

## Общие требования к автомобильным датчикам и системы стандартов

Статья представляет собой обобщение требований к автомобильным датчикам на примере датчиков положения/скорости/направления, которые составляют не менее трети от общего числа датчиков в современном автомобиле. Причем многовариантность их применений и исполнений вполне позволяет показать общий уровень исполнений любых автомобильных сенсорных устройств, включая датчики давления, ускорения, температуры и все остальные. Требования, предъявляемые к надежности, точности и качеству автомобильных устройств, стандартизированы, и в настоящее время наблюдается тенденция объединения и слияния разнообразных стандартов, о которых также рассказывается в статье.

Светлана СЫСОВЕВА  
S.Sysoeva@mail.ru

Применения датчиков в автомобильной электронике разнообразны и ранжированы от систем Powertrain и контроля эмиссии до систем безопасности и комфорта. Группа датчиков положения/скорости/направления [1–8] на фоне прочих [7, 9–11] является наиболее многочисленной.

Прежде чем перечислять общие требования к автомобильным датчикам, следует отметить, что самым общим и важнейшим требованием к любым автомобильным устройствам является достижение соотношения низкой цены и высоких объемов массового производства компонентов.

Требования, предъявляемые к датчикам в отношении надежности, варьируются в зависимости от принадлежности к автомобильной системе и расположения датчика (рис. 1). Они различаются для внутрикабинных датчиков (рис. 1а–в) — например, датчиков положения педали или угла поворота руля, и для датчиков, располагаемых под капотом или находящихся в непосредственном контакте с окружающей средой (к ним относится датчик положения дроссельной заслонки, устанавливаемый с внешней стороны дроссельного корпуса на торце вала), и устройств, встраиваемых в коробку передач или контролирующих работу двигателя или АБС.

В зависимости от конкретного применения большинство автомобильных датчиков положения используют обычную архитектуру, настраиваемую схемотехнически и конструктивно — с учетом типичных для данного применения специфических требований. К ним относятся:

- способность работы при высоких температурах (для большинства внешних дат-

чиков положения стандартной рабочей температурой является  $-40...+125$  °С; для встраиваемых систем рабочий температурный диапазон регламентируется в пределах  $-40...+150$  °С, с экстремальными пределами воздействия рабочих температур  $-50...150$  °С и даже вплоть до 200 °С; для внутрикабинных датчиков рабочая температура может устанавливаться в пределах порядка  $-40...105$  °С или даже  $-30...85$  °С);

- функциональность с большими перепадами напряжения питания (в диапазоне порядка 2,7–5,5 В при номинальном пятивольтовом питании, которое является стандартным для большинства датчиков положения, или порядка 7–15 В при питании от 12-вольтового источника);
- защита от напряжения питания обратной полярности (минимум той же величины, что и номинальное);
- защита от короткого замыкания (КЗ) по цепи питания и выхода;
- защита от перенапряжения (до 24 В, в зависимости от времени воздействия);
- сниженное энергопотребление (ток потребления — 15–20 мА или менее);
- устойчивость к электростатическому разряду ESD (electrostatic discharge) — сверх 8 кВ или 250 пФ/1,5 кОм;
- требования к электромагнитной совместимости (ЭМС) и устойчивость к электромагнитному излучению ЕМИ (Electromagnetic Radiated Immunity) согласно ГОСТ 28751 — 90, DIN VDE 0870, DIN 40839, ISO 7637 (менее 1% или до 50 мВ смещения напряжения питания в частотной полосе 1 МГц — 2 ГГц в электрическом поле 100–200 В/м).

Электромагнитная совместимость — это способность электрического устройства работать удовлетворительно с электромагнитным окружением без недопустимого влияния (например, в соответствии с авторитетным для ИС Холла (рис. 2) немецким стандартом DIN VDE 0870). Стандарты немецкой национальной организации стандартов DIN 40839 и ISO 7637 гарантируют ЭМС для дорожных автомобилей и устанавливают испытания:

- DIN 40839-1: импульсные помехи по цепям питания 12 В;
- DIN 40839-2: импульсные помехи по цепям питания 24 В;
- DIN 40839-3: емкостные импульсы;
- DIN 40839-3: излучаемые помехи.

Существуют различные испытания для проверки воздействия на устройство электрического поля. Два наиболее обычных метода, например для ИС Холла, включают:

- измерения с сигнальным генератором электромагнитного поля частотой 10 кГц — 1 ГГц с электрическим полем до 250 В/м между двумя электродами, размещенными на расстоянии примерно 1 м полосковой линии передачи. Компоненты не подвергаются воздействию, только подключение схемы, которое размещается в пределах указанного расстояния;
- измерения в ТЕМ (Transverse Electro Magnetic) камере — компоненты подвергаются воздействию излучения частотой 100–750 кГц с напряженностью поля 100 В/м с 1 кГц АМ или 200 В/м без АМ.

В России действует ГОСТ 28751-90 «Электрооборудование автомобилей. Электромагнитная совместимость. Кондуктивные помехи по цепям питания. Требования и ме-



**Рис. 1.** Типичные примеры современных автомобильных датчиков положения/скорости/направления:  
 а — потенциометрические датчики положения дросселя и педали серии 525 CTS Corporation;  
 б — датчик угла поворота руля Bosch на основе принципа ГМР;  
 в — датчик положения сиденья серии 240 CTS Corporation;  
 г — электронный дроссель Delphi с бесконтактным датчиком;  
 д — датчики выбора передач и контроля положений сцепления Novotechnik;  
 е — датчики положения колес Novotechnik;  
 ж — датчик скорости и направления на основе эффекта Холла для коробки передач, определения частоты вращения колес SD1002-1012 Cherry Electrical Products;  
 з — датчик Холла SSI Technologies в АБС;  
 и — датчики AMP с магнитным ротором Continental Teves для коробки передач, АБС и контроля скорости двигателя

тоды испытаний», который распространяется на вновь проектируемые электронные и электрические изделия, предназначенные для работы на автотранспортных средствах, и устанавливает требования к их электромагнитной совместимости по кондуктивным помехам в бортовых сетях с номинальным напряжением 12 и 24 В, а также методы испытаний.

На ГОСТ 28751-90 ссылаются и ГОСТ 29157-91 «Совместимость технических средств электромагнитная. Электрооборудование автомобилей. Помехи в контрольных и сигнальных бортовых цепях. Требования и методы испытаний». Он распространяется на электронные

и электрические изделия, предназначенные для работы на автотранспортных средствах, проектируемые с 1993 года, и устанавливает требования к их электромагнитной совместимости в части устойчивости к помехам от емкостных и индуктивных соединений в контрольных и сигнальных бортовых цепях с номинальным напряжением 12 и 24 В, а также методы испытаний. Другие стандарты, касающиеся автомобильной ЭМС, названия которых перечисляются далее, включают ГОСТ 30378-95, ГОСТ 28279-89, ГОСТ 17822-91, а также ГОСТ 30601-97 «Совместимость технических средств электромагнитная. Устройства охраняющие сигнально-противоугонные



**Рис. 2.** Актуальные примеры современных интегральных датчиков Холла для измерения положения/скорости/направления:  
 а — MLX90316 Melexis с малым дипольным магнитом — полностью интегральное решение для любых автомобильных систем детектирования положения;  
 б — TLE4953 Infineon — интегральный цифровой датчик скорости и направления на основе эффекта Холла

автотранспортных средств. Требования и методы испытаний», ГОСТ Р 51856-2001 «Совместимость технических средств электромагнитная. Средства радиосвязи малого радиуса действия, работающие на частотах от 3 кГц до 400 ГГц. Требования и методы испытаний» и ряд других, анализ необходимости учета которых может выясниться в процессе разработки автомобильных датчиков для новых применений.

Самая общая информация по российским ГОСТам для автомобильных датчиков содержится в ГОСТ 3940. В 2004-м году широко известный ГОСТ 3940-84 «Электрооборудование автотракторное. Общие технические условия», регламентирующий общие требования к электрическим параметрам автомобильных датчиков, был заменен действующим поныне стандартом ГОСТ 3940-2004. На данный ГОСТ ссылаются ГОСТ 25651-83 «Приборы автомобилей контрольно-измерительные. Общие технические требования. Методы испытаний», ГОСТ Р 50905-96 «Автотранспортные средства. Электронное оснащение. Общие технические требования», ГОСТ Р 50643-94 «Соединение разъемное для антиблокировочной системы тормозов. Основные размеры. Технические требования. Методы испытаний. Указания по установке на транспортных средствах».

ГОСТ Р 50905-96 ссылаются не только на ГОСТ 3940-2004, но и на многие другие важ-

ные для автомобильного конструктора-мехатроника ГОСТы:

- ГОСТ 14254-96 «Степени защиты, обеспечиваемые оболочками (код IP)»;
- ГОСТ 15150-69 «Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения, транспортировки в части воздействия климатических факторов внешней среды»;
- ГОСТ 17822-91 «Совместимость технических средств электромагнитная. Радиопомехи промышленные от устройств с двигателями внутреннего сгорания. Нормы и методы испытаний»;
- ГОСТ 23544-84 «Жгуты проводов для автотракторного электрооборудования. Общие технические условия»;
- ГОСТ 26003-80 «Система интерфейса для измерительных устройств с байт-последовательным, бит-параллельным обменом информацией. Требования к совместимости»;
- ГОСТ 27003-90 «Надежность в технике. Состав и общие правила задания требований по надежности»;
- ГОСТ 27435-87 «Внутренний шум автотранспортных средств. Допустимые уровни и методы измерений»;
- ГОСТ 27436-87 «Внешний шум автотранспортных средств. Допустимые уровни и методы измерений»;
- ГОСТ 28279-89 «Совместимость электромагнитная электрооборудования автомобиля и автомобильной бытовой радиоэлектронной аппаратуры. Нормы и методы измерений»;
- ГОСТ 28751-90 «Электрооборудование автомобилей. Электромагнитная совместимость. Кондуктивные помехи по цепям питания. Требования и методы испытаний»;
- ГОСТ 29157-91 «Совместимость технических средств электромагнитная. Электрооборудование автомобилей. Помехи в контрольных и сигнальных бортовых цепях. Требования и методы испытаний»;
- ГОСТ 30378-95 «Совместимость технических средств электромагнитная. Электрооборудование автомобилей. Помехи от электростатических разрядов. Требования и методы испытаний».

На документ ссылается параллельно действующий ГОСТ Р 52230-2004 «Электрооборудование автотракторное. Общие технические условия». Режим работы автомобильных датчиков согласно этому ГОСТу — продолжительный S1. Классы нагрузки регламентируются стандартом ГОСТ 25651-83 «Приборы автомобилей контрольно-измерительные. Общие технические требования. Методы испытаний».

Требования к конструкции датчика включают:

- высокую степень защиты датчика от попадания внутрь твердых тел и воды вплоть

до IP67, IP68 или IP69 (согласно международной классификации и в соответствии с ГОСТ 14254-96);

- устойчивость к влажности, загрязнениям, агрессивным средам (включая воду, росу, иней, туман, соляной туман, масло, бензин и различные виды топлива, антифриз, автошампуни, аккумуляторную кислоту, тормозную жидкость);
- ударопрочность — устойчивость к ударным нагрузкам порядка 100 g и длительностью удара до 11 мс;
- вибропрочность — устойчивость к случайным гармоническим колебаниям с частотой 20–2000 Гц и эффективным значением ускорения до 20 g по каждой из трех осей;
- требования к надежности по ГОСТ 27003-90 (датчики относятся к изделиям конкретного назначения (ИКН) вида I, невосстанавливаемым, неремонтируемым и необслуживаемым ИКН непрерывного длительного или многократного циклического применения; средняя наработка на отказ — не менее 3000 часов, что соответствует пробегу автомобиля 150 000 км в течение 10 лет; сроки гарантийных периодов — не менее 3 лет (до десяти лет), долговечность — 10 лет).

Рекомендуемый момент крепления болта при монтаже датчика составляет 1,60–2,2 Н·м (в некоторых устройствах может быть до 8 Н·м).

Многие аналоговые или переключаемые датчики подключаются к автомобильной системе (такой как Engine Control Unit (ECU)) посредством трехпроводного соединителя (например, P2S Metri-Pack серии 150 Packard Electric или 444043-1 AMP). Это соединение обеспечивает подключение «плюса» питания, «земляного» фрейма и возможность снятия сигнала, например, аналогового пропорционального сигнала положения или цифрового импульсного (частотного) сигнала скорости. Регламентируемое сопротивление изоляции штыревых контактов — порядка 10 МОм. Механическая прочность штыревых контактов должна быть не менее 58,8 Н, нагрузка при извлечении штекера — не более 44,2 Н.

Система, получающая и обрабатывающая сигнал датчика положения, обычно включает микроконтроллер, при этом получение аналогового сигнала производится через одноканальный вход АЦП. В автомобильную систему часто входит и так называемый pull-up резистор в сигнальной цепи, в связи с чем формируются требования к номиналу резистивной нагрузки (не менее 7,5 кОм или не менее 250 кОм) или суммарной емкости нагрузки (не более 15 пФ).

Двухпроводные ШИМ-датчики передают выходной сигнал модуляцией общего тока потребления датчика. В контрольном блоке в цепь питания датчика последовательно включен резистор. Падение напря-

жения на этом резисторе отслеживает компаратор, с выхода которого снимается сигнал датчика.

Более сложные интерфейсы строятся по тем же принципам, но используют большее число выводов контактного или проводного соединителя.

Расширенные схемотехнические требования включают требования к точности (порядка 0,5%, не менее 1%), быстродействию датчика, малому времени после включения power-on или power-up, линейности аналоговой выходной характеристики или времени нарастания/спада фронта импульса.

Высокие температуры часто требуют применения EEPROM в схеме обработки сигнала датчика. В EEPROM во время калибровки программируются и запасаются корректирующие коэффициенты, используемые схемой ЦОС для корректировки смещения, чувствительности, нелинейности и других факторов — например, температурного коэффициента магнита.

К ИС датчиков, работающим в жестких условиях эксплуатации, предъявляется требование соответствия квалификационному стандарту Automobile Electronics Council (AEC Q100).

Многие новые датчики являются RoHS (Restriction of Hazardous Substances) совместимыми.

Помимо того, автомобильные датчики должны выдерживать испытания на воздействие следующих факторов:

- термоциклирования (например, порядка 24–100 циклов изменения температуры от –40 °С до 100–120 °С в течение 48 часов или 500 циклов изменения температур от –40 до 150 °С),
- холодоустойчивости (к работе при температуре –40 °С в течение не менее 100 часов,
- теплоустойчивости — например, к работе при температуре +105 °С в течение не менее суток или в течение 144 часов при температуре +150 °С,
- влагоустойчивости — к работе при воздействии влажной среды с относительной влажностью 85% при температуре +80 °С в течение не менее 5 суток, с относительной влажностью 98% — до 120 часов на 38 °С,
- коррозионной стойкости (сохранение работоспособности при воздействии 5%-ного соляного тумана при температуре 38 °С в течение 96 часов согласно ГОСТ 9308-85),
- испытаний на погружение устройства в воду (ее температура равна 25 °С) в течение 5 мин (контроль утечки),
- устойчивости к воздействию топливных паров (15% метанола, 15% этанола и индола Indolene HO в течение 48 часов для каждого вида),
- устойчивости к воздействию озона 100 ppm при температуре 38 °С в течение 72 часов,
- устойчивости к воздействию пыли скоростью 48 км/ч при температуре 80 °С в течение 9 часов или с концентрацией

0,003–0,014 г/см<sup>3</sup> в течение 9 часов или в пылевой камере 1 м<sup>3</sup>.

Приведенные данные взяты из типичных автомобильных спецификаций датчиков различных производителей — для того чтобы отразить общий уровень исполнений автомобильных измерительных устройств.

В России по устойчивости к воздействию внешних климатических факторов автомобильные датчики должны соответствовать климатическому исполнению изделий согласно ГОСТ 15150-69. Этот же стандарт регламентирует условия транспортировки и хранения в части воздействия климатических факторов.

Зарубежные международные, региональные и национальные стандарты, а также стандарты автомобильных объединений и консорциумов, регламентирующие испытания для автомобильных датчиков положения и скорости, включают стандарты (примеры даны в скобках):

- Ассоциации автомобильных инженеров SAE (Society of Automotive Engineers) (SAE J726 для устойчивости к пыли);
- Японской ассоциации стандартов (Japanese Standards Association) JIS (Japanese Industrial Standards) (JIS D0203 для водоустойчивости, JIS D0207-F2 для чувствительности к пыли);
- Американского общества по испытанию материалов ASTM (American Society of Testing Materials) (ASTM-B117 для коррозионной стойкости);
- Международной электротехнической комиссии (МЭК) — International Electrotechnical Commission (IEC) (IEC 68-2-30 — испытания на влагостойкость, IEC 68-2-11 — испытания на воздействие соляного тумана);
- Немецкой национальной организации DIN (DIN 40050 — испытания на влагостойкость орошением направленной струей под давлением, DIN 40839 — испытания на электромагнитную совместимость);
- Ассоциации электронной промышленности EIA (Electronic Industries Association или Electronic Industries Alliance) и входящим в ее состав инженерным органом стандартизации полупроводниковых технологий Solid State Technology Association JEDEC Joint Electron Device Engineering Council, определяющими действующие электронные стандарты в США (EIA/JESD22-A114-B, JESD22-A114C.01, JESD22-A114D) HBM (Human Body Model) для защиты от электростатического разрушения);
- военные стандарты, утверждаемые Министерством обороны США (Department of Defense) (включая военные стандарты MIL STD 883D по ESD, MIL-STD 883E — устойчивость к ударам до 500 г)
- и другие.

Таким образом, в мире существует достаточно много стандартов для автомобильных устройств, как глобального или отраслевого, так и национального масштаба, причем

игнорировать последние нельзя — ввиду опасности маркетинговых неудач в данной стране.

Для обеспечения надежности автомобилей важнейшее значение имеет повышение качества различных автомобильных компонентов (уменьшение числа дефектных изделий в ppm — parts per million). По статистике АвтоВАЗа, 70–75% дефектов автомобилей связано с дефектами автокомпонентов, что не только негативно воздействует на имидж автомобилей, но и приводит к экономическому ущербу для их производителей и дистрибьюторов.

Существуют стандарты выборки DIN 40080 (содержание соответствует MIL-STD 105 D и IEC 410). Инструкции этих стандартов таковы, что вероятность принятия поставленной партии выше 90%, если процентное соотношение дефектов не превышает уровень AQL (AQL — Acceptable Quality Level).

Европейские автомобильные стандарты качества, как видно, отличаются разнообразием и прежде даже создавали трудности для специалистов компаний, стремящихся продавать свои автомобили на европейском рынке.

Основные автомобильные европейские стандарты качества, которые необходимо учитывать специалисту, включают AVSQ (Association of Quality System Evaluators) (Италия), EAQF (аббревиатура расшифровывается для англоязычных читателей как evaluation, aptitude, quality and supplier) (Франция) и VDA 6.1 (Verband der Automobilindustrie) (Германия). В США действует автомобильный стандарт QS-9000, он определяющий для международной рабочей группы International Automotive Sector Group (IASG), в которую входят автомобильные представители OEM, органы аккредитации, регистраторы и поставщики.

Но на автомобильные датчики распространяется тенденция объединения и перехода от разнообразных национальных, региональных и прочих стандартов, включая ГОСТы, к международному стандарту качества, которым является международный отраслевой стандарт ISO/TS 16949:2002 (ИСО/ТУ 16949:2002), разработанный для автомобильной промышленности на основе стандартов ИСО 9000, ISO 9000/1.

Как известно, организации ISO (International Organization for Standardization, Международная организация по стандартизации) и IEC (МЭК) признаны всеми странами и имеют полномочия издавать международные стандарты, распространяющиеся на автомобильные датчики, называемые также стандартами де-юре или формальными стандартами. Например, стандарт качества TS16949 призван обеспечить гарантированное исполнение поставщиками требований к качеству изделий на всех этапах разработки, производства и доставки. ISO/TS16949 признан всеми основными членами группы International Automotive Task Force (IATF), в том числе

компаниями BMW, DaimlerChrysler AG, Ford Motor Company, General Motors Corporation и Volkswagen. ISO/TS16949 также включает общие международные требования к качеству автомобильных систем: ISO 9001:2000, AVSQ, EAQF, QS-9000, VDA6.1.

Сертификация в соответствии со стандартом ISO/TS16949:2002 закрепляет постоянное присутствие на рынке автомобильной электроники любой компании, занимающейся производством и поставками полупроводниковых ИС датчиков, гарантируя их безотказную работу в течение заявленного срока службы в жестких автомобильных условиях эксплуатации с высокими температурами и электромагнитными помехами. ■

## Литература

1. Сысоева С. Автомобильные датчики положения. Современные технологии и новые перспективы // Компоненты и технологии. 2005. № 2–9. 2006. № 1–2, 4–7.
2. Сысоева С. Датчики скорости автомобиля. Анализ конструкций и перспективы развития // Компоненты и технологии. 2004. № 7–8.
3. Сысоева С. Рекомендации производителям автомобильных цифровых датчиков скорости и положения. Часть 1. Постановка задач и общие конструкторские рекомендации // Компоненты и технологии. 2006. № 9.
4. Сысоева С. Рекомендации производителям автомобильных цифровых датчиков скорости и положения. Часть 2. Новые рекомендации по разработке датчиков с магнитным ротором // Компоненты и технологии. 2007. № 2.
5. Сысоева С. Новые интегральные датчики Холла специального назначения // Компоненты и технологии. 2004. № 9.
6. Сысоева С. Взгляд на современный рынок автомобильных датчиков. Основные тенденции и важнейшие рыночные фигуры // Компоненты и технологии. 2006. № 7.
7. Сысоева С. Новые тенденции и перспективные технологии автомобильных датчиков систем Powertrain и контроля эмиссии. Часть 1. Состояние и перспективы рынка датчиков положения, скорости, датчиков концентрации кислорода (газа), массового расхода воздуха и давления // Компоненты и технологии. 2006. № 7–8.
8. Сравнительный анализ возможностей применения датчиков Холла в автомобильных системах электрического рулевого управления. // Компоненты и технологии. 2007. № 5.
9. Сысоева С. Новые тенденции и перспективные технологии автомобильных датчиков систем Powertrain и контроля эмиссии. Часть 2. О датчиках температуры и обо всех остальных. // Компоненты и технологии. 2006. № 8.
10. Сысоева С. Актуальные технологии и применения датчиков автомобильных систем активной безопасности // Компоненты и технологии. 2006. № 8–11. 2007. № 2–4.
11. Сысоева С. Автомобильные гироскопы // Компоненты и технологии. 2007. № 1.