

Актуальные технологии и применения датчиков автомобильных систем активной безопасности.

Часть 8. Батарейные датчики систем TPMS. Путь к высокоинтегрированным решениям

В восьмой части статьи подробно рассказывается о технологиях, роли датчиков и электроники для обработки и радиопередачи сигнала в системах контроля давления в шинах — TPMS (Tire Pressure Monitoring System), анализируется элементная база батарейных датчиков и электроники, предлагаемой для батарейных систем.

Светлана СЫСОЕВА
S.Sysoeva@mail.ru

Введение

Основным назначением систем TPMS (Tire Pressure Monitoring System) является предупреждение водителя о недокачанной шине в автомобилях, так как дорожная безопасность, срок службы шин, топливная эффективность автомобиля в значительной степени зависят от уровня давления в колесных шинах [154–160].

Системами TPMS в настоящее время оснащено значительное количество новых автомобилей, так как в США и Европе разработаны специальные стандарты и законодательные рекомендации для установки систем TPMS.

История массового применения TPMS для легковых автомобилей ведет отсчет с законодательного акта TREAD — The TREAD (Transportation Recall Enhancement, Accountability, and Documentation) Act, одобренного Конгрессом США в ноябре 2000-го. Согласно акту, в автомобилях должна существовать система проверки и сигнализации о ситуации, в которой одна или более шин значительно недокачана. В настоящее время в США действует федеральный стандарт Federal Motor Vehicle Safety Standard (FMVSS) № 138, разработанный Национальной Администрацией шоссе движения NHTSA, предписывающий обязательную установку систем TPM (Tire Pressure Monitoring) в новых автомобилях [154].

В первой редакции правила NHTSA Final Rule, принятые 5 июня 2002 г., регламентировали мониторинг недокачки всех шин более чем на 25%, более чем на 30% одной шины, а также предупреждение водителя о дан-

ной ситуации в течение 10 мин. Правила разрешали автопроизводителям устанавливать как системы прямого измерения давления в шинах, так и непрямого. Постепенное введение в действие правил осуществлялось в период с 31 октября 2003 г. до 1 ноября 2006 г.

Пересмотренные в апреле 2004 года правила NHTSA Final Rule регламентируют мониторинг недокачки любой из шин более чем на 25%, формирование предупреждающего сигнала в течение 20 мин, наличие индикатора состояния с дополнительным сбойным сигналом и применение только прямой системы измерения. Тестирование проводится на скоростях 50–100 км/ч [2]. Постепенное введение этих правил осуществлялось в период с 5 октября 2005 года и завершается 31 августа 2007 года, то есть в момент выхода статьи уже все новые автомобили США должны быть оборудованы TPMS.

В Европе параллельно разработан стандарт SAE J2567, в черновом варианте опубликованный в декабре 2004 года. Существует также международный стандарт ISO/FDIS 21750, опубликованный в марте 2006 года. Эти два стандарта поддерживают базовые требования FMVSS № 138, но охватывают спецификации TPMS более широко, чем FMVSS № 138, например, оба разрешают применение и прямых, и не прямых систем контроля давления. Стандарт SAE J2567 в общем виде соответствует FMVSS138, но процентное соотношение давления, по которому шина диагностируется как значительно недокачанная, не устанавливается, срабатывание регламентируется в течение 10 мин, минимальная скорость работы — на 24 км/час.

Стандарт ISO/FDIS 21750 наиболее широко охватывает спецификации TPMS, в частности, регламентируется точность порядка 2% полной шкалы в температурном диапазоне от 0 до 70 °С, минимальный срок службы порядка 6 лет/100 000 км, допускается мониторинг запасной шины. В стандарте отсутствуют требования для определения движения колеса, но тестирование выполняется на скоростях >25 км/ч, предупреждающий сигнал о давлении подается в течение 3 мин, предупреждение о сбое — в течение 10 мин.

TPMS должны также соответствовать требованиям Федеральной комиссии по связи — Federal Communications Commission (FCC) и Европейского Института Стандартов для коммуникаций — European Telecommunications Standards Institute (ETSI). Рабочие радиочастоты для TPMS и RKE (Remote Keyless Entry) выбираются в нелицензированных частотных диапазонах ISM 315–434 МГц и 868–930 МГц. Для TPMS, совмещаемых с RKE-ресивером, ожидается использование частот ISM 315 МГц для США и 434 МГц для Европы.

В странах Азиатско-Тихоокеанского региона пока нет подобных стандартов, но в Японии и Корее TPMS должны соответствовать стандартизированной радиочастоте — 434 МГц.

Ввиду рыночной ситуации автопроизводители всех стран стремятся опережающими темпами внедрять системы TPMS в свои новые автомобили, а производители автоэлектроники — разрабатывать все более конкурентоспособные «продвинутые» системы. Спецификации TPMS, разработанные такими ведущими производителями, как Siemens-VDO, EnTire Solutions LLC (совместное пред-

приятие TRW Automotive и Michelin), Schrader-Bridgeport (www.schrader-bridgeport.com) и других, перекрывают требования вышеназванных стандартов. Системы TPMS — это большой потенциальный рынок для сбыта датчиков давления, непосредственно выполняющих измерительные функции, и сопутствующих устройств, причем в связи с высокой конкурентной борьбой за рынок TPMS производители датчиков также предлагают все более эффективные технологические решения, обзор которых является основной целью данной статьи.

Прямые и не прямые системы измерения

В соответствии со стандартом FMVSS № 138 NHTSA предписывает использование так называемой прямой системы проверки давления шины, согласно которой четыре датчика или модуля прямого измерения давления, установленные в каждом колесе, периодически посылают радиосигналы к ресиверу, размещенному на приборной панели. Для таких систем TPMS обязательным требованием является также батарейное питание датчиков.

Компания Toyota, например, выбрала EnTire Solutions LLC (<http://www.entiresolution.com/>) в качестве основного поставщика систем прямого мониторинга TPMS автомобилей Sienna, выпускаемых с этого года. EnTire работает как совместное предприятие с TRW Automotive (<http://www.w.trwauto.com/>) и Michelin (<http://www.w.michelin-us.com/>), являясь также поставщиком TPMS для автомобилей Honda, Hyundai, Kia и Fiat.

Системы прямого мониторинга TPM от EnTire Solutions включают батарейный датчик давления, установленный на клапанном штоке в колесе (рис. 83). Датчик поставляет информацию о давлении и температуре для автомобильного ресивера в кабине посредством радиосигнала.

Сенсорная часть любой такой прямой системы TPMS представляет собой модуль, включающий датчик, электронику обработки сигнала, трансивер (трансмисмиттер, передающий радиосигнал давления, и ресивер — получатель команд от системы считывания на приборной панели), источник питания (обычно малая батарея), локализованные в узле каждой из четырех шин колеса.

Основные измерительные функции выполняет емкостной или пьезорезистивный MEMS датчик давления, дополняемый, как правило, датчиком температуры, а также, в расширенных версиях, датчиками движения (ускорения) и напряжения питания устройства. Важными требованиями к датчикам являются низкая цена (\$5–6 на модуль), срок службы батареи — свыше 10 лет, RFI/EMI-совместимость, высокая надежность в условиях повышенных температур, ударов, вибраций. Эти и другие параметры лежат в ос-



Рис. 83. Иллюстрация работы системы прямого мониторинга TPM от EnTire Solutions

нове сравнительного анализа модулей, представленных в настоящем обзоре.

Установленный в приборной панели считывающий блок информирует водителя о состоянии каждой шины. Для этого каждая прямая система TPM содержит высокочастотный RF-передатчик (UHF; 300 МГц – 1 ГГц), который передает информацию водителю на переднюю панель и микроконтроллер.

Система Pressure-on-Demand (PoD) представляет собой систему типа master/slave, которая в дополнение к прямому измерению включает встроенный LF-канал (125 кГц), пробуждающий сенсорный модуль с определенным рабочим циклом.

Существует также концепция Tire IQ — интеллектуальной системы контроля давления в шинах, предполагающей использование двунаправленной LF-коммуникации и безбатарейной работы датчиков.

Помимо прямой проверки давления существуют также косвенные методы, с помощью которых вычисляют давление шины с учетом других параметров, используя систему ABS, включая датчики скорости колес и (или) акселерометры, и локальный компьютер. Если давление в шине колеса становится низким, данное колесо будет вращаться быстрее, чем другие колеса, в связи с уменьшением его радиуса. Различия в скорости позволяют детектировать низкое давление, предупреждающий индикатор будет сигнализировать об этом водителю, но эти многопараметрические методы сложно реализуемы и требуют периодической калибровки. У не прямых систем есть преимущество — низкая цена, так как не требуются батарейные датчики и системы радиопередачи. Но они не могут определять давление шин перед стартом, диагностировать состояние запасной шины, двойных шин в одном узле, имеют ограничения

в скорости, ускорении и траектории движения, для них не существует понятие точности абсолютных измерений, и они способны детектировать «недокачку» только более 30%. Хотя такие системы разрабатываются — примером является Deflation Detection System (DDS) от Continental.

Зачем это нужно?

Результаты исследований, которые регулярно проводит Национальная Администрация Шоссейного Движения (NHTSA), показывают, что 27% пассажирских автомобилей и 32% грузовиков в США обычно содержат по крайней мере одну значительно недокачанную (на 25%) шину, 13% автомобилей и 20% грузовиков имеют две недокачанные шины, а 20% шин накачиваются на 40% ниже оптимального. Согласно NHTSA, ежегодно 79% смертей и 10 635 травм могли бы быть предотвращены, если бы все пассажирские автомобили и легкие грузовики были оборудованы системой TPMS.

Проверка предназначена не только для обнаружения спущенной шины. Давление шины непосредственно связано с автомобильной безопасностью [156, 159–160]. Недостаточное давление шины может привести к таким последствиям, как:

- снижение управляемости (ситуации under steering вследствие низкого давления передней шины и over steering вследствие низкого давления задней шины);
- значительное уменьшение срока службы шины вследствие перекачки или недокачки (отклонения в $0,4 \times 10^5$ Па¹ — на 20% более низком от оптимального давления — соответствуют потере 30% срока службы);

¹ $\times 10^5$ Па \approx 1 атм. или 1 бар

- недокачка на каждые $0,6 \times 10^5$ Па увеличивает потребление топлива примерно на 4%;
 - при снижении воздушного давления от 2,5 до 1 бар должно прикладываться сцепление примерно на 3% более и дополнительно на 30% более при снижении давления от 1 до 0,5 бар;
 - гидропланирование на мокрых участках (глубина воды >2 мм), более выраженное на высоких скоростях (выше 100 км/ч) — ухудшение приблизительно до 1,5 бар, затем улучшение — вследствие вдавливания протектора внутрь при номинальной нагрузке);
 - снижение на 0,5 бар дает увеличение в сопротивлении качению порядка 15%;
 - недокачка шины на 50% ($1,2 \times 10^5$ Па вместо $2,4 \times 10^5$ Па) на скоростях более 100 км/ч увеличивает расстояние торможения автомобилей с АБС до 10 м;
 - снижение на 0,5 бар дает ухудшение порядка 15 км/ч в максимальной достижимой скорости без сбоев при испытаниях на долговечность;
 - сопротивление столкновению с бордюром (снижение на 0,5 бар ведет к разрушению на сниженных на 20% скоростях по сравнению с обычными);
 - предельное значение для сбрасывания с обода лежит между рабочим давлением и 1–1,2 бар; для безопасности оно должно быть ниже;
 - шум протектора: отклонение в 1 бар от нормального давления (2–2,5 бар) ухудшает уровень шумов на 2 дБ(А) (66%);
 - отклонение в 0,2 бар от одной оси в автомобилях среднего класса является заметным;
 - некорректное давление шины мешает управлению подвеской.
- Многие ведущие производители представили на рынок свои разработки TPMS, различных компонентов и модулей для прямого измерения давления шин и беспроводных технологий радиопередачи сигнала.

Современное состояние датчиков контроля давления в шинах и сопутствующих устройств (для прямых систем)

Концепция 1:

максимальная интеграция электроники для обработки и передачи сигнала (микроконтроллер + RF-трансмиссивтер + LF-ресивер + датчики температуры + IP-функциональность управления питанием)

Стандартная архитектура системы TPMS состоит из:

- четырех колесных модулей измерения давления, каждый из которых включает:
 - датчик измерения давления (CMOS/MEMS);
 - датчик температуры;
 - блок формирования сигнала и идентификации шины (на основе микроконтроллера и EEPROM);

- трансмиттер, передающий радиосигнал (RF-диапазона) на приборную панель;
- RF-антенну;
- кристаллический (кварцевый) резонатор;
- батарею;
- ресивера в приборной панели;
- блока обработки сигнала в приборной панели.

Для стандартных TPMS могут использоваться любые, способные работать от батареи MEMS-датчики, рассчитанные на данный диапазон давления (для большинства легковых автомобилей нормальное давление — это 2–2,5 бар, диапазоны измеряемых давлений для грузовиков — до 1400 кПа). При этом схема обработки сигнала и RF-трансмиссивтер по отношению к сенсорному модулю могут быть и внешними. Для того чтобы обеспечивать частотный контроль трансмиттеров и ресиверов, применяются кристаллические (кварцевые) резонаторы, а RF-передачи выполняются посредством рамочной антенны. Все эти элементы формируют удаленный сенсорный модуль, обычно устанавливаемый на ободе колеса, в центре снижения или на клапанном штоке. В будущем не исключена возможность его монтажа непосредственно на шине.

Но необходимо учитывать, что MEMS-датчик давления, ASIC-схема и RF-трансмиссивтер должны работать в жестких условиях окружающей среды, включающей перепады температур с внешней стороны колеса от -40 до $+50$ °C и от -40 до $+125$ °C внутри шины (с частыми кратковременными перегревами до $+175$ °C и даже до $+900$ °C), удары, вибрацию, центробежные ускорения порядка 2500 g, загрязнения, влажность, электромагнитные помехи, интерференцию с TPMS соседних автомобилей и т. д. Требуемая точность измерения — порядка 8–10 кПа с разрешением в 1–2 кПа в стандартном диапазоне давлений шин легковых автомобилей до 450 кПа (с учетом перепадов температур, разряда батареи и других факторов, влияющих на измерения).

Чтобы рекомендовать датчик для колесных модулей TPMS, производители разрабатывают технологию производства MEMS-датчика давления еще на уровне микроэлектроники.

Два обычных метода, используемых для создания MEMS-ячеек — пьезорезистивный и емкостной.

Например, компания Kavlico разработала однокристалльный емкостной сенсорный элемент, производимый по технологии КМОП и совместимый с RF-трансмиссивтерами. Емкостная технология позволяет уменьшить энергопотребление, а интегрированный датчик температуры дает возможность осуществлять температурную компенсацию измерения давления. Датчик Kavlico работает при напряжении в 1,8 В, поэтому можно использовать индуктивную антенну и батарею.

MEMS-ячейка давления датчика SP30 Infineon (в связи с его более высоким уровнем

интеграции об этом датчике подробно рассказывается далее) выполнена на кремнии как вакуумная измерительная ячейка с диафрагмой, изгибаемой под действием давления, которое измеряется в мостовой пьезорезистивной схеме. Производство ячейки основано на методах объемной микромеханики, включающих процессы фотолитографии, ионной имплантации, жидкостного и сухого травления, анодного соединения в тройной стэк — для формирования вакуумной опорной камеры. Закорпусованное устройство рассчитано на встраивание в обод колеса.

Компания Freescale для своих датчиков TPMS использует технологию CMOS и емкостной метод измерения абсолютного давления с двумя *p*-ячейками — сенсорной и опорной (см. далее). Для защиты поверхностных MEMS-структур применяются гелевые покрытия или выборочная герметизация, как в MPXY8300. Емкостная технология помимо малого энергопотребления позволяет добиться высокой точности и интегрировать двухосевой акселерометр [156].

Сенсорный элемент подключается к ASIC, формирующей сигнал для его передачи посредством RF-трансмиссивтера — драйвера антенны.

ASIC часто включает датчик температуры, который используется для компенсации новых измерений давления с целью повышения точности, а также надежности работы TPMS, блокируя систему в случае резкого повышения температуры выше 125 °C. Косвенно повышенная температура также указывает на снижение давления и/или неисправность тормозной системы, вызывающей перегрев.

В PoD-системе для каждой шины дополнительно добавляется LF-канал опроса датчика, и, следовательно, в схеме приборной панели будут присутствовать LF-трансмиссивтеры и антенны, а в составе каждого из четырех сенсорных модулей с LF-ресивером включаются обмотки транспондера, например, производства EPCOS (www.epcos.com/transponder).

Опрос по требованию, причем с определенным рабочим циклом, позволяет повысить срок службы батареи. Для управления питанием также важно, чтобы система переходила в неактивный режим, если нет движения колес, для обнаружения которого в сенсорной части колес используется акселерометр. В активный режим датчик переходит при движении автомобиля и увеличивает скорость повторения для прочтений давления.

Энергосбережение — важный аспект конструирования колесного модуля TPMS, не предполагающего замену батареи в течение, как минимум, 10 лет. Для минимизации размера и веса сенсорного элемента размер батареи желательно уменьшать, но это ограничивает емкость батареи, срок ее службы и доступный уровень потребления тока. 10 лет, что равняется 87 600 часам работы дат-

чика и передатчика TPMS, к примеру, могут обеспечить батареи с емкостью 220 мА·ч, при непрерывном потреблении тока в среднем 2,5 мкА (пример взят из [161]).

Оптимизированный выход предполагает высокое качество сигнала, устойчивого к помехам, при этом срок службы батареи должен быть максимально продлен. Поскольку наибольшее потребление тока наблюдается в течение RF-передачи — примерно в пять раз выше, чем в режиме измерения давления, имеет смысл передавать сигналы не часто и использовать короткие и достаточно высокоскоростные передачи — то есть применять неактивный и активный режимы. В неактивном режиме непрерывно потребляет ток только RC-генератор для сторожевого таймера, который в среднем с учетом утечки составляет 400 нА, что за 10 лет службы может допустить использование тока порядка 2,8 мкА в активном режиме [161]. Для уменьшения помех производители стремятся сокращать время передачи и увеличивать скорости передачи данных в бодах (baud rates), осуществляя многократные передачи в нерегулярных интервалах. Siemens VDO для уменьшения помех дополнительно использует поглотитель вибрации в специальном корпусе, который прикрепляется к ободу колеса (пример взят из [157]). Но с более высокими скоростями передачи битов в короткий период времени возрастает вероятность ошибки, что требует повышения интеллектуальности передач.

Различные разработки электроники для TPMS представили, например, компании Atmel (ATA6285/6286 и другие), MAXIM (RF-ресивер MAX7042), AMI Semiconductor (RF-трансиверы серии AMIS-52000), NXP Philips (TPMS с PCH7970) [162].

Так, компания Atmel представила ИС для прямых батарейных TPMS с различной и достаточно высокой степенью интеграции. Линейка продукции включает RF-трансиверы, LF-трансиверы и ресиверы, предназначенные для работы с отдельными флэш-микроконтроллерами, также представленными в линейке, и высокоинтегрированные RF-трансиверы — флэш-микроконтроллеры: UHF-трансиверы на 315 и 433 МГц (ATA5756/5757), UHF-ресиверы для приборной панели (RKE/TPMS) на 433 и 315 МГц (ATA5745/ATA5746), UHF ASK/FSK трансиверы ATA5811/12, трансивер-драйвер LF-антенны ATA5276 на 125 кГц, LF-ресивер ATA5283, флэш-микроконтроллеры ATAM893 и ATAR890/2, ИС трансиверов на микроконтроллерной основе ATA6285/6286 на 315 и 433 МГц. Все ИС характеризуются малым энергопотреблением для повышения срока службы батареи.

Режим опроса и проверка битов в приборном модуле реализуются посредством ресиверов ATA5745/ATA5746 с очень быстрым переключением между TPMS и RKE и мультикристального модуля ATA6602 с интегрированным

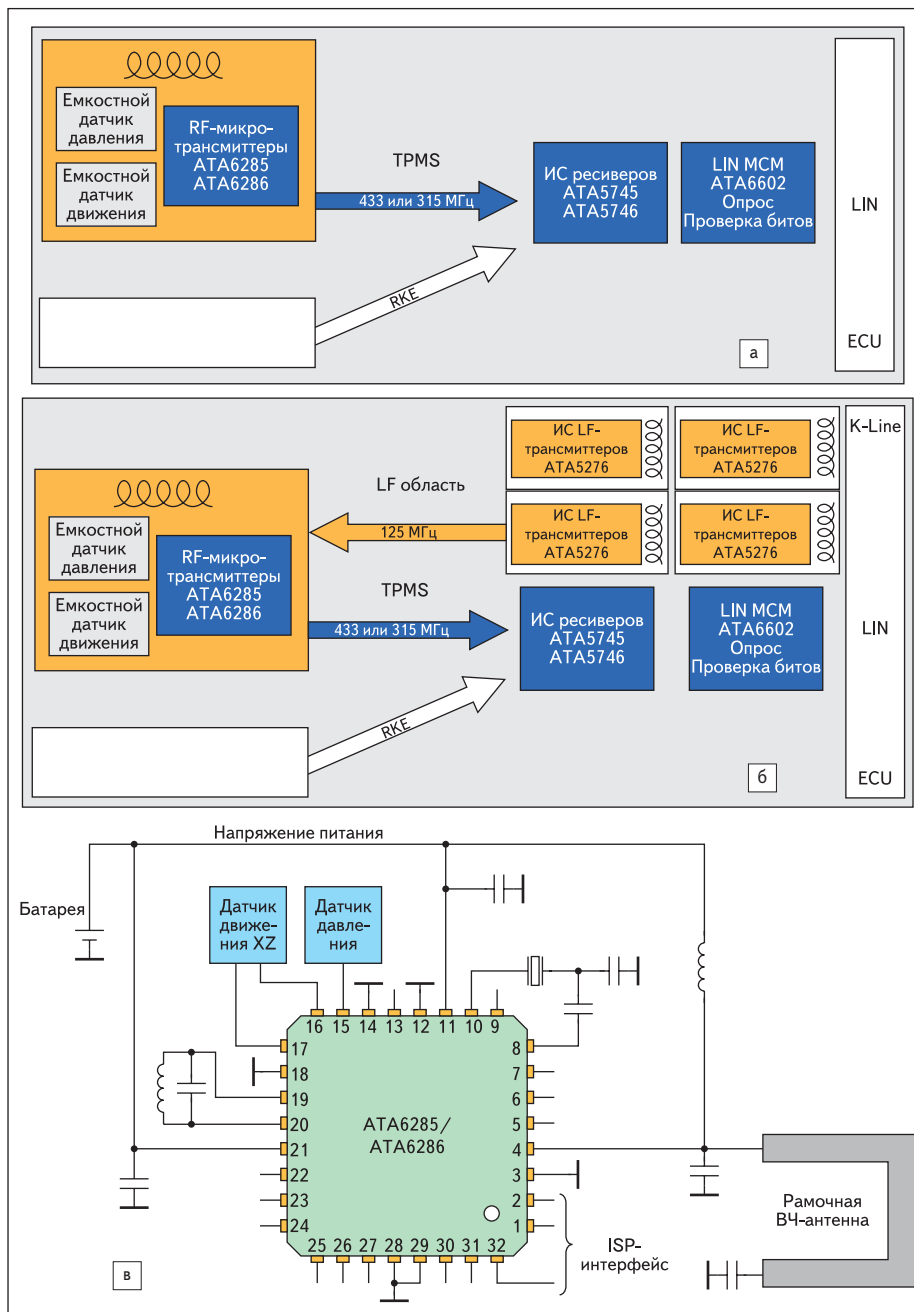


Рис. 84. Системы TPMS с ИС от Atmel: а) стандартная система TPMS с ИС от Atmel; б) PoD-система TPMS; в) детализированная система TPMS с микроконтроллерами ATA6285/ATA6286 (с частотами резонатора 13,56 МГц для 433 МГц (ATA6286) и 13,125 МГц для 315 МГц (ATA6285) (ISP — In-System-Programmable Flash Interface)

микроконтроллером AVR. Стандартная система TPMS с ИС от Atmel показана на рис. 84а, которая с дополнением LF-канала на 125 кГц и ИС трансиверов ATA5276 может быть преобразована в PoD-систему (рис. 84б).

Желательно, чтобы, по крайней мере, одна ASIC объединяла все интеллектуальные и RF-функции датчика. Поэтому для сенсорной части TPMS согласно концепции Atmel рекомендованы микроконтроллерные RF-трансиверы ATA6285/6286, с дополнительными внешними элементами колесного модуля TPMS, показанными на рис. 84в, включая в стандартной системе датчики, батарею, RF-антенну и резонатор. В PoD-системе для

каждой шины дополнительно добавляется LF-ресивер и обмотка транспондера. Степень интегрирования ИС ATA6285/6286 достаточно высокая (рис. 84г): в ИС включены RF-трансивер, LF-ресивер, микроконтроллер, датчик температуры и функции управления питанием.

Для сбережения питания Atmel Corp., как и другие фирмы, производят устройства, пробуждающие датчик сигналом на 125 кГц с определенным рабочим циклом. Это позволяет повысить срок службы батареи. Дизайн от Atmel (ATA6285/6286) включает wake-up-канал, микроконтроллер и различные RF-схемы, в том числе UHF ASK/FSK.

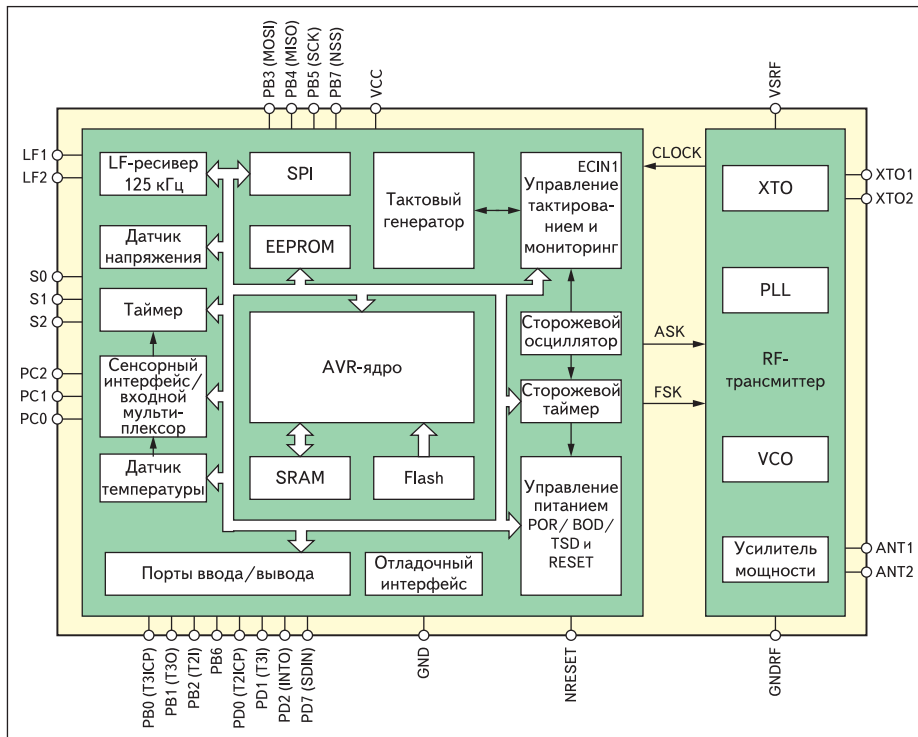


Рис. 84. Системы TPMS с ИС от Atmel: г) функциональная схема микроконтроллеров ATA6285/ATA6286

Philips Electronics (NXP) фокусирует свои проекты на аспектах обработки сигнала считывающей схемой. Предполагается, что считывание сигналов о давлении шин и RKE осуществляется посредством одного ресиверного блока в приборной панели. ИС семейства P2SC обеспечивает связь между HMI и сенсорным модулем шины, осуществляя LF-опрос и RF-возврат с информацией о состоянии каждой шины всякий раз перед стартом, обновляя эту информацию в процессе вождения. Если давление падает ниже установленной нормы, система автоматически сообщает об этом водителю. В управляющем блоке TPMS/RKE задействуются ИС PCF7951 и PCF7943/41.

Первым представителем семейства P2SC является PCH7970 (рис. 85) — однокристальное устройство для сбора данных и обработки сигнала для TPMS на основе маломощного 8-битного RISC ядра (MRKII) с несколькими портами ввода/вывода для контроля внешней схемы и 12-битным АЦП для снятия мостового сигнала с пьезорезистивного датчика давления. К устройству могут подсоединяться два мультиплексируемых датчика. В колесный модуль с PCH7970 включаются датчики давления, ускорения, батарея, резонатор и антенны. ИС включает 128 байт EEPROM, 128 байт RAM, 4 кбайт E-ROM, 4 байт ROM (для 32-битного ID). Монтаж чипа PCH7970 предполагается на обод колеса, что отражено в спецификации устройства (практически все ИС для TPMS рассчитаны на температуру -40...+125 °C). Встроенный датчик температуры используется для температурной компенсации пьезорезистивно-

го моста и контроля нежелательного перегрева шин (термоблокировка устройства).

Чип способен также детектировать малый заряд батареи. Срок службы ИС повышается за счет использования режимов power down с минимальным среднеквадратическим током и 3D-LF интерфейса для опроса типа wake-up с независимыми периодическими программируемыми временными интервалами от встроенного таймера.

Встроенный микроконтроллер с архитектурой одноуровневых прерываний и малым энергопотреблением функционирует на

400 мкА с токами в режиме ожидания 30 мкА и 200 нА в режиме power down. Последовательная передача данных осуществляется в пределах времени выполнения инструкции (0,5 мкс). Для тактирования применяется RC-генератор с программируемой системой работы на частотах до 2 МГц.

Уровень потребления тока, размер, надежность и цена являются важными характеристиками, которые стремятся обеспечить для колесных модулей TPMS компания AMI Semiconductor. Она разрабатывает и производит линейку беспроводных коммуникационных RF-решений для TPMS, совмещаемых с RKE-ресивером, на нелицензированных частотах ISM 315 МГц для США и 434 МГц для Европы. В разработках AMIS сделан акцент на повышение интеллектуальных свойств управления питанием.

Для сбережения мощности компаниями AMIS дополнительно разработаны схема "quick start crystal oscillator", представляющая собой схему настройки кристаллического резонатора с быстрым временем перехода к рабочей точке — 5–10 мкс вместо типичных для кварцевых резонаторов 5–10 мс, маломощные АЦП, маломощный режим AMIS sniff mode с малым временем wake-up, интеллектуальная схема, сокращающая число RF-передач. Надежность работы также повышается — за счет того, что в ИС интегрируются IP-блоки и такие компоненты, как нагрузочные конденсаторы, компоненты фильтра Phase-Locked Loop (PLL) и датчик температуры.

AMIS-52000 — это узкополосный маломощный однокристальный трансивер с модуляцией ASK/OOK (Amplitude Shift Keying/On-Off Shift Keying), предназначенный для работы на 433,92 МГц (260–700 МГц), работающий в полудуплексном режиме со скоростью передачи данных 1–19,2 кбит/с. В маломощном программируемом режиме sniff

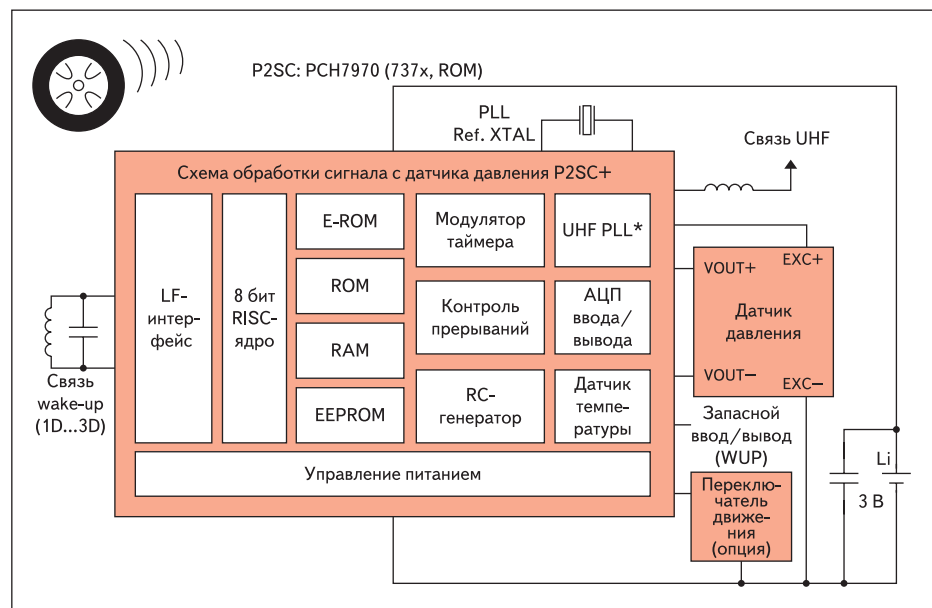


Рис. 85. ИС обработки сигнала на основе микроконтроллера PCH7970 семейства P2SC TPMS NXP

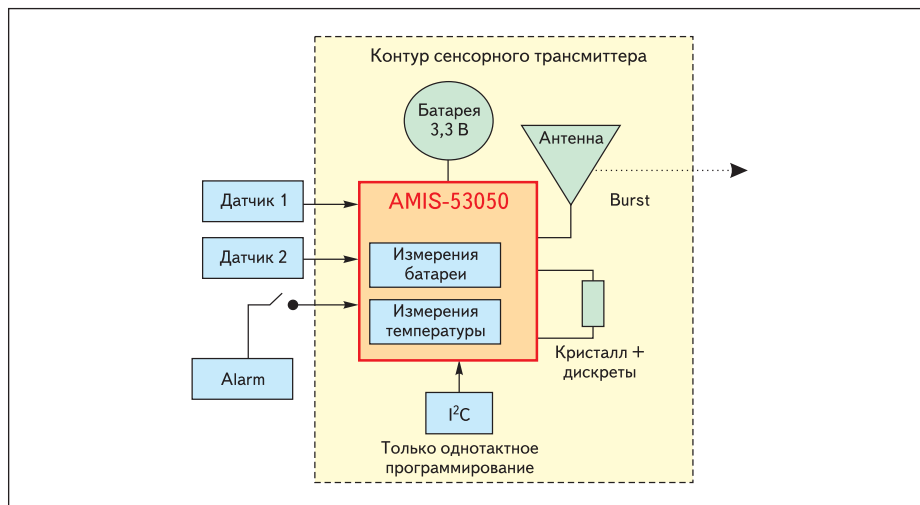


Рис. 86. Применение трансивера AMIS-53050 как автономного трансмиттера сенсорных данных в режиме Burst

mode на частотах 390–460 МГц AMIS-52000 время между опросами программируется — с целью продлить срок службы батареи. В ИС встраивается маломощный осциллятор. Для снижения проблем надежности передачи в AMIS-52000 используется двойная антенна, не требующая для функционирования внешнего микроконтроллера и RF-переключателя.

AMIS-52150 — недорогой и так же подходящий для TPMS трансивер на основе технологий модуляции ASK/OOK AMIS-52000 с восстановлением команд тактирования и данных, работающий в узком частотном диапазоне 350–448 МГц.

Для снижения цены TPMS за счет повышения интеллектуальности передачи AMIS использует 0,35-микронный процесс и технологию смешивания сигнала, допускающую добавление модуля EEPROM, но микроконтроллер для всех этих ИС предполагается внешний.

AMIS-53150 — новый быстрый трансивер для автомобильных (TPMS/RKE) и промышленных применений, работающий на частотах 300–960 МГц и поддерживающий модуляцию FSK/GFSK/OOK. Ключевым признаком, помимо многих общих с серией 52000, является возможность периодической отправки данных в режиме Burst mode (рис. 86).

В Burst-режиме возможна посылка до 4 параметров с указанием сбойного состояния для каждой передачи, причем устройство способно работать автономно, без помощи внешнего микроконтроллера. Программирование конфигурации Burst осуществляется в перепрограммируемой памяти; опции предполагают проверку циклического кода и адресацию устройства. AMIS-53050 может программироваться для пробуждения из режима Stand by, выполнять два независимых измерения и/или два внутренних измерения АЦП и потом передавать эту информацию по запрограммированному в чипе адресу. Внешний вывод может переключаться для

индикации тревожного состояния и ускорять преобразование данных и RF-передачу.

Дальнейшее развитие своих технологий с целью минимизации системной цены компания AMIS видит в интеграции MEMS-датчиков с ИС трансмиттера, но не в однокристалльном исполнении (так как MEMS-устройства занимают значительные объемы, хотя и не сложны в исполнении), а с добавочной CMOS ASIC (мультикристалльное исполнение позволяет снизить цену по сравнению с технологией смешивания сигнала).

Концепция 2: повышение степени интеграции датчиков

Характерно, что новые системы TPMS отличаются все большей функциональностью, интеллектуальностью и реализацией мультисенсорных и микросистемных технологий System-in-Package (SiP). По пути повышения степени интеграции колесных модулей, максимально объединяя измерительных и системных

функций идут практически все производители датчиков, что иллюстрируют примеры разработок компаний Bosch (SMD400), Infineon (SP12, SP12T, SP30/35), Freescale (MPXY8300).

Объединение MEMS-датчика и ряда ASIC-функций в одном интегральном корпусе осуществлено в датчике TPMS от MLX90603 Melexis.

Системные компоненты, которые в одном интегрированном корпусе включают сенсорный модуль TPMS, согласно концепции, разработанной Melexis, — это мостовой пьезорезистивный датчик давления на кремниевом чипе размером 1×1×0,5 мм, датчик температуры, ASIC, включающая LF-ресивер, Flash, RAM, ROM, EEPROM. Но Roll-датчик (акселерометр), RF-трансмиттер, LF-антенна, батарея, а также другие пассивные компоненты предполагаются внешние. Коммерчески доступный датчик давления в шинах MLX90603 осуществляет функции мониторинга давления, температуры и напряжения, ASIC включает 16-битное RISC-ядро, программируется в EEPROM и совмещается с большинством RKE-протоколов. Устройство устойчиво к ударам до 2000 g, рабочий температурный диапазон — -40...+125 °С.

Компания Melexis также выпускает и разработывает широкую линейку RFIC для работы на частотах от 27 до 950 МГц — трансмиттеры и ресиверы, трансиверы и клиентские ASIC для нелицензированных полос ISM 315–434 МГц и 868–930 МГц, в том числе для TPMS и RKE. Согласно заявлениям компании, в дальнейшем ожидается интегрирование акселерометра в корпусе контроля давления шин и развитие концепции устройств уровня System-in-Package.

Компания Bosch разработала двухкристалльные модули контроля давления шин серии SMD400 с беспроводными коммуникационными функциями, включающие сенсорный модуль и клиентскую ASIC (рис. 87).

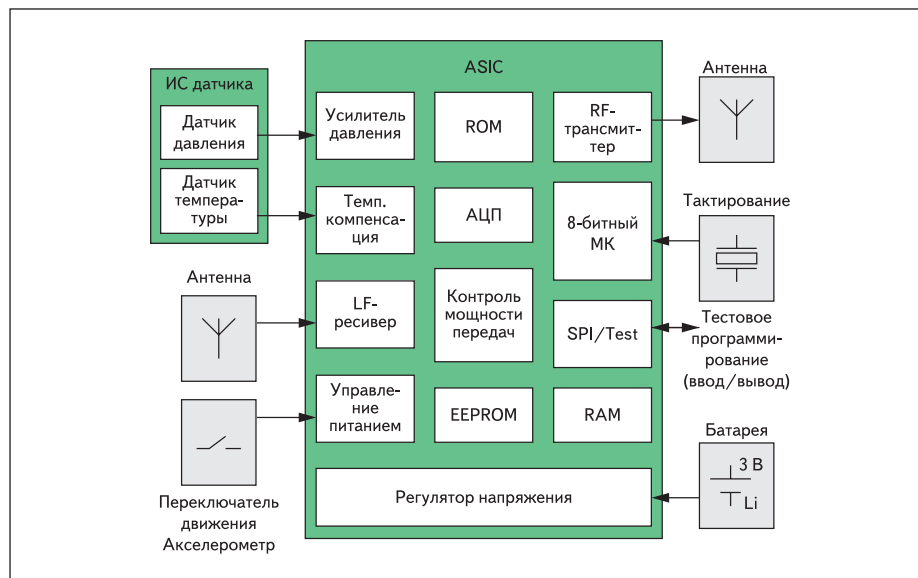


Рис. 87. Функциональная диаграмма интегрированных датчиков контроля давления в шинах серии SMD400 Bosch



Рис. 88. Высокоинтегрированные датчики контроля давления в шинах для TPMS от Infineon: а) датчик SP30 Infineon с интегрированным микроконтроллером, LF-ресивером и акселерометром; б) датчик SP35 Infineon с интегрированным микроконтроллером, LF-ресивером, акселерометром и RF-трансмиссером

Выходные данные сенсорной части датчика SMD400 — давление, температура, напряжение. Стандартный диапазон измерения давления модулей SMD410/420/430/440 — 1–627,5 кПа. SMD410T, разработанный для тяжелых грузовиков, измеряет давление в диапазоне 0,1–1,4 МПа. Принцип измерения давления — пьезорезистивный, с оцифровкой данных от датчиков посредством 12-битного АЦП.

Уровень интеграции устройства достаточно высокий. ASIC включает цифровое ядро с запрограммированными алгоритмами, RF-трансмиссер, LF-ресивер и выходную ступень для формирования цифрового SPI-интерфейса. Скомпенсированное с учетом температуры и диапазона значение давления вычисляется посредством запрограммированных алгоритмов и коэффициентов, хранящихся в памяти ASIC.

Для работы датчика требуется внешняя батарея, RF-антенна и кристаллический резонатор для тактирования встроенного в ASIC 8-битного микроконтроллера. Опционно в батарейный модуль может включаться датчик движения — roll switch (порт для его подключения доступен в SMD410/420 и SMD410T) или интегрированный акселерометр (SMD440) и LF-антенна.

Даже ранние датчики контроля давления в шинах SP12 от Infineon комбинируют в ASIC-корпусе не только кремниевый микромеханический датчик давления (100–450 кПа), интегрированный датчик температуры (–40...+125 °C), датчик напряжения питания (1,8–3,6 В), но и одноосевой акселерометр (12–115 g). Датчик SP12T, который сконструирован для тяжелых грузовиков, измеряет давление в диапазоне 50–1400 кПа, но отличается от SP12 отсутствием акселерометра. Датчики SP12 и SP12T включают мультиплексор сигналов со всех сенсорных ячеек (датчиков давления, температуры, ускорения, напряжения), АЦП, поддерживают возможность калибровки с OTPROM и формируют цифровой интерфейс SPI для коммуникации с внешним микроконтроллером максимальной частотой 500 кГц. SP12 и SP12T обеспечивают два специальных выхода — WAKEUP и RESET, которые могут использоваться для прерывания или сброса внешнего микроконтроллера. SP12 включает два осциллятора: маломощный для работы с частотами порядка 2,5 кГц и тактирования интервалов, и 2-мегагерцовый тактовый генератор для измерений и передачи данных.

Новые датчики Infineon выполняют практически все измерительные функции (давления, температуры, радиальной ускорения, напряжения питания батареи), рассчитаны на работу не только в жестких окружающих условиях, но и допускают высокие объемы массового производства TPMS, отличающихся низкой ценой.

Модуль SP30 Infineon (рис. 88а) представляет собой датчик давления уже третьего поколения, с различными диапазонами давлений, измеряемых сенсорным элементом — от 100 до 450/700/800/900/1400 кПа и более высокого уровня интеграции. SP30 допускает большую гибкость при его интегрировании в клиентские системы. ASIC SP30 интегрирует RISC-микроконтроллер для обработки данных от датчиков давления, температуры, ускорения, напряжения питания и для формирования протокола данных. Протокол передается через внешний UHF-трансмиссер (например, компанией рекомендуются TDK5100 или TDK5101). Устройство в малом печатном корпусе DSO14 приблизительно 104,5 мм², включает также входную интегрированную LF-ступень (для опроса датчика).

Модуль SP35 (рис. 88б) — еще более высокоинтегрированное сенсорное устройство TPMS, представляющее собой ИС в корпусе P-DSOSP-14-6, кроме датчиков давления, температуры, ускорения, напряжения, включающее встроенный микроконтроллер 8051, ASK LF-ресивер на 125 кГц и трансмиссер FSK/ASK на 315/434 МГц. Диапазон входного давления 100–450 кПа, измеряемого объемным MEMS-датчиком давления, причем точность измерения давления в диапазоне рабочих температур 0...+70 °C не превышает ±10 кПа.

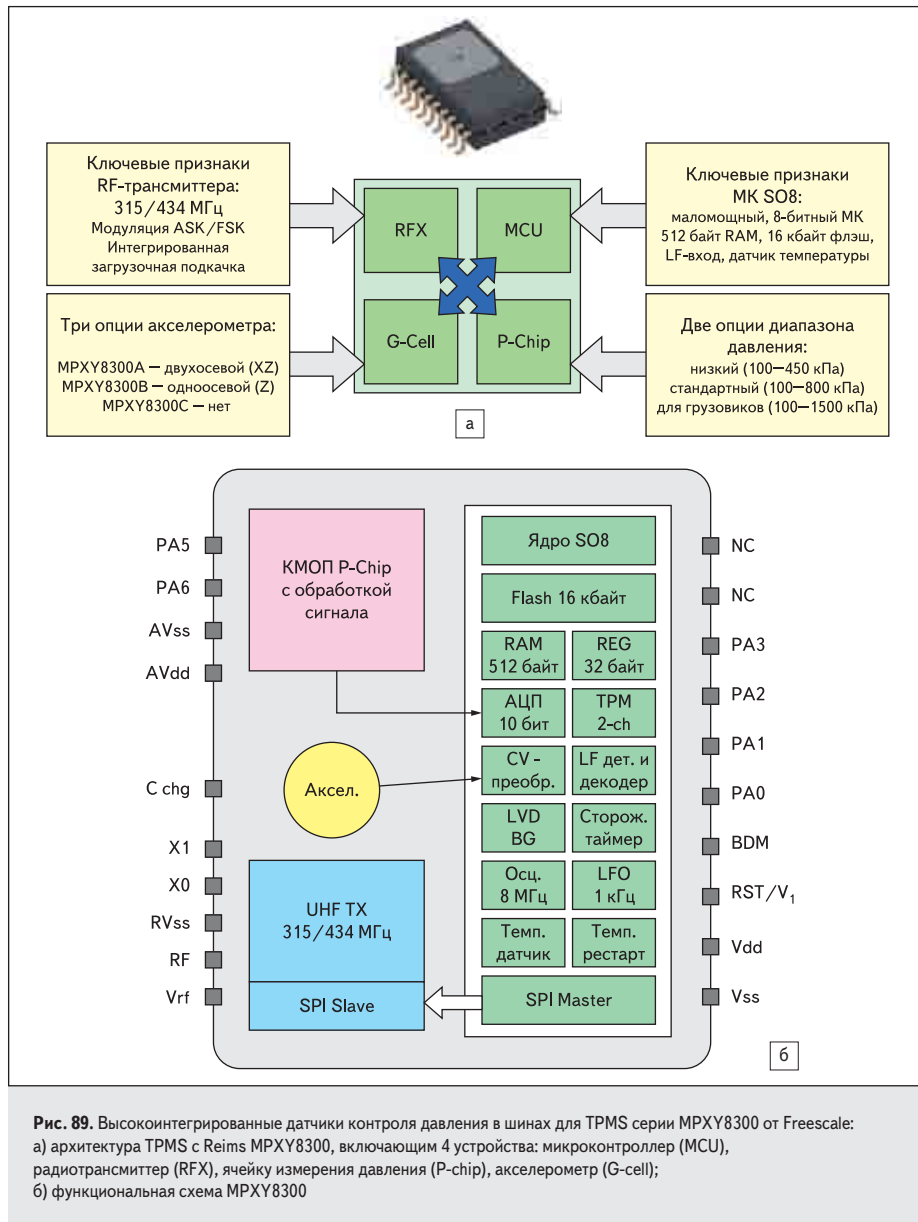
Кроме датчиков, микроконтроллера 8051, трансмиссера и ресивера основные функциональные признаки SP35 включают: наличие интегрированной флэш-памяти в 6 кбайт, 256 байт RAM, контроль питания/режим wake-up, выбираемая мощность 5 или 8 дБм.

Компания Freescale Semiconductor уже сегодня предлагает производителям максимально интегрированные датчики для колесных модулей TPMS новой серии MPXY8300 (рис. 89), ориентировочно коммерчески доступные в четвертом квартале 2007 года.

Ранее компания Freescale выпускала модули серии MPXY8000 (MPXY8020A, MPXY8040A, MPXY8021A) — интегральные однокристалльные цифровые датчики давлений в стандартных диапазонах 250–450 кПа (MPXY8020A) и 500–900 кПа (MPXY8040A). Эти датчики реализованы по стандартной КМОП-технологии и включают поверхностную микромеханическую ячейку измерения давления и EEPROM, а также датчик температуры и интерфейсную схему, размещенные на одном чипе. Устройства совместимы со многими технологиями Freescale RKE, но для их функционирования необходим внешний микроконтроллер.

В связи с повышающимися требованиями современного автомобильного инжиниринга компания Freescale Semiconductor уже представила на рынок автомобильных компонентов конкурентоспособную технологическую инновацию уровня System-in-Package, предназначенную для систем TPMS с ограниченным пространством и позволяющую также снижать системную цену [3]. Новая серия датчиков для TPMS MPXY8300 Freescale представляет собой высокоинтегрированное полупроводниковое мульткристалльное решение, которое в 20-выводном корпусе SOIC20WB включает следующие основные элементы (рис. 89а, б): емкостной поверхностный MEMS-датчик давления, интегрированный 8-битный микроконтроллер и RF-трансмиссер. 8-битный MCU снабжается памятью в 512 байт RAM и 8 кбайт Flash. Интегрированный RF-выход с PLL функционирует на частотах 315/434 МГц. Так же, как и его предшественники, устройство совместимо с существующими системами удаленного доступа (RKE).

К другим элементам и функциям датчиков серии MPXY8300 относятся встроенный датчик температуры, множественные схемы скорости передачи и модуляции, двухканальный LF-вход с детектором/декодером, блок измерения напряжения питания, акселерометр для определения движения колеса, выключение при перенагреве, маломощный сторожевой таймер для выхода из спящего режима wake-up timer и драйвер периодического сброса посредством LFO, адаптивное управление питанием для продления срока службы батареи TPM, а также уникальный дизайн фильтра для защиты сенсорного элемента от воды и химикатов.



Уровень системной интеграции, реализованной в датчиках серии MPXY8300, требует минимальное число внешних компонентов, что снижает системную цену и цикл разработки ТРМ. Для различных применений серия датчиков MPXY8300 программируется.

Диапазоны давлений, измеряемые датчиками серии 8000 в корпусе SSOP 8, ранжированы в пределах 50–637,5 кПа и 50–900 кПа. Диапазоны давлений, специфицируемые для датчиков серии 8300, определены в 100–450 кПа и 100–900 кПа, возможны и другие диапазоны по клиентскому требованию. Основное отличие серии 8300 от серии 8000 датчиков ТРМ то, что, за исключением датчика температуры, который в МРХ8000 также является встроенным, все остальные встроенные функции МРХ8300 при использовании МРХ8000 потребуют внешних компонентов: внешнего микроконтроллера (MCU RF2/QF4), совмещающего функциональность обработки

сигнала с датчиком напряжения, UHF-трансммиттера, внешнего LF-ресивера и декодера. МРХУ8300 — весьма конкурентоспособное решение и в сравнении с датчиками для TPMS других производителей.

Сравнительные технические данные датчиков приведены в таблице.

Концепция 3: батарейные или безбатарейные TPMS

Все системы, рассмотренные ранее, представляли собой батарейные. Различают три вида батарей для модулей TPMS — литиевые дисковые батареи, на основе диоксида литий-марганца (Li/MnO₂) и батареи на основе Li/CF_x. Емкость многих батарей составляет 500 мА·ч и более.

Типичные батарейки для датчиков представляют собой ячейку на основе диоксида литий-марганца (Li/MnO₂) — например, те, что производит Maxell Corporation of America CR2450-HR и CR2450HR-EX.

Безбатарейные системы первого типа предполагают использование передачи энергии для питания датчика, и при таком подходе опрос по требованию и идентификация шины являются стандартными функциями системы TPMS, но цена трансиверов на данный момент относительно высокая. Второй тип безбатарейных TPMS получает энергию от движения колеса, но сбор энергии — также более дорогостоящий метод по сравнению с использованием батареи, что подходит для автомобилей верхнего рыночного сегмента.

Разработаны следующие концепции:

- использования передачи LF-энергии для питания датчика, который, накопив энергию, делает измерения и передает RF-сигнал;
- поглощения энергии (использование для питания датчика энергии передаваемого колесным трансивером RF или LF-сигнала, при этом сенсорные данные модулируют передаваемый сигнал, и модуляция извлекается трансивером, причем цена трансиверов, устанавливаемых в шине, в будущем может быть ниже, чем у батареи);
- генераторов (электромагнитных, термоэлектрических, пьезоэлектрических).

Тем не менее, для потребителя цена эксплуатации батарейных TPMS может оказаться более высокой — в связи с заменой батарей или модулей, а безбатарейные TPMS в теории отличаются неограниченным сроком службы, что неизбежно приведет в будущем к снижению цены.

Безбатарейные TPMS разрабатывает и предлагает на автомобильный рынок SmartTire Systems Inc. (мониторинг давления, температуры, числа оборотов колеса). Пассивный датчик питается от антенны, что позволяет снизить вес, размер и цену, теоретически повысить срок службы и надежность устройства. Alps Electric Co. разработала безбатарейную TPMS, основываясь на технологии IQ-mobil GmbH. Беспроводное ВЧ-устройство от Alps включает трансивер и транспондер, который использует энергию сигнала трансивера для передачи данных от датчика давления и температуры.

Заключение

Безбатарейные решения востребованы в будущем, а в настоящем приоритет остается за высокоинтегрированными батарейными датчиками с ASIC-функциями, для которых важнейшими станут функции управления питанием и вопросы стандартизации (передачи данных, крепления, диагностики, эксплуатации). Согласно прогнозам Strategy Analytics, свыше 700 млн батарейных колесных датчиков будет продано в следующие 5 лет, вслед за чем можно ожидать переход и к безбатарейным системам.

Обзор, представленный в статье, показывает, что высокоинтегрированных датчиков на автомобильном рынке уже несколько,

Таблица. Сравнительные технические данные некоторых датчиков и сенсорных модулей систем TPMS

Датчик	Функциональное описание	Степень интеграции (кроме датчика давления)						Диапазон измеряемых давлений, Ю Па	Ошибка измерения давления, в диапазоне рабочих температур, кПа			Характеристики измерения ускорения			Ошибка измерения температуры	Напряжение питания, В	Ошибка измерения напряжения в диапазоне температур -40...125 °С	Корпусирование		
		Датчик температуры	Датчик ускорения	Микроконтроллер	Датчик напряжения	LF-ресивер	Трансмиттер		Другие элементы/признаки	-40...125 °С	50...70 °С	0...50 °С	Диапазон, g	Ошибка измерения чувствительности					Ошибка смещения	
SMD400 (SMD410/420/430/440; SMD410T) Bosch	Модуль мониторинга давления в шинах	Есть	Есть (SMD430)	Есть	Есть	Есть (125 ±3,75) кГц, опционно	Есть (SMD410T), 315/433 МГц (SMD410T), 315/433/868 МГц (SMD430/440)	См. блок-диаграмму	0,01–6,375 (SMD410/420/430/440) 1–14 (SMD410T) с разрешением в 1%											
SP12 Infineon	Датчик давления шины	Есть	Есть	Нет	Есть	Нет	Нет	Выходы WAKEUP и RESET	1,00–4,50 (с разрешением 1,37 кПа)	-17...40	± доп. информация в листе данных	±20	-12...115	±18,75% в диапазоне температур -40...90 °С	±12 г максимум в диапазоне температур -40...125 °С	±10 (в диапазоне температур -40...125 °С)	1,8–3,6	±100 мВ	14-выводный SOP	
SP30 Infineon	Датчик давления шины	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть	Нет		1,00–4,50 / 7,00 / 8,00 / 9,00 / 1,400	±17,5 (для диапазона давлений 100–450 кПа) ...±28 (для диапазона давлений 100–140 кПа)			-12...115	±18,75% в диапазоне температур -40...90 °С	±8,5 г максимум в диапазоне температур -40...90 °С	(-3...7) °С в диапазоне температур -20...125 °С	1,8–3,6	±100 мВ	DSO14	
SP35 Infineon	Датчик давления шины	Есть	Есть	Есть (8051)	Есть	Есть	Есть	LF 125 кГц ASK FSK / ASK 315 / 434 МГц	1,00–4,50	±17,5	±9	±7	-12...115 в диапазоне температур -40...125 °С	±18,75% в диапазоне температур -40...90 °С	±12 г максимум в диапазоне температур 90...125 °С	±5 °С в диапазоне температур -40...125 °С	1,9–3,6	±100 мВ	P-DSOSP-14-6	
MLX90603 Melexis	Датчик давления шины	Есть	Нет	Есть	Есть	Есть	Нет	FLASH, RAM, ROM, EEPROM	от 1,00–4,50 до 1,00–1,500	1%						±5 °С (в диапазоне температур -40...125 °С)	1,8–3,6	±100 мВ	SO16	
MPXY8020A / MPXY8040A Freescale	Датчики для мониторинга давления шин	Есть	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Интерфейсная схема, режим wake-up; уникальный дизайн фильтра для защиты носителя, доп. информация в листах данных	2,50–4,50 (0,50–6,375 максимум (MPXY8020A) и MPXY8021A) и 5,00–9,00 (MPXY8040A)							±4 °С	2,1–3,6	±100 мВ	SSOP8	
MPXY8300 Freescale	Датчики для мониторинга давления шин	Есть	Есть (включая двухосевый Z в MPXY8300A, одноосевый Z в MPXY8300B, MPXY8300C — версия без акселерометра)	Есть (8-битный МК с 512 байт RAM и 8 кбайт Flash)	Есть	Есть (двухканальный вход с детектором / декодером)	Есть (PLL 315/434 МГц ASK / FSK)	Множественные схемы скорости передачи и модуляции, блок измерения напряжения питания, акселерометр для определения движения колеса, выключение при перегреве, маломощный сторожевой таймер для выхода из спящего режима wake-up timer, драйвер периодического сброса посредством LFO, адаптивное управление питанием для продления срока службы батареи TRM, уникальный дизайн фильтра для защиты от носителей	1,00–4,50 (малый диапазон MPXY8300S), 1,00–8,00 (стандартный MPXY8300), 1,00–15,00 (для грузовиков MPXY8320), ±16,8 кПа (MPXY8300S), ±24 кПа (MPXY8300), ±48 кПа (MPXY8320)								±3 °С (-20...70 °С), ±5 °С (-40...20 °С и 70...125 °С)	2,1–3,6	±100 мВ	SOIC20WB

*— Данные не специфицируются производителем / нет данных

среди которых серия сенсорных устройств MPXY8300 Freescale для TPMS предлагает широчайший спектр признаков, востребованных и в батарейных, и в безбатарейных системах.

Литература

154. Tire Pressure Monitoring System FMVSS No. 138.
155. [ht tp://w ww.nhtsa.dot.gov/cars/rules/rulings/TirePresFinal/TPMSfinalrule.pdf](http://www.nhtsa.dot.gov/cars/rules/rulings/TirePresFinal/TPMSfinalrule.pdf)
156. Shaw Mark L. Integrating Freescale's Advanced Tire Pressure Monitoring System (TPMS) Solution into the Automobile. Freescale Semiconductor, Inc. 2007.
157. Day J. Auto Industry Strives for Tire Pressure Monitor Standard. Autoelectronics, Oct 1, 2004. [ht tp://autoelectronics.com/mag/410WAEF3.pdf](http://autoelectronics.com/mag/410WAEF3.pdf)
158. A Smart Tire Pressure Monitoring System. Mnif K., Motorola Semiconductor, Sensor Products Division. Sensors, Nov. 2001. [w ww.sensorsmag.com](http://www.sensorsmag.com)
159. Сысоева С. Автомобильные акселерометры. Часть 2. Автомобильные акселерометры — ключевые фигуры систем безопасности и комфорта // Компоненты и технологии. 2005. № 9.
160. Tire Pressure Monitoring: An Industry Under Pressure. Jeff Burgess, Motorola Inc. Sensors Magazine, July 2003. [w ww.sensorsmag.com/articles/0703/29](http://www.sensorsmag.com/articles/0703/29)
161. Christensen C., Branquart H. AMIS. Wireless ASICs bring tire pressure monitoring to the mass market. Automotive Design Line, 2006. [h ttp://w ww.automotivedesignline.com](http://www.automotivedesignline.com), [ht tp://i.cmpnet.com/automotivedesignline/2006/07/](http://i.cmpnet.com/automotivedesignline/2006/07/)
162. Сысоева С. Топ-предложения ИС и модулей датчиков для систем активной безопасности автомобилей // Chip News. 2007. № 5.