

КОМПЬЮТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ: С ТЕПЛОВЫМ РЕЖИМОМ ВСЕ "О'КЕЙ"!

Уменьшение размеров корпусов, увеличение плотности монтажа и мощности ИС – все это вызывает перегрев современного электронного оборудования. При наращивании вычислительной мощности центрального процессора, изменении тактовой частоты или расширении памяти возникает угроза превышения температуры безопасной работы компьютера.

И если до недавнего времени нужно было контролировать только температуру центрального процессора, то сейчас уже необходимо следить за нагревом и других его узлов – блока питания (в том числе и батарейного), графического ускорителя, РСМ СІА-платы и т.п. Что же сегодня делается для решения этой задачи?

Охлаждение центрального процессора – лишь часть проблемы обеспечения требуемого теплового режима компьютера. Чтобы ноутбуки "поедали" не более 10 Вт, а настольные машины – не более 40 Вт, нужно создать новую, "тонко" реагирующую на изменение мощности архитектуру. Это, в свою очередь, требует объединения усилий всех создателей системы.

Прежде всего, необходимо знать температуру системы, для чего сегодня используется удаленный датчик температуры (термочувствительный диод или дешевый *p-p*-транзистор, например 2N3904, с разомкнутым коллектором), напряжение (или ток) которого передается схеме измерения, преобразующей его в цифровую форму и пересылающей данные, как правило, по последовательной шине микроконтроллеру. Современные микросхемы, в том числе последние серии микропроцессоров фирмы Intel, выпускаются с такими подключенными к выводам корпуса диодами на чипе. Температурная зависимость выходного напряжения кремниевых диодов линейна (примерно 2 мВ/°С). В результате, измеряя выходное напряжение диода, можно определять температуру чипа, исключив необходимость применения термисторов, термопар учета временных температурных констант и расчета теплового сопротивления. Идею измерения температуры чипа для обеспечения малой потребляемой мощности и требуемого теплового режима работы компьютеров активно поддерживали такие компании, как Analog Devices, National Semiconductor и Maxim Integrated Products.

Пример микросхемы измерения температуры – MAX1617A фирмы Maxim Integrated Products. Микросхема представляет собой пре-

М. Валентинова

цизионный цифровой термометр, регистрирующий собственную (локальную) температуру и температуру любого удаленного чипа (в том числе и микропроцессора) с встроенным термочувствительным диодом и обменивающийся данными с внешним микроконтроллером через двухпроводной последовательный SMBus-интерфейс. Фактически MAX1617A – восьмиразрядный АЦП со сложным входным блоком. Устройство содержит источник питания ключевого типа, мультиплексор, АЦП и управляющую логику (рис.1). Данные АЦП загружаются в два регистра и автоматически сравниваются с данными четырех регистров, хранящих значения высокой/низкой пороговой температуры. Значение измеряемой температуры удаленного микропроцессора считывается с его контрольного вывода, а не преобразователя, смонтированного на теплоотводе. Этим достигается более быстрый отклик на изменение теплового режима процессора.

Формат данных измерения температуры – 7 бит плюс знак. Для минимизации ошибок округления измерения проводятся с шагом +0,5 С. Метод измерения температуры позволяет сбалансировать абсолютную величину напряжения база–эмиттер, благодаря чему калибровка схемы не нужна. Точность цифрового термометра в диапазоне температур 60 –100 С равна ±2 С (локальное измерение) и ±3 С (дистанционное измерение). Максимальный ток в режиме автоматических измерений – 7 мкА, в режиме ожидания – 3 мкА. Напряжение питания – 3,0–5,5 В. Монтируется устройство в малогабаритный 16-выводной корпус QSOP. Цена при закупке партии в 1000 шт. – 3,11 долларов.

MAX1617A предназначен для контроля температуры ПК и ноутбуков, серверов локальных сетей, промышленных систем управления, офисного, телекоммуникационного и контрольно-измерительного оборудования, многокристальных модулей.

Одна из последних разработок фирмы Maxim Integrated Products – датчик температуры серии MAX1098/MAX1099 с пятиканальным АЦП (рис.2). Разрешение датчика при измерении температуры 12 бит, точность измерения температуры (локально и дистанционно) в диапазоне от -40 до 85 С составляет ±1 С. Микросхемы серии также измеряют полное дифференциальное напряжение с разрешением 10 бит и отслеживают/хранят положительные и отрицательные входные данные. В приборе входит трехпроводной SPI/QSPI/MICROWIRE-интерфейс. Точность измерения напряжения можно повысить за счет подключения внешнего устройства задания исходного уровня. MAX1098 работает от источника питания на напряжение 4,75–5,25 В, MAX1099 – 2,7–3,6 В. Средняя потребляемая мощность MAX1099 – всего 1,3 мВт. Корпус – 16-выводной SSOP. Назначение микросхем – контроль температуры рабочих станций и связанных систем, портативной аппаратуры, медицинского оборудования и систем управления промышленными процессами.

Рассмотрим работу цифрового термометра на примере схемы контроля и вывода значений температуры ПК, выполненной на базе

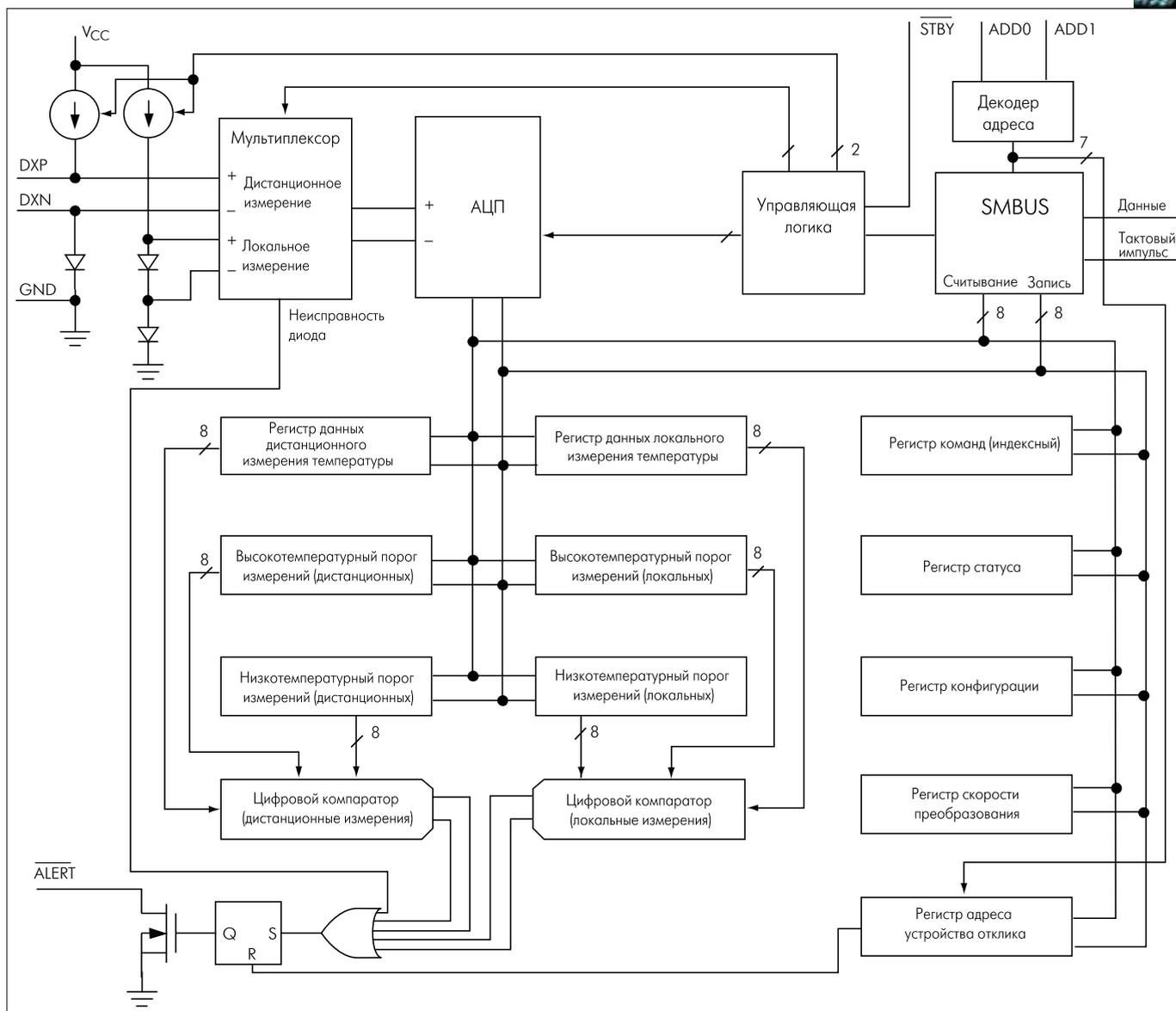


Рис. 1. Блок-схема датчика локальной/дистанционной температуры с последовательным SMBus-интерфейсом типа MAX1617A

микросхемы ADM1023 фирмы Analog Devices (рис.3). Выходной порт этой микросхемы, подобной MAX1617A, через буфер подключен к порту принтера ПК. Шины Data in, Data out и CLK с помощью I²C-протокола обеспечивают связь с контролируемым ПК. Удаленный диодный датчик подключен к цифровому термометру с помощью экранированного скрученного кабеля. Экранировка необходима для предотвращения влияния ВЧ-помех на измерения. Точность измерения, обеспечиваемая ADM1023, составляет ± 1 С.

Измерение температуры позволяет лишь констатировать критический режим работы системы. Чтобы оборудование не перегревалось, необходимы вентиляторы. К сожалению, применявшиеся до сих пор модели были механически непрочны, вносили дополнительные шумы и увеличивали энергопотребление системы. Поэтому се-

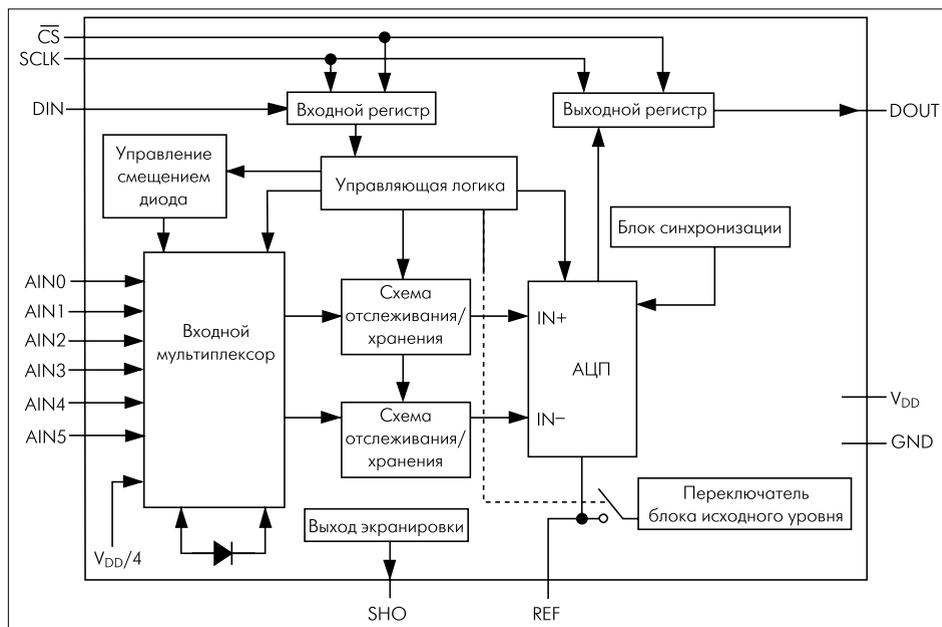


Рис.2. Функциональная блок-схема 10-разрядного датчика температуры серии MAX1098/ MAX1099

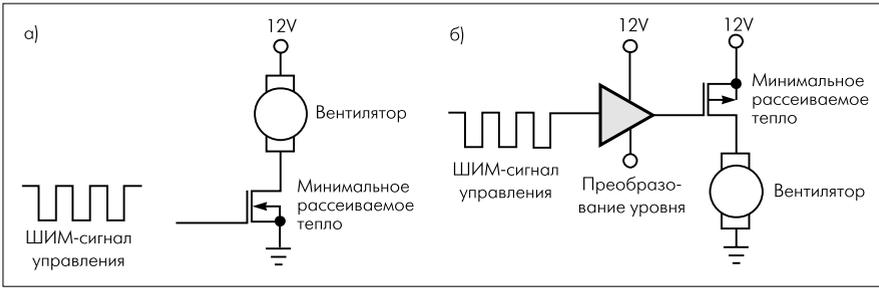


Рис. 5. Схема управления скоростью вентилятора по а) спадающему и б) нарастающему фронту сигнала

ющих от того же источника питания, что и вентилятор. ШИМ-управление используется в основном в дешевом оборудовании, для которого точность регулировки скорости не критична.

Линейная регулировка скорости, как показывает название, позволяет изменять напряжение вентилятора по постоянному току с помощью линейного регулятора. Этот метод применим только для вентиляторов, способных работать в широком диапазоне напряжений. Вместе с тем он позволяет использовать датчики сигнализации и скорости. Но и этот метод не лишен недостатков. Во-первых, это проблемы, связанные с мощностью управляющего МОП-транзистора. Рассеиваемая мощность управляющего элемента достигает максимума при напряжении вентилятора, равном половине максимального рабочего значения, и дальнейшее увеличение напряжения не приведет к росту скорости вращения. Например, для 1,2-Вт вентилятора (12 В при токе 98 мА) в худшем случае (напряжение – 6 В) рассеиваемая мощность управляющего МОП-транзистора равна 300 мВт.

Вторая проблема связана с запуском и остановом вентилятора. Для останова вентилятора напряжение должно быть меньше номинального рабочего значения, для запуска – оно всегда равно или несколько больше напряжения останова. Эти напряжения равны, как правило, 25–50% номинального значения. При линейной регулировке в отсутствие контроля скорости нельзя установить, работает вентилятор или нет. Эта проблема может быть решена несколькими способами. Во-первых, с помощью программных средств можно предотвратить снижение напряжения ниже уровня запуска вентилятора, но при этом необходимо учитывать эффект старения. К тому же, в системах с несколькими вентиляторами приходится устанавливать единое напряжение запуска для всех. При этом напряжение для худшего случая устанавливается по минимальному значению, например 60% от номинального значения, тогда как среднее значение для остальных устройств может составлять 40% от номинала. Второй путь – применение тахометра, сигнал которого регистрируется микроконтроллером, задающим режим вентилятора – останов или продолжение работы. Но применение тахометра усложняет конструкцию и требует дополнительных аппаратных и программных средств.

Наиболее эффективны регуляторы постоянного тока (DC/DC), хотя они дороже и сложнее предыдущих (рис. 6а, б). В этих устройствах для регулировки напряжения вентилятора используются источники питания ключевого типа. Эффективность DC/DC-регуляторов достигает 75–95%, правда, при минимально возможной скорости вращения, т.е. при напряжении вентилятора, равном примерно 50% номинального значения. По мере увеличения скорости вращения вентилятора методы линейной и DC/DC-регулировки по эффективности оказываются сопоставимыми. Поэтому DC/DC-регуляторы обычно используются в портативных, работающих от батарей системах, системах с мощными или несколькими вентиляторами.

При регулировке скорости вентилятора без применения сигнальных и скоростных датчиков в ШИМ- и линейном режимах целесооб-

разно применять устройство независимого измерения температуры и контроля скорости. Пример такого устройства – микросхема MAX1669 фирмы Maxim Integrated Products (рис. 7). В микросхему входит прецизионный, не требующий калибровки цифровой термометр, регистрирующий температуру удаленного датчика. Точность измерений в диапазоне от -40 до 125 С равна ± 3 С. На чипе также расположено независимое устройство регулировки скорости вентилятора с слаботочным логическим выходом, требующим применения внешних компонентов для сопряжения

с бесщеточным вентилятором (рис. 8). Связь микросхемы с внешним микроконтроллером обеспечивает SMBus-интерфейс. MAX1669 поддерживает ШИМ- (20–160 Гц) и линейный режимы регулировки скорости вентилятора (рис. 9а, б). Монтируется микросхема в 16-выводной QSOP-корпус. Цена микросхемы при закупке партии более 1000 шт. – 3,20 долл. Микросхемы регулировки типа MAX1669 в основном предназначены для систем младших моделей настольных компьютеров, ноутбуков, серверов и рабочих станций, требования к безотказности которых достаточно мягкие.

Схема регулировки скорости может включаться по разомкнутому и замкнутому контуру. Первый вариант допускает применение датчика температуры окружающей среды, включаемого на входе устройства. С повышением температуры программное обеспечение выдает команду увеличения скорости вращения. При этом изменение скорости вращения не влияет на результаты измерения температуры чипа, т.е. термическая обратная связь отсутствует. В схеме регулировки по замкнутому контуру датчик температуры располагается в наиболее критичной с точки зрения нагрева области системы. Благодаря этому обеспечивается непосредственная и точная регулировка скорости, частично решаются проблемы засорения входов и выходов вентилятора, но требуется тщательный подход к задаче обеспечения стабильности его работы.

При работе по разомкнутому контуру схема не регистрирует отказ вентилятора, при работе по замкнутому контуру признаком отказа мо-

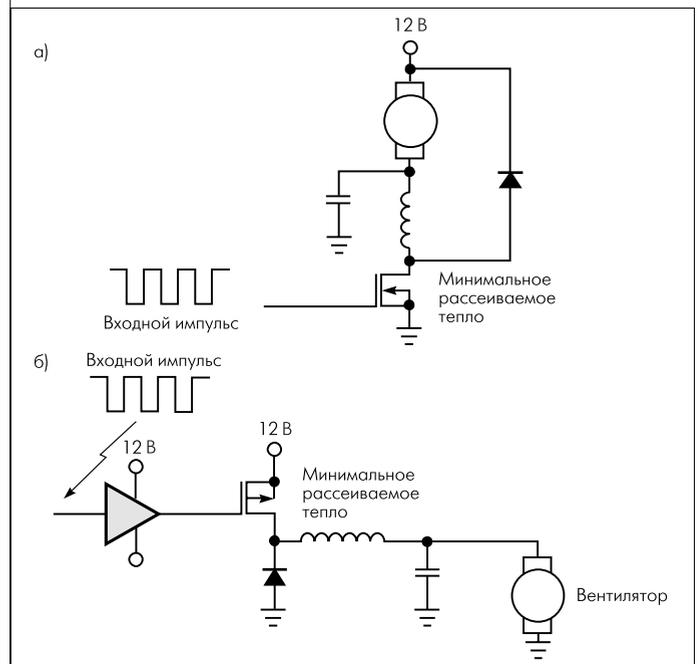


Рис. 6. Схема DC/DC управления скоростью вентилятора по а) спадающему и б) нарастающему фронту сигнала

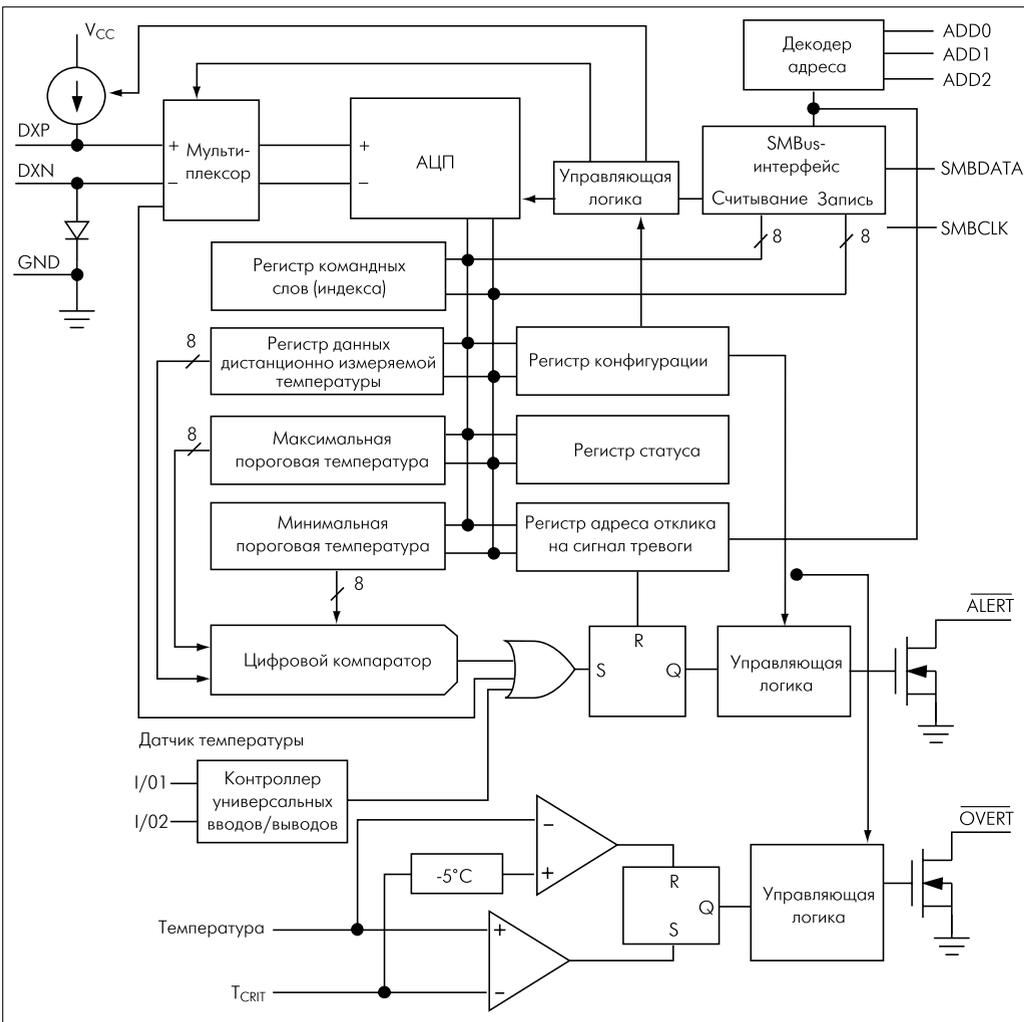


Рис.7. Функциональная блок-схема температурного датчика MAX1669

жет служить повышение температуры. Но это свидетельствует лишь о появлении неисправности, но не о ее характере (загрязнение входов/выходов, рост температуры окружающей среды, перегрев системы, неисправность вентилятора и т.п.). К тому же, медленный температурный отклик препятствует своевременному обнаружению неисправности. Таким образом, контроль температуры чипа – необходимое, но не достаточное условие установления требуемого теплового режима системы. В любых системах полезно иметь устройства обнаружения неисправности вентилятора, а в системах с высокими требованиями к безотказности работы целесообразно устанавливать вентиляторы с встроенным тахометром.

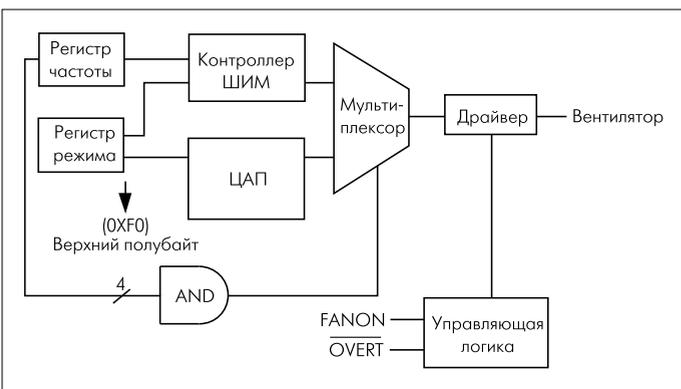


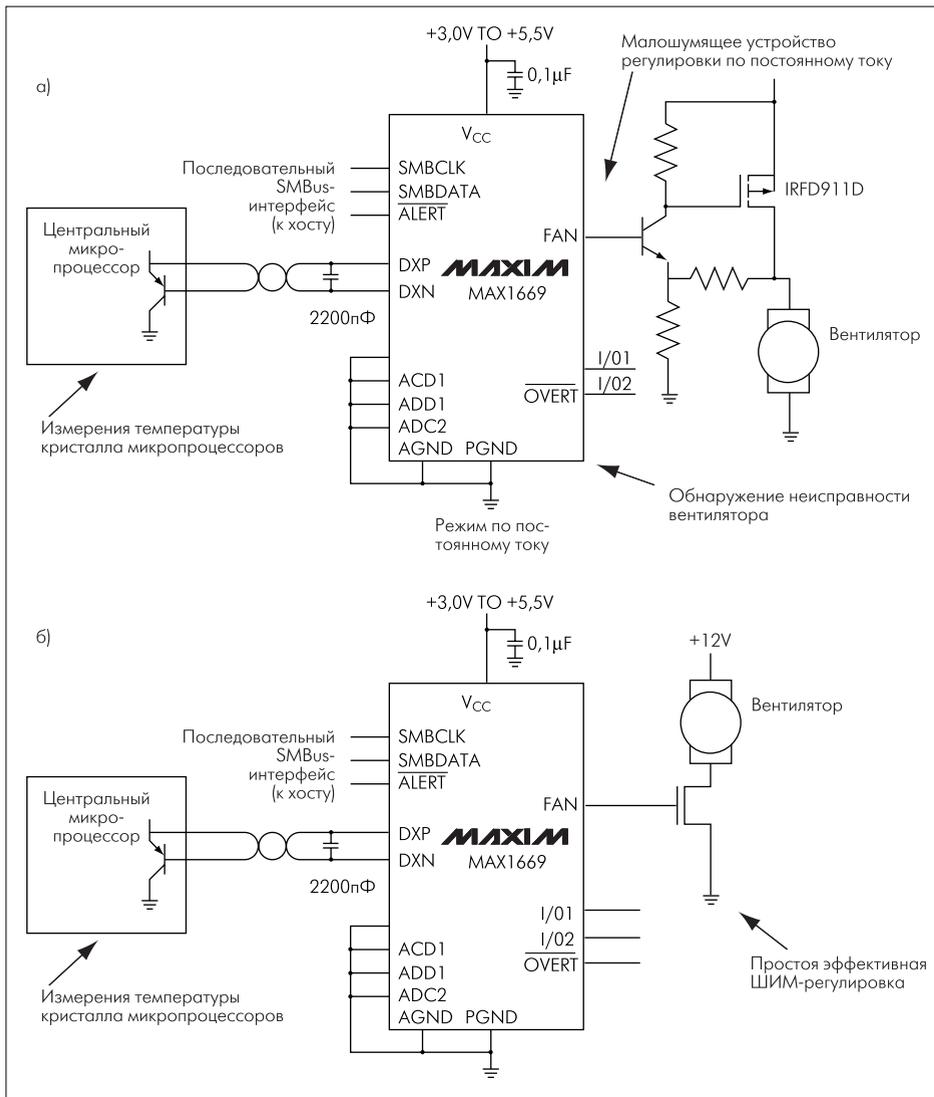
Рис.8. Функциональная блок-схема регулятора скорости вентилятора MAX1669

В последнем случае данные измерений (температура чипа) передаются основному микроконтроллеру, команды которого поступают второй схеме регулировки скорости вращения, такой как MAX6650/MAX6651 (имеет дополнительные входы, позволяющие контролировать работу до четырех вентиляторов) фирмы Maxim (рис.10). Обратная связь по скорости вращения осуществляется через выходной вывод тахометра вентилятора. В результате скорость контролируется с высокой точностью без сложных алгоритмов запуска вентилятора или управляющего усилителя. Микроконтроллеры указанного типа выявляют и неисправности вентилятора, генерируя сигнал прерывания при их обнаружении. MAX6650 поставляется в 10-выводном малогабаритном корпусе m MAX-типа, MAX6651 – в 16-выводном QSOP. Цена при закупке партии в 1000 шт. – 2,03 и 2,25 долл., соответственно.

Микроконтроллеры типа MAX6650/MAX6651 – на сегодняшний день одно из самых простых и совершенных средств, способных работать либо как контроллеры, либо как регуляторы

скорости 5/12-В бесщеточных вентиляторов с встроенными тахометрами. Разница в выполняемых функциях незначительна, но важна. При работе в режиме контроллера схема непосредственно регулирует напряжение вентилятора, тогда как в режиме регулятора для измерения и изменения скорости используются данные тахометра. В первом случае основной микроконтроллер постоянно получает данные о температуре (от схемы измерения) и скорости вращения, например от MAX6650, и в соответствии с ними через ЦАП пересылает MAX6650 команды непосредственной регулировки напряжения (и косвенного изменения скорости) вентилятора. Скорость вращения на основе данных контроллера MAX6650 регистрируется непрерывно. Во втором случае основной микроконтроллер пересылает MAX6650 непосредственные команды изменения скорости вращения. После установления требуемой скорости он не участвует в процессе регулировки. Если MAX6650 не способен обеспечить требуемую скорость, ведущему микроконтроллеру передается сигнал тревоги. Следует отметить, что в этом случае в системе, работающей по замкнутому контуру, формируются два контура: один – регулировки температуры, второй – регулировки скорости вращения (рис. 11). А это требует особого внимания к проблемам стабильности работы.

На точность регулировки скорости вращения вентилятора влияют также неисправности и ошибки программного обеспечения микроконтроллера. Поэтому целесообразно применять дополнительный дешевый маломощный переключатель температуры, подобный MAX6501–MAX6504 фирмы Maxim Integrated Products. Эти микросхемы пригодны и для непосредственного обнаружения неисправности



тилятора и мгновенно реагирующий на его блокировку (что не может регистрировать детектор неисправности вентилятора). Отметим, что рассматриваемая схема не пригодна для контроля температуры вентиляторов, чувствительных к блокировке ротора (при его остановке вентилятор автоматически вновь включается). Но большинство вентиляторов, особенно дешевых, могут работать с этой схемой.

Помимо Maxim Integrated Products на рынке устройств контроля температуры и регулировки скорости вращения вентилятора представлены и микросхемы других производителей аналоговых ИС, в том числе Analog Devices и National Semiconductor. В конце 1999 года фирма National Semiconductor выпустила прецизионный цифровой датчик температуры LM83, измеряющий напряжение трех удаленных диодов (или транзисторов типа 2N3904 с диодным включением) и, следовательно, температуру в трех точках системы (рис.14,15). Кроме того, датчик регистрирует собственную (локальную) температуру. В LM83 входят восьмиразрядный дельта-сигма АЦП с цифровым датчиком регистрации превышения заданной температуры. АЦП обеспечивает отличное подавление шумов – весьма ценное свойство при дистанционных измерениях. В случае превышения контролируемой температурой заданного значения, введенного в компаратор, активизируются два программируемых вывода прерывания: один может использоваться для предварительного оповещения об увеличении рабочей температуры, а второй – для сигнализации о превышении предельного значения. Микросхема совместима с I2C/SMBus-интерфейсом. Трехуровневые логические входы позволяют передавать по шине SMBus до девяти адресов на два вывода LM83. При контроле разности температур двух транзисторов преобразователь может выполнять функцию бесконтактного электронного датчика потока воздуха. При этом преобразователь регулирует не только скорость вращения, но и потребляемую мощность вентилятора.

Рис.9. Схема регулировки скорости вентилятора на базе температурного датчика MAX1669 в а) ШИМ- и б) линейном режимах

вентилятора. ИС этого семейства, работающие при напряжении 2,7–5,5 В, выполняют функцию температурного ключа и содержат два термочувствительных устройства опорного напряжения (с положительным и отрицательным температурными коэффициентами) и компаратор (рис.12). Температура, при которой оба значения опорного напряжения оказываются равными, свидетельствует о неисправности вентилятора. Предельные значения максимальной температуры устанавливаются в процессе изготовления микросхемы и лежат в диапазоне 35–115 С и -45–15 С при регистрации снижения температуры ниже пороговой. Шаг регулировки – 10 С. Чтобы исключить колебания выходного сигнала при достижении пороговой температуры кристалла, в схеме предусмотрена цепь установления гистерезиса температуры +2 или +10 С. Типичная точность измерения $\pm 0,5$ С. Потребляемый ток в среднем равен 30 мкА. Поставляются приборы в семивыводных корпусах SOT23 и TO220.

При определении неисправности вентилятора (рис.13) температурный ключ MAX6501 регистрирует ток вентилятора, протекающий через резистор R_s . Превышение заданного значения свидетельствует о неисправности вентилятора. В схеме измерения могут быть предусмотрены дополнительные средства предупреждения о повышении температуры – страховочный температурный ключ, контролирующий температуру и предупреждающий о превышении температуры системы, и 0,1-Вт резистор R_{heat} , располагаемый в воздушном потоке вен-

тилятора, а второй – для сигнализации о превышении предельного значения. Микросхема совместима с I2C/SMBus-интерфейсом. Трехуровневые логические входы позволяют передавать по шине SMBus до девяти адресов на два вывода LM83. При контроле разности температур двух транзисторов преобразователь может выполнять функцию бесконтактного электронного датчика потока воздуха. При этом преобразователь регулирует не только скорость вращения, но и потребляемую мощность вентилятора.

Точность локального измерения равна $\pm 1,0$ С, дистанционного – ± 3 С в диапазоне 25–100 С и ± 4 С в диапазоне 0–125 С. Формат данных датчика – семь бит плюс знак, разрешение – 1 С. Напряжение питания прибора 3–3,6 В, ток – 0,8 мА (макс.). Монтируется схема в малогабаритный 16-выводной корпус QSOP. Предназначен LM83 для ноутбуков, настольных компьютеров, рабочих станций и серверов, а также для электронного тестового и офисного оборудования. Цена прибора при закупке партии в 1 тыс. шт. – 2,6 долл. Следует отметить, что LM83 регистро- и разъемосовместим с преобразователями MAX1617 фирмы Maxim Integrated Products и ADM1021 фирмы Analog Devices.

Более сложное устройство – ADM1026 фирмы Analog Devices – отражает современную тенденцию к интеграции на одном чипе многочисленных средств контроля работы компьютера. ADM1026 – гибкое универсальное устройство контроля аппаратных средств систе-

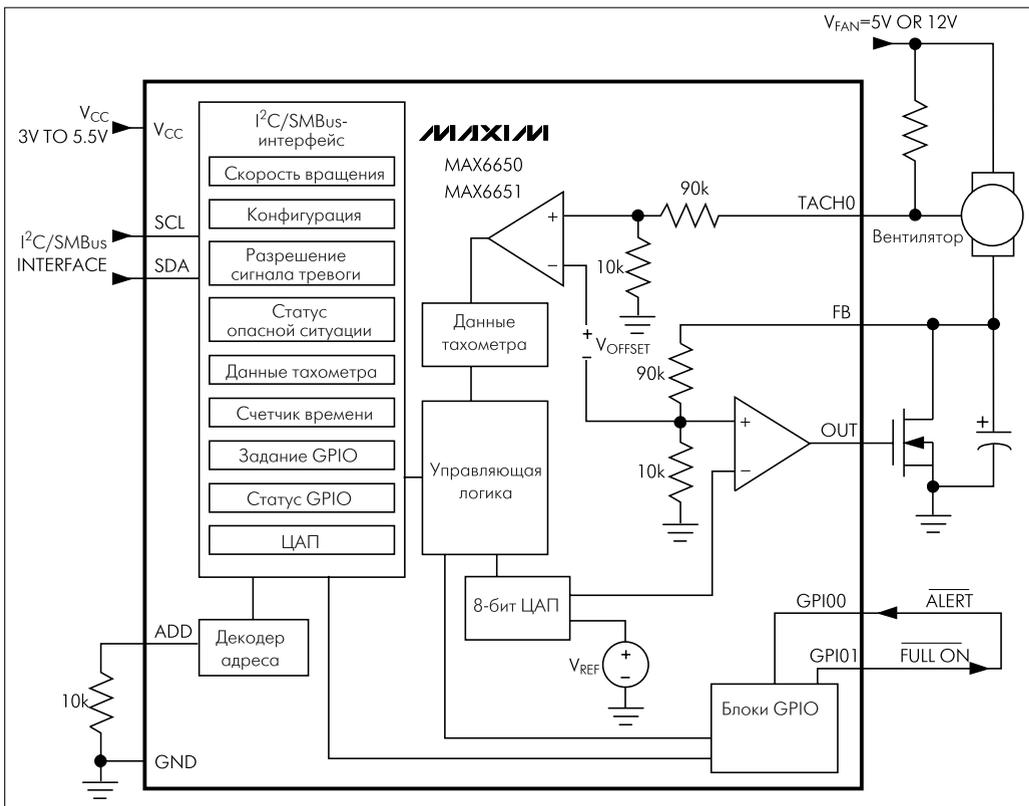


Рис. 10. Блок-схема регулятора/контроллера скорости вращения вентилятора MAX6650/MAX6651

мы с 19 аналоговыми измерительными каналами (рис. 16). Из них восемь предназначены для измерения скорости вращения вентилятора (микросхема поддерживает режимы ШИМ- и линейной регулировки скорости вращения), два – для измерения температуры удаленного чипа. В нем предусмотрен восьмиразрядный АЦП и 13 уни-

рассчитывает на объем заказов в 2,5 млн. таких изделий.

Следует отметить, что еще в 1998 году фирмы Dell Computer, Hewlett-Packard, Intel и NEC начали совместную разработку технических условий на Интеллектуальную платформу управляющего интерфейса (Intelligent Platform Management Interface – IMPI), но лишь сей-

версальных выводов ввода/вывода. Как во всех современных моделях устройств измерения и регулировки скорости вращения вентилятора, на кристалле имеется датчик температуры, позволяющий контролировать локальную температуру. Пять аналоговых входов предназначены для контроля напряжения источников питания на +3,3, +5 и +12 В, а также напряжения процессорного ядра. Измеренные значения контролируемых параметров считываются через последовательную шину SMBus, по которой могут быть переданы и задаваемые предельные значения этих параметров.

Точность измерения (локальных и дистанционных значений) температуры в диапазоне 0–100 С в среднем равна +1 С. Напряжение питания 3,3–5,5 В, потребляемый ток в рабочем режиме – 1,4–2,0 мА, в режиме ожидания – 8–100 мкА. Фирма

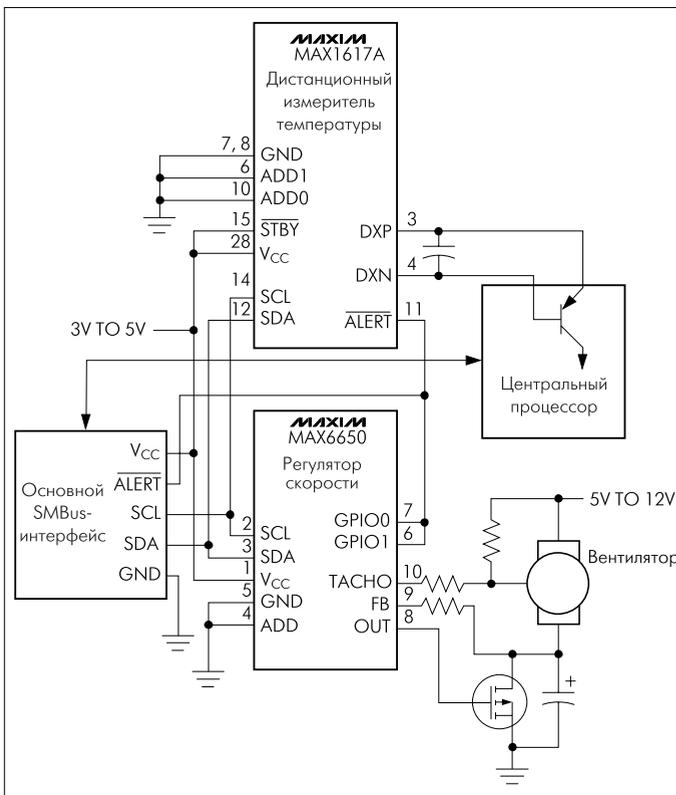


Рис. 11. Регулировка скорости вращения вентилятора при включении MAX6650 по схеме с замкнутым контуром

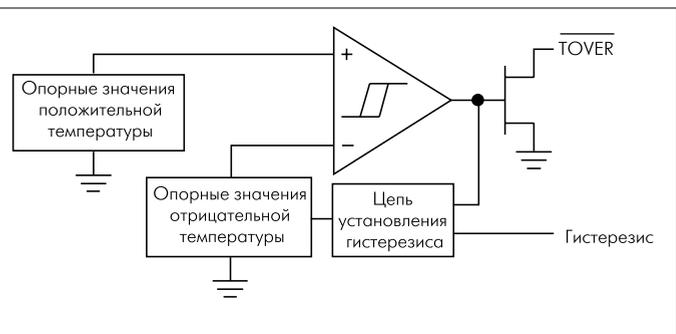


Рис. 12. Блок-схема температурного ключа MAX6501

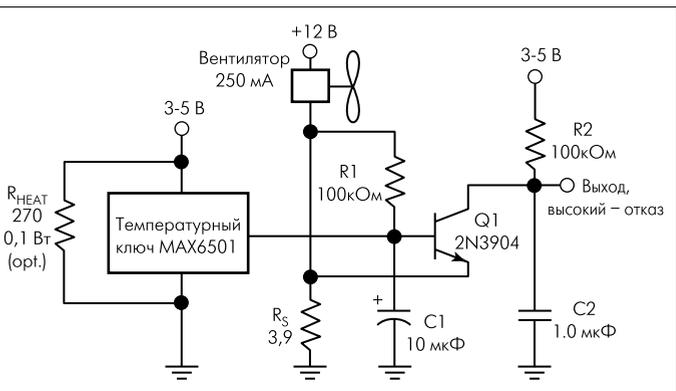


Рис. 13. Схема контроля неисправности вентилятора на основе температурного ключа MAX6501

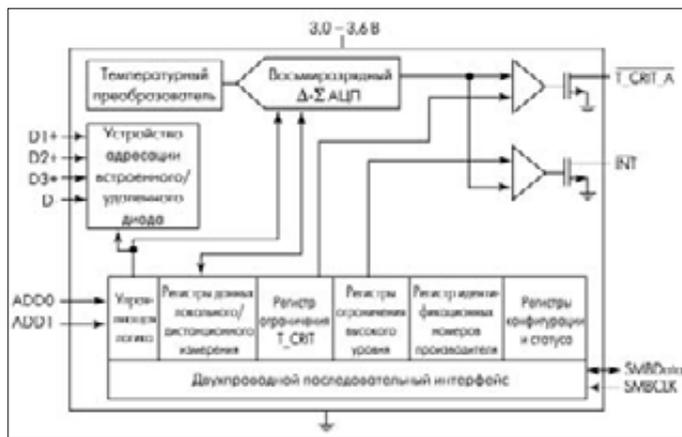


Рис. 14. Блок-схема прецизионного температурного преобразователя LM83

час такие изготовители, как Analog Devices, начали приводить в своих спецификациях и пресс-релизах "соответствующие" этим ТУ данные. В опубликованной в июне 2000 года версии 1.1 IMPI-спецификации определены требования к универсальным интерфейсам "интеллектуальных" аппаратных средств, предназначенных для контроля физических параметров сервера, таких как температура, напряжение, скорость вращения вентилятора, выбросы источника питания и условия шасси. Отслеживая эти данные, изготовители серверов надеются улучшить безотказность своих систем и сократить необходимость их

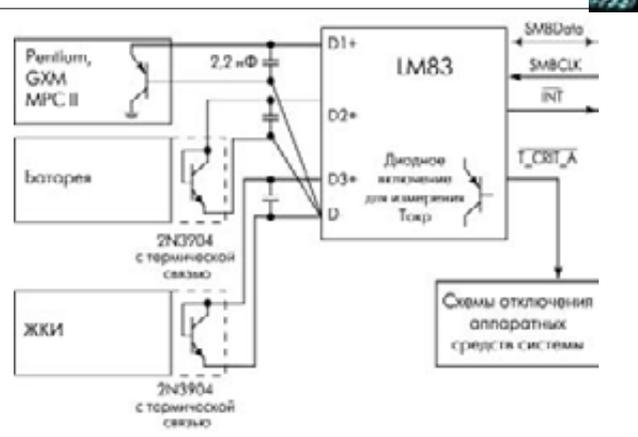


Рис. 15. Типичная схема включения температурного преобразователя LM83

ремонта или замены, существенно влияющих на стоимость. И здесь им неоценимую помощь окажут средства измерения и регулировки температуры основных блоков системы.

EDN, 2000, Sept.2

www.eetimes.com/story/OEG20000825S0037

Data Sheets фирм Maxim Integrated Products, National Semiconductor и Analog Devices

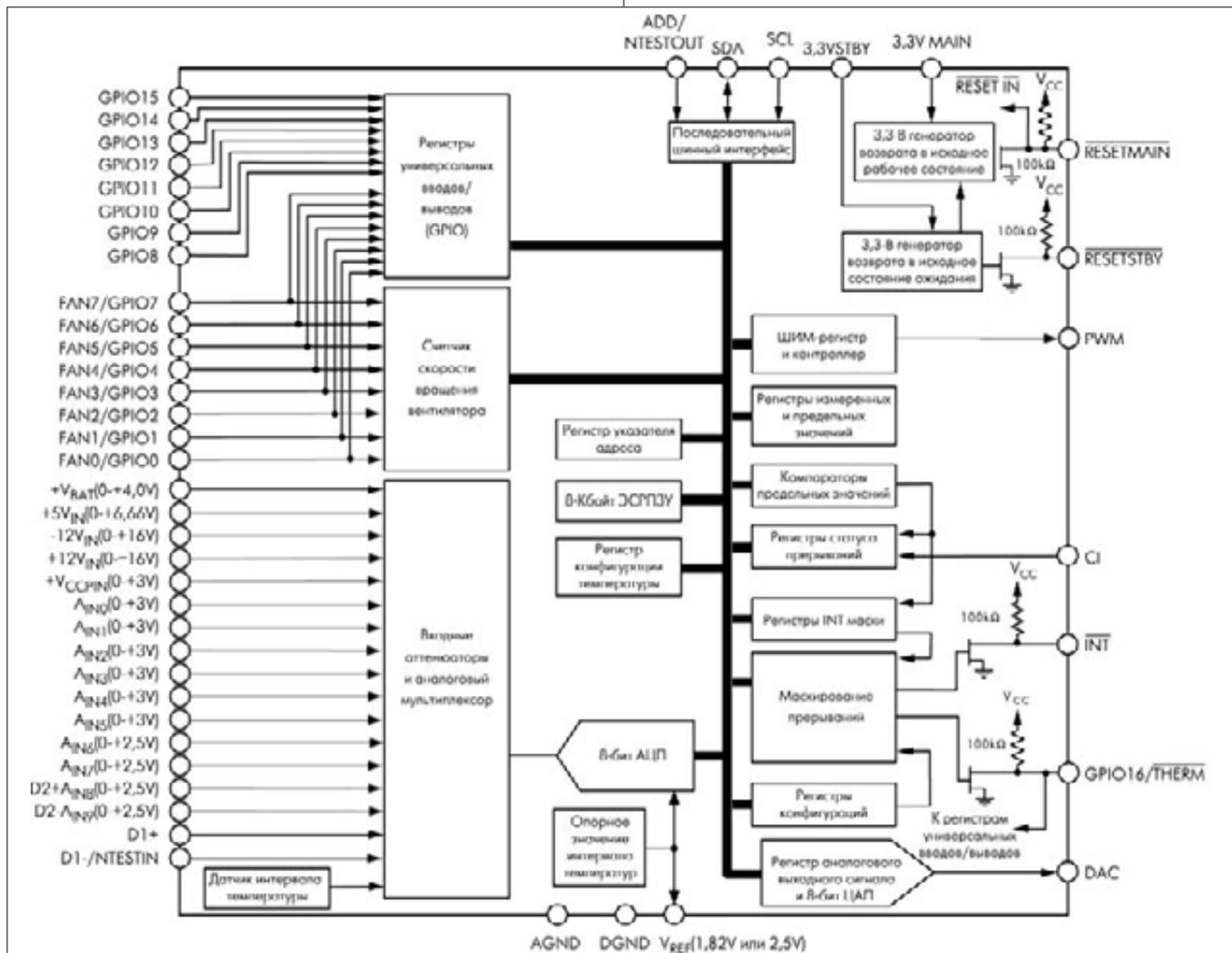


Рис. 16. Блок-схема системы контроля аппаратных средств микропроцессорного оборудования ADM1026