

Микроэлектронные датчики состояния окружающей среды STMicroelectronics

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

Микроэлектронные датчики — это специализированные интегральные микросхемы (ИМС), предназначенные для сбора различной информации и преобразования ее в электрические сигналы с целью их обработки аппаратными и программными средствами электронных устройств. Фирма STMicroelectronics является одним из ведущих мировых производителей микроэлектронных датчиков всех типов. В данной статье предлагается обзор последних моделей датчиков состояния окружающей среды (Environmental Sensors), сочетающих передовые достижения микроэлектроники, высокое качество изготовления и адекватную стоимость.

Датчики состояния окружающей среды (температуры, атмосферного давления, влажности, ультрафиолетового излучения, магнитного поля Земли, а также освещенности и шума) в настоящее время практически полностью заменили традиционные физические приборы, используемые для мониторинга соответствующих параметров в различных условиях — на открытой местности, в жилых помещениях, на промышленных объектах и др. Мониторинг состояния окружающей среды позволяет обеспечить экологическую безопасность и поддерживать оптимальный микроклимат в жилых домах и производственных помещениях. Отметим, что стационарные промышленные датчики, применяемые для решения подобных задач, имеют довольно сложную объемную конструкцию, требуют периодической поверки, при этом их габариты, энергопотребление и стоимость обычно не имеют решающего значения.

Появление и распространение всевозможных персональных электронных устройств и последующее расширение их функциональности, одним из направлений которо-

го является анализ состояния окружающей индивидуума среды, потребовали от разработчиков создания недорогих малогабаритных датчиков с низким энергопотреблением, не требующих калибровки и способных функционировать в составе различных, в том числе и мобильных, устройств — телефонов, планшетов, домашних метеостанций и т. п. Встроенные в мобильные устройства датчики приближения повышают безопасность, а также позволяют экономить энергию батареи питания за счет автоматического переключения режимов работы.

Заданным требованиям в максимальной степени отвечают датчики состояния окружающей среды, выполненные в конструктиве интегральных микросхем, — микроэлектронные датчики. В статье приведен обзор последних моделей данного семейства одного из ведущих мировых производителей — фирмы STMicroelectronics (STM).

В состав микроэлектронного датчика наряду с чувствительным элементом (сенсором) входят схемы питания и сопряжения с последующими устройствами обработки выходного сигнала. Выходной сигнал датчи-

ка может быть аналоговым или цифровым, аналоговые датчики обеспечивают высокую точность и быстродействие, в то же время датчики с цифровым выходом обладают повышенной помехоустойчивостью и легко сопрягаются с микроконтроллерами, для чего в них обычно встраивают управляющую логику. Для портативных устройств с автономным питанием необходимо минимизировать размеры корпусов ИМС и токопотребление, в связи с чем современные микроэлектронные датчики выполняются в сверхминиатюрных корпусах площадью несколько квадратных миллиметров и в активном режиме потребляют ток порядка единиц микроампер.

Мы начнем обзор с последних моделей датчиков температуры, влажности, излучения и приближения. Отметим, что в номенклатуре термодатчиков STM присутствуют и широко известны отлично зарекомендовавшие себя ранее аналоговые датчики серий LMx34/35, например LM234 и LM335 в корпусах TO-92 и SO-8, выполненные по биполярной технологии и подробно описанные в [1]. Примером новейшего аналогового термодатчика является, в частности, интегральный датчик STLM20, отличающийся миниатюрным исполнением (корпуса SOT323-5L и UDFN-4L) и сверхмалым током покоя — типовое значение 4,8 мкА при напряжении питания 2,4–5,5 В.

Современные датчики температуры с цифровым выходом STTS751 также выполнены в миниатюрных шестивыводных корпусах SOT-23 и UDFN. Точность измерения температуры составляет $\pm 1^\circ\text{C}$ в диапазоне $0\dots+85^\circ\text{C}$ и $\pm 2^\circ\text{C}$ в диапазоне $-40\dots+125^\circ\text{C}$. Управление режимами работы и сбор данных производится по двухпроводному интерфейсу SMBus 2.0 с возможностью установки частоты измерений (max 32 изм./с) и точности от 9 до 12 разрядов

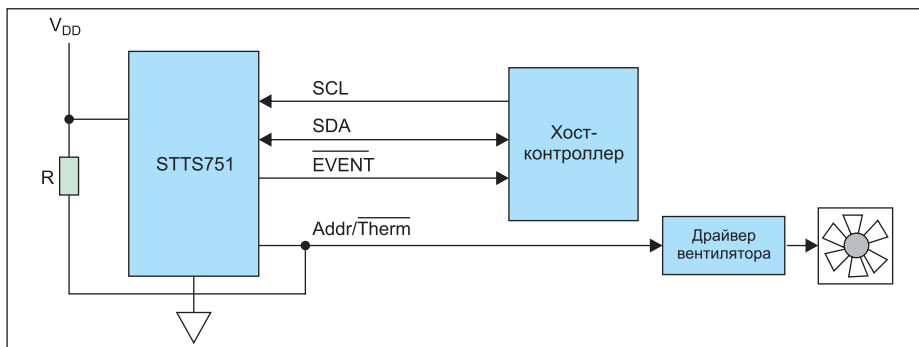


Рис. 1. Схема подключения датчика температуры STTS751

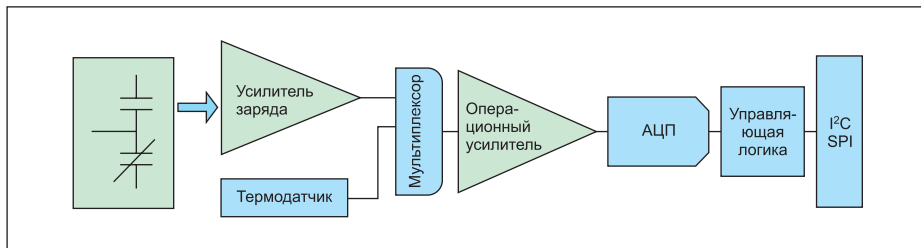


Рис. 2. Функциональная схема датчика влажности HTS221

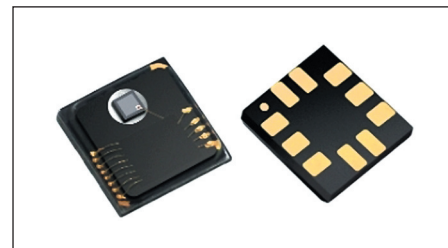


Рис. 3. Датчик ультрафиолетового излучения UVIS25

с соответствующим разрешением (максимум 0,06 °C). На дополнительных инверсных выходах ИМС EVENT и Addr/Therm формируются сигналы прерывания и включения внешних устройств при достижении определенной температуры, как показано на рис. 1.

Ультракompактный датчик влажности и температуры HTS221 выпускается в шестивыводном корпусе HPGA размером 2×2×0,9 мм и предназначен для применения в устройствах управления климатом — отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха и т. п. В качестве чувствительного элемента используется конденсатор с полимерным диэлектриком. Функциональная схема ИМС датчика приведена на рис. 2 и включает все аналоговые элементы схемы измерения влажности и температуры, а также АЦП с последовательным интерфейсом I²C и SPI.

Датчик измеряет влажность воздуха с разрешением 16 бит во всем диапазоне 0–100% с относительной погрешностью ±6%, в диапазоне 20–80% — ±4,5%. Время отклика не превышает 10 с. Калибровка в течение всего срока эксплуатации не требуется. Напряжение питания микросхемы 1,7–3,6 В, потребляемый ток 2 мкА при частоте 1 изм./с.

Датчик ультрафиолетового излучения с цифровым выходом UVIS25 может найти применение в метеостанциях, носимых устройствах и современных гаджетах — «умных» часах и очках. ИМС датчика выпускается в 10-выводном корпусе с окном LGA размером 2,5×2,5×0,76 мм. Внешний вид датчика приведен на рис. 3.

Диапазон измерения ультрафиолетового индекса (UVI) от 0 до 15; отметим, что значение UVI = 11 является экстремально опасным для человека и требует специальных мер защиты. Таким образом, системы измерения ультрафиолетового излучения на основе UVIS25 могут быть с запасом использованы в любых земных условиях. Напряжение питания ИМС — 1,7–3,6 В, диапазон рабочих температур –20...+85 °C, выходной интерфейс последовательный, двух-, трех- и четырехпроводной I²C/SPI, имеется дополнительный вывод INT_DRDY прерывания/готовности данных.

Особого внимания заслуживает уникальный датчик приближения VL6180X, базирующийся на фирменной технологии STM Flight Sense. В отличие от пассивных датчиков приближения, определяющих расстояние до объекта по изменению отраженной внешней

световой энергии (при этом, очевидно, существенную погрешность вносят параметры поверхности), VL6180X является активным датчиком, своеобразным световым локактором, определяющим расстояние до объекта по времени прохождения светового сигнала, излучаемого ИК-лазером, от излучателя к объекту и обратно. Благодаря встроенному датчику внешней освещенности VL6180X может быть использован и как измеритель освещенности со спектральной характеристикой, соответствующей человеческому зрению, в диапазоне от 1 лк до 100 клк с разрешением 16 бит на восьми пределах, устанавливаемых через специальный регистр.

В микросхему датчика VL6180X, выпускаемую в 12-выводном корпусе с шагом выводов 0,75 мм размерами 4,8×2,8×1 мм, интегрированы ИК-излучатель (полупроводниковый лазер с длиной волны 850 нм), ИК-фотоприемники излучаемого и отраженного сигнала, фотоприемник внешней освещенности видимого диапазона и схема обработки данных с выходом на интерфейс I²C. Диапазон измерения расстояний составляет 0–100 мм, при этом точность измерений зависит от многих факторов, в частности, максимальная шумовая погрешность равна 2 мм; типовое значение погрешности измерений во всем диапазоне температур (–20...+70 °C) не превышает 9 мм. Погрешность зависит также от внешней засветки и коэффициента отражения поверхности. Принцип измерения расстояния датчиком приближения VL6180X показан на рис. 4. Фотоприемник излучаемого сигнала расположен

вблизи лазера и служит для измерения падающей на объект мощности, фотоприемник отраженного сигнала расположен на некотором удалении. В процессе измерения расстояния возможна программируемая компенсация внешних помех, связанных с отражением от покровного стекла и внешней засветкой. С целью экономии энергии измерения расстояния автоматически прекращаются, если в течение определенного времени отраженный сигнал отсутствует.

На рис. 5 приведен внешний вид микросхемы VL6180X, а на рис. 6 показана функциональная схема, включающая источник питания лазера ИК-излучателя, схемы управления питанием лазера и фотоприемников, блоки измерения сигналов фотоприемников, а также микроконтроллер с интерфейсом управления I²C и дополнительными программируемыми выводами общего назначения GPIO 0 и GPIO 1. Микросхема работоспособна при напряжении питания 2,5–3 В, токопотребление в режиме измерения расстояния не превышает 1,7 мА, освещенности — 300 мкА, в спящем режиме ($U_{GPIO} = 0$) — менее 1 мкА.

При использовании внешнего микроконтроллера датчик VL6180X пригоден для распознавания жестов; при благоприятных условиях предел измерения расстояний может быть расширен до 40 см.

Цифровой трехкоординатный магнитометр LIS3MDL выполнен в миниатюрном 12-выводном корпусе LGA и может быть использован самостоятельно как прибор для измерения магнитной индукции до 1,6 мТл и в составе различных навигационных при-

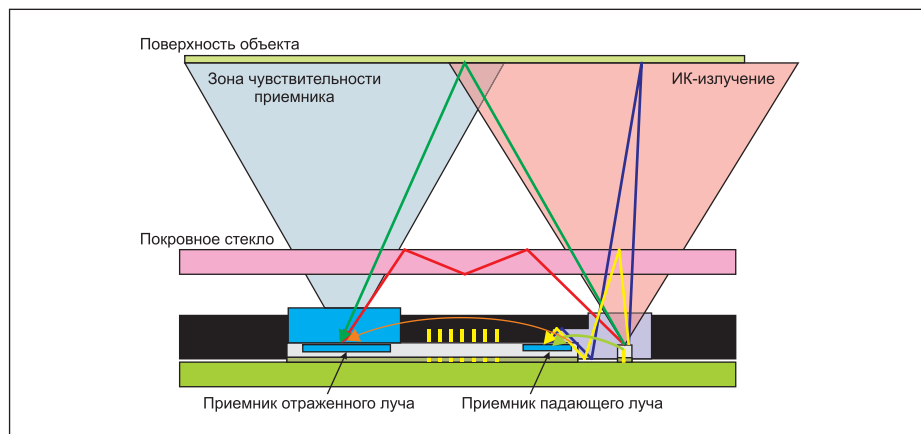


Рис. 4. Принцип измерения расстояния датчиком приближения VL6180X

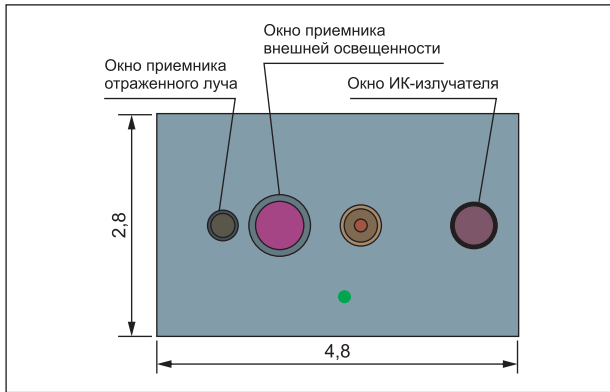


Рис. 5. Датчик приближения VL6180X

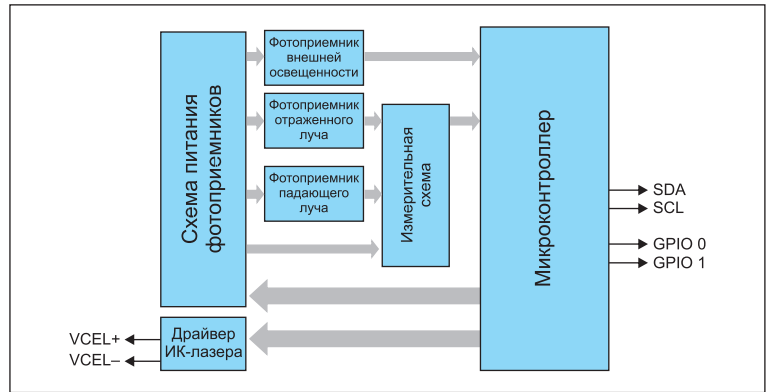


Рис. 6. Функциональная схема датчика приближения VL6180X

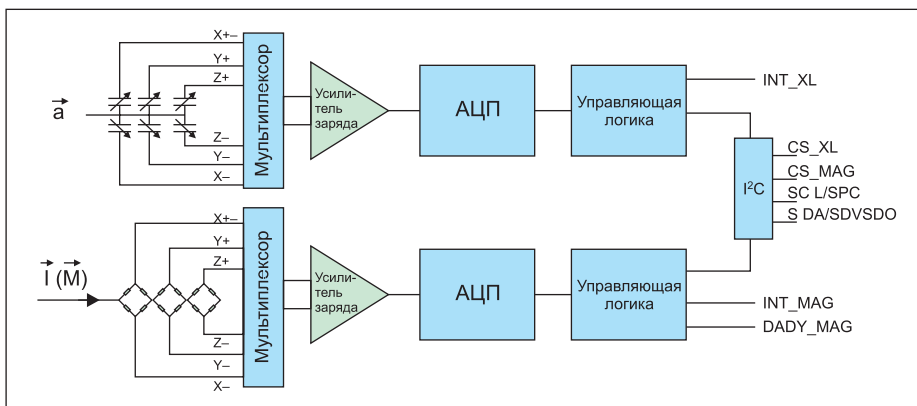


Рис. 7. Упрощенная функциональная схема цифрового компаса LSM303C



Рис. 8. Датчик атмосферного давления LPS22HB

ности полупроводников вследствие приложения анизотропной деформации, в кремнии он выражен достаточно сильно. Диапазон измерения атмосферного давления 260–1260 мбар с разрешением 0,01 мбар подходит как для самых высоких на Земле гор, так и для самых глубоких шахт. В состав микросхемы, наряду с собственно измерительной схемой давления и устройством ее питания, входят термодатчик для температурной компенсации погрешностей, малошумящий высокочувствительный усилитель и 24-разрядный сигма-дельта АЦП с интерфейсами I²C и SPI. В отличие от ранних моделей микробарометров, корпус которых закрыт металлической или пластиковой крышкой, технология, используемая STM, позволила изготовить датчик в полностью формованном 10-выводном корпусе HLGA, обеспечивающем пыле- и влагостойкость, размерами 2×2×0,76 мм — это самый миниатюрный размер корпуса датчика давления в мире на сегодня.

В микроэлектронных звуковых микрофонах STM, которые имеют значительно меньшие размеры, чем электретные, изготавливаемые по традиционным технологиям, используется емкостный чувствительный элемент компании Omron. В ассортименте компании имеются микрофоны различного назначения с аналоговым и цифровым выходом. Благодаря малым размерам, высоким акустическим параметрам и низкой стоимости микроэлектронные микрофоны находят применение в портативных мобильных устройствах различного назначения.

Аналоговый микрофон MP33AB01H выпускается в шестивыводном корпусе RHLGA размерами 3,76×2,95×1 мм и при напряжении питания 2 В потребляет ток 250 мкА. Акустическая характеристика всенаправленная, динамический диапазон 125 дБ при со-

боров. В качестве магниточувствительного сенсора используется мостовая схема из четырех полупроводниковых резисторов (разработка компании Honeywell), у которых имеется зависимость величины сопротивления от направления и индукции магнитного поля — анизотропный магниторезистивный эффект (AMR). Управление датчиком осуществляется по интерфейсам I²C и SPI, разрешение по индукции составляет 0,16 мкТл в диапазоне ±0,4 мТл. Особенностью датчика является наличие режима самотестирования (калибровка не требуется) и низкое энергопотребление — потребляемый ток в экономичном режиме (20 измерений в секунду, предел измерений ±1,6 мТл) составляет 40 мкА, в режиме высокого разрешения на пределе ±0,4 мТл — 270 мкА при напряжении питания 1,9–3,6 В.

На основе магнитометров LIS3MDL STM выпускает цифровые компасы (eCompass), представляющие собой комбинацию в одном корпусе магнитометра и МЭМС-акселерометра [2]; последний служит для компенсации наклона компаса во время измерений индукции и направления магнитного поля — ситуация, актуальная для мобильных устройств. Цифровой компас в виде микросборки LSM303 выпускается в двух модификациях: LSM303C с высококачественным акселерометром и LSM303E с акселерометром с пониженным энергопотреблением.

Упрощенная функциональная схема цифрового компаса (рис. 7) состоит из трехосевых МЭМС-акселерометра с емкостными датчиками и магнитометра, объединенных общим интерфейсом I²C и SPI. Предусмотрены дополнительные выводы прерывания INT_XL и INT_MAG, которые можно настроить на обнаружение движения и скачок магнитного поля, а также вывод сигнала готовности данных магнитометра DRDY_MAG.

Микроэлектронные датчики атмосферного давления (микробарометры) STM отличаются ультракомпактным исполнением и обеспечивают измерение давления и высоты с высоким разрешением, позволяющим фиксировать даже подъем и спуск по ступеням лестницы. Новейшая патентованная технология VENSENS позволяет создавать микробарометры абсолютного давления со стабильными параметрами, не требующие калибровки и выдерживающие очень высокую ударную нагрузку (до 20 000 g). Последняя модель микробарометра LPS22HB (рис. 8) предназначена для применения в портативных устройствах и отличается крайне низким энергопотреблением (4,5 мкА в режиме высокого разрешения при напряжении питания 1,7–3,6 В). Чувствительным элементом служит подвешенная кремниевая мембрана, выходной сигнал формируется мостовой пьезорезистивной схемой. Напомним, что пьезорезистивный эффект состоит в изменении электропровод-

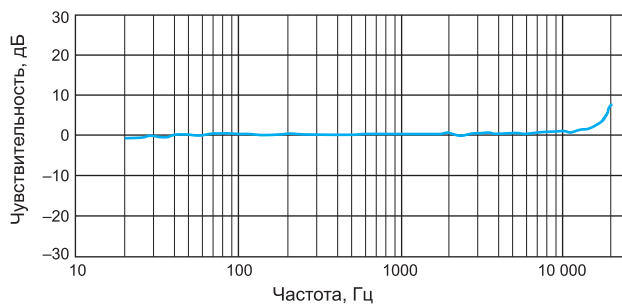


Рис. 9. Амплитудно-частотная характеристика микроэлектронного микрофона MP33AV01H



Рис. 10. Микроэлектронный микрофон MP34DT04

отношении сигнал/шум 64 дБ. Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) микрофона MP33AV01H, нормализованная к частоте 1 кГц, приведена на рис. 9. Неравномерность АЧХ в диапазоне 20 Гц–10 кГц не превышает 1 дБ, что позволяет эффективно применять данные микрофоны в аудиометрах и шумомерах.

Последняя модель микрофона с цифровым выходом MP34DT04 в пятивыводном экранированном корпусе HCLGA (рис. 10, вывод общего провода-экрана выполнен в виде кольца) имеет такие же акустические параметры. В микросхеме предусмотрен дополнительный вывод L/R для возможности применения пары микрофонов в стереофонических устройствах как левый и правый с передачей цифрового звукового сигнала в формате PDM по одной линии.

Отладочные средства

Отладочные средства выпускаемых STM устройств, в том числе и микроэлектронных датчиков, занимают значительное место в ассортименте продукции компании. Они позволяют проводить тестирование аппаратных

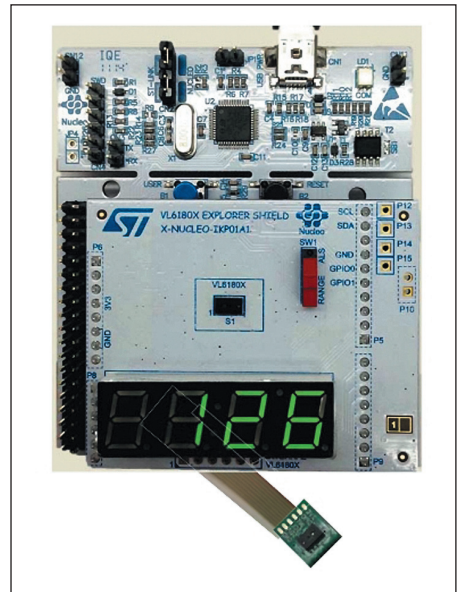


Рис. 11. Набор отладочных средств датчика приближения VL6180X

и программных компонентов устройств в различных режимах. В качестве примера можно привести набор отладочных средств датчика приближения и освещенности VL6180X, состоящий из макетной платы VL6180X Shield с четырехрядным цифровым дисплеем для измерения расстояния и освещенности и платы микроконтроллера STM32 F401RE Nucleo board, соединяемых через коннектор Arduino UNO R3 (рис. 11). Необходимое программное обеспечение имеется на сайте фирмы. Аналогичные отладочные платы и комплекты выпускаются и для остальных датчиков, рассмотренных в обзоре.

Широкая номенклатура и невысокая стоимость микроэлектронных датчиков состояния окружающей среды от STM делает их весьма привлекательными для широкого круга разработчиков РЭА. Более подробную техническую информацию можно найти на сайте фирмы www.st.com. Рассмотренные датчики, а также другие компоненты производства STM можно приобрести в ЗАО «Промэлектроника» (www.promelec.ru), являющемся официальным дистрибьютором STM на территории России. Компания «Промэлектроника» предоставляет информационные материалы, образцы, отладочные средства, а также квалифицированные консультации по техническим вопросам и по приобретению продукции компании STM.

Литература

1. Штрапенин Г. Интегральные датчики температуры и источники опорного напряжения National Semiconductor // Компоненты и технологии. 2007. № 11.
2. Юдин А. Новые акселерометры компании STMicroelectronics // Компоненты и технологии. 2009. № 2.