

Интегральные термодатчики и супервизоры питания фирмы National Semiconductor

Интегральные термодатчики — датчики температуры (ИДТ) и супервизоры (контроллеры) питания — являются неотъемлемой частью практически любого современного электронного устройства. С одной стороны, это связано с необходимостью обеспечения требуемых характеристик аппаратуры в широком диапазоне температур и питающих напряжений, а с другой — с проблемой обеспечения оптимального теплового режима элементов и защиты их от перегрева и сбоев, связанных с нарушением режима питания. Отличительной особенностью ИДТ по сравнению с традиционными термодатчиками — термисторами, термопарами и другими является сравнительная простота их использования, поскольку они не требуют линейризации и компенсации холостного спая, что делает весьма целесообразным их применение во всевозможных термометрах и терморегуляторах. Последнее поколение ИДТ со специализированными цифровыми интерфейсами, так называемые интеллектуальные ИДТ (Smart Temperature Sensor), широко применяются для стабилизации тепловых режимов вычислительных систем, измерительной аппаратуры и в технике радиосвязи. Фирма National Semiconductor является одним из ведущих мировых производителей интегральных датчиков температуры и супервизоров питания различных типов [1], которые в огромных количествах используются в изделиях электронной техники, выпускаемых в разных странах, в том числе и в России.

Физическая основа работы ИДТ заложена в температурной зависимости падения напряжения на прямо смещенном кремниевом р-п-переходе, которая выражается хорошо известной формулой

$$U = (kT/q) \cdot \ln(I/I_s),$$

где U — напряжение на переходе; k — постоянная Больцмана; T — абсолютная температура; q — заряд электрона; I — ток через переход; I_s — обратный ток насыщения, величина которого зависит от конфигурации и температу-

ры перехода. Отметим однако, что вышеприведенную зависимость непосредственно использовать для точного измерения температуры нельзя по двум причинам: во-первых, существует значительный разброс “начального” прямого падения напряжения на переходе, связанный с технологией его изготовления, а во-вторых, существенный вклад в зависимость $U(T)$ вносит температурная зависимость I_s . В связи с этим для измерения температуры в ИДТ используют разность напряжений двух р-п-переходов, а точнее, напряжений база-эмиттер ΔU_{BE} двух транзисторов VT1 и VT2, которая может быть определена из выражения

$$\Delta U_{BE} = U_{BE1} - U_{BE2} = (kT/q) \cdot \ln(J_{E1}/J_{E2}),$$

где J_{E1} и J_{E2} — плотность тока эмиттеров транзисторов. Эффекты, связанные с током насыщения и начальным падением напряжения на р-п-переходах при этом компенсируются, и температурная зависимость становится линейной с высокой точностью. В реальных устройствах используют транзисторы с разными площадями эмиттерных переходов, что обеспечивает заданное соотношение плотностей тока эмиттеров, или набор одинаковых транзисторов, соединенных параллельно — так называемая ячейка Брока (Brokaw Cell) [2]. Практическая схема измерения температуры с температурным коэффициентом выходного напряжения $10 \text{ мВ/}^\circ\text{К}$ приведена на рис. 1. Требуемое значение коэффициента достигается определенным соотношением сопротивлений резисторов $26R$ и $23R$. Резистор, обозначенный на рисунке $100R$, используется для точной калибровки датчика. Данная схема применяется в популярных микросхемах ИДТ LM135 — LM335 (отечественный аналог К1019ЕМ1), которые будут подробно рассмотрены ниже.

Дальнейшее совершенствование интегральных датчиков температуры было направлено на повышение линейности и точности измерений. Появились также специализированные микросхемы — контроллеры для работы с удаленными

термочувствительными элементами — сенсорами (диодами или транзисторами), которые могут располагаться непосредственно в контролируемом устройстве, например микропроцессоре. В этом случае микросхема-контроллер проводит поочередное измерение выходных напряжений сенсора при двух заданных значениях тока, а затем расчет разности этих напряжений и температуры согласно приведенным формулам.

Максимальный диапазон температур, перекрываемый интегральными полупроводниковыми датчиками, составляет от -60°C до $+200^\circ\text{C}$, минимальная погрешность измерений зависит от диапазона измеряемых температур и может быть менее десятых долей градуса. Следует отметить, что точность измерения температуры зависит от типа корпуса датчика, его конструктивного выполнения и размещения в системе. На результаты измерений влияет также собственное тепловыделение ИДТ, определяемое приложенным к нему напряжением и потребляемым током.

Перейдем теперь к рассмотрению доступных интегральных термодатчиков National Semiconductor, их основные параметры приведены в табл. 1. Выпускаемые в настоящее время приборы можно условно разделить на две группы. Первая из них — датчики с аналого-

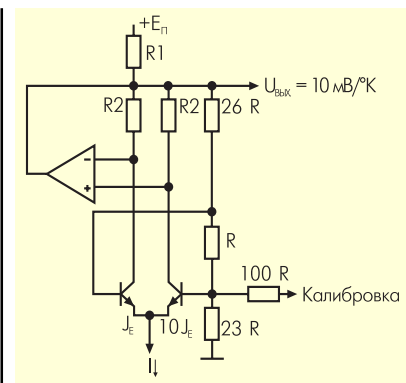


Рисунок 1 Схема для измерения температуры по разности напряжений эмиттерных переходов транзисторов

Таблица 1. Основные параметры интегральных датчиков температуры National Semiconductor

Тип	Диапазон температур, °C		Тип выхода	Температурный коэффициент – Дискретность, мВ/°C – °C	Напряжение питания, В		Потребляемый ток, мА	Погрешность, °C	Примечание
	мин.	макс.			мин.	макс.			
LM135	-55	+150	Аналоговый	10,0	шунт	шунт	5,0	±1; ±1,5	Прецизионный, $U_{\text{вых, мВ}} = 10 \cdot K$
LM235	-40	+125	Аналоговый	10,0	шунт	шунт	5,0	±1; ±1,5	То же
LM335	-40	+100	Аналоговый	10,0	шунт	шунт	5,0	±1; ±2	То же
LM35	-55	+150	Аналоговый	10,0	4,0	30	0,13	±1; ±2	Прецизионный, $U_{\text{вых, мВ}} = 10 \cdot ^\circ\text{C}$
LM45	-20	+100	Аналоговый	10,0	4,0	10	0,16	±3,5; ±4	То же
LM50	-40	+125	Аналоговый	10,0	4,5	10	0,18	±3; ±4	Однопол. питание, $U_{\text{вых, мВ}} = 10 \cdot ^\circ\text{C} + 500$
LM60	-40	+125	Аналоговый	6,25	2,7	10	0,12	±3; ±4	Однопол. питание, $U_{\text{вых, мВ}} = 6,25 \cdot ^\circ\text{C} + 424$
LM62	0	+90	Аналоговый	15,6	2,7	10	0,16	±2	Однопол. питание, $U_{\text{вых, мВ}} = 15,6 \cdot ^\circ\text{C} + 480$
LM20	-55	+130	Аналоговый	-11,7	2,4	5,5	0,01	±2,5; ±5	Микроомощный, $U_{\text{вых, мВ}} = -11,7 \cdot ^\circ\text{C} + 1864$
LM56	-40	+125	Компаратор	6,2	2,7	10	0,23	±3; ±4	Прецизионный термостат с двумя выходами
LM70	-55	+150	Цифровой	0,25	2,7	5,5	0,49	±2	10-Bit+знак, Интерфейс SPI/MICROWARE
LM74	-55	+150	Цифровой	0,0625	3,0	5,5	1,0	±1,25	12-Bit+знак, Интерфейс SPI/MICROWARE
LM75	-55	+125	Цифровой	0,5	3,0	5,5	0,25	±3	10-Bit, Интерфейс I ² C, сигнал OverTemper
LM76	-55	+150	Цифровой	0,0625	3,0	5,5	0,50	±1	12-Bit+знак, Интерфейс I ² C, сигналы OverTemper и OverWin
LM77	-55	+125	Цифровой	0,5	3,0	5,5	1,0	±3	То же. 9-Bit+знак

вым выходом, величина напряжения на котором пропорциональна измеряемой температуре в градусах Кельвина или Цельсия (в последнем случае для корректного отсчета отрицательной температуры требуется двухполярное питание ИДТ или к выходному напряжению датчика, пропорциональному измеряемой температуре, прибавляется некоторое постоянное число). Вторая группа — это ИДТ с цифровым выходом, в простейшем варианте это может быть выход одно- или двухпорогового компаратора, переключающегося, когда измеренная величина температуры выходит из области заданных значений. Датчики такого типа широко используются в различных термостатирующих устройствах. Цифровой выход большинства современных ИДТ выполняется в виде последовательного интерфейса, наиболее распространены двухпроводный I²C и трехпроводные SPI и MICROWARE. Соответствующее программное обеспечение, необходимое для работы таких датчиков, имеется на сайте фирмы.

Мы начнем рассмотрение с прецизионных датчиков температуры Кельвина с аналоговым выходом LM135, LM235 и LM335. Особенность данных приборов — двухпроводное включение по схеме, аналогичной стабилизатору. Типовое решение для использования ИДТ LM135/235/335 приведено на рис. 2а. При величине тока через датчик, задаваемого внешним резистором R1 от 0,4 до 5 мА, выходное напряжение с высокой точностью равно $10 \cdot K$ мВ. При необходимости возможна точная калибровка датчика, для этого используется третий вывод и внешний подстроечный резистор,

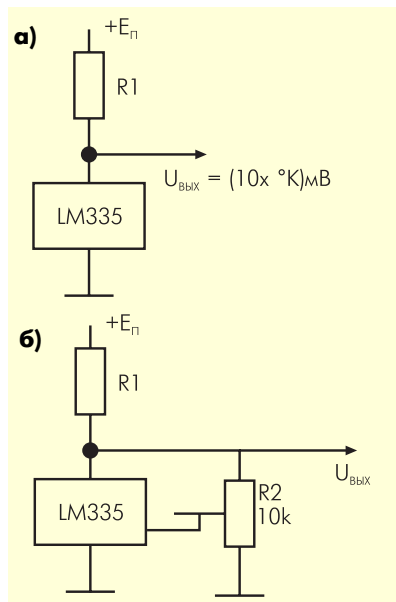


Рисунок 2 Типовая схема включения интегральных датчиков температуры Кельвина LM135/235/335: а) базовая схема; б) схема с калибровкой

как показано на рис. 2б. При температуре 25°C им выставляется выходное напряжение датчика 2,982 В. ИДТ LM135/235/335 выпускаются с обычной и повышенной точностью (LM135A/235A/335A) в герметичных транзисторных корпусах TO-46 (LM135H/235H/335H и LM135AH/235AH/335AH), а LM335 также в пластмассовом корпусе TO-92 (LM335Z и LM335AZ) и SO-8 для поверхностного монтажа (LM335M).

Трехвыводные прецизионные интегральные датчики температуры Цельсия

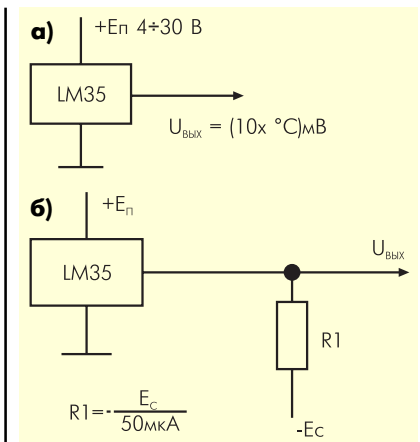


Рисунок 3 Типовая схема включения интегральных датчиков температуры Цельсия LM35/45: а) для положительных температур; б) для всего диапазона температур

с аналоговым выходом LM35 и LM45 не требуют калибровки и работают в широком диапазоне питающих напряжений. Типовая схема включения ИДТ LM35 для измерения положительных температур приведена на рис. 3а, а для всего диапазона температур — на рис. 3б. Небольшая величина потребляемого тока (реально 60 мкА) уменьшает погрешность измерений из-за саморазогрева датчика. ИДТ LM35 выпускаются в различных модификациях по диапазону температур: от -55°C до $+150^\circ\text{C}$ (LM35, LM35A), от -40°C до $+110^\circ\text{C}$ (LM35C, LM35CA) и от 0°C до $+100^\circ\text{C}$ (LM35D), — точности: $\pm 1^\circ\text{C}$ (LM35A и LM35CA), $\pm 2^\circ\text{C}$ (LM35 LM35C, LM35D), — и в четырех типах корпусов: TO-46 (LM35H, LM35AH,

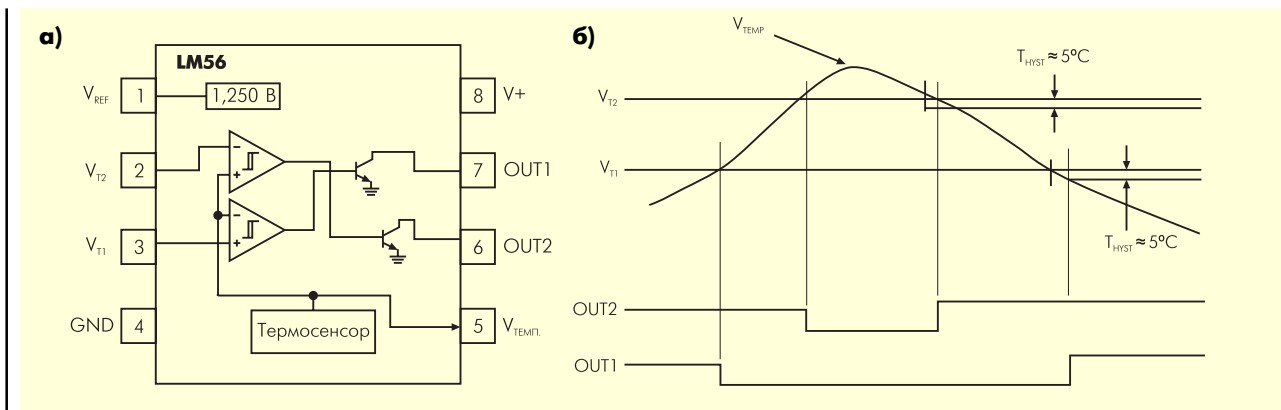


Рисунок 4 Интегральный датчик температуры — термостат LM56: а) функциональная схема; б) зависимость выходных напряжений от температуры

LM35CH, LM35CAH и LM35DH), TO-92 (LM35CZ, LM35CAZ и LM35DZ), TO-220 (LM35DT) и SO-8 (LM35DM). Точность датчика LM45B составляет $\pm 3^\circ\text{C}$, а LM45C — $\pm 4^\circ\text{C}$ в диапазоне температур от -20°C до $+100^\circ\text{C}$. Эти термодатчики выпускаются в корпусе SOT-23.

Аналогичные параметры имеет и интегральный термодатчик LM50, отличительная особенность которого — смещение выходного напряжения на $+500\text{ мВ}$, что дает возможность обойтись однополярным питанием во всем диапазоне измеряемых температур. LM50 выпускается в двух модификациях: LM50B — диапазон измеряемых температур от -25°C до $+100^\circ\text{C}$, точность измерений $\pm 3^\circ\text{C}$ и LM50C — от -40°C до $+125^\circ\text{C}$, $\pm 4^\circ\text{C}$ соответственно.

ИДТ LM60 и LM62 работают при напряжении питания от 2,7 В. Благодаря малому токопотреблению погрешность измерения температуры из-за саморазогрева не превышает $0,2^\circ\text{C}$ в воздухе. LM60 выпускается в корпусах SOT-23 и TO-92, а LM60 — только SOT-23.

Микромощные миниатюрные термодатчики LM20 изготавливаются по технологии КМОП, и, хотя температурная зависимость выходного напряжения для этих приборов имеет небольшую параболическую составляющую, максимальная погрешность измерений во всем диапазоне измеряемых температур от -55°C до $+130^\circ\text{C}$ для ИДТ модификации LM20B не превышает $\pm 2,5^\circ\text{C}$, а для LM20C — $\pm 5^\circ\text{C}$. В отличие от выше рассмотренных датчиков, выполненных по биполярной технологии, у LM20 температурный коэффициент отрицательный. В диапазоне температур от -40°C до $+85^\circ\text{C}$ выходное напряжение U описывается линейной функцией температуры и имеет вид

$U = -11,67\text{ мВ}/^\circ\text{C} \times T + 1,8583\text{ В}$, с погрешностью не более $\pm 0,65^\circ\text{C}$. Для

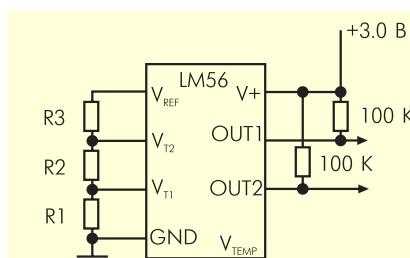


Рисунок 5 Типовая схема включения LM56 в режиме двухпорогового термостата

$$VT1 = 1,25 \times \frac{R1}{R1 + R2 + R3};$$

$$VT2 = 1,25 \times \frac{R1 + R2}{R1 + R2 + R3}$$

где $R1 + R2 + R3 = 27\text{ кОм}$;

$$VT1 \text{ или } VT2 = (6,20\text{ мВ}/^\circ\text{C} \times T) + 395\text{ мВ};$$

следовательно

$$R1 = VT1 / 1,25\text{ В} \times 27\text{ кОм}$$

$$R2 = VT2 / 1,25\text{ В} \times 27\text{ кОм} - R1$$

$$R3 = 27\text{ кОм} - R1 - R2$$

расчетов во всем температурном диапазоне для сохранения минимальной погрешности в коэффициенты следует вносить поправки.

Благодаря сверхмалому токопотреблению (максимально 10 мкА), LM20 прекрасно подходит для использования в устройствах с батарейным питанием, отметим также, что саморазогрев термодатчика в воздухе не превышает $0,02^\circ\text{C}$. Выпускаются в корпусах SC-70-5 и micro SMD.

Интегральный датчик температуры LM56 предназначен для использования в термостатах. Функциональная схема ИДТ LM56 и графики, поясняющие особенности его функционирования, представлены на рис. 4.

Используя внешние резисторы и внутренний источник опорного напряжения 1,25 В, на контактах 3 и 2 задают пороговые напряжения переключения компараторов V_{T1} и V_{T2} , соответствующие заданным температурам T_1 и T_2 . В результате на выходе 1 (OUT1 — контакт 7) формируется напряжение низкого уровня, если температура превысит значение T_1 , и, соответственно — напряжение высокого уровня, если темпера-

тура упадет ниже значения $T_1 - T_{hyst}$ ($T_{hyst} \approx 5^\circ\text{C}$). Аналогично по отношению к температуре T_2 формируется сигнал на выходе 2 (OUT2 — контакт 8). Напряжение на выходе микросхемы V_{TEMP} (контакт 5) пропорционально температуре в градусах Цельсия с коэффициентом $6,2\text{ мВ}/^\circ\text{C}$ и смещено на $+395\text{ мВ}$, погрешность измерения температуры во всем диапазоне не превышает $\pm 3^\circ\text{C}$ для модификации LM56BIM и $\pm 4^\circ\text{C}$ для LM56CIM. Типовая схема включения ИДТ LM56 и формулы для расчета сопротивлений резисторов R1–R3, задающих величины пороговых температур, приведены на рис. 5. Отметим, что максимальный ток коллекторов выходных транзисторов составляет всего 50 мкА, что требует подключения к ним достаточно высокоомной нагрузки. LM56 выпускаются в обычных и микрорпусах SO-8.

Перейдем теперь к рассмотрению интегральных датчиков температуры с цифровым выходом. ИДТ LM70 и LM74 представляют семейство цифровых термодатчиков с последовательным интерфейсом, совместимым с протоколами Motorola SPI и National Semiconductor MICROWARE. Функциональная схема

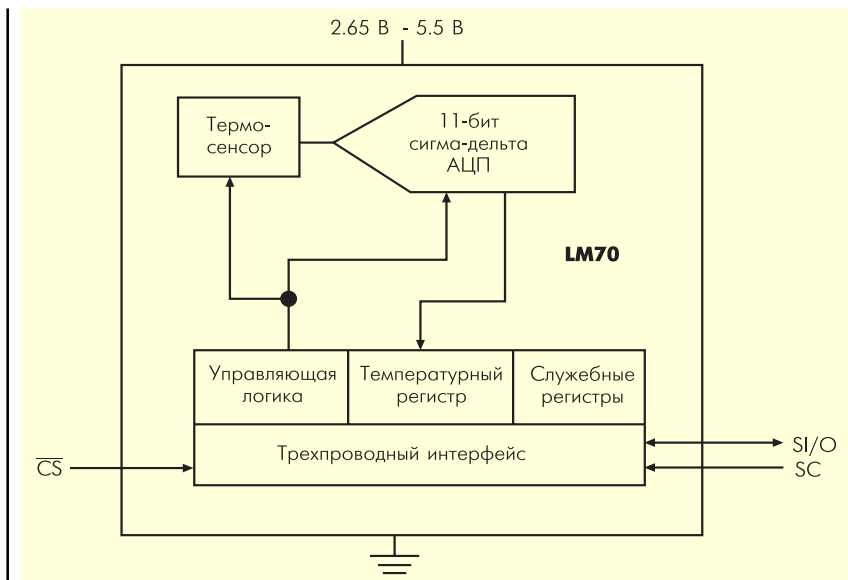


Рисунок 6 Функциональная схема цифрового ИДТ LM70 с последовательным интерфейсом SPI/MICROWARE

LM70 приведена на рис. 6, LM74 отличается 13-бит АЦП. LM70/74 функционируют как ведомые устройства, полный цикл приема/передачи данных занимает 32 такта сигнала SC, из которых первые 16 отводятся передаче данных на контроллер, а вторые — приему. Управление работой датчика производится путем записи данных в конфигурационный регистр, для идентификации ИДТ и считывания результатов измерений служат регистр идентификации и температурный регистр, работающие в режиме чтения.

LM70/74 аппаратно совместимы практически с любыми микроконтроллерами, программирование которых в этом случае не составляет большого труда. Для экономии энергии в интервале между измерениями имеется возможность перевода ИДТ в режим "Shutdown" с током потребления менее 10 мкА, что может быть очень полезно в устройствах с автономным питанием. Существует два варианта микросхем по напряжению питания: LM70/74-3, 2,65...3,6 В, и LM70/74-5, 4,5...5,5 В. LM70 выпускаются в корпусах с 8 выводами MSOP и LLP, а LM74 — SO-8 и 5-выводном micro SMD.

Цифровые ИДТ LM75-LM77 имеют последовательный двухпроводный интерфейс по протоколу Philips I²C, а также дополнительные цифровые выходы, изменяющие свое состояние, когда температура превышает заданное значение (OverTemper) или выходит из заданных пределов (OverWin). Последние выполнены с открытым стоком и могут использоваться для построения термостатов, сигнализаторов превышения температуры, а также для работы микроконтроллера

по прерыванию. Функциональная схема LM76 приведена на рис. 7. ИДТ функционируют как ведомые устройства, имеется развитая система внутренних регистров для установки режимов работы и параметров выходных сигналов. Для облегчения программирования термодатчиков на сайте фирмы свободно предлагается соответствующее программное обеспечение. В интервале между измерениями имеется возможность перевода ИДТ в режим "Shutdown" с током потребления не более 8 мкА. LM75/6/7 выпускаются в 3- и 5-В модификациях в корпусах с 8 выводами SO и MSOP.

Последнее поколение цифровых ИДТ, разработанных фирмой National Semiconductor, как уже отмечалось выше, кроме измерения локальной (собственной) температуры позволяет подключать удаленные термодатчики, в качестве которых может использоваться диод или транзистор в диодном включении, например 2N3904, а также сенсор, встроенный в микропроцессор. Семейство цифровых ИДТ LM82/83/84/86/88/90/91 (в таблице не показаны) такого типа с последовательным двухпроводным интерфейсом SMBus позволяют подключать от одного до трех удаленных датчиков и обеспечивают точность измерения температуры $\pm 1^\circ \div \pm 3^\circ\text{C}$ в диапазоне от 0° до $+125^\circ\text{C}$. Выпускаются в 8-выводных корпусах SO и MSOP (LM86 и LM90) и 16-выводном QSOP.

Для корректной работы аппаратных средств современных компьютеров необходим постоянный мониторинг напряжений питания и температуры микропроцессора, и, если эти параметры выходят

за предел допустимых значений, функционирование системы следует прекратить. Для контроля температуры многие современные микропроцессоры, в частности, серии Pentium и другие, снабжены расположенным непосредственно на кристалле специальным р-п-р-транзистором, коллектор которого соединен с подложкой, а база и эмиттер выведены на основной разъем процессора. Измерение температуры и напряжений питания, а также управление вентилятором охлаждения и выдачу в случае необходимости аварийных сигналов и блокировку работы системы производят специализированные контроллеры — системные мониторы (System Hardware Monitors).

Фирма National Semiconductor выпускает семейство системных мониторов LM80/81/85/87 с последовательным двухпроводным интерфейсом SMBus в 24-выводных корпусах TSSOP. В частности, системный монитор LM85 контролирует четыре основных напряжения питания процессора (2,5, 3,3, 5,0 и 12 В), имеет встроенный термодатчик и позволяет подключать два удаленных, сигнала с которых оцифровываются 8-разрядным АЦП, что позволяет измерять температуру в диапазоне от 0° до $+125^\circ\text{C}$ с разрешением 1°C . В состав монитора входит также система контроля данных от четырех тахометрических датчиков вентиляторов и три формирователя ШИМ-напряжений для управления их работой. Пять цифровых входов VID-сигналов идентификации от процессора позволяют устанавливать определенные режимы работы монитора для различных ситуаций. Другие системные мониторы семейства имеют ряд дополнительных аналоговых и цифровых входов и выходов — сигналов прерывания, аварийного сброса процессора, вскрытия шасси и др.

В многих микропроцессорных системах, а также в устройствах, для которых снижение напряжения питания может вызвать сбой в работе, целесообразно применение супервизоров питания, формирующих определенный выходной сигнал, когда напряжение питания снижается ниже заданного уровня. В ассортименте изделий фирмы National Semiconductor имеется несколько серий интегральных супервизоров питания, из которых наибольший интерес представляют LM809/810 в трехвыводном корпусе SOT-23 (существует также вариант в корпусе LLP с 6 выводами для поверхностного монтажа).

Микросхемы выпускаются в семи модификациях с пороговыми напряжения-

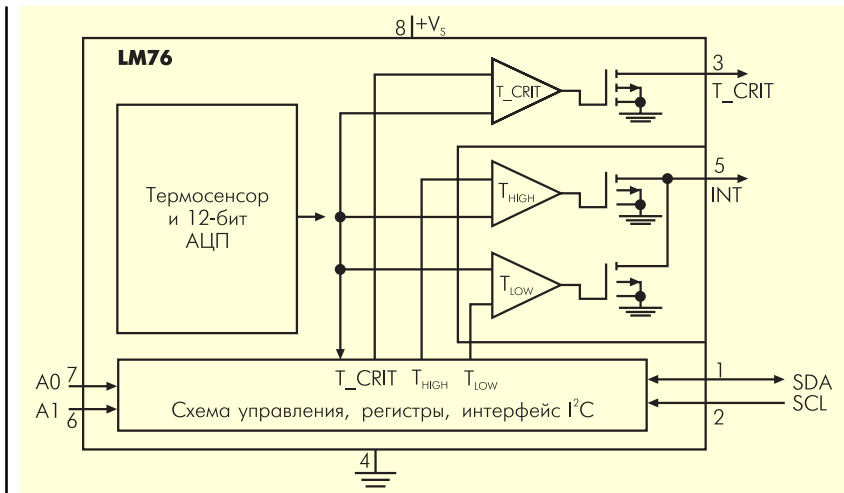


Рисунок 7 Функциональная схема цифрового ИДТ LM76 с последовательным интерфейсом I²C

ми 2,45, 2,63, 2,93, 3,08, 4,00, 4,38 и 4,63 В и формируют на выходе RESET сигнал низкого (LM809) или высокого (LM810) уровня, когда напряжение питания становится ниже порогового. При восстановлении напряжения питания выходной сигнал принимает первоначальное значение через промежуток времени 240 мс. Типовая схема включения микросхемы LM809 приведена на рис. 8, а в табл. 2 — примеры использования соответствующих модификаций супервизора по пороговому напряжению для стандартных значений напряжений питания и возможного его изменения в процентах. Низкое значение потребляемого тока — не более 15 мкА, минимальное напряжение питания 1 В и широкий диапазон рабочих температур от -40° до +125°С способствуют широкому применению ИМС LM809/10 в самых различных устройствах, в том числе и с автономным питанием.

В заключение следует отметить, что ИДТ с цифровым интерфейсом, используемые для контроля температуры микропроцессоров и других микросхем, обычно устанавливают прямо на материнских платах. Однако, как показывают эксперименты, теплопередача к термосенсору осуществляется в основном не через корпус микросхемы датчика, а через его выводы, поэтому фактически измеряется приповерхностная температура участка материнской платы и печатных проводников, и таким образом может возникнуть систематическая ошибка измерения температуры, которую следует определить и учитывать в каждом конкретном случае.

Подробную техническую информацию можно найти на сайте фирмы <http://www.national.com>.

Литература

1. *Linear/Mixed-Signal Designer's Guide Summer 2002. National Semiconductor. 2002. P. 10-11 – 10-15.*
2. *Kester W., Briant J., Jung W. Practical Design Techniques For Sensor Signal Conditioning. Chap. 7. Перевод в журнале "Схемотехника", 2000. № 3. С. 29–31.*

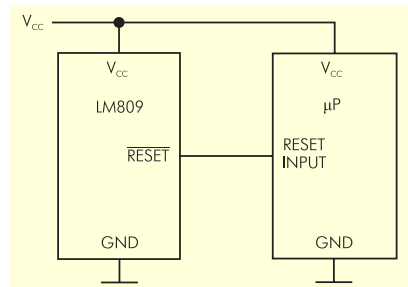


Рисунок 8 Типовая схема включения супервизора питания LM809

Таблица 2. Примеры использования модификаций LM809/10 для стандартных значений напряжений питания

Напряжение питания / Пороговое напряжение	Напряжение питания		
	3,0	3,3	5,0
4,63			90...95%
4,38			85...90%
4,00			78...82%
3,08		90...95%	
2,93		86...90%	
2,63	85...90%		
2,45	79...84%		

SIEMENS

Creating Value through People®

Siemens Business Services Воронеж

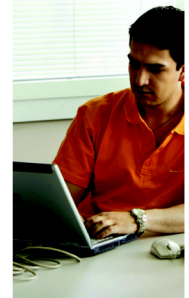
Siemens Business Services в Воронеж осуществляет набор программистов

Мы предлагаем:

- Перспективную и интересную работу
- Стабильный и достойный заработок
- Возможности карьерного роста
- Дополнительное обучение и сертификация за счёт компании
- Курсы немецкого и английского языков во вне рабочее время
- Соцпакет
- ДМС

Общие требования к кандидатам:

- Опыт программирования на Java, C/C++, .Net Framework, C#, Visual Basic
- Реляционные БД
- Опыт работы с ОС Unix (предпочтительно Sun/Solaris)
- Английский язык – разговорный уровень
- Опыт разработок – не менее одного года



394026 г. Воронеж, пр-т Труда, 65
 Отдел персонала ООО "СБС"
 Fax: (0732) 399-048
 Tel: (0732) 399-004, 399-013
 E-mail: rabota.sbs@siemens.com