

Датчики температуры

Алексей Журав (Москва)

Контроль над температурой составляет основу многих технологических процессов. Измерение температуры жидкости, газа, твёрдой поверхности или сыпучего порошка – каждый случай имеет свою особенность, которую необходимо понимать, чтобы измерения максимально соответствовали поставленной задаче. Существует множество датчиков температуры, построенных с использованием различных физических законов. Одни из них прекрасно справляются с конкретной задачей по измерению температуры, другие предназначены для универсального использования. В данной статье описаны основные типы датчиков для измерения температуры, их особенности, слабые и сильные стороны, задачи, для которых они предназначены.

Если рассматривать датчики температуры для промышленного применения, то можно выделить их основные классы: кремниевые датчики температуры, биметаллические датчики, жидкостные и газовые термометры, термоиндикаторы, термисторы, термопары, термометры сопротивления, инфракрасные датчики температуры.

Кремниевые датчики температуры используют зависимость сопротивления полупроводникового кремния от температуры. Диапазон измеряемых температур для таких датчиков составляет $-50...+150^{\circ}\text{C}$. Внутри этого диапазона кремниевые датчики температуры показывают хорошую линейность и точность. Возможность размещения в одном корпусе такого датчика не только самого чувствительного элемента, но также и схем усиления и обработки сигнала обеспечивает датчику хорошую точность и линейность внутри температурного диапазона. Встроенная в такой датчик энергонезависимая память позволит индивидуально откалибровать каждый прибор. Большим плюсом можно назвать разнообразие типов выходного интерфейса: это может быть напряжение, ток, сопротивление либо цифровой выход, позволяющий подключить такой датчик к сети передачи данных. Из слабых мест кремниевых датчиков температуры можно отметить узкий температурный диапазон и относительно большие размеры по сравнению с аналогичными датчиками других типов, особенно термопарами. Кремни-

евые датчики температуры применяются, в основном, для измерения температуры внутри электронных приборов. Например, можно назвать температурные регистраторы компании Dallas semiconductor, выпускаемые под маркой Thermochron. Регистраторы имеют кремниевый датчик температуры, микросхему обработки сигнала и память для сохранения результатов.

Биметаллический датчик температуры, как следует из названия, сделан из двух разнородных металлических пластин, скреплённых между собою. Различные металлы имеют различный коэффициент расширения при той или иной температуре. Например, константан практически не расширяется при повышении температуры, железо, напротив, испытывает заметное расширение. Если полоску из этих металлов скрепить между собой и нагреть (или охладить), то она изогнётся. В биметаллических датчиках пластинки замыкают или размыкают электрические контакты или переводят стрелку индикатора. Диапазон работы биметаллических датчиков $-40...+550^{\circ}\text{C}$. Биметаллические датчики используют для измерения поверхности твёрдых тел, реже для измерения температуры жидкости. Основным преимуществом датчиков является простота и надёжность конструкции, возможность работы без электрического тока, низкая стоимость. Вместе с тем биметаллические датчики температуры имеют большой разброс характеристик, а также большой гистерезис переключе-

чения, особенно при низких температурах. Основные области применения биметаллических температурных датчиков – автомобильная промышленность, системы отопления и нагрева воды.

Жидкостные и газовые термометры – наиболее старые типы датчиков температуры. Первая шкала температуры была предложена Фаренгейтом в начале 18-го века именно для жидкостного термометра. Жидкостные термометры используют эффект расширения жидкостей при повышении температуры. В качестве жидкостей используется спирт или ртуть в диапазоне комнатных температур. Для измерений низких температур, например, в криогенной технике может быть использован жидкий неон, а для измерения высоких температур обычно используют галлий, который находится в жидком состоянии уже при 20°K . В газовых термометрах используется эффект расширения при переходе вещества из жидкого в газообразное состояние. Газ давит через мембрану и замыкает электрические контакты. Диапазон измерений для жидкостных и газовых термометров $-200...+500^{\circ}\text{C}$. Термометры этого класса обычно применяются для визуального контроля температуры либо в качестве термостатов в различных нагревателях и холодильной технике.

Термоиндикаторы – это особые вещества, изменяющие свой цвет под воздействием температуры. Такое изменение цвета может быть как обратимым, так и необратимым. В диапазоне комнатных температур используются термоиндикаторы на основе жидких кристаллов. Они плавно изменяют свой цвет при изменении температуры. Изменения эти, как правило, обратимые. Производятся термоиндикаторы в виде плёнки, часто с клейкой подложкой, и служат для оперативного визуального контроля температуры. Для низких и высоких температур производятся, в основном, необратимые термоиндикаторы. То есть если температура хотя бы один раз превысила допустимую, то индикатор необратимо меняет свой цвет. Такие термоиндикаторы используют, например, для контроля за замороженными продуктами. Если в процессе хранения или транспортировки температура хоть раз была выше допустимой, то изменившаяся

окраска термоиндикатора сообщит об этом. Основное достоинство термоиндикаторов – низкая стоимость. Их можно использовать как одноразовые датчики температуры.

В термисторах используется эффект изменения электрического сопротивления материала под воздействием температуры. Обычно в качестве термисторов используют полупроводниковые материалы, как правило, оксиды различных металлов. В результате получаются датчики с высокой чувствительностью. Однако большая нелинейность позволяет использовать термисторы лишь в узком диапазоне температур. Термисторы имеют невысокую стоимость и могут изготавливаться в миниатюрных корпусах, что увеличивает их быстродействие. Существует два типа термисторов: использующие положительный температурный коэффициент – когда электрическое сопротивление растёт с повышением температуры – и использующие отрицательный температурный коэффициент – в этом случае электрическое сопротивление падает при повышении температуры. Термисторы не имеют определённой температурной характеристики. Она зависит от конкретной модели прибора и области его применения. Основными достоинствами термисторов являются высокая чувствительность, малые размеры и вес, позволяющие создавать датчики с малым временем отклика, что важно, например, для измерения температуры воздуха. Безусловно, невысокая стоимость также является их достоинством, позволяя встраивать датчики температуры в различные приборы. К недостаткам можно отнести высокую нелинейность термисторов, ограничивающую их применение в широком температурном диапазоне. Использование термисторов также ограничено в диапазоне низких температур. Большое количество моделей с различными характеристиками и отсутствие единого стандарта заставляют производителей оборудования использовать термисторы только одной конкретной модели без возможности замены.

Инфракрасные датчики температуры или пирометры измеряют температуру поверхности на расстоянии. Принцип их работы основан на том, что любое тело при температуре вы-

ше абсолютного нуля излучает электромагнитную энергию. При низких температурах это излучение в инфракрасном диапазоне, при высоких температурах часть энергии излучается уже в видимой части спектра. Интенсивность излучения напрямую связана с температурой нагретого объекта. Диапазон измерений температур бесконтактными датчиками –45...+3000°C. Причём в диапазоне высоких температур инфракрасным датчикам нет конкуренции. Для измерения в различных диапазонах температур используются различные участки инфракрасного спектра. Так, при низких температурах это обычно диапазон длин волн электромагнитного излучения 7...14 мкм. В диапазоне средних температур это может быть 3...5 мкм. При высоких температурах используется участок в районе 1 мкм. Однако и здесь есть свои особенности, связанные с решением конкретной задачи. Так, для измерения температуры тонких полимерных плёнок используются датчики, работающие на длинах волн 3,43 или 7,9 мкм, а для измерения температуры стекла – 5 мкм.

Для правильного измерения температуры необходим ещё ряд факторов. Прежде всего, это *излучательная способность*. Она связана с коэффициентом отражения простой формулой: $E = 1 - R$, где E – излучательная способность, R – коэффициент отражения. У абсолютно чёрного тела излучательная способность равна 1. У большинства органических материалов, таких как дерево, пластик, бумага, излучательная способность находится в диапазоне 0,8...0,95. Металлы, особенно полированные, напротив, имеют низкую излучательную способность, которая в этом случае составит 0,1...0,2. Для правильного измерения температуры необходимо определить и установить излучательную способность измеряемого объекта. Если значения будут выбраны неправильно, то температура будет измеряться неверно. Обычно показания занижаются. Так, если металл имеет излучательную способность 0,2, а на датчике установлен коэффициент 0,95 (он обычно используется по умолчанию), то при наведении на нагретый до 100°C металлический объект датчик будет показывать температуру около 25°C. Корректировать излуча-

тельную способность можно двумя способами: либо по справочнику, либо измеряя температуру поверхности альтернативным способом, например термопарой, и внося необходимые поправки. Хорошие результаты при не очень высоких температурах даёт окраска специальной термостойкой чёрной краской измеряемой поверхности. Второй важной характеристикой инфракрасного датчика является *оптическое отношение* – это отношение расстояния до объекта измерений к размеру области, с которой эти измерения ведутся. Например, оптическое отношение 10 : 1 означает, что на расстоянии 10 м размер площади, с которой ведётся измерение температуры, составляет 1 м. Современные инфракрасные датчики температуры имеют оптическое отношение, достигающее 300 : 1. Основное достоинство инфракрасных датчиков температуры – малое время отклика: это самые быстродействующие датчики температуры. Датчики позволяют измерять температуру движущихся объектов, температуру в труднодоступных и опасных местах, высокие температуры там, где другие датчики уже не работают. К достоинствам можно также отнести то, что отсутствует непосредственный контакт с объектом и, соответственно, не происходит его загрязнения. Это может быть важно в полупроводниковой промышленности или фармацевтике.

Термометры сопротивления – это резисторы, изготовленные из платины, меди или никеля. Они могут выполняться из проволоки либо напылением металлического слоя на изолирующую подложку, обычно керамическую или стеклянную. Платина чаще всего применяется в термометрах сопротивления из-за её высокой стабильности и линейности изменения сопротивления с температурой. Медь используется, в основном, для измерения низких температур, а никель – в недорогих датчиках для измерения в диапазоне комнатных температур. Для защиты от внешней среды платиновые термометры сопротивления помещают в защитные металлические чехлы и изолируют керамическими материалами, такими как оксид алюминия или оксид магния. Такая изоляция снижает также воздействие вибра-

ции и ударов на датчик. Однако вместе с дополнительной изоляцией растёт и время отклика датчика на резкие температурные изменения. Платиновые термометры сопротивления – одни из самых точных датчиков температуры. Кроме того, они стандартизированы, что значительно упрощает их использование. Стандартно производятся датчики сопротивлением 100 и 1000 Ом. Изменение сопротивления таких датчиков с температурой даётся в любых тематических справочниках в виде таблиц или формул. Диапазон измерений платиновых термометров сопротивления составляет $-180...+600^{\circ}\text{C}$. Несмотря на изоляцию, стоит оберегать термометры сопротивления от сильных ударов и вибрации.

Термопары представляют собой две проволоки из различных металлов, сваренных между собой на одном из концов. Термоэлектрический эффект открыл немецкий физик Зеэбек в первой половине 19-го века. Он заметил, что если соединить два проводника из разнородных металлов таким образом, чтобы они образовывали замкнутую цепь, и поддер-

живать разную температуру контактов, то в цепи потечёт постоянный ток. Экспериментальным путём были подобраны пары металлов, которые в наибольшей степени подходят для измерения температуры, обладая высокой чувствительностью, временной стабильностью, устойчивостью к воздействию внешней среды. Это, например, пары металлов хромель–алюмель, медь–константан, железо–константан, платина–платина/родий, рений–вольфрам. Каждый тип подходит для решения определённых задач. Термопары хромель–алюмель (тип К) имеют высокую чувствительность и стабильность и работают вплоть до температур 1300°C в окислительной или нейтральной атмосфере. Это один из самых распространённых типов термопар. Термопара железо–константан (тип J) работает в вакууме, восстановительной или инертной атмосфере при температурах до 500°C . При высоких температурах до 1500°C используют термопары платина–платина/родий (тип S или R) в керамических защитных кожухах. Они прекрасно измеряют температу-

ру в окислительной, нейтральной среде и вакууме.

Будь то платиновый термометр сопротивления, термопара, инфракрасный датчик, кремниевый датчик или термистор, каждый из них обладает рядом уникальных свойств, позволяющих наилучшим образом решить задачу по измерению температуры. Высокая точность и стабильность отличают платиновые термометры сопротивления. Достоинством кремниевых датчиков также является высокая точность, пусть и в узком температурном диапазоне. Термисторы обладают высокой чувствительностью и невысокой ценой, что позволяет встраивать их в различные электронные приборы. Инфракрасные датчики температуры позволяют измерить быстропротекающие температурные процессы и объекты с очень высокой температурой. К достоинствам термопар, несомненно, можно отнести точность и стабильность показаний в широком диапазоне температур, их устойчивость в неблагоприятном воздействии внешней среды. ©

PEPPERL+FUCHS
VISOLUX

Идеальная точность

Фотоэлектрические датчики VISO+

Закажите БЕСПЛАТНЫЙ каталог Pepperl+Fuchs "Factory Automation" на CD-ROM по факсу: (495) 234-0640 или на сайте: www.prosoft.ru

Новости мира News of the World Новости мира

Двухканальный логарифмический ВЧ-детектор

Компания Analog Devices предлагает двоянный детектор/контроллер ADL5519. Высокочастотная интегральная схема позволяет измерение и управление усилением в передающих и приёмных трактах. В чипе находятся два взаимно согласованных детектора, перекрывающих частотный диапазон от 1 МГц до 10 ГГц. По заявлению производителя, микросхема предназначена для применения в таких системах стандартов мобильной радиосвязи, как GSM, CDMA, W-CDMA и TD-SCDMA, а также в приборах, работающих с широкополосными стандартами Wireless-Standards 802.16, WiMAX, WiBro и 802.11 W-LAN. Кроме того, ADL5519 может применяться в системах с расширенным частотным диапазоном, например UNII 5,8 ГГц.

ADL5519 работает в диапазоне напряжения питания 3...5 В и потребляет в активном состоянии 56 мА (тип.). В неактивном состоянии – 400 мкА. Элемент предлагается в корпусе LFCSP (Lead Frame Chip Scale Package) с 24 выводами и монтажной площадью 4 × 4 мм.

В настоящее время детектор проходит фазу опробования. Серийное производство начнется в октябре 2006 г.

www.analog.com

Линейные регуляторы на 1,5 и 3 А

Компания Texas Instruments представляет семейство линейных Low-Dropout-регуляторов (LDO) на 1,5 и 3 А, имеющих погрешность регулирования напряжения 1% относительно колебаний входного напряжения, нагрузки и температуры. LDO-регуляторы – тип линейных регуляторов напряжения, отличающихся малым падением напряжения на регулирующем элементе. Один из главных параметров – падение напряжения (dropout) – определяется как минимальное напряжение между входом и выходом стабилизатора, при ко-

тором схема стабилизации сохраняет работоспособность.

LDO выполняют требования в отношении Power-Up и Power-Down напряжений программируемых вентильных матриц (FPGA) и цифровых сигнальных процессоров компании TI. Элементы серии TPS74xxx, согласно заявлению производителя, стабильны с конденсатором и без конденсатора на выходе. При использовании дополнительного вспомогательного напряжения регуляторы обрабатывают входные напряжения вплоть до 0,9 В и Dropout-напряжения вплоть до 115 мВ при токе на выходе 3 А во всём диапазоне входного напряжения. Стабилизаторы напряжения могут настраиваться на выходное напряжение в диапазоне 0,8...3,3 В. Варианты с Soft-Start-входом допускают индивидуальную настройку времени запуска и скорости нарастания выходного напряжения посредством Soft-Start-конденсатора. Благодаря этому становится возможным при использовании выходных конденсаторов большей ёмкости или при применении в FPGA-приложениях значительно снизить ток включения.

Семейство LDO TPS74xxx предлагает уже сейчас штучными партиями компанией TI и её авторизованными дилерами. Чипы предлагаются в корпусе QFN размером 5 × 5 мм.

www.ti.com/sc06111

Преобразователь тока для монтажа на печатной плате на токи до 100 А_{эфф}

Фирма Lem представляет модуль LAX 100-NP. Это преобразователь тока для монтажа на печатной плате. Он рассчитан на измерение токов до 100 А_{эфф}. Этот датчик Холла может конфигурироваться по своим основным контактам на печатной плате на токи до 16,67; 25; 33,33; 50 и 100 А_{эфф}. Высота преобразователя 16,35 мм. При первичном номинальном токе 100 А_{эфф} погрешность менее ±0,91%. Нелинейность при 100 А составляет ±0,06%, температурный дрейф в диапазоне тем-

ператур 0...70°C не более 200 мкА. Датчик не имеет вносимого затухания, постоянная времени менее 1 мкс.

www.lem.com

Powerline-трансиверы

Роет-технология разработки английского предприятия SiConnect предназначена для применения в существующей домашней проводке для передачи аудио-, видео-, голосовой информации и данных. Технология предоставляет в распоряжение Managed QoS для Plug-and-Play, располагает 128-разрядной кодировкой, полностью соответствует мировым требованиям электромагнитной совместимости и должна выйти на рынок по цене \$5. Роет использует синхронный протокол Multiple Access/Contention Resolution (SMA/CR) и 16 различных уровней приоритетов передаваемых данных. Эта комбинация должна обеспечить взвешенное и преимущественное распределение ширины полосы между соответствующими службами.



С помощью Peer-to-Peer-разводки Роет должна покрыть все имеющиеся в доме розетки. Качество каждого отдельного соединения всегда известно каждому узлу в сети, который может также служить как усилитель. Новые узлы авторизуются автоматически. Поддерживается до 255 сетей, из которых каждая в свою очередь может иметь до 255 узлов.

Согласно производителю, Роет-технология соответствует европейским нормам EN55022 по излучению помех в проводах и EN55024 по невосприимчивости помех. Роет должна также отвечать требованиям FCC Part 15 (USA) по излучению помех и норм CISPR 22 и CISPR 24 для остальных регионов мира. Powerline Modem-чип имеет схему опознавания и уклонения, смещающую несущий сигнал, чтобы избежать имеющихся помех от радиолучительских диапазонов. SiConnect намерена представить свои первые Powerline-трансиверы в третьем квартале 2006 г.

www.siconnect.com

