

# Мир МЭМС.

## Дальнейшая конвергенция датчиков движения и смежных технологий на массовых рынках

**В статье представлен обзор обновлений компонентной базы МЭМС-микросхем и модулей от ведущих производителей для массовых сегментов рынков, среди которых на общем фоне явно выделяются мультисенсорные решения. Параллельно представлено множество новых предложений на основе смежных технологий (магнитометры, компасы, микрофоны, датчики давления, расхода газа).**

Светлана СЫСОЕВА  
Dr.Gold@sysoeva.com

### Введение

Рынок МЭМС в последнее время характеризуется значительным ростом и повышением уровня развития технологий. Сфера потребительской электроники и портативных устройств отличается быстрым ростом, причем для портативных систем важны не столько характеристики, сколько миниатюрный размер компонента, малая потребляемая мощность и низкая системная цена (рис. 1). Аэрокосмические, военные и другие High-End применения заставляют уделять особое внимание высоким рабочим характеристикам устройства. Обширный рынок автомобильных применений МЭМС пережил в прошлом десятилетии несколько бумов — из-за легислации (принятия законодательных актов) систем развертывания подушек безопасности на основе акселерометров, обязательного введения систем TPMS и распространения недорогих МЭМС-датчиков давления в системах Powertrain. В связи с введением ESC, но не только — в связи с общим развитием и удешевлением технологий —

ожидается новая волна распространения МЭМС на массовом автомобильном рынке, чувствительном к цене устройств и прошлому экономическому кризису.

Все это отражается на обновлениях компонентной базы, разработке технологий корпусирования и новых материалов. Технология МЭМС идет к 3D-интеграции, но на этом пути имеется ярко выраженное ответвление в сторону CMOS MEMS интеграции, альтернатива которым — формат SiP. Большинство новых предложений — однокристалльные CMOS MEMS-типа.

Датчики движения превалируют абсолютно во всех сегментах, это самая высокообъемная и динамично развивающаяся технология. Акселерометры остаются самой развитой технологией МЭМС, но достижения STMicro и InvenSense в отношении коммерческих технологий гироскопов позволили Yole Development ([www.yole.fr](http://www.yole.fr)) высказать предположение, что уже в 2015 году произойдет полная синергия технологий акселерометров и гироскопов.

Большинство задач может быть решено посредством интегрирования 3-осевого акселерометра и 3-осевого гироскопа в одном корпусе. Но сегодня группа датчиков движения включает в себя не только акселерометры, гироскопы, блоки инерциальных измерений, но и магнитометры, компасы, микрофоны и другие компоненты. Тенденции развития датчиков движения объединяют повышение функциональности, характеристик датчиков, дальнейшую функциональную аппаратно-программную интеграцию. Эти тенденции распространяются на автономные или мультисенсорные компоненты на основе различных сенсорных комбинаций, разного уровня функциональной аппаратно-программной интеграции (комбодатчики, IMU, MCU, компасы, кластеры).

По данным IHS iSuppli ([www.isuppli.com](http://www.isuppli.com)), потребительский сегмент MEMS вырос в 2010 году на 27% и достиг \$1,6 млрд. Компания iSuppli определила уровень, ожидаемый в 2014 году, — \$3,7 млрд. По данным Yole, наблюдается рост рынка датчиков движения в сфере потребительской электроники с CAGR порядка 20,3%: от \$847 млн в 2009-м до \$2,56 млрд в 2015 году. Большинство новых предложений — это датчики движения, акселерометры, гироскопы, блоки инерциальных измерений. Их целевое применение — мобильные телефоны, планшеты, ноутбуки и другие устройства.

STM (в партнерстве с Honeywell), InvenSense, Kionix, Panasonic, Epson Toyocom, AKM, Freescale, Bosch — лидеры на рынке датчиков движения для потребительской электроники, но компаний, занятых в данной сфере, гораздо больше.

Конкуренция прослеживается в том, что компании предлагают не только дискретные 3-осевые акселерометры или 3-осевые гироскопы, но и различные сенсорные комбинации (датчики ускорения плюс гироскопы, гироскопы плюс электронные компасы) — на одном кристалле или в формате SiP, допуская переход от предложения датчика к системному решению с сенсорным слиянием.

Развитие технологий ярче всего проявляется на примере мультиосевых сенсорных блоков, в которых датчики инерции интегрированы между собой и с другими типами датчиков, выполняющими дополнительные функции (детектирование движения функции (магнитометры, компасы).

Компасы обособляются в отдельную сферу применения — для игр, хэндсетов, DSC. Лидер на рынке компасов — компания AKM (Asahi Kasei Microsystems). Исследования iSuppli показывают, что 97% производства цифровых компасов скон-



Рис. 1. Примеры современных мобильных устройств с МЭМС-компонентами:

а) Nexus-S Samsung — первый смартфон на основе новейшей платформы Google Android 2.3 GingerBread;  
б) Apple iPhone4

центрировано в Японии (АКМ). АКМ Semiconductor, Yamaha, Aichi Steel и Alps — четверка топ-поставщиков. Но ST, Freescale и другие компании выходят на этот рынок, поэтому расстановка сил меняется. Глобальный спрос увеличился в 2010 году до 263 млн единиц — с 58 млн в 2009-м (рост на 354%), а в 2015 году продажи достигнут 1,28 млрд единиц. IHS iSuppli ожидает, что рынок компасов вырастет с CAGR в 25% — от \$208 млн в 2010-м до \$638 млн в 2015 году.

Ориентирование по компасам — альтернатива GPS-навигации, в этих применениях компасы объединяются с акселерометрами и гироскопами для выполнения инерциальных измерений. Компасы также оказывают помощь в играх (обнаружение жестов), а в будущем возможно включение их в другие сенсорные кластеры.

Технологическая экспансия проявляется в том, что методы, схожие с теми, что необходимы для детектирования движения, используются для осуществления других функций. Например, в емкостных МЭМС-микрофонах перемещение мембраны позволяет обнаруживать звук аналогично тому, как по перемещению емкостных электродов детектируется ускорение.

По звуку можно обнаруживать удары — как и по ударному скорению, а детектирование перемещений можно заменить голосовым интентом. Согласно исследованиям iSuppli, ожидается, что рынок цифровых микрофонов достигнет 450 млн единиц в 2014 году со средним приростом до 40%.

Датчики движения — лидирующая технология не только на потребительском рынке, но и абсолютно во всех сегментах рынков, важнейшим из которых является сегмент IMU. Объем рынка IMU, по данным Yole, составил \$1,55 млрд в 2009 году, с доминированием в военной и аэрокосмической областях. Ежегодный рост этого рынка Yole оценивает в 9%, что позволит достичь \$2,6 млрд в 2015 году, но в аэрокосмической и военной сферах рост будет ограничен до 6,8% и 5,5%. Промышленные, коммерческие и оффшорные применения развиваются наиболее динамично: их рост составит 16,5%.

MEMS-датчики движения промышленного и тактического уровня исполнения — наиболее динамично развивающаяся технология. Yole предсказывает рост этого сегмента рынка от \$361,8 млн в 2009-м до \$604,6 млн в 2015 году для датчиков и сборок.

Для развития технологий и роста продаж автомобильных МЭМС сейчас особое значение имеет перемещение фокуса от пассивных систем в автомобильной безопасности к активным системам, направленным на предотвращение аварий. В период с 2011-го по 2020 год ожидается легисляция целого ряда таких систем, а первым шагом становится введение систем динамической стабилизации (Electronic Stability Control, ESC).

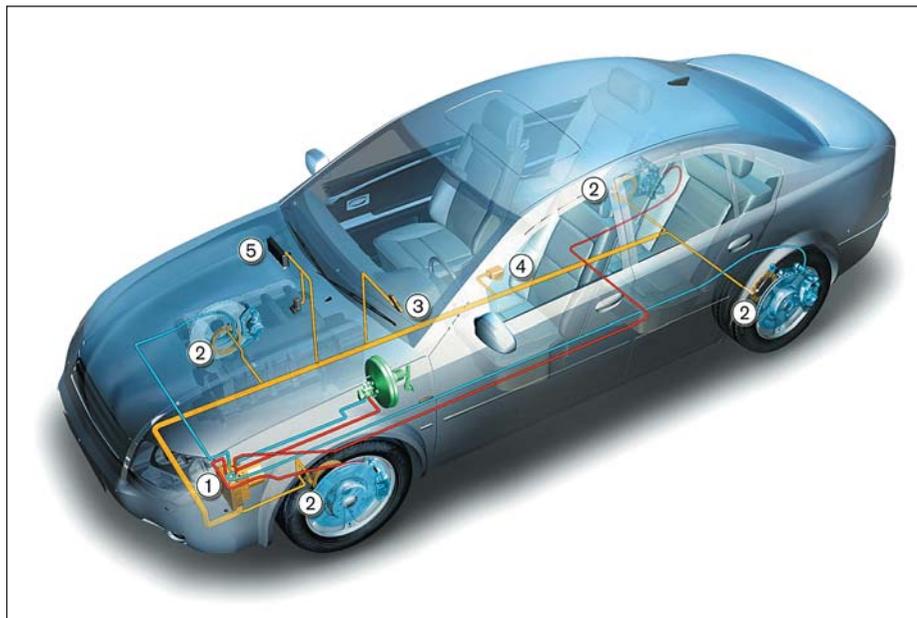


Рис. 2. Ключевые компоненты системы динамической стабилизации ESC (на примере ESP Bosch): 1 — ESP, гидравлический блок с интегрированным ECU; 2 — датчики скорости колеса; 3 — датчик угла поворота руля; 4 — датчик курса с интегрированным датчиком ускорения; 5 — ECU для управления двигателем и коммуникации

ESC помогает поддерживать контроль автомобилей посредством использования low-g 2-осевых датчиков для измерения бокового и продольного ускорения транспортного средства. В ситуации нестабильного вождения система посылает данные к автомобильному двигателю и тормозной системе для автоматической помощи водителю в поддержании контроля над автомобилем.

ESC стала дополнительной надстройкой над антиблокировочными системами ABS (ABS) и контроля сцепления (Traction Control System, TCS). Базовая функциональность состоит в стабилизации автомобиля при скольжении, что достигается индивидуальным приложением торможения к колесам и снижением крутящего момента двигателя. На поворотах и дорожных участках с низким трением ESC помогает снижать эффекты over-steering и under-steering (чрезмерной или недостаточной чувствительности к рулю на поворотах). Для осуществления функциональности ESC к системе ABS добавляются дополнительные датчики (рис. 2) — угла поворота руля (steering wheel angle sensor), курса (yaw rate sensor) и low-g акселерометр, измеряющий боковое ускорение автомобиля. Даже при потере контроля это ускорение — менее 1g, поэтому датчик должен иметь высокую чувствительность, точность, разрешение, низкий шум, низкое смещение и малый температурный дрейф. Кроме того, акселерометр должен быть устойчив к паразитным сигналам, для чего в датчик вводятся ФНЧ и механическое демпфирование на уровне датчика.

В системе ESC различные МЭМС-датчики устанавливаются близко к центру тяжести, и их задача — мониторинг динамики. Динамика зависит от типа автомобиля, до-

роги и погодных условий. Тенденция слияния пассивных и активных систем выводит на новый уровень интеграции мультиосевых компонентов, чаще всего yaw rate + low-g датчиков, рассчитанных на различные модульные конфигурации. Если раньше датчик курса с одно- или двухосевым датчиком ускорения интегрировались в макрокорпус, то в 2010 году дебютировали первые интегральные комбикорпуса.

Но это не все, использование low-g датчиков дает также возможность для интегрирования новых функциональных надстроек, например, помощи при старте на холме (Hill Start Assist) или электронной парковки тормозов (Electric Parking Brake, EPB).

Два из трех сенсорных сигналов обеспечивают информацию для ESP (угловая скорость курса и боковое ускорение). Оставшийся третий сенсорный сигнал двухосевого датчика, который измеряет ускорение или наклон в направлении пути, обычно ESP не используется. Разработчики могут использовать его для осуществления помощи при старте на холмах.

Например, для измерения наклона в системах электронного торможения (EPB) применяются акселерометры, но системы ESC также включают двухосевые акселерометры, которые могут поставлять требуемый сигнал для EPB. Сигнал продольного ускорения можно также использовать для сбережения топлива в автомобилях с автоматической трансмиссией. По сигналу от датчика, например, автомобиль автоматически переключается к топливосберегающей N-передаче. Поэтому слияние датчиков, которое происходит на основе существующих сенсорных сигналов, но с дополнительными алгорит-

мами для новых применений, — ключевая тенденция на автомобильном рынке.

Strategy Analytics находит, что в период с 2009-го по 2014 год системы безопасности станут наиболее растущим сегментом. Продажи активных систем, включая ESC, возрастут с 26 млн до 44 млн систем в 2014 году. iSuppli оценивает это как рыночную нишу для сбыта порядка 47,7 млн MEMS-акселерометров, 66% из них — автономные двухосевые low-g датчики.

По данным iSuppli, в 2010 году отмечен рост автомобильных МЭМС. Продажи автомобильных МЭМС-датчиков с CAGR 32,1% достигнут в 2010 году примерно 662,3 млн единиц (данные конца прошлого года) — на фоне того, что в 2009 году они составили 501,2 млн единиц, а в 2007 году — 640 млн. В 2011 году, по прогнозу iSuppli, продажи вырастут до 7,3%, с 2012-го по 2014 год — на 13%.

Продажи автомобильных МЭМС поддерживаются законодательными актами (ESC, TPMS) в США, странах ЕЭС, Австралии, Канаде, Южной Корее и Японии. Все новые автомобили до 4,5 т для продажи в США должны быть оборудованы ESC с 2012 года. Европейская Комиссия утвердила законодательство ESC для новых автомобилей с ноября 2014 года. Бразилия, Япония, Южная Корея также анонсировали введение ESC с 2012 года.

Эксперты iSuppli оценили, что только в Японии и Корее системы ESC и TPMS дадут автомобильным поставщикам MEMS в следующие 5 лет дополнительную прибыль порядка \$120 млн.

Электронное содержимое автомобилей низкого и среднего ценового класса в Китае составляет 50%, или меньше, чем в США и Европе, но проникновение датчиков увеличивается — прежде всего, в системы powertrain для снижения эмиссии CO<sub>2</sub>, за ними следуют датчики систем безопасности — дополнительных подушек и систем ESC.

Другие применения включают распространение датчиков ускорения или давления в системах защиты пассажиров, они же могут давать информацию старт-стоп системам и для других измерений.

Новые применения МЭМС дают поставщикам большие возможности для сбыта. iSupply находит, что наиболее обещающие новые автомобильные применения МЭМС включают использование датчиков газа для контроля качества воздуха в кабине, инфракрасные термопили для наблюдения температуры, микролометры систем ночного видения и осцилляторы для усиления камер заднего вида.

Аналитики iSuppli также считают, что другие ориентированные на потребительские системы поставщики МЭМС-компонентов выходят на автомобильный рынок. Так, STMicroelectronics представила high-g акселерометр. Но наиболее выдающиеся достижения STMicro относятся к потребительскому сектору сбыта МЭМС.

### STMicroelectronics: самые высокие объемы поставок МЭМС-датчиков

STMicroelectronics ([www.st.com](http://www.st.com)) на данный момент — самая популярная компания, занятая разработками и поставками МЭМС-акселерометров и гироскопов. Она же и самая доходная. 8-дюймовая производственная линия MEMS производит ежедневно 1,5 млн устройств. По данным iSuppli, продажи STM в сфере МЭМС потребительской электроники выросли в 2010 году на 63% и достигли \$353 млн, что вдвое больше, чем у ближайшего конкурента. После капитализации дизайна в Apple iPhone 4 и iPad компании STMicroelectronics и TriQuint в 2010 году достигли небывалого роста продаж МЭМС для потребительской электроники и мобильных устройств.

STMicroelectronics возглавляет топ 10 поставщиков по объемам продаж с ростом до-

ходности в 63,5% (хотя по росту STM занимает второе место после TriQuint). Доходность TriQuint увеличилась на 778,6%, достигнув в 2010 году \$74,7 млн для потребительских и мобильных МЭМС против \$8,5 млн в 2009 году, что вывело TriQuint с 16-го на 8 место в этом сегменте.

За последние несколько лет STM захватила примерно 50% рынка акселерометров и гироскопов для потребительской электроники и 21% других (автомобильных и промышленных) сегментов. За последние два года компания ввела порядка 40 моделей гироскопов, при этом рыночный сегмент этих устройств увеличился от 1% в 2009-м до 30% в 2010 году. Все гироскопы STM — 3-осевые, измерения выполняются посредством одной сенсорной структуры, в дизайне предусмотрена минимизация интерференции между осями.

STMicroelectronics недавно перешагнула отметку в 1 млрд MEMS-датчиков.

В предшествующие годы STM достигла значительного снижения цены акселерометров для потребительского рынка (менее \$1), а в 2011 году эта компания анонсирует high-g акселерометры AIS1xxxDS для автомобильных подушек безопасности (рис. 3а), с которыми производители автомобильных систем могут получить выигрыш в соотношении характеристики/цена/объемы (цена устройства — до \$3 при количестве свыше 1000 шт.). Назначение датчиков — детектирование замедления транспортного средства в течение аварии и формирование команд для управляющего блока.

Акселерометры STM дают возможность одноосевого детектирования в 5 полных диапазонах от  $\pm 20g$  до  $\pm 400g$ . Размещенный на том же кристалле, что и сенсорная ячейка, интерфейс формирует сигнал, передаваемый к микроконтроллеру через стандартный протокол DSI (Distributed System Interface). Диапазон рабочих температур high-g акселерометров — расширенный, от  $-40$  до  $+125$  °C. Квалифицированные согласно AEC-Q100

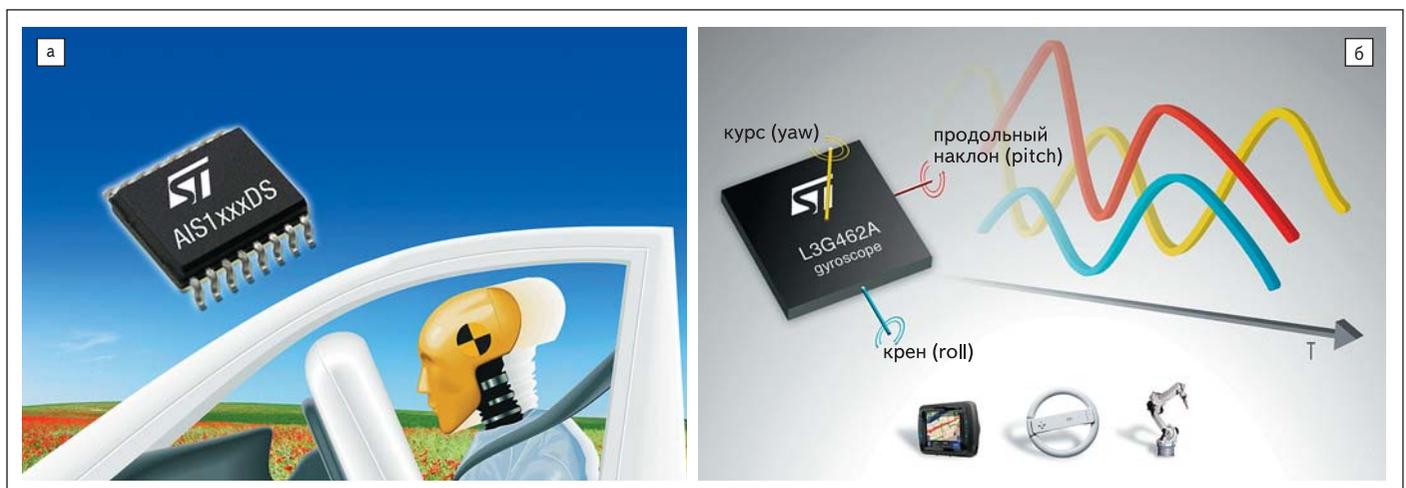


Рис. 3. Обновления компонентной базы МЭМС-датчиков инерции от STM:

а) первые high-g акселерометры AIS1xxxDS для автомобильных подушек безопасности; б) новый 3-осевой аналоговый гироскоп L3G462A с размерами 4×4×1 мм

устройства устойчивы к электромагнитным помехам. Электрическая часть выигрывает вследствие высокого уровня интеграции и контроля паразитных токов, реализованных с применением технологии SOI и процесса BCD (Bipolar-CMOS-DMOS).

В 2011 году STM расширила свое портфолио датчиков движения за счет 3-осевого аналогового гироскопа L3G462A. Его размеры — 4×4×1 мм (рис. 3б), что позволяет считать этот датчик самым малым в аналогичном классе на рынке. Преимущественные признаки устройства включают такие характеристики, как надежность, точность (контроль жестов) и интеллектуальное управление питанием.

В цифрах характеристики устройства следующие: полный диапазон угловой скорости — ±625 dps (°/с), чувствительность — ±0,017%/°С, температурная стабильность — ±0,04 dps/°С. На низком шумовом уровне (0,017 dps/√Гц) допускается точный контроль жестов и движений любых типов и скоростей. Аналоговый интерфейс — быстросрабатывающий, он отличается низкой латентностью, гибкость интерфейса достигается разнообразием опций внешней фильтрации.

### 9-осевое детектирование движения — новый формат обработки данных в потребительской электронике

Следующее поколение датчиков движения от STM символизирует iNEMO Engine — программный модуль, выполняющий слияние данных датчиков движения для интеллектуальных пользовательских устройств (рис. 4). Программный модуль интегрирует выходы 3-осевого акселерометра, 3-осевого гироскопа и 3-осевого магнитометра, корректирует и выводит сенсорную информацию в новом 9-осевом формате. Требования многих новых систем LBS, пешеходной навигации в многоэтажных помещениях, робототехнике, играх и т. д. — программная обработка данных от множества датчиков, высокая точность, разрешение, стабильность и время срабатывания.

В отличие от STM, InvenSense ([www.invensense.com](http://www.invensense.com)) — ведущий технологический лидер в производстве гироскопов и блоков инерциальных измерений для потребительского сегмента — уже реализовала 9-осевый формат слияния сенсорных данных не только на программном уровне, но и представила первую компактную аппаратно-программную реализацию слияния данных датчиков в 9-осевом формате.

Хотя интегрированные 3-осевые акселерометры с 2000 года применяются в потребительских электронных устройствах, 3-осевые гироскопы вследствие многих технических сложностей были введены InvenSense впервые в 2009 году (первый в мире гироскоп по цене до \$3). Но уже в начале 2010 года был представлен первый IMU-3000 — гироскоп,



Рис. 4. iNEMO Engine от STM — программный модуль, выполняющий 9-осевое слияние данных датчиков движения: 3-осевого акселерометра, 3-осевого гироскопа и 3-осевого магнитометра

интегрирующий входы акселерометра и датчик 6-осевого сенсорное решение.

А уже в конце прошлого года InvenSense анонсировала первый в мире микропроцессор Motionprocessor MPU-6000 с интегрированным 3-осевым акселерометром, 3-осевым гироскопом и 9-осевым слиянием данных от датчиков (рис. 5). Цифровой выход 6- или 9-осевого слияния — матрицы вращения, кватернионы, углы Эйлера, строковый формат данных.

InvenSense продала более 100 млн датчиков главным изготовителям электроники.

По данным iSuppli, рынок интегрированных множественных датчиков движения в повседневной электронике достигнет 1 млрд единиц в 2014 году.

MPU-6000 интегрирует на одном кремниевом кристалле в корпусе QFN с размерами 4×4×0,9 мм акселерометры, гироскопы и интеллектуальную функциональность Digital Motion Processor (DMP) для осуществления 9-осевого слияния датчиков без центрального процессора.

Функции обработки движения в смартфонах и другой портативной электронике могут включать точное определение дрожания руки для улучшения качества изображения, стабильности показа видео, навигации GPS и dead reckoning автомобилей, навигации пешеходов в здании, а также новые пользовательские и игровые интерфейсы. Но быстрое

принятие таких решений производителями мобильной электроники осложнялось тем, что требовалось достаточно много компонентов от различных поставщиков — с учетом обработки сигнала. Все это отражалось на цене и времени разработки.

Семейство MPU-6000 предназначено снять проблемы выбора и интегрирования различных датчиков движения, обработки сигнала, слияния данных и производственной калибровки. Алгоритмы 9-осевого слияния данных и осуществления функциональности инерциальной навигации dead reckoning в качестве внешнего устройства используют только магнитометр, подключение которого осуществляется через шину I<sup>2</sup>C. MPU-6000 поставляется в корпусе QFN, устройство по выводу совместимо с предшествующим семейством интегрированных 3-осевых гироскопов MPU-3000. Интеграция в систему и интерфейсы с процессорами осуществляются посредством шин I<sup>2</sup>C (порт для подключения цифрового выхода внешнего 3-осевого компаса) или SPI со стандартной библиотекой (Motion Processing Library, MPL) и API (рис. 3б). MPU-6050 практически идентичен MPU-6000, но поддерживает только I<sup>2</sup>C-коммуникацию на скорости до 400 кГц и имеет вывод VLOGIC, определяющий интерфейсные уровни напряжения, а MPU-6000, кроме I<sup>2</sup>C, поддерживает SPI на скорости до 20 МГц и имеет один вывод VDD, служа-

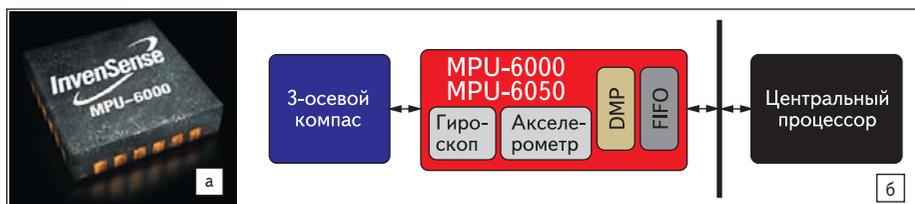


Рис. 5. Микропроцессор Motionprocessor MPU-6000 с интегрированным 3-осевым акселерометром, 3-осевым гироскопом и 9-осевым слиянием данных от датчиков: а) внешний вид; б) системная диаграмма

щий опорным для логического уровня и аналогового питания.

9-осевое сенсорное семейство со слиянием данных на основе DMP и MPL реализовано InvenSense на основе процесса Nasiri-Fabrication однокристалльной интеграции датчиков (CMOS MEMS-интеграция на уровне пластины) и благодаря гибкой производственной инфраструктуре с 8-дюймовой линией.

Полный диапазон гироскопа MPU-6000 ранжирован от  $\pm 250$  до  $\pm 2000$  dps, акселерометра — от  $\pm 2g$  до  $\pm 16g$ . Разрешение АЦП 16 бит и шумовые характеристики в  $0,005^\circ/c/\sqrt{Гц}$  дают высокое качество решения пользовательских задач — стабилизации изображений, наведения в играх. Чувствительность калибруется с точностью до  $\pm 1\%$ . Резонансная частота — 27 кГц, что делает MPU-6000 устойчивым к помехам на звуковых частотах 20–20 000 Гц. Другие признаки устройства включают программируемую цифровую фильтрацию, тактирование с 2%-ной точностью в диапазоне температур от  $-40$  до  $+85$  °С, встроенный датчик температуры, программируемые прерывания и потребление тока 5,5 мА.

В декабре 2010 года InvenSense также анонсировала первую библиотеку с 9-осевым слиянием сенсорных данных, предназначенную для телефонов Android 2.3 Gingerbread и другой электроники. 9-осевое детектирование означает слияние данных от 3-осевых гироскопов, акселерометров, магнитометров для новых API-интерфейсов Android Gingerbread (рис. 1а) — кватернионов, матриц вращения, линейного ускорения, гравитации. ПО MPL 3.2 является программной надстройкой для процессоров обработки движения MotionProcessor, которая позволяет подключить датчики непосредственно к аппаратной сенсорной части телефонов под названием Hardware Abstraction Layer (HAL), поставлять объединенные 9-осевые сенсорные данные к новым API, используя процессор MotionProcessor со встроенными алгоритмами.

Интеграция алгоритмов предназначена для ускорения цикла разработки смартфонов с 9-осевыми измерениями OEM. MPL включает следующие задачи: управление датчиком, калибровка смещения, слияние данных, обнаружение жестов. DMP снижает нагрузку процессора в применении до 10 раз и удаляет временные ограничения для доступа и обработки данных в смартфонах с рабочей частотой до 1 ГГц.

Представленная в апреле 2011 года SmartMotion 4.0, программная платформа от InvenSense, интегрирует 9-осевую машину для слияния датчиков MotionFusion Engine и библиотеки компасов от AKM и Aichi Steel.

SmartMotion 4.0 разработана для применения с семейством процессоров движения MPU-6000 MotionProcessor и машиной MotionFusion Engine, выполняющей 9-осевое



Рис. 6. MotionPod — беспроводной миниатюрный 9-осевой блок инерциальных измерений от Movea с 3-осевым акселерометром, 3-осевым гироскопом и 3-осевым магнитометром в полностью интегрированном корпусе

слияние сенсорных данных акселерометров, гироскопов и компасов. Так как компасы чувствительны к разрушающим магнитным полям, искажающим курсовую точность, InvenSense разработала адаптивные алгоритмы гироскопа для сброса магнитных полей. SmartMotion 4.0 также включает алгоритмы для быстрой калибровки компаса, смещения гироскопа и другие.

API поставляют для популярных мобильных операционных систем кватернионы, матрицы вращения, данные линейного ускорения и гравитации со слиянием данных.

Компания Movea ([www.movea.com](http://www.movea.com)) разработала на основе MEMS-датчиков беспроводной миниатюрный IMU для определения движения с 9 степенями свободы (рис. 6). Малый PCB-модуль MotionPod представляет собой запатентованное решение для детектирования движения, объединяющее 3-осевый акселерометр, 3-осевый гироскоп и 3-осевый магнитометр в полностью интегрированном корпусе с программным и беспроводным интерфейсом. Миниатюрный MotionPod разработан для фитнеса, игр, спорта. Один MotionPod может давать информацию о движении, вращении, скорости, ускорении, а несколько устройств MotionPod могут быть соединены в сеть и давать информацию из различных частей корпуса (тела). Размеры MotionPod —  $33 \times 22 \times 15$  мм, вес — 14 г. Каждый MotionPod имеет встроенный 2,4-Гц беспроводной трансмиттер,

работающий в диапазоне до 30 м с очень низким потреблением мощности (до 8 часов полезной работы). Данные MotionPod передаются беспроводным способом к ресиверу, подсоединенному через USB к компьютеру. До 32 MotionPod могут быть подключены к одному устройству MotionController.

Для разработчиков, системных интеграторов и OEM MotionPod поставляется в комплекте разработчика SmartMotion Development Kit (SMDK), с Windows API — для интегрирования и использования беспроводных мультидатчиков в их применениях, вместе с ПО MotionDevTool с интуитивным графическим интерфейсом.

### Магнитометры и компасы — новые компоненты для детектирования движения

Важнейшим обновлением 2011 года от Freescale ([www.freescale.com](http://www.freescale.com)) стал малогабаритный цифровой (I<sup>2</sup>C) 3-осевой магнитометр Xtrinsic MAG3110 с широким динамическим диапазоном и малым энергопотреблением (рис. 7). MAG3110 измеряет три компонента локального магнитного поля, являющегося результирующим геомагнитного поля и магнитного поля, создаваемого компонентами на печатной плате. Диапазон детектирования магнитных полей по каждой оси —  $\pm 1$  мТл со скоростью вывода данных (ODR) до 80 Гц.

Вместе с 3-осевым акселерометром по данным от магнитометра может быть получена курсовая информация об ориентации, выдаваемая через интерфейс I<sup>2</sup>C на 400 кГц. Эти выходные данные соответствуют интервалам сэмпинга от 12 мс до нескольких секунд. MAG3110 поставляется в пластиковом корпусе DFN ( $2 \times 2 \times 0,85$  мм) для работы в диапазоне температур  $-40 \dots +85$  °С.

MAG3110 — новинка на рынке, где, как уже было отмечено выше, с успехом работает компания AKM. S-cube — бренд-имя электронных компасов Asahi Kasei Microdevices Corporation (AKM) ([www.asahi-kasei.co.jp](http://www.asahi-kasei.co.jp)), объединяющее серии продуктов AK8973, AK8974, AK8975 и AK8976.

AK8973S представляет собой монокристалльный кремниевый 3-осевой геомагнитный датчик,

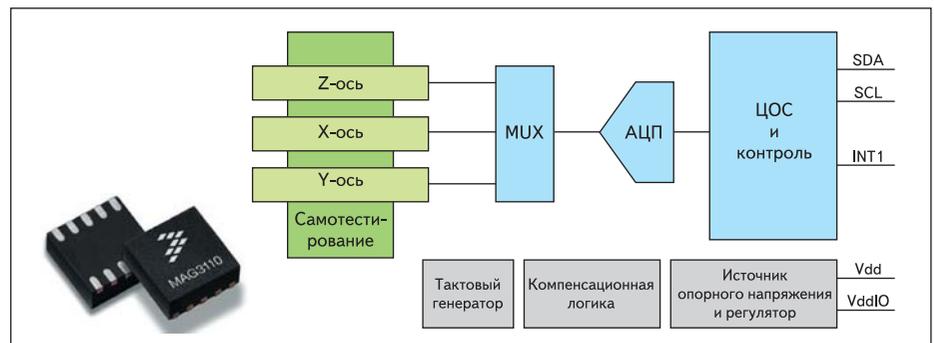


Рис. 7. Xtrinsic MAG3110 — новый магнитометр от Freescale для потребительского рынка

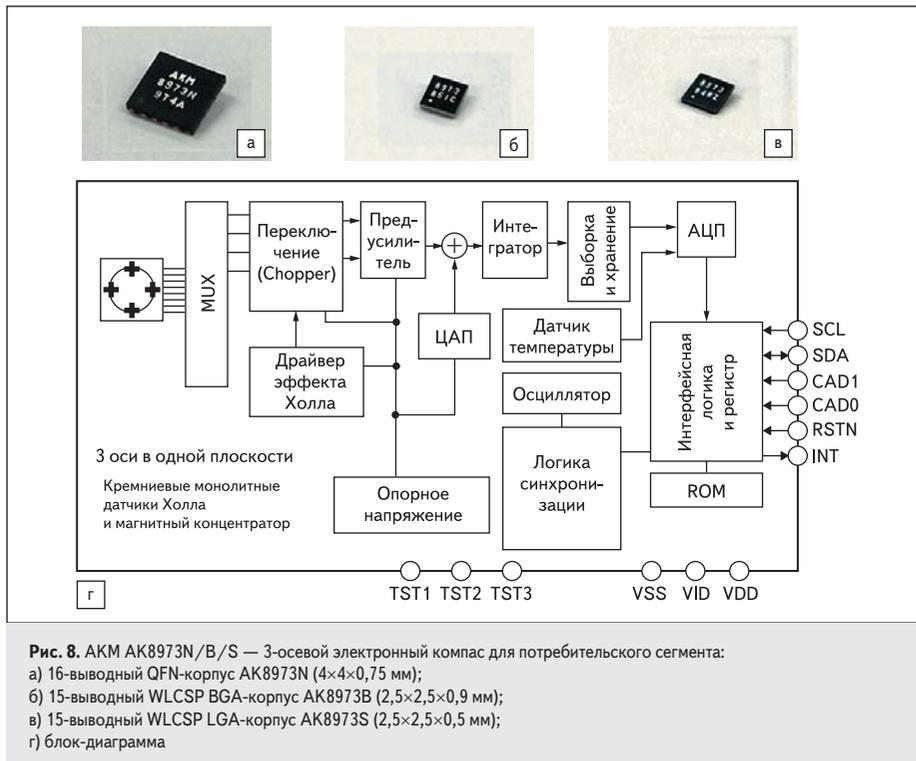


Рис. 8. АКМ AK8973N/B/S — 3-осевой электронный компас для потребительского сегмента:

- а) 16-выводный QFN-корпус AK8973N (4×4×0,75 мм);  
 б) 15-выводный WLCSP BGA-корпус AK8973B (2,5×2,5×0,9 мм);  
 в) 15-выводный WLCSP LGA-корпус AK8973S (2,5×2,5×0,5 мм);  
 г) блок-диаграмма

основанный на технологии эффекта Холла (рис. 8). Кремниевый кристалл закорпорован на уровне пластины. Размеры WLP LGA-корпуса AK8973S — 2,5×2,5×0,5 мм (рис. 8в), а 16-выводного QFN-корпуса AK8973N — 4×4×0,75 мм (рис. 8а). Измерительный диапазон — ±2000 мкТл.

Целевые применения AK8973S — системы навигации сотовых телефонов, персональные навигационные устройства, в игровых видеоконтроллерах.

Функциональность основана на автоматическом измерении 3-осевого магнитного датчика и температуры, которое контролирует секвенсор. Датчик включает 8-битный АЦП и ЦАП для компенсации смещения.

8-битный цифровой выход — через интерфейс I<sup>2</sup>C. Датчик поддерживает автоматическое выключение и другие функции (рис. 8г).

Измерительный диапазон AK8975B (это тоже 3-осевой датчик) составляет ±1200 мкТл. Выход — 13-битный с разрешением 0,3 Тл. Последовательные интерфейсы включают I<sup>2</sup>C (который может работать в стандартном или быстром режиме) и 4-проводной SPI.

Размеры AK8975 в 16-выводном корпусе QFN — 4×4×0,75 мм, а AK8975B в 14-выводном WL-CSP BGA — 2×2×0,6 мм.

STM имеет в своем портфолио и геомагнитные модули или компасы. Совсем недавно, в конце апреля, STM представила новей-

ший геомагнитный модуль LSM303DLHC в корпусе 3×5×1 мм с рабочим током потребления до 110 мкА (рис. 9). Снижение потребления тока — на 70% в сравнении с недавно анонсированным LSM303DLM, диапазон питающих напряжений — 2,16–3,6 В. Целевые применения — LBS, навигация пешеходов и ориентирование по дисплейным картам.

Модуль LSM303DLHC работает в диапазоне линейного ускорения до ±16g и в магнитных полях до ±0,8 мТл. По сравнению с устройствами, находящимися в производстве, увеличение магнитного разрешения — до 60%, снижение размера — до 40%. Дополнительные признаки включают 4D/6D детектирование ориентации и два программируемых сигнала прерывания, допускающих обнаружение движения, кликов/двойных кликов и других событий. Цена — \$2,1 в количестве свыше 100 000 штук.

#### Датчики давления и микрофоны — это датчики движения

STM расширила свое MEMS-портфолио датчиками давления и микрофонами. И те, и другие функционально и конструктивно схожи: датчики давления и микрофоны, как и емкостные (объемные) акселерометры, включают подвижные мембраны, движение которых в процессе детектирования моделирует внешние состояния и процессы — статическое или динамическое воздушное/звуковое давление, движение, удары, ускорения. Датчики ускорения/давления/звука не только взаимозаменяемы (так, удар можно детектировать и по ускорению, и по давлению, и по звуку), они могут выполнять непосредственные измерения и передавать данный сигнал для слияния с сигналами от других датчиков. Следующий пример показывает, что датчики давления теперь могут быть функционально классифицированы как датчики движения/навигации. Новый кремниевый МЭМС-датчик STM LPS001WP предназначен для точных измерений давления посредством потребительских устройств, чтобы те могли измерять атмосферное давление и/или идентифицировать точное месторасположение в 3D-измерении (рис. 10).

Оснащенные новым датчиком, смартфоны будут способны измерять высоту над уровнем моря в измерениях от 750 м ниже вершины Эвереста. Рабочий диапазон LPS001WP составляет 300–1100 мбар, граничные значения которого соответствуют атмосферному давлению –750 и +9000 м относительно уровня моря. Датчик детектирует изменения в 0,065 мбар, соответствующие 80 см высоты. Устройство производится с использованием собственной технологии STM — Vensens: монокристалльный кремниевый кристалл без соединения пластин.

Первые портативные устройства, оборудованные традиционными функциями GPS, способны идентифицировать положение устройства и осуществлять навигацию толь-



Рис. 9. Геомагнитный модуль LSM303DLHC от STM — датчик с меньшим потреблением мощности, меньших размеров, с более высоким разрешением

ко в двух измерениях. Добавление LPS001WP допускает 3D-идентификацию, причем возможно автоматически посылать звонок в пожарную, медицинскую службу или в полицию с указанием этажа.

МЭМС-микрофоны — это датчики звука, но они могут выступать как датчики ускорения, давления и движения. Функциональность пользовательского интерфейса, которую ранее выполняли датчики движения, может быть реализована посредством МЭМС-микрофонов: вместо ручек и кнопок, джойстиков можно использовать голосовой интерфейс. МЭМС-микрофоны способны обнаруживать любые звуки — от ударов до постукиваний. МЭМС-микрофоны — меньше, тоньше, легче, но при этом их функциональность выше, а возможности для снижения шумов, направленность и точность (fidelity) превосходят аналоги.

STM не так давно представила мало-мощный стереомикрофон ST MP45DT01, отличающийся высоким звуковым качеством и надежностью при снижении размера и стоимости (его цена — до \$1). Рынки сбыта включают сотовые телефоны, портативные медиаплееры, игры, цифровые камеры, системы безопасности, обучающие устройства, устройства помощи слуху. Стереомикрофон — оминаправленный, с хорошими шумовыми характеристиками. Большие возможности отмены шумов дает использование двух и более микрофонов в одном устройстве — благодаря малому форм-фактору МЭМС-микрофонов.

В конце апреля этого года портфолио микрофонов пополнилось еще двумя микрофонными устройствами — MP34DB01 и MP45DT02 (рис. 11), отражающими динамику работы производителя по снижению цены и повышению характеристик для тех же целевых рынков. Например, MP34DB01 характеризуется точкой акустической перегрузки в 120 дБ SPL, SNR в 62 дБ и чувствительностью –26 дБ и работает в температурном диапазоне –30...+85 °С, а MP45DT01 — SNR в 58 дБ.

Сенсорная технология, разработанная Omgon, отличается устойчивостью к вибра-

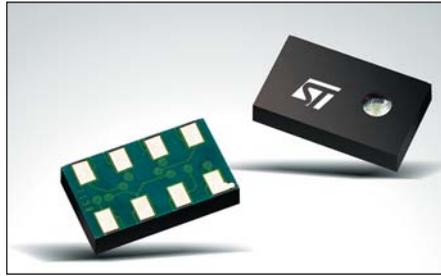


Рис. 10. Новый датчик давления LPS001WP от STM — компонент для осуществления 3D-навигации



Рис. 11. MP34DB01, MP45DT02 — микрофоны в семействе STM для потребительского сегмента

ции, температурным вариациям и электромагнитным помехам. STM может управлять цепочкой поставок, сокращать цикл разработки и время ее ввода, что позволило представить конкурентноспособные кремниевые акустические устройства. Развитая микрофонная технология лежит в основе игр с голосовым интерфейсом, автомобильных голосовых систем и акустических датчиков в промышленности, системах безопасности и медицине.

В начале 2011 года Analog Devices ([www.analog.com](http://www.analog.com)) также объявила о начале производства первого промышленного цифрового MEMS I<sup>2</sup>S (Inter-IC Sound) микрофона ADMP441 с 24-битными данными на выходе.

ADMP441 характеризуется расширенным частотным срабатыванием — от 100 Гц

до 15 кГц, SNR в 61 дБА, высоким PSRR (Power Supply Rejection Ratio) в 80 дБ FS и поставляется в корпусе 4,72×3,76×1 мм.

Новый цифровой микрофон AKU230 (рис. 12) Akustica ([www.akustica.com](http://www.akustica.com)) — самый малый из аналогов, имеющихся на рынке, включающий монолитное MEMS-устройство на кристалле площадью всего 0,7 мм<sup>2</sup>. AKU230 представляет уже 4-е поколение микрофонов Akustica. Это первый CMOS MEMS-микрофон, который производит Bosch.

Близкое сотрудничество разработчиков и производителей в составе Bosch позволило снизить размеры микрофонного кристалла, на котором размещены микрофонная мембрана, усилитель, сигма-дельта преобразователь, до 0,84×0,84 мм. Корпус AKU230 характеризуется фут-принтом в 3,76×4,72 мм и высотой 1,25 мм: он на 30% тоньше, чем предыдущее поколение цифровых микрофонов, поэтому больше подходит для встраивания.

Целевые рынки — ноутбуки, карманные компьютеры, нетбуки. AKU230 значительно меньше конкурирующих устройств, вдобавок это полностью интегрированное однокристалльное решение, разработанное для высокообъемных сборок камер-модулей, микрофонных массивов, других электронных платформ, поэтому потенциал его внедрения велик. Этому способствуют форм-фактор, соответствующие стандартам интерфейсы и характеристики.

Признаки AKU230:

- Чувствительность: –26 дБ FS ±2 дБ.
- SNR: 56 дБ.
- Power Supply Rejection: 57 дБ FS.

Согласованный контроль чувствительности и мультиплексирование данных стереомикрофонов рекомендованы для двойных микрофонных массивов, которые создают направленность и подавляют шумы для повышения качества звука. Микрофоны также устойчивы к ВЧ- и ЭМ-помехам.

AKU230 уже находится в массовом производстве и продается по цене \$1,3 в объемах от 10000.

Сильнейший игрок на микрофонном рынке — Knowles Acoustics ([www.knowles.com](http://www.knowles.com)) — сейчас вводит цифровой МЭМС-джойстик KMJ0401IC для изменения пользовательского взаимодействия с ручными портативными устройствами: навигации, скроллинга, игр. KMJ0401IC дает возможность пользователям осуществлять интуитивный интерфейс. Устройство ультрамаломощное, потребляет 40 мкА в активном режиме и 3 мкА в спящем. Компактный дизайн KMJ0401IC характеризуется размерами 9,8×9,8×1,6 мм, устройство объединяет полностью интегрированный АЦП с интерфейсом I<sup>2</sup>S.

Это классический датчик движения, для разработки которого были использованы технологические достижения Knowles в сфере микрофонов.

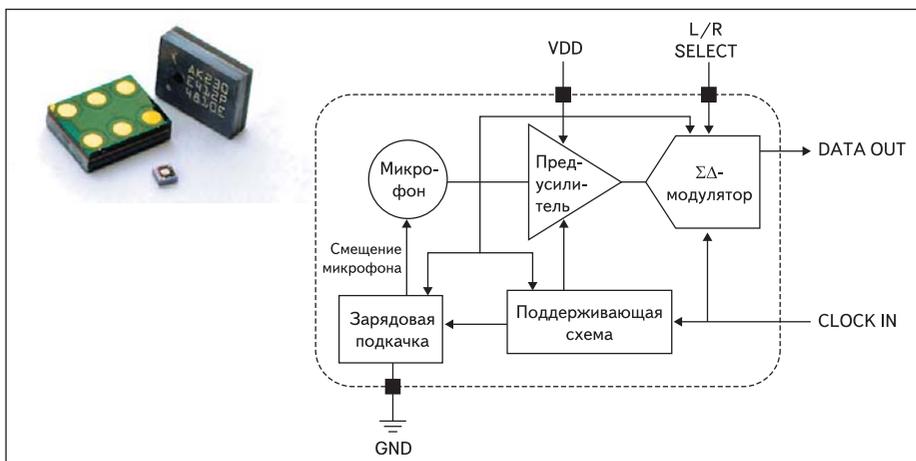


Рис. 12. Самый малый цифровой микрофон Akustica AKU230

## Новые предложения датчиков движения от автомобильных производителей

В 2011 году Bosch ([www.semiconductors.bosch.de](http://www.semiconductors.bosch.de)) представила первые в мире low-g датчики ускорения Bosch SMB431 и SMB433 для контроля колес с цифровым двухпроводным интерфейсом PSI5, который используется в системах подушек безопасности (рис. 13а). Системы контроля колес основаны на датчиках, отслеживающих динамику колес и корпуса. SMB431 отслеживают ускорения и разработаны специально для этого применения. SMB431 отслеживают вертикальное перемещение корпуса в диапазоне ускорений до  $\pm 1,6g$ , а SMB433 определяет вертикальное перемещение колес в диапазоне ускорений  $\pm 16g$ . Частота фильтра обоих датчиков программируется (30, 60, 120 или 240 Гц). Устройства поставляются в корпусах SOIC14n с базовой областью  $6 \times 8,6$  мм.

SMB431 и SMB433 сконфигурированы для использования в системах активной подвески, непрерывно регулирующей демпфирование (действие абсорбера ударов) относительно дорожных условий, что снижает перемещение корпуса. Для надежной записи z-перемещений корпуса, продольного и поперечного наклонов можно использовать три датчика SMB431 в сочетании с SMB433 для записи перемещений колеса.

Новые датчики предназначены сделать управление более безопасным и комфортным, снизить дистанцию торможения и опасность крена. Другие их применения — измерение наклона для контроля открытия магистрали (trunk-lid).

Важно отметить, что новые датчики — это часть MEMS-портфолио Bosch, включающего также датчики ускорения, давления, угловой скорости (yaw rate), крутящего момента, массового расхода воздуха. Bosch разрабатывает MEMS свыше 20 лет, имеет более 900 патентов.

Для контроля динамики автомобиля предлагаются двухосевой low-g датчик ускорения SMB225 ( $\pm 4,9g$ ) и датчик угловой скорости SMG074 ( $\pm 187^\circ/c$ ), отличающиеся устойчивостью к вибрации и низкими шумами. В портфолио Bosch также был представлен комбисенсор SMI540, объединяющий акселерометр и датчик угловой скорости в корпусе SOIC16x. Два из трех сенсорных сигнала SMI540 обеспечивают информацию для ESP (угловая скорость курса и боковое ускорение). Третий сенсорный сигнал обычно ESP не используется, но он рекомендован для осуществления помощи при старте на холмах или для сбережения топлива в автомобилях с автоматической трансмиссией.

Двухосевой датчик ускорения SMA560, представленный в конце 2010 года, разработан для систем подушек безопасности, он выполняет больше функций в меньшем пространстве и открывает 5-е поколение МЭМС Bosch (рис. 13б). Новая модель в корпусе SOIC8 вме-

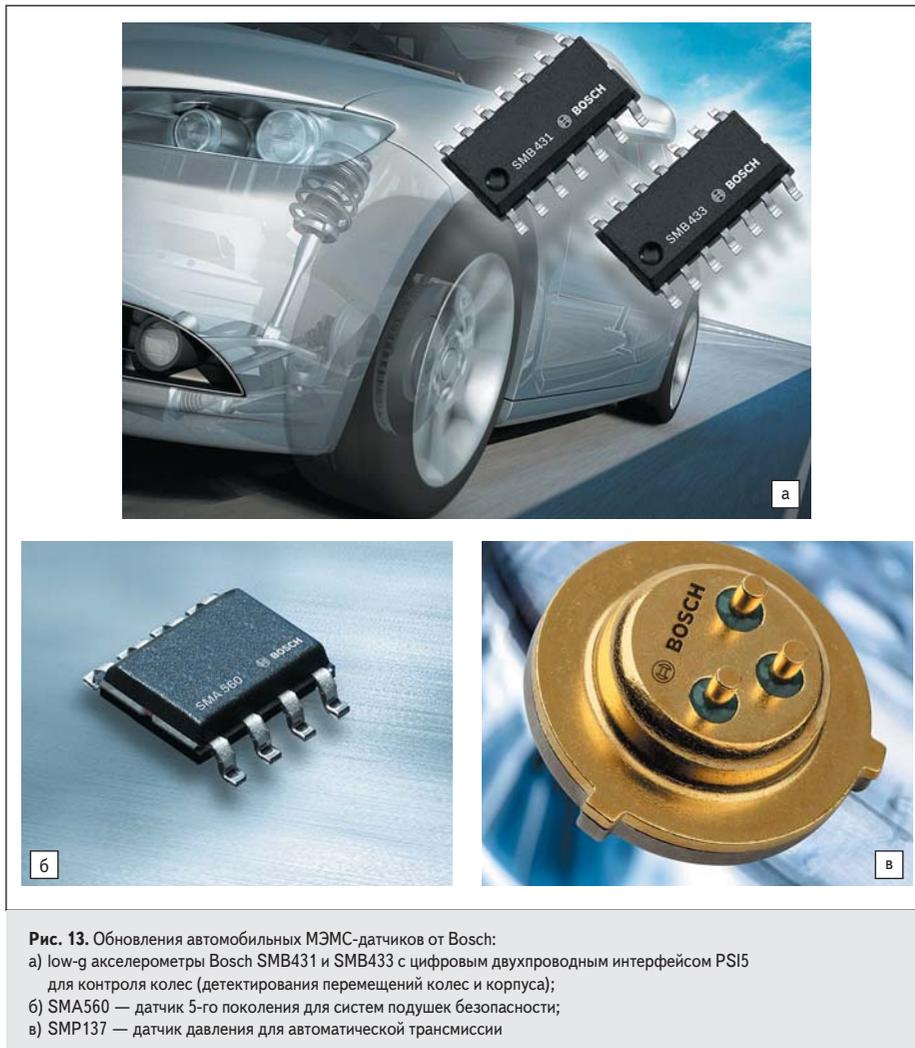


Рис. 13. Обновления автомобильных МЭМС-датчиков от Bosch:  
а) low-g акселерометры Bosch SMB431 и SMB433 с цифровым двухпроводным интерфейсом PSI5 для контроля колес (детектирования перемещений колес и корпуса);  
б) SMA560 — датчик 5-го поколения для систем подушек безопасности;  
в) SMP137 — датчик давления для автоматической трансмиссии

сто корпуса SOIC14n занимает на 40% меньше места. При этом функциональность датчика выше: можно назначить один из четырех измерительных диапазонов для каждой сенсорной оси независимо. Две сенсорные оси SMA560 позволяют использовать датчик для детектирования фронтальных и боковых ударов. Для различных сил замедления разработчики могут устанавливать измерительные диапазоны для двух осей ( $\pm 35g$ ,  $\pm 48g$ ,  $\pm 70g$ ,  $\pm 96g$ ). Выход датчика — Bosch-SPI или Open-SPI. SMA550 — датчик с теми же параметрами, но чувствительный к одной оси.

Датчик давления SMP137 (рис. 13в), также представленный во второй половине 2010 года, символизирует вход Bosch в сегмент рынка датчиков среднего давления (70 бар максимум). Серия Bosch SMP13x объединяет пьезорезистивные датчики диапазона 10–100 бар. До этого в портфолио компании имелись датчики низкого (до 10 бар) и высокого (140–2000 бар) давления. При этом корпус датчиков может противостоять давлениям выше 100 бар. Корпусирование датчика SMP137 (диаметр 19 мм, высота 10 мм) без второго уровня рассчитано на применение в автоматической трансмиссии для активации сцепления или в системах

кондиционирования воздуха. Электрические и гидравлические соединения расположены на противоположных поверхностях — важное требование для быстрой и легкой инсталляции. В больших объемах датчик будет выпускаться во второй половине 2011 года. За SMP137 в 2012 году последует модель SMP132, рассчитанная на 22 бар.

В конце 2010 года компания Freescale также расширила линейку сенсорных решений Xtrinsic, добавив в нее акселерометры MMA6900Q и MMA6901Q для систем ESC (рис. 14).

Акселерометры Xtrinsic MMA6900Q и MMA6901Q характеризуются широким динамическим диапазоном и высоким разрешением (шум менее 1 LSB), возможностью



Рис. 14. Новые акселерометры MMA6900Q и MMA6901Q для систем ESC от Freescale

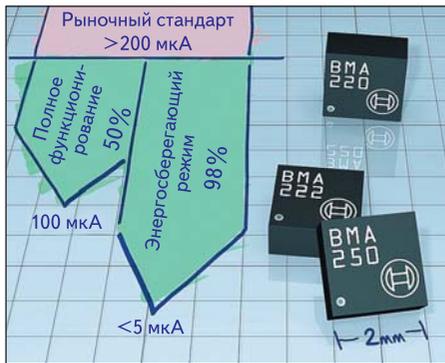


Рис. 15. BMA222 и BMA250 — малые датчики Bosch с фут-принтом 2×2 мм в корпусе LGA для потребительского сегмента

фильтрации паразитных ВЧ-вибраций благодаря технологии HARMEMS (с высоким аспектовым соотношением — HAR), разработанной для подушек безопасности. Высокий SNR достигается с сигнальной цепочкой DSP.

Следующие примеры — это тоже разработки автомобильных производителей, но для потребительского сегмента. Все это можно рассматривать как свидетельство, подтверждающее конвергенцию технологий, основанных на емкостном методе детектирования.

### Другие предложения датчиков движения — для потребительского, промышленного и медицинского сегментов

Дальнейшие разработки Bosch для потребительского сегмента ([www.bosch-sensortec.com](http://www.bosch-sensortec.com)) включают MEMS-датчики BMA222 и BMA250 с фут-принтом 2×2 мм в корпусе LGA для потребительских устройств. Они были представлены год спустя после первого датчика семейства BMA220 (рис. 15). Диапазоны измеряемых ускорений — от  $\pm 2g$  до  $\pm 16g$ . Датчики отличаются малым напряжением питания — от 1,62 В, а минимальное напряжение ввода/вывода составляет всего 1,2 В.

В конце 2010 года компания Kionix, Inc. ([www.kionix.com](http://www.kionix.com)) анонсировала портфолио новых МЭМС-продуктов для массовых потребительских рынков, включая три новых акселерометра, отличающихся малой мощностью, характеристиками в температурном диапазоне и программируемостью, и два первых гироскопа.

После приобретения ROHM компания Kionix расширила свои предложения клиентам для обнаружения движения, жестов, толчков (drop detection, performance monitoring, location awareness). Новые продукты поддерживают различные встроенные алгоритмы и ПО, осуществляя разные задачи.

Портфолио МЭМС-датчиков инерции Kionix нацелено на применение в потребительской электронике и мобильных хэнд-

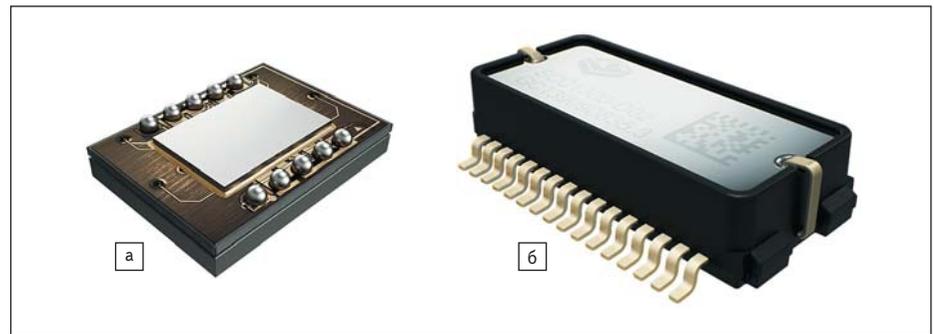


Рис. 16. Новые устройства VTI Technologies:

а) цифровой 3-осевой гироскоп CMR3000 в WLP-корпусе — в массовом производстве;

б) комбидатчик SCC1300 — устройство, использовавшееся в исследованиях по детектированию вращения Земли посредством МЭМС-гироскопов

сетах. По данным iSupply, этот рынок превысит \$3 млрд в 2014 году. МЭМС-датчики компании Kionix характеризуются интеллектуальностью, встроенными алгоритмами и ПО для распознавания одиночного и двойного клика в заданном направлении (Directional Tap/Double-Tap), направленного качания (Directional Shake), ориентации экрана и дизайнером жестов (Gesture Designer).

Трио новых акселерометров включает:

- KXTN9 — мультиплексированный аналоговый 3-осевой акселерометр;
- KXTG9 — цифровой (I<sup>2</sup>C/SPI) 3-осевой акселерометр;
- KXTI9 — цифровой (I<sup>2</sup>C) 3-осевой акселерометр.

Заявлено, что эти датчики устанавливают новые стандарты в отношении потребления мощности, характеристик, температуры, программируемости пользователем. Акселерометры заключены в 10-выводный LGA-корпус с размерами 3×3×0,9 мм.

На фоне предшествующего успеха с акселерометрами следующий логический шаг Kionix — гироскопы. Важным событием является то, что Kionix входит на рынок гироскопов для потребительских систем, представив два новых устройства — 2-осевой гироскоп KGY12 и 3-осевой KGY13.

Гироскопы Kionix помещены в корпус LGA с размерами 5×5×0,9 мм. Они характеризуются малым энергопотреблением и 16-битными цифровыми выходами (I<sup>2</sup>C, SPI) в измерительном диапазоне  $\pm 2048^\circ/\text{с}$ . Аналоговые выходы также доступны в избирательных (пользователем) диапазонах:  $\pm 256$ ,  $\pm 512$ ,  $\pm 1024$  и  $\pm 2048^\circ/\text{с}$ . Оба гироскопа поддерживают выбор пользователем частотной полосы, а в их состав входят встроенные датчики температуры.

Первый гироскоп был разработан Kionix еще в 2003 году, но новое поколение обладает высокими характеристиками, стабильностью смещения при изменении температуры, малым шумом и низкой потребляемой мощностью. По предварительным оценкам Yole, рынок потребительских гироскопов должен достичь \$1,04 млрд в 2014 году.

Потребительская электроника — один из самых быстрорастущих МЭМС-рынков. Согласно рыночным прогнозам iSupply, объем рынка 3-осевых гироскопов в текущем году — более 200 млн единиц.

VTI Technologies ([www.vti.fi](http://www.vti.fi)) также расширила свою продуктовую линейку с расчетом на захват потребительского рынка. Осенью 2010 года компания ввела цифровой 3-осевой гироскоп CMR3000 (рис. 16а), разработанный для пользовательского интерфейса и для игр.

Для соответствия игровым применениям измерительный диапазон устройства назначен в  $\pm 2000 \text{ dps}$  с выбираемыми частотными полосами. Для сотовых телефонов привлекательным является WLP-корпус устройства с размерами 3,1×4,2×0,8 мм, характеризующийся SPI- и I<sup>2</sup>C-интерфейсами.

После успешного введения устройства и положительной обратной связи со стороны рынка в текущем году VTI объявила о массовом выпуске своего малого и малоэнергопотребляющего гироскопа CMR3000 с 3-осевым выходом.

Согласно недавним исследованиям, VTI 3D MEMS-гироскопы отличаются высокой точностью — настолько, что могут детектировать и измерять вращение Земли. Это было продемонстрировано на примере комбинированного датчика SCC1300 (рис. 16б) и необходимо, в частности, для решения навигационных задач.

Компания SensorDynamics ([www.sensordynamics.cc](http://www.sensordynamics.cc)) достигла значительных высот в комбинировании датчиков движения (угловой скорости и ускорения) с ASIC в одном корпусе для высокообъемного производства интегрированных микродатчиков с функциональностью без сбоя. Применения включают системы электронной стабилизации, детектирование крена, системы навигации без поддержки GPS. SD746 (рис. 17) — датчик для промышленных и потребительских применений. IMSS (Inertial Microsensor Systems — название продуктовой линейки, куда входит SD746) от SensorDynamics сертифицированы согласно AEC-Q100.

Во второй половине 2010 года Analog Devices представила интегрированный ви-

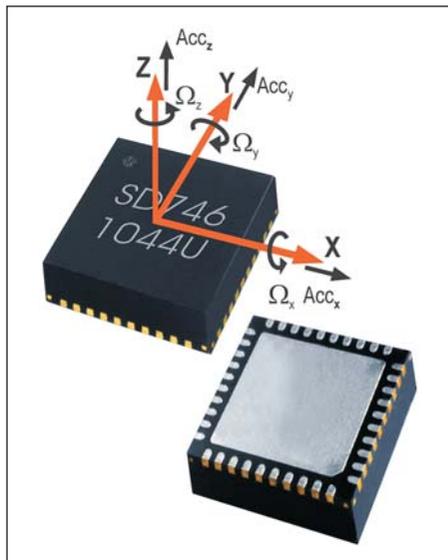


Рис. 17. SensorDynamics SD746 — комбидатчик (угловой скорости и ускорения) с 6 степенями свободы

брационный датчик ADIS16227 (рис. 18a) для встраивания в промышленные системы. Новое устройство — на основе 3-осевого МЭМС-сенсора с избирательными входными диапазонами, объединенными с технологиями преобразования и обработки данных на основе БПФ.

В конце 2010 года Analog Devices анонсировала доступность компактных МЭМС инерциальных измерительных блоков на основе гироскопов 3-го поколения с высокими рабочими характеристиками (рис. 18б). ADIS16334 с размерами 11×22×33 мм на 40% меньше предыдущего поколения IMU, ADIS16375 — IMU с самыми высокими рабочими характеристиками (стабильность гироскопа — 0,003°/с). ADIS16375 и ADIS16334 отличаются легкостью в использовании при работе в условиях вибрации, ударов и при высокой температуре.

Стабильность смещения гироскопа в 12°/ч и стабильность смещения акселерометра в 0,13 мг дают двукратное улучшение этой характеристики, что упрощает калмановскую фильтрацию и повышает точность.

Новые IMU ADI представляют собой высококалориванные линейные и угловые датчики, они рекомендованы для медицинских и промышленных инерциальных измерительных систем.

Также в начале 2011 года Analog Devices ввела три новых маломощных гироскопа с аналоговым выходом, которые специально созданы для работы в жестких условиях: ADXRS642, ADXRS646 и ADXRS649 (рис. 18в). Чувствительность к линейному ускорению — только 0,015°/с/g в сравнении с 0,1°/с/g для альтернативных МЭМС-гироскопов. Серия ADXRS64x отличается также быстрым временем включения (start-up) — 3 мс, в 10 раз более низким потреблением мощности/тока — 3,5 мА (альтернатив-

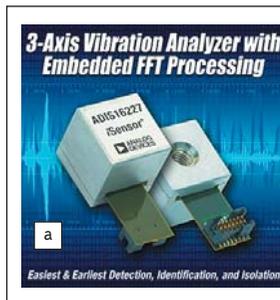


Рис. 18. Обновления МЭМС-датчиков движения от Analog Devices:

- а) интегрированный 3-осевой промышленный вибрационный датчик ADIS16227;  
 б) инерциальные измерительные блоки ADIS16375 и ADIS16334 на основе гироскопов 3-го поколения;  
 в) три новых маломощных гироскопа ADXRS64x с аналоговым выходом для работы в жестких условиях

ные МЭМС-гироскопы потребляют порядка 60 мА). Дифференциальная технология ADI quad-sensor минимизирует влияние ускорения и вибрации.

Измерительный диапазон ADXRS649 — самый высокий:  $\pm 20\,000^\circ/\text{с}$ . С добавлением внешнего резистора этот диапазон может быть расширен до  $\pm 50\,000^\circ/\text{с}$ . ADXRS646 и ADXRS642 детектируют диапазон до  $\pm 250^\circ/\text{с}$ . ADXRS646 отличается высокими рабочими характеристиками: полоса — 1 кГц, дрейф — 8°/ч, low-g чувствительность — 0,015°/с/g, ошибка VRE — 0,0001°/с/g<sup>2</sup>. Поэтому ADXRS646 рекомендуется для курсовых измерений и стабилизации платформ. В свою очередь ADXRS642 отличается высокой устойчивостью к вибрации и ударам.

Помимо продвижения собственных сенсорных МЭМС-решений, STM — лидирующий поставщик ИС для измерителей. Вместе с компанией Omron ([www.omron.com](http://www.omron.com)) — также мировым лидером, но с точки зрения технологий в сфере МЭМС, STM начала совместную работу над разработкой датчиков расхода газа. Эволюция датчиков расхода газа закономерно движется от механических решений (которых, по оценкам STM, в мире порядка 500 млн) к концепции электронного автоматического считывания (Automatic Meter Reading, AMR). МЭМС-компоненты — более точные, надежные и эффективные. Микротепловая технология Omron компенсирует вариации давления и температуры, встроенная схема разработана с возможностью учета различных газовых составов. Датчик устойчив к пыли. Устройство — интеллектуального уровня (smart).

Датчик расхода закреплен на печатной плате 7,2×8,6 см, включающей МК STM8L152, драйвер ЖК-дисплея, датчик температуры STLM20, акселерометр LIS332AR, схему тактирования M41T82, управления питанием и драйвер двигателя.

STM сотрудничает с Omron и в разработке микрофонов, а также со многими другими компаниями, разработавшими оригинальные МЭМС-технологии, в реализации которых становятся полезными маркетинговые достижения и производственные возможно-

сти STM по снижению цены за счет высокообъемного производства. Но это тема других публикаций.

## Заключение

В статье рассмотрены последние обновления продуктовых семейств ведущих производителей, но все они — это только часть обширного портфолио каждого из рыночных игроков. Обновления отражают общие рыночные тенденции, а также маркетинговую политику производителя с точки зрения его экспансии на различные рынки. Поэтому при выборе компонента для своей задачи имеет смысл провести детальный сравнительный анализ компонентов. В этом могут оказать помощь предшествующие публикации автора по данной теме [1–8], полный список которых выложен на сайте [www.sysoeva.com](http://www.sysoeva.com).

## Литература

1. Сысоева С. Датчики магнитного поля. Новые применения и технологии измерения движения и тока // Компоненты и технологии. 2011. № 3.
2. Сысоева С. Теоретические основы инерциальной навигации // Компоненты и технологии. 2011. № 2.
3. Сысоева С. Новые горизонты функциональной и системной интеграции датчиков механического движения // Компоненты и технологии. 2011. № 1.
4. Сысоева С. Введение в High-End сегменты применений MEMS-технологии. Части 1–3 // Компоненты и технологии. 2010. № 10–12.
5. Сысоева С. МЭМС-микрофоны // Компоненты и технологии. 2010. № 6–7.
6. Сысоева С. Новые мосты в дорожной карте эволюции МЭМС, 3D-ИС и нанотехнологий // Компоненты и технологии. 2010. № 7.
7. Сысоева С. Ключевые сегменты рынка МЭМС-компонентов. Инерциальные системы — от low-end до high-end сегментов // Компоненты и технологии. 2010. № 5.
8. Сысоева С. Ключевые сегменты рынка МЭМС-компонентов. Акселерометры // Компоненты и технологии. 2010. № 3.