

Интегральные датчики температуры и источники опорного напряжения National Semiconductor

Интегральные датчики температуры (ИДТ) и прецизионные источники опорного напряжения (ИОН) широко применяются в электронной аппаратуре. С одной стороны, это связано с необходимостью обеспечения требуемых характеристик аппаратуры в широком диапазоне температур и питающих напряжений, а с другой — с проблемой обеспечения оптимальных тепловых параметров элементов и защиты их от перегрева и потери точности, связанных с нарушением режима питания.

Компания National Semiconductor — один из мировых лидеров в разработке и производстве интегральных микросхем (ИМС) датчиков температуры и прецизионных источников опорного напряжения, которые в огромном количестве используются в различных изделиях электронной техники, выпускаемых многими фирмами, в том числе и в России.

Геннадий ШТРАПЕНИН,
к. ф.-м. н.
gshtrapenin@electron.usurt.ru

Работа большинства интегральных термодатчиков и ИОН [1] основана на использовании напряжения на прямо смещенном кремниевом $p-n$ -переходе. Величина этого напряжения имеет следующий вид:

$$U = (kT/q) \times \ln(I/I_s), \quad (1)$$

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 температуры перехода. Однако непосредственное применение формулы (1) для точ-

ного измерения температуры невозможно по двум причинам: во-первых, существует значительный разброс «начального» прямого падения напряжения на переходе, связанный с технологией изготовления последнего, а во-вторых, существенный вклад в значение $U(T)$ вносит температурная зависимость I_s . Для исключения данных эффектов измерение температуры в ИДТ производится по разности напряжений двух $p-n$ -переходов, а точнее напряжений база-эмиттер $\Delta U_{бэ}$ двух интегральных транзисторов с различной плотностью токов эмиттера, для чего можно использовать транзисторы с разными площадями эмиттерных переходов или набор одинаковых тран-

зисторов, соединенных параллельно. Нетрудно показать [1], что разность напряжений $\Delta U_{бэ}$ одиночного транзистора Q1 и транзистора Q2, образованного N параллельно соединенными такими же транзисторами, при равных токах их коллекторов пропорциональна величине абсолютной температуры согласно формуле:

$$\Delta U_{бэ} = (kT/q) \times \ln(N). \quad (2)$$

Одна из типовых схем измерения температуры, реализующая описанный принцип, так называемая ячейка Брока (Brokaw Cell), приведена на рис. 1.

Как видно из рис. 1, токи эмиттера и коллектора транзистора Q2 (последний представляет собой N включенных параллельно транзисторов, идентичных Q1) определяются отношением $\Delta U_{бэ}/R2$, где $\Delta U_{бэ}$ — разность напряжений база-эмиттер транзисторов Q1 и Q2. Протекая через резистор R, ток коллектора Q2 создает на нем падение напряжения $\Delta U_{бэ} \times (R/R2)$, следовательно, напряжение на инвертирующем входе операционного усилителя (ОУ) равно разности $U_{вх} - \Delta U_{бэ} \times R/R2$. Напряжение на неинвертирующем входе ОУ равно той же величине с точностью до десятков микровольт, а поскольку в цепи коллектора Q1 установлен резистор с тем же номиналом R, токи коллекторов транзисторов Q1 и Q2 оказываются равными, и они суммируются на резисторе R1. В результате падение напряжения на R1 будет пропорционально абсолютной температуре и определяется формулой:

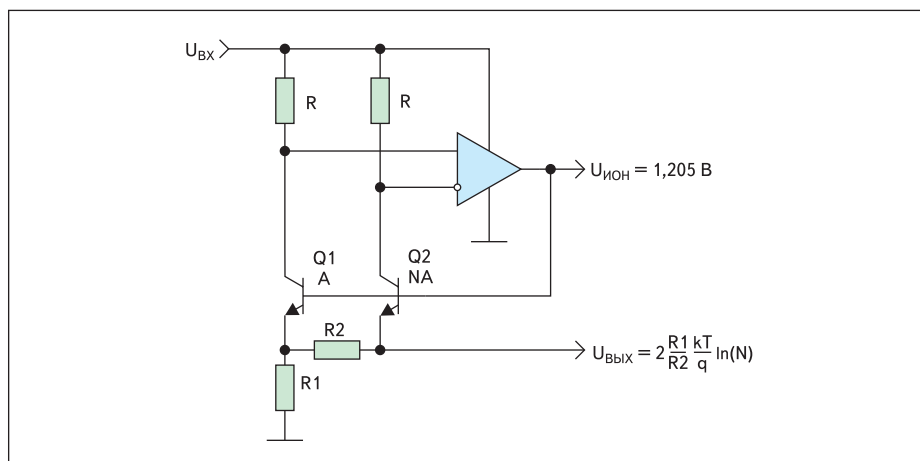


Рис. 1. Схема измерения температуры и получения прецизионного опорного напряжения на ширине запрещенной зоны (Band Gap)

Таблица 1. Основные параметры интегральных датчиков температуры National Semiconductor с аналоговым выходом

Тип	Корпус	Диапазон температур		Температурный коэффициент	Погрешность	Напряжение питания		Потребляемый ток	Примечание
		°C				В	мА		
		мин.	макс.	тип	тип			мин.	
LM135	TO46	-55	+150	10,0	±1; ±1,5	шунт		5,0	Прецизионный, $U_{\text{вых}}, \text{мВ} = 10 \text{ } ^\circ\text{K}$
LM235	TO46	-40	+125	10,0	±1; ±1,5	шунт		5,0	То же
LM335	TO46	-40	+100	10,0	±1; ±2	шунт		5,0	То же
LM35	TO46, TO92, SO	-55	+150	10,0	±1; ±2	4,0	30	0,13	Прецизионный, $U_{\text{вых}}, \text{мВ} = 10 \text{ } ^\circ\text{C}$
LM45	SOT23-3	-20	+100	10,0	±3,5; ±4	4,0	10	0,16	То же
LM50	SOT23-3	-40	+125	10,0	±3; ±4	4,5	10	0,18	Однопол. питание, $U_{\text{вых}}, \text{мВ} = 10 \text{ } ^\circ\text{C} + 500$
LM19/20	TO92/SC70, mSMD	-55	+130	-11,7	±3,5; ±2,5	2,4	5,5	0,01	Микроомные, $U_{\text{вых}}, \text{мВ} = -11,7 \text{ } ^\circ\text{C} + 1859$
LM56	SO, MSOP	-40	+125	6,2	±3; ±4	2,7	10	0,23	Прецизионный термостат с двумя выходами
LM26	SOT23-5	-55	+110	-10,8	±3	2,7	5,5	0,040	Термостат с заводской установкой температуры
LM27	SOT23-5	+120	+150	-10,7	±3	2,7	5,5	0,040	То же
LM26LV	LLP-6	-50	+150	-5,2...-13,0	±2,3	1,6	5,5	0,016	То же, с двумя выходами, режим тестирования
LM94021	SC70-5	-50	+150	-5,5...-13,6	±2,7	1,5	5,5	0,012	Программируемый температурный коэффициент
LM94022	SC70-5	-50	+150	-5,5...-13,6	±2,7	1,5	5,5	0,009	То же, двухтактный выход в классе АВ

$$U_{\text{вых}} = 2R1 \times (\Delta U_{\text{оз}} / R2) = (2R1/R2) \times [(kT/q) \times \ln(N)]. \quad (3)$$

Еще одна запатентованная National Semiconductor схема измерения температуры с температурным коэффициентом выходного напряжения $10 \text{ мВ}/^\circ\text{K}$ приведена на рис. 2. Требуемое значение коэффициента достигается соотношением сопротивлений резисторов $26R$ и $23R$. Резистор, обозначенный на рисунке $100R$, может использоваться для точной калибровки датчика. На основе данной схемы выпускается семейство популярных двухпроводных термодатчиков LM135–LM335 (отечественный аналог K1019EM1), с типовым включением по типу стабилитронов [2].

Последующее совершенствование интегральных датчиков температуры было направлено на повышение их линейности и точности измерений. Появились также специализированные микросхемы-контроллеры для работы с удаленными термочувствительными элементами (диодами или транзисторами), которые могут располагаться непосредственно в контролируемом устройстве, например микропроцессоре. В этом случае микросхема-контроллер проводит поочередное измерение выходных на-

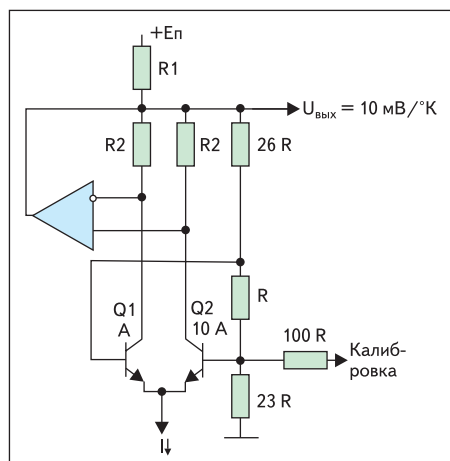


Рис. 2. Вариант схемы измерения температуры с параллельным включением датчика

пряжений датчика при двух заданных значениях тока, а затем рассчитывает разность этих напряжений и температуры. Широкое распространение получили 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. ИМС такого типа широко используются в различных термостатирующих устройствах. Более сложные ИДТ содержат цифровой последовательный интерфейс, наиболее распространены двухпроводный I²C и трехпроводные SPI и MICROWARE. Соответствующее программное обеспечение, необходимое для работы таких датчиков, имеется на сайте фирмы.

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

В нашей предыдущей статье [2] были подробно рассмотрены интегральные датчики температуры National Semiconductor, выпускавшиеся фирмой в 2005 году. Заслуживают внимания простые и надежные аналоговые ИДТ с выходным напряжением $U_{\text{вых}} = 10 \text{ мВ}/^\circ\text{K}$ семейства LM135/235/335, а также датчики температуры по шкале Цельсия повышенной точности LM35/45/50 (их основные параметры приведены в таблице 1).

Микроомные миниатюрные термодатчики с собственным токопотреблением 10 мкА LM19 и LM20 изготавливаются по технологии КМОП, и, хотя температурная зависимость выходного напряжения для этих приборов имеет небольшую параболическую

составляющую, максимальная погрешность во всем диапазоне измеряемых температур от -55 до $+130 \text{ } ^\circ\text{C}$ для ИДТ модификации LM20V не превышает $\pm 2,5 \text{ } ^\circ\text{C}$, а для LM19C — $\pm 3,5 \text{ } ^\circ\text{C}$. В отличие от рассмотренных выше датчиков, выполненных по биполярной технологии, у LM19/20, как и других ИДТ, изготовленных по технологии КМОП, температурный коэффициент отрицательный. В диапазоне температур от -40 до $+85 \text{ } ^\circ\text{C}$ выходное напряжение U описывается линейной функцией температуры и имеет вид

$$U = -11,69 \text{ мВ}/^\circ\text{C} \times T + 1,8663 \text{ В}$$

с погрешностью не более $\pm 0,65 \text{ } ^\circ\text{C}$. Для расчетов во всем температурном диапазоне для сохранения минимальной погрешности в коэффициенты следует вносить поправки.

Интегральный датчик температуры LM56 предназначен для применения в термостатах. Используя внешние резисторы и внутренний ИОН, на входах микросхемы устанавливаются пороговые напряжения переключающего компараторов, соответствующие заданным температурам T_1 и T_2 , а на выходах формируются логические уровни для управления нагревательным элементом или холодильником. У LM56 имеется также аналоговый выход V_{TEMP} , напряжение на котором пропорционально температуре в градусах Цельсия с коэффициентом $6,2 \text{ мВ}/^\circ\text{C}$ со смещением на $+395 \text{ мВ}$.

Устройства контроля температуры с использованием ИДТ-термостатов LM26/27 в миниатюрном корпусе SOT23-5 с заводской установкой порога срабатывания с точностью $1 \text{ } ^\circ\text{C}$ в диапазоне от -55 до $+150 \text{ } ^\circ\text{C}$ практически не требуют внешних элементов. В состав ИМС входит термодатчик, аналогичный LM20, источник опорного напряжения и триггер Шмитта с управляемым по цифровому входу HYST гистерезисом 2 или $10 \text{ } ^\circ\text{C}$. Микросхемы LM26/27 выпускаются в большом числе модификаций по типу выходного каскада (цифровой или открытый сток) и сигнала (логический уровень, соответствующий повышению или понижению темпе-

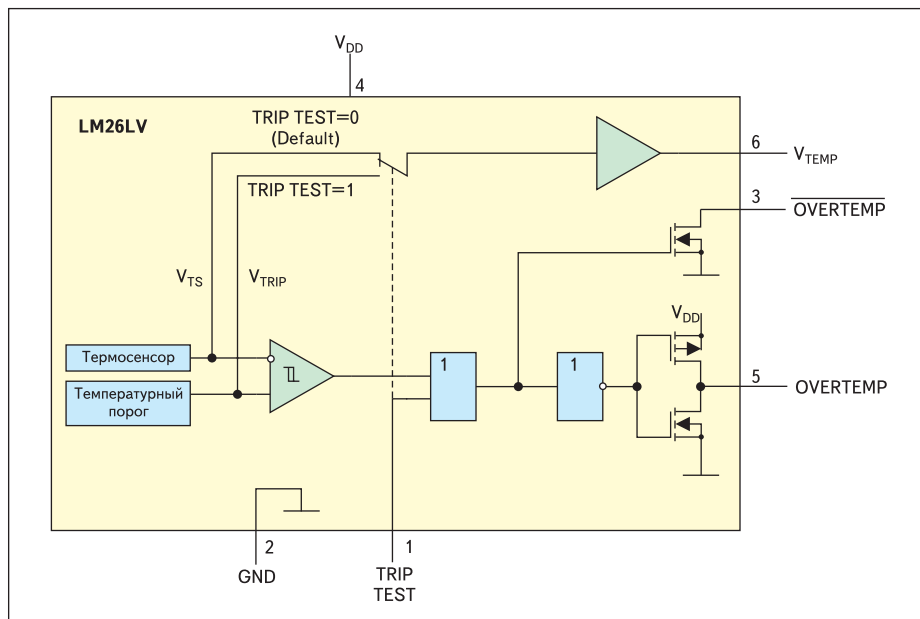


Рис. 3. Структурная схема ИМС датчика температуры — термостата LM26LV

ратуры и др.). Имеется также аналоговый выход термодатчика V_{TEMP} с температурным коэффициентом $-10,8 \text{ мВ/}^\circ\text{C}$.

Новинка 2007 года — модернизированный вариант LM26/27 — низковольтный температурный датчик-термостат LM26LV с расширенными возможностями. Структурная схема ИМС LM26LV приведена на рис. 3 и включает термочувствительный элемент, блок заводской предустановки порога срабатывания от 1 до 150°C , триггер Шмитта, переключатель режимов «измерение — тестирование» и два цифровых выхода — прямой логический и инверсный с открытым стоком. Температурный коэффициент термодатчика зависит от величины порогового напряжения, тем самым достигается максимально возможная точность термостабилизации при данном напряжении питания. В рабочем режиме при достижении температуры T_{TRIP} , соответствующей пороговому напряжению V_{TRIP} , на выходе OVERTEMP устанавливается единичный уровень, а при понижении температуры до уровня ($T_{TRIP} - 5^\circ\text{C}$) — нулевой уровень. В режиме Trip Test, включаемом подачей единичного уровня на одноименный

управляющий вход, на аналоговом выходе V_{TEMP} устанавливается напряжение V_{TRIP} , а цифровые выходы переходят в состояние 1 и 0 соответственно, что может быть использовано для проверки работы системы в целом.

Последние модели аналоговых термодатчиков NSC серии LM94021/2 отличаются низким минимальным напряжением питания 1,5 В и возможностью выбора температурного коэффициента, что позволяет оптимизировать измерение температуры при заданном напряжении питания по диапазону и точности. Доступно четыре значения коэффициента: $-5,5$; $-8,2$; $-10,9$ и $-13,6 \text{ мВ/}^\circ\text{C}$, для их выбора используются управляющие логические входы GS1 и GS0, которые можно прямо соединить с выводом питания или общим проводом. Зависимости выходного напряжения ИДТ от температуры, соответствующие различным логическим состояниям управляющих входов, приведены на рис. 4. При низковольтном питании для обеспечения широкого диапазона измеряемых температур, естественно, с пониженной точностью, используется режим 00, максимальная точность

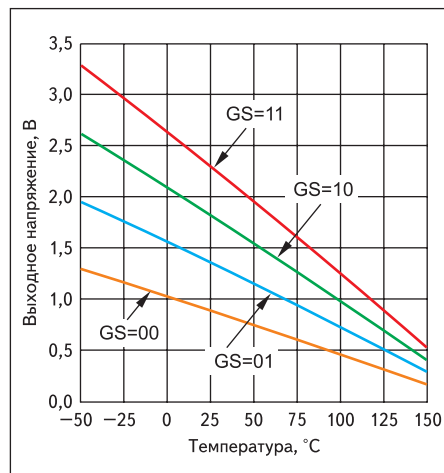


Рис. 4. Температурная зависимость выходного напряжения ИДТ LM94021, соответствующая логическим состояниям управляющих входов GS1 и GS0

достигается в режиме 11. Выходной каскад ИМС LM94022 выполнен по двухтактной схеме, работающей в классе АВ, что позволяет уменьшить ток покоя и обеспечить сравнительно большие пиковые значения втекающего и вытекающего тока при емкостной нагрузке, например устройства выборки-хранения АЦП.

Перейдем теперь к рассмотрению интегральных датчиков температуры National Semiconductor с цифровым выходом. Их основные параметры приведены в таблице 2.

ИДТ LM70, LM71, LM74, а также LM95071 представляют семейство термодатчиков с последовательным интерфейсом, совместимым с протоколами Motorola SPI и National Semiconductor MICROWARE. Функциональная схема ИМС LM70 и расположение выводов в корпусе MSOP-8 или в корпусе LLP-8 приведены на рис. 5. ИДТ LM71, LM74 и LM95071 отличаются повышенной разрядностью АЦП. Термодатчики функционируют как ведомые устройства, полный цикл приема-передачи данных занимает 32 такта сигнала SC, из которых первые 16 отводятся передаче данных на контроллер, а остальные — приему. Управление работой датчика производится путем записи данных в конфигура-

Таблица 2. Основные параметры интегральных датчиков температуры National Semiconductor с цифровым выходом

Тип	Корпус	Диапазон температур		Интерфейс	Разрядность АЦП	Погрешность	Разрешение	Напряжение питания		Потребляемый ток
		°C				°C	°C	В		мА
		мин.	макс.			тип	тип	мин.	макс.	тип
LM70	LLP-8, MSOP-8	-55	+150	SPI/MICROWARE	10+знак	±2	0,25	2,7	5,5	0,49
LM71	LLP-6, SOT23-5	-40	+150	SPI/MICROWARE	13+знак	±1,5	0,0313	2,7	5,5	0,30
LM73	SOT23-6	-40	+150	I ² C/SMBus	10...13+знак	±1,5	0,25-0,0313	2,7	5,5	0,32
LM74	SO-8, mSMD-5	-55	+150	SPI/MICROWARE	12+знак	±2	0,0625	3,0	5,5	0,30
LM75	SOP-8, MSOP-8	-55	+125	I ² C	9+знак	±3	0,50	3,0	5,5	0,25
LM76	SOP-8	-55	+150	I ² C	12+знак	±1	0,0625	3,0	5,5	0,25
LM77	SOP-8, MSOP-8	-55	+125	I ² C	9+знак	±3	0,50	3,0	5,5	0,25
LM92	SOP-8	-55	+150	I ² C	12+знак	±1	0,0625	2,7	5,5	0,35
LM95010	MSOP-8	-20	+125	Sensor Path BUS	10+знак	±2	0,25	3,0	3,6	0,50
LM95071	SOT23-5	-40	+150	SPI/MICROWARE	13+знак	±2	0,0313	2,4	5,5	0,28

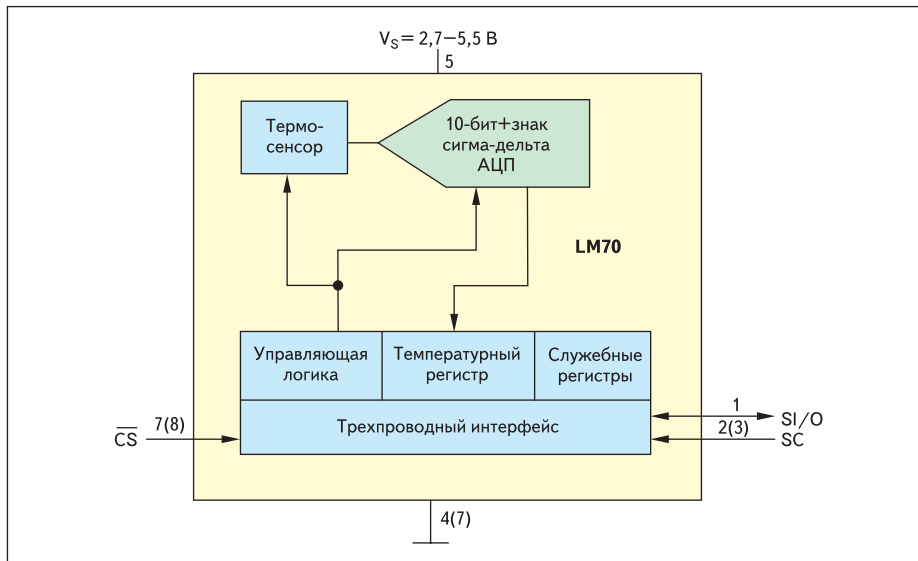


Рис. 5. Функциональная схема цифрового ИДТ LM70

ционный регистр, для идентификации ИДТ и считывания результатов измерений служат регистр идентификации и температурный регистр, работающие в режиме чтения.

ИДТ LM70/1/4 и LM95071 аппаратно совместимы практически с любыми микроконтроллерами, программирование которых в этом случае не составляет большого труда. Для экономии энергии в интервале между измерениями есть возможность перевода ИДТ в режим Shutdown с током потребления менее 10 мкА, что может быть очень полезно в устройствах с автономным питанием. ИМС LM70 и LM74 выпускаются в двух вариантах по напряжению питания: низковольтные LM70/74-3 — 2,65–3,6 В и обычные LM70/74-5: 4,5–5,5 В.

Цифровые ИДТ LM75-LM77 и LM92 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 ИМС LM92 приведена на рис. 6. 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. Термодатчик LM92 отличается повышенной точностью измерения температуры: $\pm 0,5$ °С в диапазоне от +10 до +50 °С.

Из последних моделей цифровых термодатчиков National Semiconductor заслуживает внимания ИДТ с регулируемой точностью измерения температуры — LM73. Управление работой ИМС и, в частности, установка разрядности внутреннего сигма-дельта АЦП от 11 до 14 производится по двухпроводному интерфейсу, совместимому с I²C и SMBus. Это позволяет выбрать повышенную точность измерения температуры в ущерб быстродействию, или наоборот, повысить быстродействие, но снизить точность (разрядность и время преобразования АЦП 13 бит и 112 мс или 10 бит и 14 мс соответственно). В состав микросхемы входит также программируемый цифровой компаратор с выходом сигнала “Alert” в виде открытого стока, переходящий в активное (нулевое) состояние, когда измеряемая величина температуры достигает определенного заданного значения.

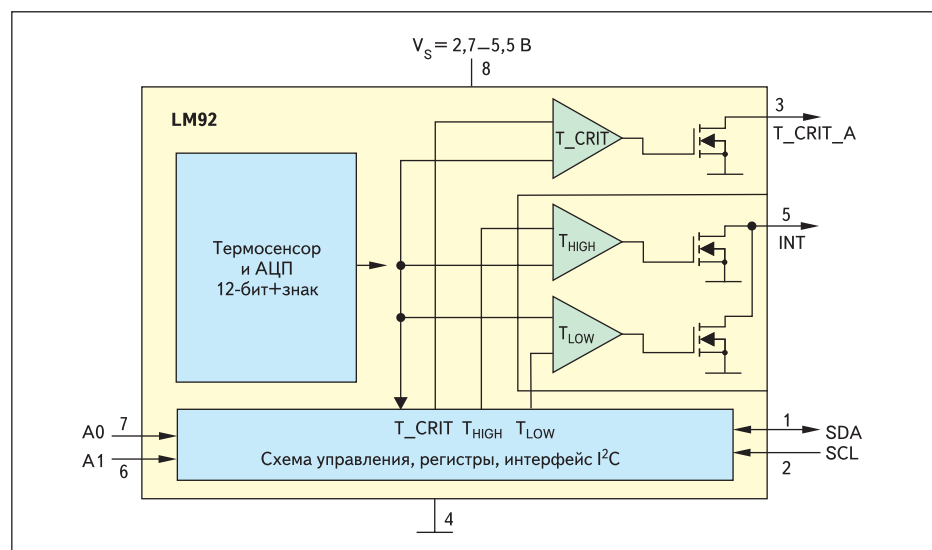


Рис. 6. Функциональная схема цифрового ИДТ LM92

Точность и время измерения температуры у ИДТ LM9510 также устанавливается программно. Особенностью данной микросхемы является однопроводной интерфейс Sensor Path Bus, по большинству параметров аналогичный SMBus. Основное предназначение LM9510 — мониторинг изменения температуры различных элементов компьютерных систем, при этом путем задания адреса во внутренних регистрах микросхемы возможно использование с одним контроллером до семи корпусов LM9510 одновременно. Следует отметить, что для контроля температуры и напряжения питания материнских плат, микропроцессоров и других элементов компьютерного оборудования National Semiconductor выпускает большое количество специализированных ИМС — системных мониторов, рассмотрение которых выходит за рамки данной статьи.

Как следует из схемы на рис. 1, напряжение на выходе операционного усилителя $U_{\text{ИОН}}$ является суммой напряжения $U_{\text{вых}}$, пропорционального абсолютной температуре, и напряжения база-эмиттер транзистора Q1, которое линейно уменьшается с ростом температуры (в оригинале эта зависимость названа комплементарной к абсолютной температуре). При определенных значениях отношения $R1/R2$ и N напряжение $U_{\text{ИОН}}$ равно ширине запрещенной зоны (Band Gap) кремния 1,205 В и не зависит от температуры. Таким образом, при выполнении данных условий ячейка Брока может быть использована как прецизионный источник опорного напряжения величиной 1,205 В.

Чтобы получить регулируемое опорное напряжение, превышающее $U_{\text{ИОН}}$, выход операционного усилителя соединяют с базами транзисторов через резистивный делитель R2R1, как показано на рис. 7а, в результате чего регулирующий элемент — транзистор выходного каскада ОУ — оказывается включенным последовательно с нагрузкой, и та-

кой ИОН называют последовательным (Serial). Если же резистивный делитель подключить между выводами $U+$ и $U-$, а выход ОУ соединить с базой дополнительного регулирующего транзистора VT, как показано на рис. 7б, получится двухвыводной опорный элемент — параллельный ИОН (Shunt), который подключается параллельно нагрузке, при этом для регулировки выходного напряжения верхний вывод резистора R2 выводится наружу. На основе данной схемы выполнены очень популярные «программируемые» стабилизаторы National Semiconductor LM185/285/385 и LM431/431LV и их аналоги, выпускаемые различными фирмами.

Основное назначение ИОН — создание образцового (эталонного) напряжения для различных компенсационных стабилизаторов, АЦП, ЦАП и пороговых устройств. Поэтому выходное напряжение ИОН должно оставаться неизменным при изменении входного напряжения, тока нагрузки и температуры окружающей среды. К основным параметрам ИОН [3] относятся начальная точность установки выходного напряжения (Initial Accuracy), максимальный температурный коэффициент выходного напряжения (TEMPCO), измеряемый в ppm/°C = $(dU_{\text{вых}}/U_{\text{вых}}) 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, максимальный выходной ток (I_{OUT}), собственный потребляемый ток (I_Q), падение напряжения на последовательном ИОН (V_{DROPOUT}), диапазон входных напряжений и другие.

В таблице 3 приведены основные параметры интегральных источников опорного напряжения National Semiconductor. Ранее выпускавшиеся популярные параллельные ИОН успешно заменяются более современными микросхемами серий LM40xx. Семейство «программируемых» стабилизаторов последнего поколения LM4040/41 отличается повышенной точностью установки выходного напряжения — 0,1% (модификация A) в промышленном диапазоне температур $-40...+85^{\circ}\text{C}$. Улучшенный вариант LM4040/41 — серия параллельных ИОН LM4050/51 с уменьшенным вдвое температурным коэффициентом выходного напряжения

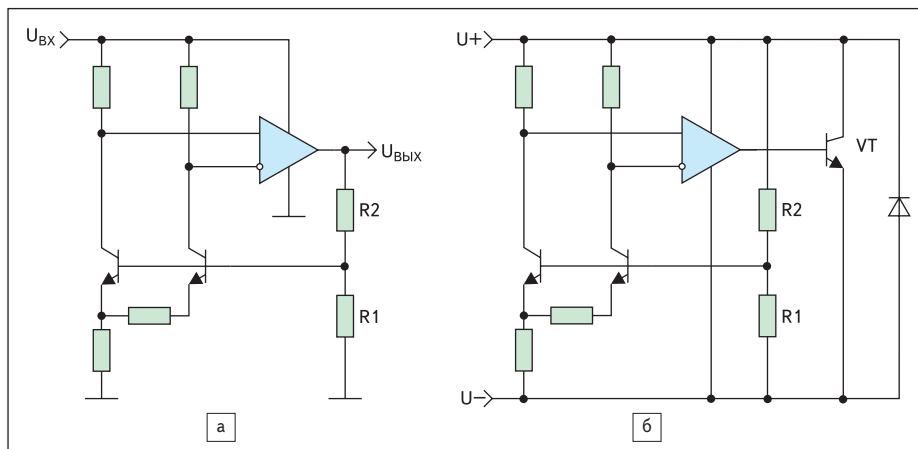


Рис. 7. Упрощенные схемы ИОН на ширине запрещенной зоны: а) последовательный; б) параллельный

и пониженным уровнем шумов, они работоспособны в расширенном диапазоне температур $-40...+125^{\circ}\text{C}$ (модификации E). ИМС LM4040/41 и LM4050/51 устойчиво работают при любой емкости нагрузки в диапазоне выходных токов 60 мкА...12 мА и не требуют внешних стабилизирующих конденсаторов.

Серия прецизионных последовательных интегральных ИОН LM4120 и LM4125 с набором фиксированных выходных напряжений и LM4121 с возможностью внешней установки выходного напряжения обеспечивает выходной вытекающий и втекающий ток до 5 мА. Данные ИМС отличает также крайне малая величина минимального падения напряжения, что позволяет обеспечить работу ИОН при низких входных напряжениях. ИМС выполнены по классической структурной схеме, в дополнение к которой (кроме LM4125) имеют вход Enable. Соединение последнего с минусом питания отключает выходное напряжение и переводит ИМС в режим пониженного энергопотребления. Следует отметить, что для устойчивой работы ИОН на микросхемах LM4120/1/5 требуется выходной керамический конденсатор емкостью 22–47 нФ

с эквивалентным последовательным сопротивлением ESR не более 0,5 Ом.

Серия высокоточных ИОН LM4128/30/32 выполнена по технологии КМОП. Повышенная точность установки выходного напряжения, линейность характеристики и минимальное значение температурного коэффициента у ИМС LM4130 и LM4132 достигается цифровой подгонкой параметров микросхемы после корпусирования. Обычно для оптимизации высокоточных ИОН применяется лазерная подгонка параметров элементов на открытом кристалле, однако в процессе корпусирования микросхем из-за термических деформаций и других эффектов параметры элементов изменяются, и точность и линейность ИОН ухудшаются. Другим способом повышения точности является цифровая подгонка сопротивления балансировочных резисторов, которую можно проводить на завершающем этапе производства микросхем после операции корпусирования. Для этого в состав ИОН включают своеобразные ЦАП-резисторы, сопротивлением которых можно управлять через внешние выводы, и многократно программируемое энергонезависимое запоминающее устройство EEPROM.

Таблица 3. Основные параметры интегральных источников опорного напряжения National Semiconductor

Тип	Корпус	Схема	Выходное напряжение	Точность установки выходного напряжения	Температурный коэффициент выходного напряжения	Минимальное падение напряжения (при токе нагрузки)	Выходной ток	Потребляемый ток (в режиме Shutdown)
			В	%	ppm/°C	мВ	мА	мкА
			тип	макс.	макс.	тип	макс.	тип
LM285/385	SOT23-3, SO-8, TO92-3	Паралл.	1,23; 2,5; 1,24...5,3 per.	1,0; 2,0; 2,5; 3,0	30; 50	—	20	60
LMV431	SOT23-5, TO92-3	Паралл.	1,22; 1,24...10 per.	1,0; 1,5	130	—	15	55
LM4040	SOT23-3, SC-70, TO92-3	Паралл.	2,58; 4,096; 5,0; 8,2; 10	0,1; 0,2; 0,5; 1,2	100	—	15	60
LM4041	SOT23-3, SC-70, TO92-3	Паралл.	1,24; 1,24...30 per.	0,1; 0,2; 0,5; 1,2	100	—	15	60
LM4050	SOT23-3	Паралл.	2,0; 2,5; 4,096; 5,0; 8,2; 10	0,1; 0,2; 0,5	50	—	15	60
LM4051	SOT23-3	Паралл.	1,24; 1,24...30 per.	0,1; 0,2; 0,5	50	—	15	60
LM4120	SOT23-5	Послед.	1,8; 2,048; 2,5; 3,0; 3,3; 4,096; 5,0	0,2; 0,5	50	120 (1 мА)	±5	160 (1)
LM4121	SOT23-5	Послед.	1,25; 1,21...12 per.	0,2; 0,5	50	210 (5 мА)	±5	160 (1)
LM4125	SOT23-5	Послед.	2,048; 2,5; 4,096	0,2; 0,5	50	120 (1 мА)	±5	160
LM4128	SOT23-5	Послед.	1,8; 2,048; 2,5; 3,0; 3,3; 4,096	0,1; 0,2; 0,5; 1,0	50, 100	400 (10 мА)	20	60 (3)
LM4130	SOT23-5	Послед.	2,5; 4,096	0,05; 0,1; 0,2; 0,4; 0,5	10, 20; 30	275 (10 мА)	20	50
LM4132	SOT23-5	Послед.	1,8; 2,048; 2,5; 3,0; 3,3; 4,096 *	0,05; 0,1; 0,2; 0,4; 0,5	10, 20; 30	230 (10 мА)	20	60 (3)
LM4140	SO-8	Послед.	1,024; 1,250; 2,048; 2,5; 4,096 *	0,1	3; 6; 10	60 (1 мА)	8,0	230 (1)

*) По запросу возможно любое напряжение в диапазоне 0,5–4,5 В

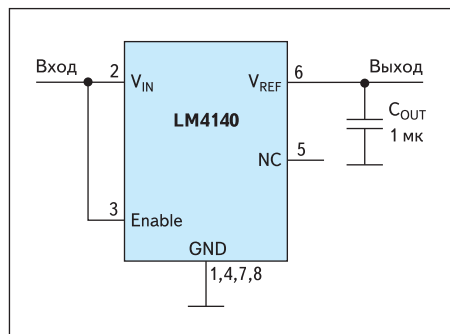


Рис. 8. Типовая схема включения ИМС LM4140

Для уменьшения шумов и устойчивой работы ИОН на ИМС LM4128/30/32 необходимо подключить параллельно выводам питания микросхемы керамический или танталовый конденсатор емкостью 0,1 мкФ или более. Установка выходного конденсатора, в принципе, не требуется, но рекомендуется, при этом емкость конденсатора, подключенного ко входу микросхемы, должна превышать емкость выходного конденсатора.

Одна из последних разработок National Semiconductor — сверхвысокоточный малошумящий последовательный интегральный ИОН с особо малым падением напряжения LM4140. Использование патентованной технологии позволило создать источник опорного напряжения величиной 1,024 В — мень-

ше, чем ширина запрещенной зоны кремния, а применение цифровой подгонки параметров дало возможность уменьшить температурный коэффициент выходного напряжения до минимального значения 3 ppm/°C (модификация А). Типовая схема включения ИМС LM4140 и зависимость выходного напряжения от температуры для пяти произвольно выбранных экземпляров микросхем приведены на рис. 8 и рис. 9 соответственно. Для устойчивой работы ИОН необходимо подключение выходного керамического конденсатора емкостью 1 мкФ.

В заключение следует отметить, что для получения максимальной точности и стабильности опорных напряжений необходимо учитывать механические напряжения полупроводникового кристалла, возникающие при монтаже ИМС, и градиент его температуры. С этой точки зрения наилучшие результаты достигаются у ИМС с металлическими корпусами, а также с корпусами для поверхностного монтажа.

Более подробную техническую информацию можно найти на сайте фирмы [w www.national.com](http://www.national.com) и русскоязычном сайте [w www.nscrus.ru](http://www.nscrus.ru). Рассмотренные интегральные датчики температуры и источники опорного напряжения, а также другие компоненты производства компании National Semiconductor можно приобрести в ЗАО «ПРОМ-ЭЛЕКТРОНИКА» ([w www.promelec.ru](http://www.promelec.ru)). ■

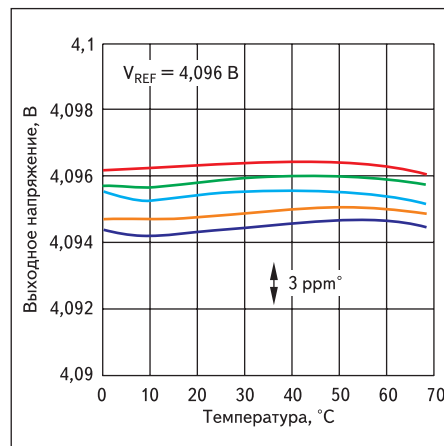


Рис. 9. Температурная зависимость выходного напряжения пяти экземпляров интегральных ИОН LM4140

Литература

1. Kester W., Briant J., Jung W. Practical Design Techniques For Sensor Signal Conditioning. Chap. 7. В переводе на рус. яз. // Схемотехника. 2000. № 3.
2. Штрапенин Г. Л. Интегральные датчики температуры фирмы National Semiconductor // Компоненты и технологии. 2005. № 3.
3. Волович Г. И. Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств. М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2005.