

Новые приборы контроля удаленной и локальной температуры компании Texas Instruments

За последние три года (с 2007-го по 2010-й) компания Texas Instruments выпустила ряд новых приборов с цифровыми выходами для локального и удаленного контроля температуры. В этих приборах предусмотрена нейтрализация паразитного последовательного сопротивления, коррекция η -фактора, автоматическая бета-коррекция и программируемая адресация. В статье рассказывается о том, какие преимущества это дает пользователю и как просто это может быть реализовано.

Микросхемы предназначены для контроля температуры процессоров/ программируемых логических интегральных схем (ПЛИС), проекторов LCD/DLP/LCOS, серверных устройств, оборудования телекоммуникаций центральной станции, сетей хранения данных, настольных компьютеров и ноутбуков, промышленного и медицинского оборудования.

Виктор БУКИРЕВ
bukirev_vk@mail.ru

Введение

Речь в статье пойдет о приборах контроля температуры TMP400, TMP421, TMP422, TMP423, TMP431, TMP432, TMP435, TMP441 и TMP442. Их объединяет то, что, кроме возможности локального измерения температуры и преобразования ее в цифровой код, они могут контролировать температуру удаленных объектов.

Поясним, что локальные температурные измерения производятся посредством встроенного в микросхему температурно-чувствительного элемента, а удаленные измерения допускают использование микросхемы из приведенного выше списка в качестве преобразователя сигналов от некоторого внешнего температурно-чувствительного элемента/компонента.

Имеются двух- и трехканальные приборы, а также с большим числом каналов. Один канал температурных измерений является локальным, осуществляемым на основе встроенного температурного кристалла, а другие предназначены для осуществления удаленных измерений.

В качестве удаленного температурного датчика используются обычно недорогие транзисторы в диодном включении (рис. 1) или диоды, которые являются неотъемлемой частью микроконтроллеров, микропроцессоров или ПЛИС. Стандартный диапазон рабочих температур приборов серии TMP составляет от -55 до $+127$ °C, расширенный диапазон — от -64 до $+150$ °C. Точность уда-

ленного датчика — 1 °C — типичное значение современного датчика температуры независимо от изготовителей и без калибровки. Для локального датчика типичная точность составляет 1 °C (для TMP421/22/23 — $1,5$ °C).

В микросхемах предусмотрена возможность нейтрализации паразитного последовательного сопротивления, обнаружение неисправностей диода (транзистора в диодном подключении) и ошибок его подключения, коррекция η -фактора («идеальности» передаточной характеристики индивидуального транзистора или диода), автоматическая бета-коррекция (бета — стандартная безразмерная неизменяемая характеристика транзистора в активном режиме), программирование пороговых значений, контроль минимальной и максимальной температуры. Обмен информацией приборов контроля температуры осуществляется через двухпроводной последовательный интерфейс SMBus. Для каждого вывода интерфейса SCL и SDA требуется нагрузочный резистор, подключенный к напряжению питания (рис. 1). Интерфейсные адреса могут быть как постоянные для конкретной модели, так и программируемые.

Изделия изготавливаются в 8-, 10- и 16-выводных корпусах SOT23, MSOP, QSSOP и соответствуют директиве, ограничивающей содержание вредных веществ.

Напряжение питания составляет $2,7$ – $5,5$ В (максимум $+7$ В).

В отличие от контроля локальной температуры, для измерения температуры на рас-

стоянии с помощью рассматриваемых приборов требуются дополнительные мероприятия для обеспечения точности измерения. Рассмотрим некоторые особенности данных микросхем и рекомендации по их использованию.

Бета-компенсация

Ранее управление удаленным датчиком температуры с p - n -переходом осуществлялось за счет контроля тока эмиттера транзистора-датчика. Однако экспертиза физики транзистора показывает, что напряжение база — эмиттер является фактически функцией тока коллектора. Если бета (бета является стандартной характеристикой транзистора, представляющей собой отношение тока коллектора к току базы) не зависит от тока коллектора, то напряжение база — эмиттер может быть вычислено из значения тока эмиттера. В более ранних микропроцессорах, которые содержали p - n - p -транзистор, подключенный как температурный датчик, контролировали ток эмиттера, обеспечивая приемлемые температурные результаты измерения. Но с технологией на 90 нм и ниже коэффициент бета продолжает уменьшаться, и предпосылка, что он независим от тока коллектора, становится менее бесспорной.

Чтобы управлять величиной температурной погрешности измерения, приборы мониторинга температуры контролируют ток коллектора вместо тока эмиттера. Они автоматически определяют и выбирают

нужный диапазон в зависимости от бета-коэффициента внешнего транзистора. Этот процесс выполняется с автоматическим выбором диапазона в начале каждого преобразования температуры, чтобы скорректировать любые изменения коэффициента бета в результате изменения температуры. Прибор может управлять *p-n-p*-транзистором с коэффициентом бета до 0,1.

Бета-компенсация реализована не во всех рассматриваемых приборах; например, она имеется в TMP431/32, TMP435, TMP441/42. Эти приборы автоматически корректируют тип датчика — диодный или с ОК и выбирают подходящий бета-диапазон для компенсации посредством конфигурационного регистра.

Компенсация паразитного последовательного сопротивления

Паразитное последовательное сопротивление в прикладной схеме возникает в результате сопротивлений дорожек печатной платы схемы и сопротивления, зависящего от протяженности удаленной линии. Оно автоматически компенсируется микросхемами, предотвращая температурное смещение. В общей сложности приборы контроля температуры компенсируют до 3 кОм сопротивления соединительной линии для TMP400 и TMP421/22/23 (для TMP431/32, TMP435, TMP441/42 — 1 кОм с включенной коррекцией коэффициента бета и 300 Ом без коррекции), избавляя от необходимости дополнительной коррекции характеристики и температурного смещения.

Фильтрация

Удаленные датчики температуры с *p-n*-переходом обычно обеспечивают выполнение фильтрации в условиях высокого уровня помех. Помеха чаще всего создается быстродействующими цифровыми сигналами, и если не сделать фильтрование, возможно искажение измерения. У микросхем имеется встроенный фильтр на 65 кГц на входах DXN и DXN для минимизации явления помех. Впрочем, дополнительный дифференциальный фильтр нижних частот может помочь уменьшить нежелательные двойные сигналы. Точные номиналы компонентов зависят от конкретного применения.

Для минимального изменения температурной погрешности при использовании TMP400, TMP431/32, TMP435 можно применять дифференциальную входную емкость до 2200 пФ, при использовании TMP421/22/23 — до 1000 пФ. А для TMP441/42 — до 500 пФ, если включена бета-коррекция, и 1000 пФ, если бета-коррекция отключена, с минимальным изменением температурной погрешности. Пример подключения дифференциальной емкости показан на рис. 1.

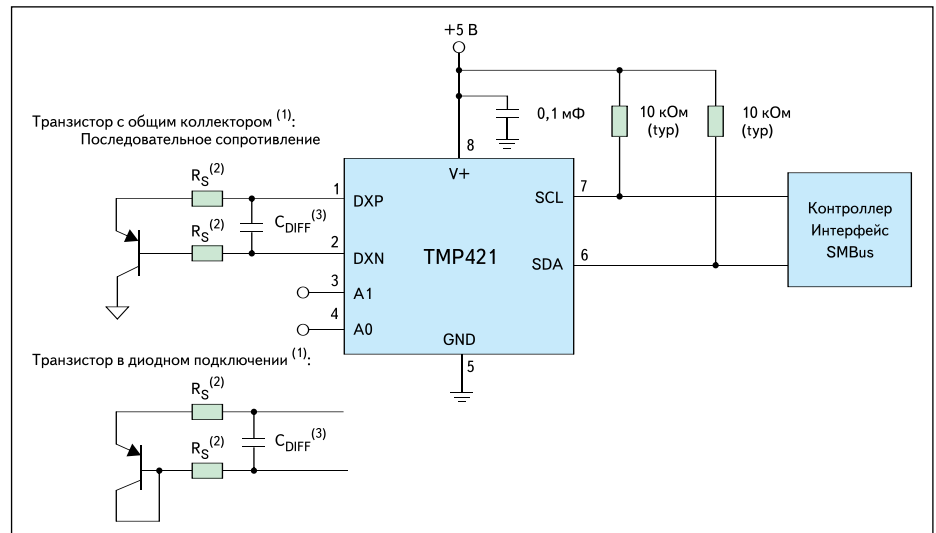


Рис. 1. Основные подключения прибора контроля температуры (на примере микросхемы TMP421):

- (1) — при конфигурации транзистора в диодном подключении лучше обеспечивается время установления сигнала (при подключении транзистора с общим коллектором лучше обеспечивается нейтрализация последовательного сопротивления);
 (2) — в большинстве применений значение дополнительного сопротивления R_S должно быть меньше допустимого значения для соответствующей микросхемы (выбор номинала R_S зависит от применения);
 (3) — в большинстве применений дополнительный конденсатор C_{DIFF} значение емкости должно быть меньше допустимого значения для соответствующей микросхемы (выбор номинала конденсатора C_{DIFF} зависит от применения)

В некоторых случаях достигается лучшая общая точность с дополнительным последовательным сопротивлением. Суммарное значение последовательного сопротивления не должно превышать допустимого значения для соответствующей микросхемы. При необходимости фильтрования предлагаются номиналы компонентов 100 пФ и 50 Ом на каждом входе; точные значения определяются для конкретного применения. Примеры подключения дополнительного последовательного сопротивления и конденсатора показаны на рис. 1.

Температурные данные измерения

Температурные данные измерения могут быть взяты в рабочем диапазоне от -40 до $+127$ °C и для локальных, и для удаленных размещений.

Однако измерения для локальных и удаленных объектов в диапазоне от -55 до $+150$ °C могут быть сделаны после новой конфигурации микросхемы для расширенного температурного диапазона.

Хотя прибор рассчитан только для измерения температуры до -55 °C, он может определять температуры ниже этого уровня. Но любая температура ниже -64 °C приводит к значению данных -64 (COh). Аналогично температуры выше $+127$ °C приводят к значению 127 (7 Fh). Прибор может быть установлен для измерения по расширенному температурному диапазону изменением бита 2 (RANGE) регистра конфигурации 1 с низкого на высокий логический уровень. Изменение в диапазоне измерений и формате данных от стандартного до расширенно-

го происходит в следующем температурном преобразовании. Для данных, зафиксированных в расширенной конфигурации температурного диапазона, смещение -64 (COh) добавляется к стандартному двойному значению. Эта конфигурация позволяет измерять температуру от -64 до $+191$ °C; однако большинство термочувствительных диодов имеет диапазон только от -55 до $+150$ °C. Кроме того, рассматриваемые здесь приборы серии TMP4 рекомендованы для температур окружающей среды в пределах от -40 до $+125$ °C.

И локальные, и удаленные температурные данные используют два байта для сохранения данных. Старший байт запоминает температуру с разрешающей способностью 1 °C. Второй, или младший байт запоминает значение десятичной дроби температуры и позволяет более высокую разрешающую способность измерения, которая составляет для локальных и удаленных каналов 0,0625 °C и не изменяется.

Обнаружение неисправностей датчика

Приборы TMP4 могут определять неисправность на входе DXN, возникающую из-за неправильного подключения датчика. Прибор также может определять состояние разомкнутой цепи. При состоянии короткого замыкания возвращается значение -64 °C. Схема обнаружения состоит из компаратора напряжений, который срабатывает, когда напряжение на выводе DXN превышает $(V+) - 0,6$ В (типично). Выход компаратора непрерывно проверяется во время преобразования. Если дефект обнаружен, то бит OPEN (бит 0) в температурном регистре ре-

зультата устанавливается в «1» и остальная часть битов регистра игнорируется.

Если удаленный датчик не используется, то входы DXP и DXN должны быть объединены вместе, чтобы предотвратить бессмысленные предупреждения о неисправности.

Блокировка при пониженном напряжении

Микросхемы могут определять, когда напряжение источника питания достигло минимального уровня напряжения для функционирования аналого-цифрового преобразователя. Схема обнаружения состоит из компаратора напряжений, который допускает аналого-цифровое преобразование после того, как напряжение источника питания (V+) будет больше 2,45 В (типично). Выход компаратора непрерывно проверяется во время преобразования. Приборы контроля температуры не выполняют температурное преобразование, если источник питания не в норме.

Устранение неидеальности

Для этой цели предусмотрен регистр коррекции η -фактора. Прибор контроля температуры учитывает дифференциальное значение η -фактора, которое будет использоваться для преобразования измерений удаленных каналов в температуру. Удаленный канал использует последовательное возбуждение тока, чтобы получить дифференциальное измерение напряжения база — эмиттер для определения температуры удаленного транзистора. Уравнение (1) устанавливает соотношение этого напряжения и температуры:

$$V_{BE2} - V_{BE1} = ((\eta k T / q) \ln(I_2 / I_1)). \quad (1)$$

Значение « η » в уравнении (1) является характеристикой специфического транзистора, используемого для удаленного канала. Для микросхем без коррекции бета, или при отключенной коррекции бета для микросхем с коррекцией бета, или если датчик подключен как диод (база соединена накоротко с коллектором), η -фактор равен 1,008. Когда коррекция бета разрешена и датчик подключен как диод (база соединена накоротко с коллектором), η -фактор равен 1. Если η -фактор, который используется для преобразования температуры, не соответствует характеристике датчика, то наблюдается температурное смещение. Значение в регистре коррекции η -фактора можно использовать, чтобы настроить эффективный η -фактор согласно уравнениям (2) и (3) в случае отключенной коррекции бета или если датчик подключен как диод. Уравнения (4) и (5) можно применять для включенной коррекции бета и датчика-транзистора с общим коллектором:

$$\eta_{eff} = 1,008 \times 300 / (300 - N_{ADJUST}), \quad (2)$$

Таблица. Назначение выводов

Обозначение	Описание
V+	Положительное напряжение источника питания (от 2,7 до 5,5 В)
GND	Общий
DXP (D+)	Положительное соединение с удаленным датчиком температуры
DXN (D-)	Отрицательное соединение с удаленным датчиком температуры
A1	Вывод для программирования адреса
AO	Вывод для программирования адреса
SDA	Последовательная шина передачи данных для SMBus, открытый сток; требуется нагрузочный резистор к питанию V+
SCL	Последовательная шина синхроимпульсов для SMBus, открытый сток; требуется нагрузочный резистор к питанию V+
DX1	Вывод подключения 1-го канала удаленного датчика температуры. Используется также для установки адреса TMP422
DX2	Вывод подключения 1-го канала удаленного датчика температуры. Используется также для установки адреса TMP422
DX3	Вывод подключения 2-го канала удаленного датчика температуры. Используется также для установки адреса TMP422
DX4	Вывод подключения 2-го канала удаленного датчика температуры. Используется также для установки адреса TMP422
DXP1	Положительное соединение с удаленным датчиком температуры (канал 1)
DXP2	Положительное соединение с удаленным датчиком температуры (канал 2)
DXP3	Положительное соединение с удаленным датчиком температуры (канал 3)
DXN	Общее отрицательное соединение с удаленным датчиком температуры (каналы 1, 2 и 3)
DXN1	Отрицательное соединение с удаленным датчиком температуры (канал 1)
DXN2	Отрицательное соединение с удаленным датчиком температуры (канал 2)
THERM	Флаг включения режима термоста, активный низкий уровень выходного сигнала, открытый сток; требуется нагрузочный резистор к питанию V+
ALERT / THERM2	Сигнализация превышения или понижения температуры (может конфигурироваться как второй флаг включения режима термоста), активный низкий уровень выходного сигнала, открытый сток; требуется нагрузочный резистор к питанию V+
ALERT	Сигнализация превышения или понижения температуры, активный низкий уровень выходного сигнала, открытый сток; требуется нагрузочный резистор к питанию V+
STBY	Вывод режима ожидания
NC	Нет внутренних подключений

$$N_{ADJUST} = 300 - (300 \times 1,008 / \eta_{eff}), \quad (3)$$

$$\eta_{eff} = 1,008 \times 300 / (300 - N_{ADJUST}), \quad (4)$$

$$N_{ADJUST} = 300 - (300 \times 1,008 / \eta_{eff}). \quad (5)$$

Значение скорректированного η -фактора должно быть сохранено в форме дополнительного кода с выдачей диапазона эффективных данных от -128 до +127. Для микросхем скорректированное значение η -фактора может быть записано и считано по соответствующему адрес-указателю. Значение регистра при сбросе по включению питания — 00h, регистр не имеет эффекта, если он не сохранен.

Расположение и назначение выводов

На рис. 2 показано расположение выводов некоторых 8-, 10- и 16-выводных приборов контроля температуры TMP4, а их назначение приведено в таблице.

Рассмотренные приборы контроля реализуют программную компенсацию последовательного сопротивления и коррекцию нелинейности полупроводникового датчика, которые уменьшают или исключают издержки времени на калибровку. Приборы обеспечивают управление температурой в такой аппаратуре, как промышленные контроллеры, серверы, настольные ПК или портативные компьютеры и медицинское оборудование. А также могут применяться в офисном телекоммуникационном оборудовании, проекторах LCD DLPT LCOS, устройствах хранения данных и для контроля температуры процессоров ПЛИС.

Заявленная стоимость на сайте производителя составляет \$0,85–1,1.

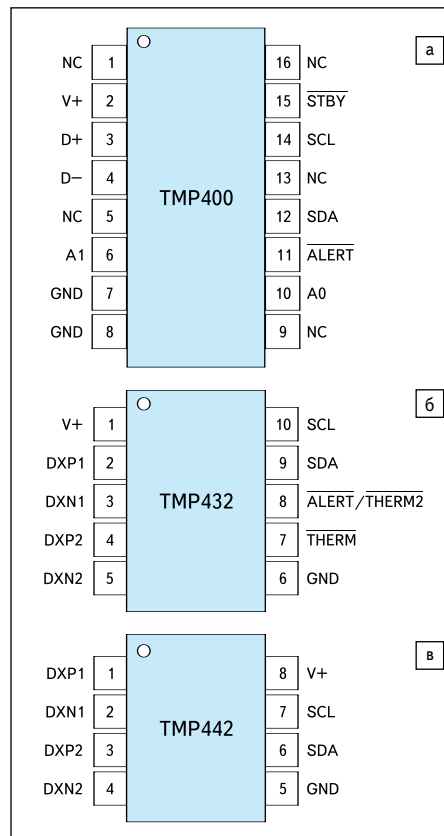


Рис. 2. Расположение выводов приборов контроля температуры: а) TMP400; б) TMP432; в) TMP442

В статье не был рассмотрен протокол интерфейса SMBus и назначение регистров. Эту информацию можно найти в спецификациях на микросхемы на английском языке на сайте компании производителя Texas Instruments по адресу www.ti.com в разделе Temperature Sensors and Control ICs.