

Александр Калачев (г. Барнаул)

ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ДАТЧИКИ ТЕМПЕРАТУРЫ ОТ TI (ЛИНЕЙКА NSC): ИЗМЕРЯЕМ ГДЕ И КАК УГОДНО



К линейке **цифровых термодатчиков TI** добавилась широкая номенклатура **аналоговых и цифровых термодатчиков от NSC**. Тут есть приборы на любой вкус: простые **аналоговые с выходом по напряжению и току**, «термоключи» для обнаружения перегрева прибора или узла, **датчики локальной температуры и температуры удаленного диода, мониторы температуры**.

Спектр приложений и задач, в которых может потребоваться измерение температуры, очень широк. Пожалуй, температуру можно назвать одним из самых часто измеряемых параметров. В некоторых случаях это может быть температура внешней среды, температура охлаждающих сред, в некоторых — самих приборов или их частей. Различаются также абсолютные диапазоны измерений и требования к точности измерений. Некоторое влияние оказывает и способ обработки измеренных данных — локально или удаленно.

Приобретение компании National Semiconductor добавило в спектр продукции Texas Instruments ряд линеек продуктов. В частности, это коснулось и интегральных датчиков температуры.

В линейке датчиков температуры National представлены аналоговые и цифровые изделия, некоторые — с рядом дополнительных функций. Имеются температурные датчики, основанные на различных физических эффектах — резистивные, полупроводниковые, микросхемы для работы с термопарами. Среди аналоговых датчиков присутствуют датчики с выходом по напряжению, токовые датчики, интегральные микросхемы датчиков с программируемым коэффициентом усиления, микросхемы,

содержащие схемы сравнения — т.н. термостаты или термосигнализаторы. Целый ряд микросхем предназначен для работы с удаленными датчиками температуры (в основном — с полупроводниковыми диодами). Кроме этого, отдельно стоит выделить интегральные контроллеры аппаратуры, содержащие в себе, помимо температурных датчиков или схем их опроса, схемы управления внешними устройствами, в частности, скоростью вращения вентилятора охлаждения [1].

Аналоговые температурные датчики

Аналоговые полупроводниковые температурные датчики National отличаются компактностью, простота схем включения, достаточно высокая стабильность передаточной характеристики, широкий диапазон напряжений питания и малый потребляемый ток. Температурный диапазон работы большинства датчиков лежит в пределах $-40...125^{\circ}\text{C}$, есть датчики, работающие и в более широком диапазоне — от -50 до 150°C . Ряд наиболее популярных серий приведены в таблице 1.

Датчики с выходом напряжения

Датчики с выходом по напряжению можно разделить на три большие группы:

- интегральные датчики с программируемым усилением;
- датчики с фиксированным коэффициентом усиления и выходом напряжения, пропорциональным температуре;
- датчики с выходным напряжением, пропорциональным одной из температурных шкал — по Цельсию/по Кельвину/по Фаренгейту.

Датчики с программируемым коэффициентом усиления представлены серией LM9402x. На текущий момент в нее входит три микросхемы — **LM94021**, **LM94022** и **LM94023**.

Среди основных возможностей — широкий температурный диапазон измерений — от -50 до 150°C при минимальном напряжении питания всего 1,5 В, токе потребления не более 15 мкА и ошибке измерений не более $2,1^{\circ}\text{C}$. Выход защищен от короткого замыкания, его малое выходное сопротивление позволяет ему работать с высокеемкостными входами — до величин порядка 1 нФ (например, УВХ АЦП или фильтр нижних частот). Один, как в случае с LM94023, или два (LM94021, LM94022) управляющих выводов GSx позволяют выбирать один из двух или четырех коэффициентов усиления. Это позволяет достигать оптимальных результатов в зависимости от требований приложения — или расширение измеряемого диапазона температур, или повышение чувствительности — от 5,5 до $13,6 \text{ мВ}/^{\circ}\text{C}$ для LM94021, LM94022 (от 5,5 до $8,2 \text{ мВ}/^{\circ}\text{C}$ для LM94023).

Датчики выполняются в компактных корпусах типа SC70 и microSMD. Минимальная схема включения не требует наличия внешних дополнительных элементов. Управляющие входы допуска-

Таблица 1. Пример аналоговых датчиков температуры линейки National

Наименование	Погрешность измерения, $^{\circ}\text{C}$	Диапазон напряжений питания, В	Рабочий температурный диапазон, $^{\circ}\text{C}$
LM94023	$\pm 1,5$	1,5...5,5 @ 5,4 мкА	-50...150
LM94022	$\pm 1,5$	1,5...5,5 @ 5,4 мкА	-50...150
LM94021	$\pm 1,5$	1,5...5,5 @ 9 мкА	-50...150
LM20	$\pm 1,5$	2,4...5,5 @ 4,5 мкА	-55...130
LM35	$\pm 0,5$	4...30 @ 56 мкА	-55...150

ют непосредственное подключение, как к общему проводу, так и к питанию без дополнительных подтягивающих резисторов.

Температурные датчики с фиксированной чувствительностью представляют собой достаточно простое решение для многих задач измерения и контроля температуры. Высокая линейность характеристики, надежность, высокая точность и низкое энергопотребление привели к тому, что ряд из них были признаны промышленным стандартом по факту, в частности – популярный датчик LM20.

На текущий момент к таким датчикам можно отнести датчики серий LM19, LM20. Датчики способны работать в диапазоне $-50...130^{\circ}\text{C}$, что перекрывает многие задачи контроля температуры. Диапазон питающих напряжений от 2,7 до 5,5 В при токе потребления порядка нескольких микроампер позволяет применять датчики в устройствах как со стационарным, так и с батарейным питанием. Чувствительность их составляет $11\text{ мВ}/^{\circ}\text{C}$.

Весьма интересным подмножеством аналоговых датчиков температуры National можно назвать датчики с выходными уровнями напряжения, пропорциональными одной из температурных шкал – Цельсия, Кельвина или Фаренгейта. Общим их свойством является линейная характеристика с чувствительностью $10\text{ мВ}/\text{градус}$ одной из шкал.

Так, серии LM135, LM235 и LM335 являются температурными датчиками с выходным напряжением, пропорциональным шкале Кельвина – номинальное напряжение на выходе при температуре 0°C (273°K) равно 2,73 В, при температуре 100°C – 3,73 В. Температурный коэффициент датчиков – $10\text{ мВ}/^{\circ}\text{K}$ при максимальной ошибке на всей измеряемой шкале $\pm 2,7^{\circ}\text{C}$. При помощи внешнего подстроечного резистора можно добиться точности порядка $\pm 1^{\circ}\text{C}$. Датчики доступны в пластиковых – TO-92 и SO-8, и металлических – TO-46 корпусах.

Датчики серий **LM35**, **LM45**, **LM50** имеют выход в шкале Цельсия. Номинальный выход датчиков LM35, LM45 при 25°C – 250 мВ, а при 100°C – 1 В, чувствительность $10\text{ мВ}/^{\circ}\text{C}$. Более того, подключение резистора к выходу и отрицательному напряжению пита-

ния позволяет измерять и отрицательные температуры (ниже 0°C). Точность измерений датчиков в самом плохом варианте укладывается в $\pm 3^{\circ}\text{C}$. Стоит отметить, что ряд серий датчиков в данной группе способен обеспечить более высокую точность: так, погрешность LM35 в диапазоне -55 до 150°C составляет всего $\pm 1^{\circ}\text{C}$.

Датчик LM50 отличается от LM35/45 тем, что при аналогичной зависимости выходного напряжения от температуры ($10\text{ мВ}/^{\circ}\text{C}$) при 0°C имеет на выходе постоянное смещение в 500 мВ. Т.е., при температуре 0°C – на выходе датчика 500 мВ, 100°C – 1,5 В, и при -40°C – 100 мВ. Функциональным аналогом LM50 для систем с низковольтным питанием (от 2,7 В) является LM60/61/62 – при 0°C его выход равен 424 мВ, 1049 мВ при 100°C и 174 мВ при -40°C , температурная зависимость их положительна и равна $6,25\text{ мВ}/^{\circ}\text{C}$.

Аналогичная ситуация и с датчиками температуры по шкале Фаренгейта – LM34, способными измерять температуры от -50 до 300°F с погрешностью 2°F при аналогичном температурном коэффициенте $10\text{ мВ}/^{\circ}\text{F}$.

Токовые датчики

Устройства серий **LM134/LM234/LM334** можно применять по-разному. С одной стороны, они могут служить регулируемые источниками тока (значение выходного тока задается внешним резистором), с другой – их выходной ток зависит от температуры: от 1 до $3\text{ мкА}/^{\circ}\text{C}$. Путем подбора величины внешнего сопротивления можно регулировать чувствительность датчиков или измерительный диапазон. Конечно, чувствительность в пару микроампер на градус не назовешь высокой, да и датчик на их основе будет требовать последующей калибровки, или использования в схеме прецизионного резистора. Но аргументом в пользу их выбора может стать то, что для их работы достаточно напряжения всего 1,2 В, следовательно, они могут быть востребованы в приложениях с батарейным или аккумуляторным питанием.

«Термоключи»

Одна из частых задач, возникающих в бытовой и промышленной технике –

обнаружение перегрева прибора или его узла. В линейке аналоговых датчиков температуры от National есть ряд приборов, сочетающих в себе температурный датчик, формирователь порогового уровня, компаратор и выходные силовые цепи (таблица 2).

Примерами таких устройств являются высокоинтегрированные температурные ключи серий **LM26** и **LM27**, выпускаемые в корпусе SOT-23. Обе серии могут эксплуатироваться в весьма жестких температурных условиях. Так серия LM26 работает в диапазоне от -55 до 125°C , а LM27 от -40 до 150°C при порогах срабатывания в диапазоне $120...150^{\circ}\text{C}$. Таким образом, они оптимальны для мониторинга перегрева силовых узлов, тем более, что обе имеют вход HYST, позволяющий задать гистерезис. Ширина петли гистерезиса от 2°C (при подключении вывода к общему проводу), до 10°C (при подключении к линии питания). Микросхемы имеют два выходных сигнала – аналоговый выход температурного датчика и выход с открытым стоком. Порог срабатывания задается при производстве.

Дальнейшим развитием является серия **LM26LV**. LM26LV представляет собой прецизионный низковольтный ключ, срабатывающий при превышении температуры определенного уровня. На выходе датчика формируется напряжение, пропорциональное температуре, и два пороговых сигнала. Аналоговый выход обладает достаточным входным/выходным током для работы на емкостную нагрузку. Один из пороговых сигналов – **OVERTEMP** – генерирует логический сигнал высокого уровня при превышении заданного порога, параллельно выход с открытым стоком **-OVERTEMP** становится активным. Входной сигнал **TRIPTEST** предназначен для внутрисхемного тестирования ключа. Высокий уровень на нем имитирует превышение порога и приводит к срабатыванию ключа. Порог срабатывания, так же, как и для LM26, LM27, задается при производстве и находится в пределах от 0 до 150°C с шагом 1°C . Диапазон напряжения питания от 1,6 до 5,5 В.

В качестве температурного ключа с задаваемым порогом срабатывания может применяться серия **LM57**, для которой порог задается парой внешних резисторов.

Таблица 2. Температурные ключи

Наименование	Метод задания порога, точность, $^{\circ}\text{C}$	Напряжение питания, В; ток потребления, мкА	Диапазон пороговых уровней температуры, $^{\circ}\text{C}$
LM26LV	Заводские предустановки, $\pm 2,2$	1,6...5,5; 8	0...150, шаг 1
LM26	Заводские предустановки, ± 3	2,7...5,5; 16	-55...125, шаг 1
LM27	Заводские предустановки, ± 3	2,7...5,5; 15	120...150, шаг 1
LM56	Пользовательский, ± 2	2,7...10; 110	-40...125, внешние резисторы
LM57	Пользовательский, $\pm 1,5$	2,4...5,5; 24	-40...150, внешние резисторы

Таблица 3. Цифровые датчики температуры линейки National

Наименование	Точность, °С; разрядность, бит	Напряжение питания, В; ток потребления, мА	Температурный диапазон, °С	Интерфейс
LM73	±2,0; 9	3...5,5; 1	-55...125	2-wire
LM75A	±2,0°; 9	3...5,5В; 1	-55...125	2-wire
LM92	±0,33 & ±0,5; 13	2,7...5,5; 0,625	-55...150	2-wire
LM71	±1,5; 13	2,65...5,5; 0,55	-40...150	3-wire
LM95071	±1,0; 14	2,4...5,5; 0,28	-55...150	3-wire
LM74	±1,25; 13	3...5,5; 0,52	-55...150	3-wire

LM56 является интегральной микросхемой-термостатом. Она содержит источник опорного напряжения 1,25 В, два компаратора со встроенным гистерезисом, температурный датчик (аналогичный LM60). Рабочий температурный диапазон LM56 составляет -40...125°C. Суммарная погрешность датчика и компараторов в пределах температур от 25 до 85°C составляет не более 2°C, в полном рабочем диапазоне от -40...125°C — не более 3°C, не считая погрешности внешних резисторов.

Цифровые температурные датчики

Цифровые датчики температуры объединяют в себе чувствительный полупроводниковый элемент, аналого-цифровой преобразователь, блок управления, содержащий управляющую логику и регистры конфигурации, и интерфейсный блок. Для датчиков Texas Instruments линейки National традиционно используются двухпроводной интерфейс SMBus/I²C, или трехпроводной SPI/Microwire. В линейку поставок входят датчики с разрядностью от 8 бит с погрешностью ±4°C до 16-бит с погрешностью ±0,33°C (таблица 3).

Датчики локальной температуры

Некоторые из цифровых датчиков имеют дополнительные сигнализирующие пороговые выходы. Но, в отличие от температурных ключей, порог их срабатывания, включая гистерезис, задается пользователем. Примером подобного датчика является прецизионный датчик **LM73** (корпус SOT23-6) с двухпроводным интерфейсом, совместимым с шинами SMBus и I²C. При полном рабочем диапазоне от -40 до 150°C его погрешность в пределах от -10 до 80 ±1°C. При помощи всего одной линии выбора адреса датчика на шине возможна установка для него одного из трех адресов в зависимости от состояния адресной линии — не подключена, подключена к общему проводу или подключена к напряжению питания.

Настройки LM73 позволяют оптимизировать его скорость и точность работы — разрешение датчика может варьироваться от 0,25°C/бит до 0,03°C/бит

(11...14-битное преобразование). Датчик имеет два режима работы. Это — обычный режим, в котором датчик все время находится в режиме непрерывного преобразования и выдачи данных, и режим низкого потребления, когда запуск преобразования и выдача результата проводятся по запросу внешнего устройства.

Датчик серии **LM92** может служить примером цифрового термостата. Он позволяет существенно упростить создание систем контроля температуры. При прекрасных показателях точности порядка 0,5°C, диапазоне питания 2,7...5,5 В и 12-битном АЦП, LM92 имеет два программируемых пороговых выхода INT и T_CRIT_A. Первый из них, INT, становится активным при выходе температуры за установленные пределы. Выход T_CRIT_A срабатывает при превышении температуры заданного порога. Два входа селекции адреса позволяют выбрать один из четырех адресов датчика на последовательной шине I²C.

Примерами датчиков, управляемых по шине SPI, могут служить популярные датчики **LM70**, **LM74**, **LM95071** и ряд других.

14-битный датчик LM95071 обеспечивает точность 2°C на полном рабочем температурном диапазоне и до 1°C в пределах 0...70°C, цифровой шум составляет всего один младший разряд. Для данного датчика также доступен режим непрерывного преобразования и режим низкого энергопотребления. Он выпускается в миниатюрном корпусе SOT-23.

Украшением линейки цифровых датчиков можно считать 24-битную однокристалльную систему сбора данных с температурных датчиков — **LMP90100**. Ключевыми ее свойствами является низкое энергопотребление, 24-битное сигма-дельта АЦП с автоматической калибровкой, управляемый коэффициент усиления, а также малый дрейф параметров в зависимости от времени или температуры. LMP90100 может работать как от внутреннего, так и от внешнего источника синхронизирующих импульсов, имеет несколько конфигурируемых цифровых линий ввода-вывода, SPI-интерфейс управления.

Встроенные опорные источники тока и напряжения позволяют напрямую работать с резистивными типами датчиков (мосты, терморезисторы, а также датчики давления и тензодатчики). Гибкий конфигурируемый входной мультиплексор позволяет работать даже с дифференциальными сигналами — например, возможны конфигурация на четыре дифференциальных входа или на семь одиночных, а также различные комбинации.

Датчики температуры удаленного диода

Данный тип датчиков предназначен для мониторинга температуры электронных компонентов, например, центрального процессора, специализированных микросхем типа ASIC или программируемых логических схем FPGA. Как правило, в таких устройствах предусмотрены выходы сенсорного диода (чаще всего сенсорным диодом является р-р-р-транзистор). В случаях критически важных систем, не имеющих подобного чувствительного диода, вместо него применяются транзистор **2N3904**. Впервые идея сенсорного температурного диода была воплощена в жизнь рядом производителей полупроводниковой продукции в 90-нм технологическом процессе (таблица 4).

В технологиях с меньшими размерами (например, 45 нм), выходной сигнал сенсорного диода может существенно отличаться в пределах серии элементов или в зависимости от конкретной реализации технологии производителями. Для решения данной проблемы National предложила уникальную технологию компенсации, называемую TruTherm® (*BTJ/Transistor beta-compensation technology*). Помимо специализированных датчиков, работу с удаленными диодами поддерживает ряд серий цифровых температурных датчиков и мониторов аппаратуры.

В рамках семейства датчиков температуры удаленного диода присутствуют устройства, работающие с одним, двумя или четырьмя каналами.

Серии **LM86**, **LM89**, **LM90**, и **LM99** являются традиционными одноканальными датчиками температуры, управ-

Таблица 4. Датчики температуры удаленных диодов

Наименование	Точность, °С; корпус; число сигнальных линий	Метод измерений	Количество каналов
LM95245	±0,75; MSOP-8; 1	45 нм, TruTherm®	1
LM95235	±0,75; MSOP-8; 1	65 нм, TruTherm	1
LM95241	±1,25; MSOP-8; 1	65 нм, TruTherm	2
LM95234	±0,875; LLP-14; 3	65 нм, TruTherm	0...4
LM95214	±1,1; LLP-14; 3	Тр-р 2N3904	0...4

Таблица 5. Контроллеры аппаратуры

Серия	Метод контроля	Ключевые особенности
LM92001	—	16-каналов, 12-бит АЦП, точность ±0,1% TUE, двенадцать 12-битных ЦАП, внутренний источник опорного напряжения, встроенный температурный датчик, 8-линейный вывод-вывода, интерфейс I ² C.
LM96080	—	10-бит сигма-дельта АЦП. отслеживание 7 напряжений, локальная температура, изменение скорости вращения двух кулеров; интерфейс I ² C, совместимый с LM80
LM96194	PI & LUT	Монитор рабочей станции, 4 канала работы с удаленными диодами с технологией TruTherm, 4 сенсорных входа, 2 контроля кулера, 8 мониторов напряжения.
LM94	PI & LUT	Монитор сервера, 4 TruTherm канала работы с удаленными диодами, 4 сенсорных тач-входа, 2 контроллера кулеров, 16 линий контроля напряжения, контроллер 4-пинового кулера
LM96000	Linear	Монитор персонального компьютера, два канала измерения температуры удаленных диодов, dual RDTS, контроллер 4-пинового кулера
LM96163	12-point LUT	11-бит удаленный диод с TruTherm, улучшенный аналоговый тракт, цифровая фильтрация сигнала
LM81	—	Монитор напряжения, выход ЦАП, тач-входы

ляемыми по шине SMBus. Кроме показаний температуры датчик имеет два сигнализирующих вывода ALERT и T_CRIT_A, генерирующих сигналы при выходе температуры за заданные диапазоны и превышении критического уровня, соответственно.

Одноканальные датчики LM95235 и LM95245 выполнены с применением технологии TruTherm® BTJ/Transistor beta-compensation. LM95235 предназначен для мониторинга температуры процессоров Intel, выполненных по 65 и 90 нм технологии. LM95245 способны работать с сенсорными диодами по 45-, 60- и 90-нм технологии. В качестве дополнительной возможности LM95235 может осуществлять цифровую фильтрацию сигнала.

LM95221 имеет два сигнальных канала с разрешением 0,125°С. Более универсальным вариантом являются датчики LM95231 и LM95241, выполненные с применением технологии TruTherm®.

Мониторы аппаратуры

В отдельный ряд можно вынести серии приборов, способных измерять собственную температуру и температуры удаленных диодов наряду с выполнением действий по управлению внешними устройствами. Общее их название — мониторы аппаратуры (*Hardware Monitors*). Типовыми задачами для них являются управление системами охлаждения/нагрева приборов или узлов, например, управление скоростью вращения вентилятора охлаждения. Кроме схем измерения температуры, настрой-

ки и управления порогами срабатывания, данные серии микросхем имеют схемы ШИМ- или PID-регулирования (таблица 5).

Средства отладки и разработки

Процесс разработки сенсорных решений имеет мощную поддержку в виде он-лайн инструментария WEBENCH, позволяющего помимо ряда других функций производить выбор необходимого типа температурного датчика для требований конкретных приложений. Также он позволяет определиться с типом чувствительного элемента — термопара/резистивный/полупроводниковый датчик и характеристиками последующего аналогового тракта [2-4].

Инструментарий SensorEval предназначен для работы с отладочными платами температурных датчиков и мониторов аппаратуры через USB-интерфейс. Более того — он поддерживает прямой доступ к температурным датчикам, расположенным непосредственно на материнских платах (с поддержкой наборов микросхем Intel) [5].

Для каждого из типов продукции National предлагаются отладочные платы, позволяющие оценить основные возможности датчиков, температурных ключей и мониторов аппаратуры.

Заключение

Как видно из данного далеко не полного обзора продуктов, предназначенных для задач измерения, контроля температуры, их спектр, предоставляемый линейкой National, довольно широк. Он гармонич-

но дополняет собственный ряд температурных датчиков Texas Instruments, легко интегрируется с микроконтроллерами, АЦП и силовой продукцией TI, как в плане точности и надежности, так и в плане энергопотребления.

Литература

- Temp Sensors National Semiconductor — Temperature Sensors with TruTherm® Technology, Temp Switches, Hardware Monitors, Fan Controls, & other Thermal Management Products//<http://www.national.com/en/tempensors/index.html>
- Temp Sensor Eval Boards & Reference Designs National Semiconductor//<http://www.national.com/en/tempensors/boards.html>
- SensorEval Sensor Evaluation Software for Temperature Sensor Eval Boards National Semiconductor//<http://www.national.com/en/tempensors/SensorEvalDescription.html>
- Temp Sensor Software National Semiconductor//<http://www.national.com/en/tempensors/software.html>
- WEBENCH® SensorAFE Designer & WEBENCH Sensor Designer Tools National Semiconductor — Precision Sensor Path Circuit Design//<http://www.national.com/en/webench/sensors/index.html>

Получение технической информации, заказ образцов, поставка — e-mail: mcu.vesti@compel.ru