

Измерение температуры в широком диапазоне с помощью термопары и схемы преобразования сигнала

Р. Янг¹

УДК 621.3.049.774 | ВАК 05.27.00

Точные измерения температуры в расширенном диапазоне востребованы в различных приложениях, таких как управление тепловыми режимами в промышленности и мониторинг состояния опасной окружающей среды. Для обеспечения измерений с высокой точностью в полном диапазоне температур необходимо, чтобы датчик и схема преобразования сигнала были тщательно отрегулированы и согласованы между собой. Проанализируем ключевые факторы, оказывающие наибольшее влияние на точность температурных измерений, представим эффективное, экономичное и гибкое решение на основе термопары и интегрированного преобразователя компании Microchip, обеспечивающее надежный контроль температуры в широких пределах.

СРАВНЕНИЕ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

Чтобы преобразовать температуру в электрический сигнал, который система контроля может измерить и проанализировать, наиболее часто используют четыре типа датчиков: термопары, термисторы, резистивные термодатчики (RTD) и температурные датчики в виде интегральных схем. Хотя универсального решения, которое в достаточной степени удовлетворяло бы всем требованиям с точки зрения диапазона измерений, точности, линейности и стоимости, нет, можно найти оптимальный вариант на основе оценки требований каждого приложения. Термопара – наиболее широко применяемое устройство, поскольку способно проводить измерения в широком диапазоне температур (от –200 до 2500 °С) и устойчиво к жестким внешним условиям. По сравнению с термопарой термисторы обеспечивают достаточное разрешение в сравнительно ограниченном диапазоне температур. Датчики в интегральном исполнении отличаются более высокой точностью и лучшей линейностью, но за счет более узкого температурного диапазона. Поэтому сосредоточим внимание на устройствах измерения температуры на основе термопар.

Как показано на рис. 1, термопара состоит из двух проводников разнородных металлов, соединенных в точке, находящейся в соприкосновении с измеряемым объектом, ее обычно называют горячим контактом. Вследствие эффекта Зеебека (термоэлектрического эффекта) между двумя металлическими проводниками на холодном контакте генерируется эдс величиной, как правило, порядка мкВ в зависимости от градиента температур между

двумя контактами. Существуют разные типы термопар (Е, J, К и др.), обозначаемые в зависимости от используемой в них комбинации металлов / сплавов с разными коэффициентами Зеебека и демонстрирующие различную линейность и чувствительность при изменении температуры.

ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ ТЕРМОПАР

Температурные датчики на основе ИС и термисторы эффективны для измерения температуры ниже 150 °С. RTD главным образом используются для измерения температуры до 500 °С. Поэтому термопары становятся единственным эффективным решением для измерения температур выше 500 °С. Некоторые типы термопар стойки к чрезвычайно жестким условиям окружающей среды, где температура может достигать 2500 °С. Простая структура металлического контакта также обеспечивает его непосредственное соприкосновение с измеряемым объектом и идеально подходит для неблагоприятных условий окружающей среды. Кроме того, термопара – пассивное устройство, не требующее возбуждения током или напряжением, которое генерирует тепло, создающее помехи при измерении

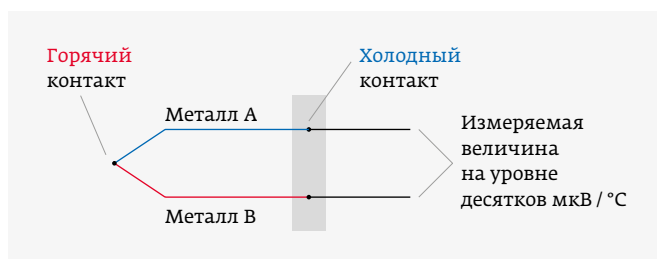


Рис. 1. Типовая схема термопары

¹ Компания Microchip, старший инженер по применению.

температуры. Наконец, термопара – это экономичное решение для многих приложений.

Однако в случае применения термопар следует учитывать некоторые технические ограничения. Коэффициент Зеебека не постоянен в полном диапазоне температур вне зависимости от используемого типа термопары. Значит, выходное напряжение термопары – не идеально линейная функция температуры. Поэтому необходим прецизионный алгоритм коррекции для снижения нелинейности преобразования температуры в напряжение эдс.

Еще одно ограничение термопары заключается в недостаточной чувствительности. У термопар разных типов коэффициент Зеебека составляет от 8 до 60 мкВ/°С. При температурном градиенте между горячим и холодным контактами, равном 500 °С, эдс должна находиться в диапазоне 4–30 мВ. Поэтому ключевым элементом, необходимым для усиления сигнала эдс во входном каскаде АЦП без существенных искажений, должен быть маломощный усилитель с малым смещением. Не менее важно использовать дифференциальный усилитель для исключения

влияния синфазного шума, наводимого длинными проводами, подключаемыми к удаленной термопаре. Недостаточно совершенный усилитель с неудовлетворительными шумовыми характеристиками может снизить точность измерения термопары.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРУДНОСТИ И ВОЗМОЖНЫЕ РЕШЕНИЯ

Температура, измеряемая термопарой, определяется напряжением эдс, которое отражает градиент температуры между горячим и холодным контактами термопары. Чтобы определить температуру на горячем контакте, нужно знать точные результаты измерения температуры холодного контакта. Компенсация холодного контакта предполагает вычисление температуры горячего контакта путем суммирования температуры холодного контакта и изменения температуры, определяемой напряжением эдс. Это означает, что в схему преобразования сигнала термопары следует интегрировать прецизионный датчик окружающей температуры. Для минимизации погрешности

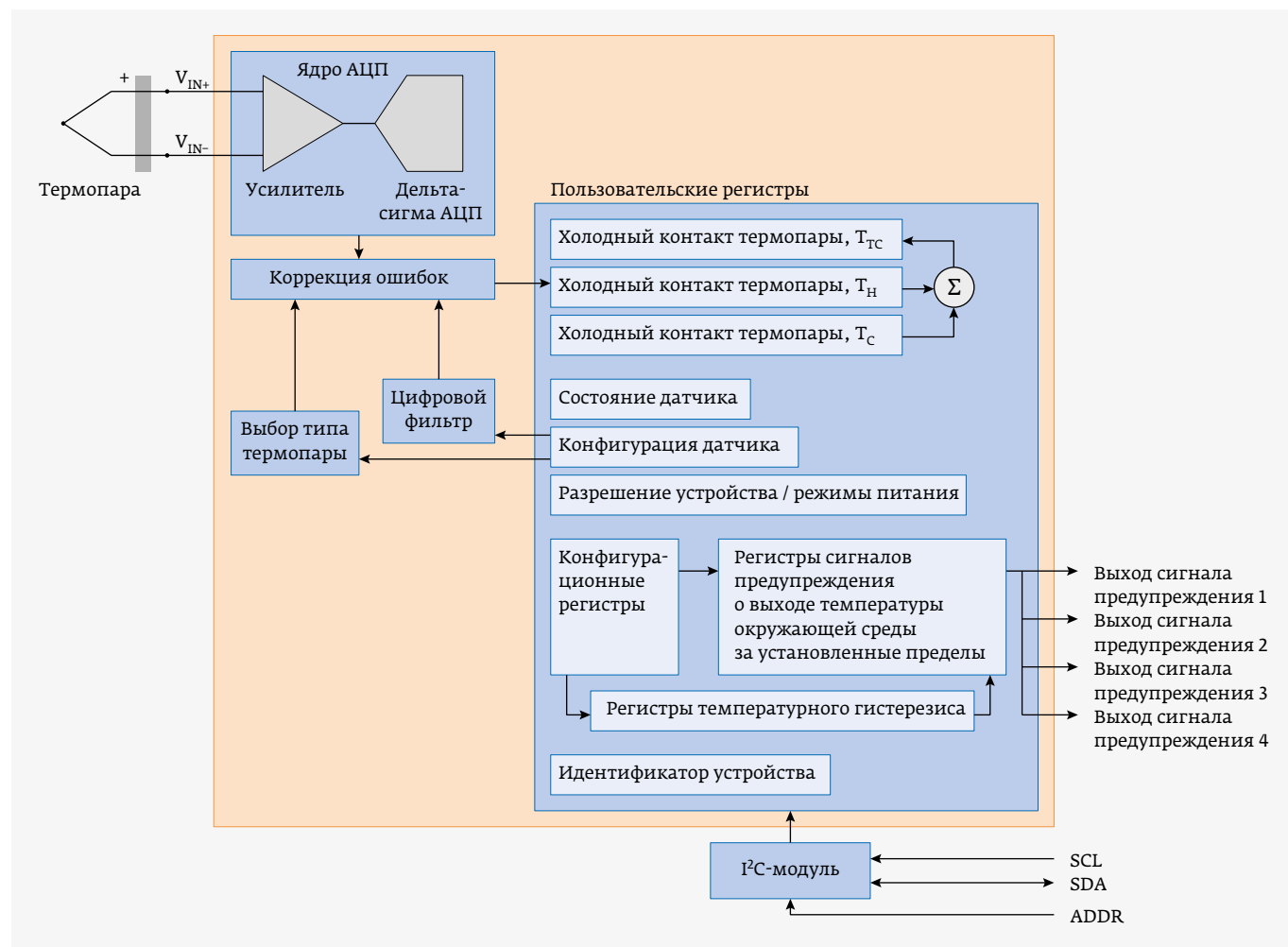


Рис. 2. Функциональная блок-схема MCP9600

температурного градиента датчик температуры необходимо разместить на плате как можно ближе к холодному контакту термопары.

Как указано выше, один из очевидных недостатков термопар – нелинейность характеристики. Чтобы снизить влияние нелинейности при преобразовании эдс в температуру, рекомендуется встроить алгоритм коррекции в систему аналого-цифрового преобразования. Для различных типов термопар применяют разные методы коррекции нелинейности.

Одно из возможных решений – использовать таблицу поиска в памяти, с помощью которой можно определить температуру, соответствующую значению напряжения эдс, и установить температуру между соседними точками путем линейной интерполяции. Пары соответствия температуры и напряжения эдс подбираются на основе эмпирических тестов и результатов измерений для каждого типа термопары. Для точности соответствия необходимо, чтобы соседние точки в таблице поиска были как можно ближе одна к другой, что предполагает больше данных и, следовательно, память большего объема.

Другой способ компенсации нелинейности преобразования эдс в температуру – использование метода моделирования. Для термопары любого типа можно определить степенное уравнение высокого порядка путем математической аппроксимации существующих результатов измерений величины эдс для каждой температурной точки. Это уравнение можно затем применить как функцию преобразования, чтобы установить значение температуры, соответствующее напряжению эдс. Процедура коррекции выполняется с помощью микропроцессора или микроконтроллера.

Во многих промышленных приложениях последовательно используется несколько разных типов термопар. Поэтому схема преобразования сигнала должна быть согласована с термопарами разных типов, чтобы обеспечить по возможности одинаковую и высокую точность. В противном случае проектное решение для интерфейса преобразования сигнала будет намного сложнее.

Проектирование точной, гибкой и в то же время недорогой схемы преобразования сигналов термопары требует большого опыта и может быть трудоемким. Чтобы упростить проектное решение, уменьшить объем работ и сократить время вывода устройства на рынок, разработчики могут рассмотреть возможность применения ИС преобразования сигнала термопары, которые доступны на рынке. Рассмотрим в качестве примера микросхему MCP9600 от компании Microchip Technology.

ОСОБЕННОСТИ ИС MCP9600

Микросхема MCP9600 от Microchip – это интегрированный преобразователь эдс термопары в температуру. Функциональная блок-схема MCP9600 представлена на рис. 2. Как

видно из рисунка, MCP9600 – это высокоинтегрированное устройство, способное передавать преобразованные цифровые данные на выход через I²C-интерфейс. Устройство содержит 18-разрядный сигма-дельта АЦП, с помощью настройки которого можно обеспечить баланс между разрешением и временем преобразования. В зависимости от типа используемой термопары и требуемого разрешения АЦП можно сконфигурировать на 12, 14, 16 и 18 разрядов. Меньшее разрешение обеспечивает более быстрое преобразование, и наоборот. Пользователь может выбрать разрешение по температуре: 0,0625 °C/MЗР или 0,25 °C/MЗР (МЗР – младший значащий разряд).

Как уже отмечалось, для согласования напряжения эдс с входным каскадом АЦП нужен малошумящий усилитель. Во входном каскаде MCP9600 используется усилитель на переключаемых конденсаторах, который позволяет усилить входной сигнал до максимального разрешения 2 мкВ/MЗР при 18-разрядном разрешении АЦП. В ИС также содержатся корректирующие коэффициенты для восьми типов термопар (К, J, Т, N, Е, В, S и R), чтобы обеспечить точность на горячем контакте на максимальном уровне $\pm 1,5$ °C в полном диапазоне температур.

Для приложений с батарейным питанием в MCP9600 предусмотрены два режима пониженного энергопотребления: режим отключения и пакетный (burst) режим, которые позволяют выбрать оптимальный вариант функционирования ИС с учетом таких факторов, как контроль температуры, энергопотребление и саморазогрев устройства. Микросхема MCP9600 также оснащена пользовательскими регистрами для выбора типа термопары, рабочего режима, до четырех порогов срабатывания сигналов предупреждения о росте или падении температуры и настройки АЦП. Это обеспечивает максимальную гибкость при согласовании устройства со всеми основными типами термопар для различных приложений измерения температуры.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Термопары становятся основным выбором для приложений измерения температуры в очень широком диапазоне. Чтобы максимально улучшить измерительные характеристики термопар в различных условиях, в схеме преобразования сигналов необходимо реализовать ряд корректирующих алгоритмов. Эти алгоритмы должны обеспечить линейность, усиление с низким уровнем шума и компенсацию холодного контакта. Интегрированные устройства преобразования сигнала термопар позволяют упростить реализацию этих требований для разработчика. Преобразователь MCP9600 от компании Microchip интегрирует все упомянутые выше компоненты в одном чипе, содержащем усилитель на переключаемых конденсаторах, 18-разрядный АЦП и модуль обработки данных. Устройство представляет собой прецизионное и экономичное решение для контроля температуры в широком диапазоне. ●