAX4211 — микросхемы мониторинга мощности и тока в жёстких условиях работы.

## Улучшение системной точности в диапазоне температур и минимизация влияния внешних источников шума

### MAX9939

MAX9939 — усилитель с дифференциальным входом и программируемым коэффициентом усиления. Его отличительные особенности: программируемый через SPI-интерфейс дифференциальный коэффициент усиления (от 0,2 до 157 В/В); компенсация входного напряжения смещения автоматической калибровкой; выходной усилитель может быть сконфигурирован или в виде активного фильтра высокого порядка, или в виде усилителя с дифференциальным выходом. Благодаря использованию входного усилительного каскада, позволяющего сдвигать уровень входного сигнала, MAX9939 может работать как с положительными, так и с отрицательными относительно уровня земли сигналами.

### Преимущества

- **Дифференциальные вход и выход минимизируют шумы в жёстких рабочих условиях**
  - Работа как с положительными, так и с отрицательными относительно уровня земли сигналами благодаря входному усилительному каскаду со сдвигом уровня; идеален для приложений с термодатчиками
  - Выход встроенного усилителя может быть дифференциальным
- **Встроенные функциональные возможности снижают сложность системы, делая её максимально гибкой и надёжной**
  - Усилитель оптимизирован для работы с широкополосными сигналами
  - Устанавливаемый через SPI-интерфейс коэффициент усиления: 0,2; 1,0; 10; 20; 30; 40; 60; 80; 119 и 157 В/В
  - Встроенная схема защиты входов  $\pm 16$  В
  - Встроенный усилитель, конфигурируемый в виде программируемого активного RC-фильтра
  - Компенсация входного напряжения смещения при автоматической калибровке

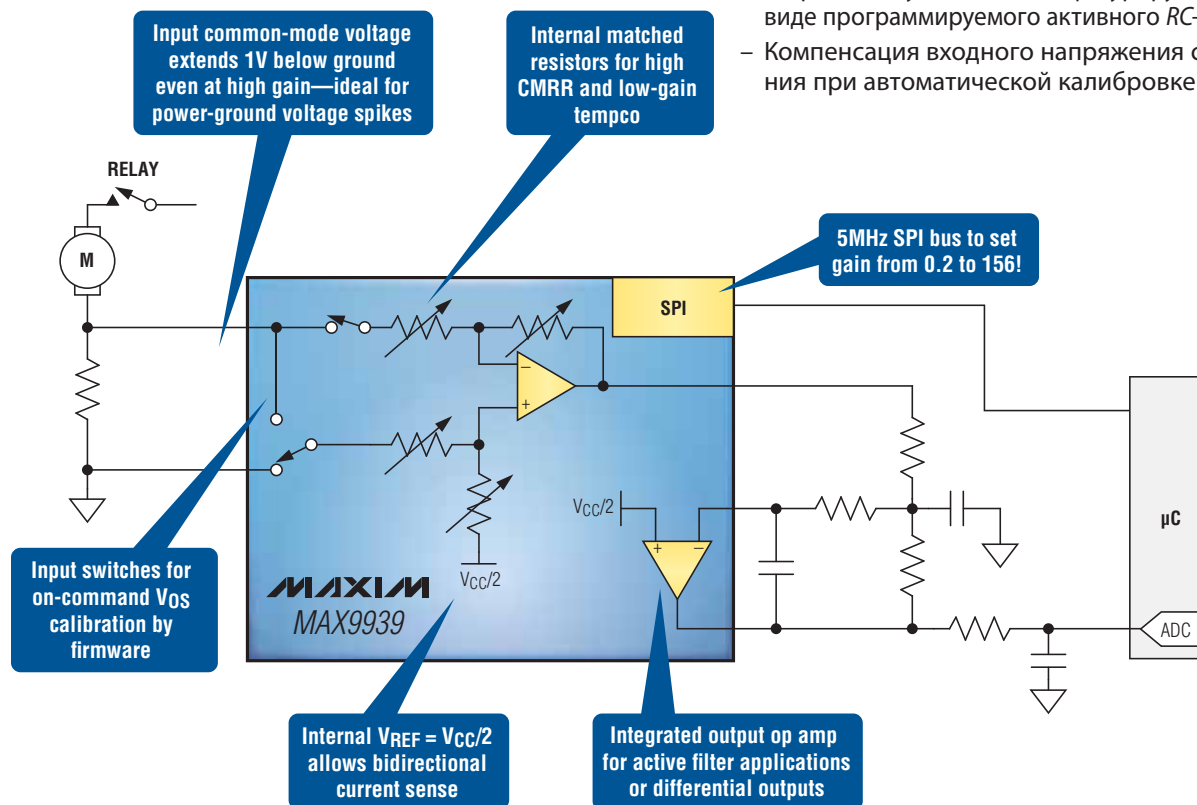


Схема включения усилителя с программируемым коэффициентом усиления MAX9939.

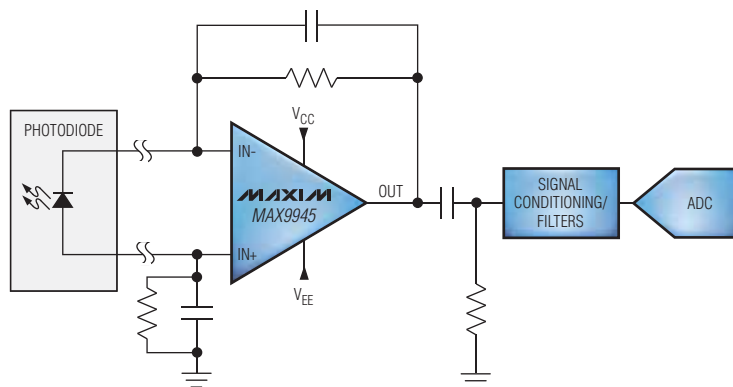
### Повышение системной точности в приложениях с фотодиодами и высокоомными датчиками

#### MAX9945

Операционный усилитель MAX9945 — это превосходная комбинация малого энергопотребления и низкого уровня входных шумов. Благодаря КМОП-входам величина входного тока MAX9945 составляет всего 50 фА, а уровень входного шума не превышает  $15 \text{ нВ}/\sqrt{\text{Гц}}$ . Применение MAX9945 позволяет упростить подключение высокоомных датчиков в приложениях со слаботочными усилителями сигналов первичных преобразователей.

#### Преимущества

- **Улучшение системного отношения сигнал/шум повышает точность измерений**
  - Низкий входной ток смещения (50 фА)
  - Низкий входной ток шумов ( $1 \text{ фА}/\sqrt{\text{Гц}}$ )
  - Малый уровень шумов ( $15 \text{ нВ}/\sqrt{\text{Гц}}$ )
- **Возможность надёжной работы с сигналами высокого напряжения упрощает схемотехнические решения**
  - Однополярное напряжение питания: от 4,75 до 38 В
  - Двуполярное напряжение питания: от  $\pm 2,4$  до  $\pm 19$  В
  - Размах выходного напряжения «от шины до шины» (Rail-to-Rail)



Подключение датчика освещённости с помощью ОУ MAX9945 обеспечивает высокую точность измерений.



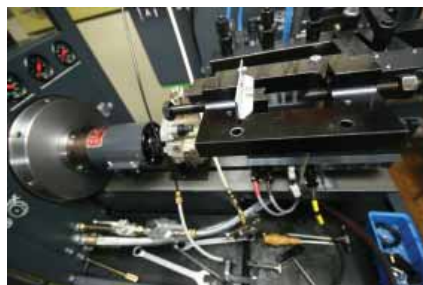
## Датчики Холла

### Введение

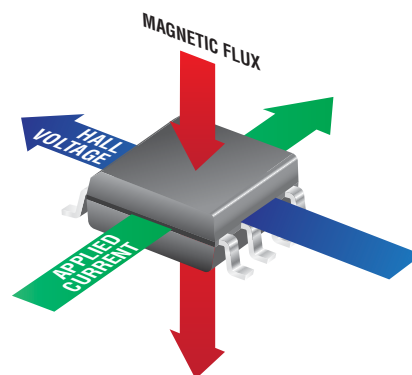
Датчики Холла широко используются для получения информации о состоянии, положении, угле поворота и степени близости объекта, а также в интеллектуальных измерительных системах. Так как датчики Холла работают с магнитным полем, они могут функционировать в жёстких окружающих условиях. Их устойчивость к ошибкам и надёжность — важные качества, являющиеся следствием того, что объектом измерений для датчиков Холла является магнитное поле.

Датчики Холла используются в схемах управления электродвигателями, где для организации обратной связи в режиме реального времени может измеряться и передаваться на системную плату информация о скорости вращения, положении и направлении вращения ротора. Если происходит сбой в работе электродвигателя, то датчик это обнаруживает, что позволяет предпринять некие корректирующие действия.

Обычно для определения направления вращения используют два



датчика Холла. В микросхеме МАХ9641\* компании Maxim объединены два датчика Холла и цифровая логика, обеспечивающая выдачу информации о положении ротора и направлении его вращения. Являющиеся вспомогательным средством обнаружения механического движения одиночные или сдвоенные ключи на базе датчиков Холла, могут состоять из самого датчика Холла, усилителя и выходного каскада. Такой ключ может, например, размещаться на неподвижной стационарной детали, а магнит может находиться в совершающей механическое движение консоли. Когда консоль поравняется со стационарной деталью, ключ на основе датчика



Холла обнаружит это и передаст соответствующую информацию микропроцессору.

Датчики Холла обеспечивают более высокую надёжность и обладают лучшей повторяемостью по сравнению с механическими системами. Они обеспечивают более высокую надёжность и по сравнению с системами на фотопрерывателях, которые плохо функционируют в условиях запылённости и высокой влажности.

[www.maxim-ic.com/detect](http://www.maxim-ic.com/detect)

\* Изделие готовится к выпуску — дальнейшие сведения у производителя.

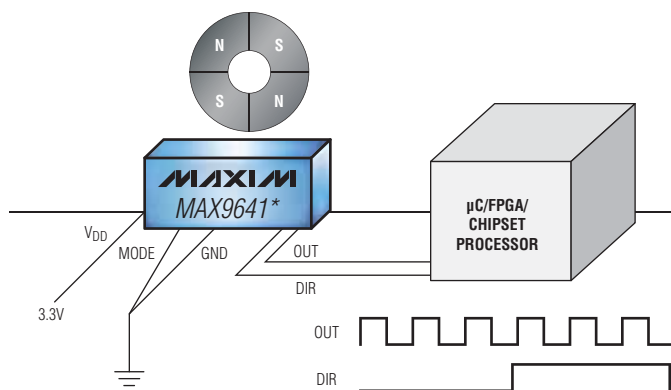
### Сдвоенный ключ на основе датчиков Холла упрощает системы с детектированием движения

#### MAX9641\*

MAX9641 — сдвоенный ключ на основе датчиков Холла с ультранизким потреблением энергии, настраиваемыми пороговыми значениями и выбираемой частотой выборки. Три программируемых периода выборки (160 мкс, 500 мкс или 50 мс) обеспечивают гибкость в выборе рабочей скорости. Имеется три значения порога срабатывания ключа, которые легко устанавливаются с помощью специального вывода. Встроенный логический коммуникационный интерфейс позволяет пользователю получать информацию о скорости и направлении движения детали с магнитом. Объединение в одной микросхеме двух ключей на базе датчиков Холла снижает стоимость системы.

#### Преимущества

- **Улучшенные функциональные возможности упрощают конструкцию системы**
  - Устанавливаемый пользователем с помощью вывода RATE период выборки (160 мкс, 500 мкс или 50 мс)
  - Порог срабатывания ключа легко выбирается с помощью вывода ADJ
- **Упрощение измерения скорости и определения направления движения**
  - В одну интегральную схему интегрированы два датчика Холла
- **Снижение системной стоимости**
  - Информация о направлении и скорости движения собирается с помощью одной микросхемы
  - Диапазон напряжений питания (от 1,7 до 5,5 В) обеспечивает совместимость со многими схемами



Сдвоенный ключ на основе датчиков Холла.

\* Изделие готовится к выпуску — дальнейшие сведения у производителя.

## Коммуникационные интерфейсы датчиков

Датчик передает измеренную им информацию аналоговым или цифровым способом. При аналоговой передаче информация передается в виде напряжения или тока (по токовой петле). В цифровом виде информация передается с помощью таких коммуникационных интерфейсов, как CAN, CompoNet®, IO-Link®, RS-485 и пр.

Бинарные датчики передают только однобитную информацию. Обычно о присутствии или отсутствии объекта судят по логическому уровню на выходе дат-

чика. Тот же логический уровень является средством, с помощью которого передается информация. Например, когда такой объект, как плунжер в клапане проходит некое, заранее определенное расстояние, это обнаруживается датчиком, который через двоичный интерфейс сообщает о произошедшем событии системному ПЛК. Коммуникационные интерфейсы датчиков должны обладать высоким уровнем надёжности в неблагоприятных условиях промышленного предприятия, т. е.

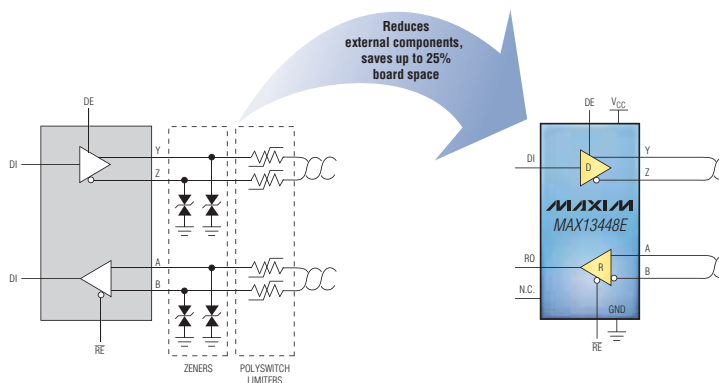


быть способны противостоять различного рода аварийным ситуациям и высокому уровню электромагнитных помех.

### Защищённые приёмопередатчики RS-485 повышают надёжность оборудования

#### MAX13448E, MAX3440E...MAX3444E, MAX13442E/MAX13443E/MAX13444E, MAX3430

В приложениях, в которых шины питания и линии передачи данных проложены в одном кабеле, всегда существует опасность возникновения аварийных ситуаций из-за ошибок разводки, коротких замыканий между проводами внутри кабеля или появления вызванных наводками бросков напряжения в коммуникационных линиях. Приёмопередатчики RS-485 от компании Maxim имеют встроенную аварийную защиту до  $\pm 80$  В.



#### Преимущества

- **Уменьшение габаритов платы на 25% благодаря встроенной схеме защиты**
  - Самая высокая степень защиты среди интегральных приёмопередатчиков
  - Защита от перенапряжения до  $\pm 80$  В
- **Гибкие конфигурации обеспечивают сопряжение со многими системами**
  - Широкий диапазон напряжений питания: от 3,3 до 5 В
  - Сопряжение с дуплексными и полудуплексными системами
- **Высокая степень интеграции снижает сложность комплектации и стоимость**
  - Встроенное ограничение скорости нарастания фронтов для безошибочной передачи данных
  - Действительно безаварийная работа
  - Возможность «горячей» замены
- **Надёжное функционирование в неблагоприятных рабочих условиях**
  - Защита от электростатических разрядов  $\pm 15$  кВ

Микросхема	Напряжение питания $V_{CC}$ [В]	Конфигурация	Защита [В]
MAX13448E	3,3...5	дуплекс	$\pm 80$
MAX3440E...44E	5	полудуплекс	$\pm 60$
MAX13442E/43E/44E	5	полудуплекс	$\pm 80$
MAX3430	3,3	полудуплекс	$\pm 80$

Семейство приёмопередатчиков RS-485 компании Maxim обеспечивает высокую степень гибкости и интеграции.



### Рекомендуемые решения

#### Датчики давления и веса

Микросхема	Описание	Особенности	Преимущества
<b>АЦП</b>			
MAX1415/16 MX7705	16-битные 2-канальные сигма-дельта АЦП с низким энергопотреблением	Два дифференциальных канала; программируемое усиление; одно напряжение питания	Высокая гибкость; возможность работы с разнообразными первичными преобразователями
MAX1400/01/02/03	18-битные 5-канальные сигма-дельта АЦП	Два дифференциальных канала; программируемое усиление; прецизионные источники тока; обнаружение выхода из строя первичного преобразователя (burn-out detection)	Высокая степень интеграции позволяет создавать более точные датчики, которые измеряют с помощью одного АЦП и давление, и температуру
MAX11040	24-битные 4-канальные сигма-дельта АЦП с одновременной выборкой	Возможность каскадирования до 32 каналов; отношение сигнал/шум 106 дБ при скорости 16 Квыб./с; защита от высокого напряжения	Упрощает конструкцию интерфейса датчиков, когда требуется получение точной информации об амплитуде и фазе по многим каналам
MAX11200/01/02	Сигма-дельта АЦП с ультранизким энергопотреблением	21-бит свободный от шума диапазон при скорости 10 выб./с; напряжение питания 3 В; потребляемая мощность 0,45 мВт; четыре линии ввода/вывода общего назначения	21-бит свободный от шума диапазон с минимальным энергопотреблением
<b>ИС обработки сигналов первичных преобразователей</b>			
MAX1452	Недорогая прецизионная аналоговая микросхема обработки сигналов первичных преобразователей	Многоточечная температурная калибровка; возбуждение током и напряжением; быстрый (150 нс) отклик; программирование через один вывод; приложения с токовой петлей 4–20 мА	Обеспечивает гибкую платформу для создания схем обработки сигналов различных первичных преобразователей, что позволяет уменьшить номенклатуру комплектующих на складе
MAX1464	Многоканальный цифровой процессор обработки сигналов первичных преобразователей с низким уровнем шума и малым энергопотреблением	В состав входят 16-битный АЦП, ЦАПы и ЦПУ; программируемый алгоритм компенсации; выходы: цифровой, аналоговый, ШИМ; приложения с токовой петлей 4–20 мА	Устройство точной обработки сигналов может быть напрямую подключено к микроконтроллеру, что позволяет уменьшить габариты платы
<b>Усилители</b>			
MAX9617/18	Ультрапрецизионные операционные усилители с нулевым дрейфом	Полоса пропускания 1,5 МГц; ток потребления 59 мкА; входное напряжение смещения 10 мкВ (макс.) с нулевым дрейфом; одиночный и сдвоенные ОУ в корпусе	Обеспечивает высокоточные измерения в низкочастотных приложениях
MAX9943/44	Высоковольтные прецизионные операционные усилители с низким энергопотреблением	Широкий (от 6 до 38 В) диапазон напряжений питания; полоса пропускания 2,4 МГц	Гибкость проектирования широкого ряда приложений

Список рекомендованных компанией Maxim решений для систем измерения давления можно найти на сайте [www.maxim-ic.com/psi](http://www.maxim-ic.com/psi).

## Рекомендуемые решения *(продолжение)*

### Измерение температуры

Микросхема	Описание	Особенности	Преимущества
<b>Датчики температуры</b>			
DS600	Прецизионный датчик температуры с аналоговым выходом	Аналоговый датчик температуры с самой высокой в отрасли точностью: $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ в диапазоне от $-20$ до $+100^{\circ}\text{C}$	Наилучшая точность компенсации температуры холодного спая для качественных измерений с помощью термопар
DS7505	Низковольтный прецизионный цифровой термометр и термостат	Точность $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ в диапазоне от $0$ до $+70^{\circ}\text{C}$ ; напряжение питания от $1,7$ до $3,7$ В; стандартная цоколёвка выводов	Стандартная цоколёвка выводов позволяет легко установить данную микросхему вместо LM75 с целью повышения точности измерений и снижения напряжения питания
DS18B20	Прецизионный датчик температуры с интерфейсом 1-Wire	Точность $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ в диапазоне от $-10$ до $+85^{\circ}\text{C}$ ; интерфейс 1-Wire; 64-битный фабричный идентификационный (ID) код	В шине, к которой подключается большое количество прецизионных датчиков температуры, меньше проводов, чем в любом конкурирующем решении
MAX6675	Преобразователь сигнала термопары К-типа в цифровой формат	Встроенная схема компенсации температуры холодного спая	Самый простой интерфейс термопары; не требуются никакие внешние компоненты
<b>АЦП</b>			
MAX1300*/01/02*/03	16-битные 8/4-канальные АЦП последовательного приближения с программно устанавливаемыми диапазонами входных сигналов	Входные диапазоны от $\pm 12$ В до $0 \dots 2,048$ В; входы защищены от перенапряжения ( $\pm 16,5$ В); программируемый коэффициент усиления; внутренний источник опорного напряжения	Снижение конструктивной сложности при работе с датчиками, диапазоны выходных сигналов которых отличаются друг от друга
MAX1415/16 MX7705	16-битные 2-канальные сигма-дельта АЦП с низким энергопотреблением	Два дифференциальных канала; программируемое усиление; работа от одного источника питания	Высокая гибкость; возможность работы с разнообразными первичными преобразователями
MAX1400/01/02/03	18-битные 5-канальные сигма-дельта АЦП	Два дифференциальных канала; программируемое усиление; прецизионные источники тока; обнаружение выхода из строя первичного преобразователя (burn-out detection)	Высокая степень интеграции позволяет создавать более точные датчики, которые измеряют с помощью одного АЦП и давление, и температуру
MAX11200/01/02	Сигма-дельта АЦП с ультранизким энергопотреблением	21-бит свободный от шума диапазон при скорости $10$ выб./с; напряжение питания $3$ В; потребляемая мощность $0,45$ мВт; четыре линии ввода/вывода общего назначения	21-бит свободный от шума диапазон с минимальным энергопотреблением
<b>Усилители</b>			
MAX9617/18	Ультрпрецизионные операционные усилители с нулевым дрейфом	Полоса пропускания $1,5$ МГц; ток потребления $59$ мкА; входное напряжение смещения $10$ мкВ (макс.) с нулевым дрейфом; одиночный и двоярный ОУ	Обеспечивает высокоточные измерения в низкочастотных приложениях
MAX9943/44	Высоковольтные прецизионные операционные усилители с низким энергопотреблением	Широкий (от $6$ до $38$ В) диапазон напряжений питания; полоса пропускания $2,4$ МГц	Гибкость проектирования широкого ряда приложений
MAX9939	Усилитель с программируемым через интерфейс SPI коэффициентом усиления, программной калибровкой и дифференциальными входом и выходом	Возможность работы с отрицательными входными напряжениями; различные значения коэффициента усиления; функция обнуления входной ошибки	Программная калибровка улучшает системную точность; минимизация внешних помех

Список рекомендованных компанией Maxim решений для систем измерения температуры можно найти на сайте [www.maxim-ic.com/-40+85](http://www.maxim-ic.com/-40+85).

\* Изделие готовится к выпуску — дальнейшие сведения у производителя.

### Рекомендуемые решения *(продолжение)*

#### Измерение освещённости

Микросхема	Описание	Особенности	Преимущества
<b>АЦП</b>			
MAX1168/67 MAX1162	16-битные 8-/4-/1-канальные АЦП последовательного приближения со скоростью выборки до 200 Квыб./с	16-бит, без пропуска кодов; одно напряжение питания 5 В; однополярный входной диапазон от 0 до 5 В	Гибкое, обеспечивающее высокую точность решение для многоканальных приложений
MAX11200/01/02	Сигма-дельта АЦП с ультранизким энергопотреблением	21-бит свободный от шума диапазон при скорости 10 выб./с; напряжение питания 3 В; потребляемая мощность 0,45 мВт; четыре линии ввода/вывода общего назначения	Пониженное энергопотребление при точных измерениях в диапазоне от 20 до 100 клк
<b>Усилители</b>			
MAX9635	Датчик освещённости со встроенным АЦП	Ультранизкое энергопотребление (ток 1 мкА); широкий динамический диапазон (22 бита) с автоматической регулировкой усиления (АРУ)	Встроенный датчик освещённости снижает энергопотребление; снижение стоимости и сложности системы
MAX9945	Малощумящий ОУ с МОП-входами и низким энергопотреблением	Широкий (от 4,75 до 38 В) диапазон напряжений питания; низкий входной ток; низкая плотность шумового тока на входе	Низкий входной ток смещения (фА) увеличивает системную точность
MAX4230...MAX4234	Серия ОУ с входами/выходами, способными работать с уровнями сигнала «от шины до шины» (rail-to-rail); сильноточный выход	Выходной ток нагрузки до 200 мА; полоса пропускания 10 МГц; скорость нарастания выходного напряжения 10 В/мкс	Мощный выход позволяет увеличить расстояние между датчиками и системой сбора информации
MAX4475...MAX4478	Серия ОУ с КМОП-входами; низкие искажения	THD+N (коэффициент гармонических искажений + шум) 0,0002%; низкий входной ток; полоса пропускания 10 МГц	Точное воспроизведение входного сигнала для передачи на АЦП



## Рекомендуемые решения *(продолжение)*

### Измерение тока

Микросхема	Описание	Особенности	Преимущества
<b>АЦП</b>			
MAX1600...MAX1605 MAX11606...MAX11611 MAX11612...MAX11617	Многоканальные АЦП с интерфейсом I <sup>2</sup> C и низким энергопотреблением	Низкая стоимость; 8/12 бит; 4/8/12 каналов; дифференциальные входы; низкое энергопотребление (6 мкА при скорости 1 Квыб./с); I <sup>2</sup> C	Недорогое решение для измерения нескольких токов и напряжений
MAX11618*...MAX11625* MAX11626*...MAX11633* MAX11634*...MAX11637* MAX11638*...MAX11643*	Многоканальные АЦП с буфером FIFO и интерфейсом SPI	Низкая стоимость; 8/12 бит; 8/12/16 каналов; дифференциальные входы; внутренний буфер FIFO; SPI	Недорогое решение для измерения нескольких токов и напряжений
<b>Усилители</b>			
MAX9918/19/20	Прецизионный токоизмерительный усилитель, способный измерять одно-/двунаправленные токи	Диапазон входных синфазных напряжений от –20 до +75 В; входное напряжение смещения ( $V_{OS}$ ) 400 мкВ (макс.); выбор коэффициента усиления	Точные измерения тока даже при отрицательных синфазных напряжениях; не требуется никаких дополнительных схем
MAX9922/23	Ультрапрецизионные токоизмерительные усилители верхнего плеча	Напряжение смещения ( $V_{OS}$ ) 25 мкВ (макс.); погрешность задания усиления не превышает 0,5%; выбор коэффициента усиления	Позволяет проводить точные измерения тока даже при очень низких значениях напряжения на токоизмерительном резисторе
MAX9928F/29F	Ультраминиатюрные токоизмерительные усилители верхнего плеча, способные измерять одно-/двунаправленные токи	Диапазон входных синфазных напряжений от –0,1 до +28 В; ток покоя 20 мкА; выбор коэффициента усиления	Снижение габаритов в приложениях с мониторингом напряжения батареи
MAX4211	Схема контроля мощности и тока (в верхнем плече) с диагностикой состояния устройства	Контроль тока и мощности в режиме реального времени; программируемый диагностический детектор	Интегральное решение для контроля тока; снижает временные затраты на проектирование

Список рекомендованных компанией Maxim решений для систем измерения тока можно найти на сайте [www.maxim-ic.com/detect](http://www.maxim-ic.com/detect).

\* Изделие готовится к выпуску — дальнейшие сведения у производителя.

### Рекомендуемые решения *(продолжение)*

#### Датчики Холла

Микросхема	Описание	Особенности	Преимущества
<b>Усилители</b>			
MAX9639*	Датчик Холла с ультранизким энергопотреблением	Период выборки 50 мс; диапазон рабочих напряжений от 1,7 до 5,5 В; три пороговых значения: 1,5, 3 и 5 мТл	Интеграция датчика и усилителя способствует снижению стоимости
MAX9640*	Датчик Холла с ультранизким энергопотреблением	Период выборки 50 мс; диапазон рабочих напряжений от 1,7 до 5,5 В; вывод знака	Снижение стоимости системы благодаря наличию информации о направлении приложенного магнитного поля
MAX9641*	Сдвоенный датчик Холла с ультранизким энергопотреблением	Выбор периода выборки (160 мкс/500 мкс/50 мс); три пороговых значения: 1,5, 3 и 5 мТл; выдача информации о направлении и скорости движения магнита	Упрощает системы с датчиками Холла благодаря интеграции компонентов с настраиваемыми параметрами

Список рекомендованных компанией Maxim решений для систем определения положения можно найти на сайте [www.maxim-ic.com/detect](http://www.maxim-ic.com/detect).

#### Коммуникационные интерфейсы датчиков

Микросхема	Описание	Особенности	Преимущества
<b>Приёмопередатчики</b>			
MAX14820*	IO-Link-интерфейс датчиков и исполнительных устройств	Миниатюрные корпуса WLP (2,5 × 2,5 мм) и TQFN (4 × 4 мм); два выхода и два входа, рассчитанные на напряжение +24 В; максимальный ток нагрузки 300 мА; обнаружение условий «пробуждения» интерфейса IO-Link	Схема IO-Link/двоичного интерфейса датчиков уменьшает размеры печатной платы
MAX13442E/43E/44E	Приёмопередатчики RS-485 со встроенной защитой	Линии RS-485 с защитой от перенапряжений ±80 В; дуплексный режим работы; 5 В (250 кГц/10 МГц)	Упрощение конструкции благодаря исключению внешних компонентов, таких как подаватели бросков напряжений при переходных процессах (TVS) и устройств защиты от больших токов

Список рекомендованных компанией Maxim решений для коммуникационных интерфейсов датчиков можно найти на сайте [www.maxim-ic.com/sensor](http://www.maxim-ic.com/sensor).

\* Изделие готовится к выпуску — дальнейшие сведения у производителя.