

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Северный (Арктический) федеральный университет
имени М.В. Ломоносова»

О.Л. Коваленко

ЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ АВТОМОБИЛЕЙ

Учебное пособие

Архангельск



ИПЦ САФУ

2013

УДК 629.33.064.5(07)

ББК 39.33-04я7

К56

*Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом
Северного (Арктического) федерального университета
имени М.В. Ломоносова*

Рецензенты:

В.М. Дербин, доцент, кандидат технических наук;

А.А. Банников, кандидат технических наук

Коваленко, О.Л.

К56 Электронные системы автомобилей: учебное пособие / О.Л. Коваленко; Сев. (Арктич.) федер. ун-т им. М.В. Ломоносова. – Архангельск: ИПЦ САФУ, 2013. – 80 с. : ил.

ISBN 978-5-261-00762-3,

Рассмотрены классификация современных электронных систем автомобилей, назначение и принцип действия таких систем, перспективы применения современных электронных средств для автомобилей, тенденции и проблемы разработки электромобилей.

Предназначено для студентов института энергетики и транспорта, обучающихся по специальностям 190601.65 «Автомобили и автомобильное хозяйство», 190603.65 «Сервис транспортных и технологических машин и оборудования» и направлению подготовки 190500.62 «Эксплуатация транспортных средств», дневной и заочной форм обучения.

УДК 629.33.064.5(07)

ББК 39.33-04я7

ISBN 978-5-261-00762-3

© Коваленко О.Л., 2013

© Северный (Арктический)
федеральный университет
им. М.В. Ломоносова, 2013

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время техническая оснащенность автомобилей различными электронными системами значительно возросла. Последние достижения в области электроники и микропроцессоров способствовали повышению надежности, эргономичности и безопасности автомобилей. Классификация современных электронных систем автомобилей (рис. 1) включает в себя:

- ЭСУА – электронные системы управления автомобилем;
- ЭСУД – электронные системы управления двигателем;
- СБСА – специализированные бортовые системы автомобиля;
- ЛВС – локальные вычислительные сети.

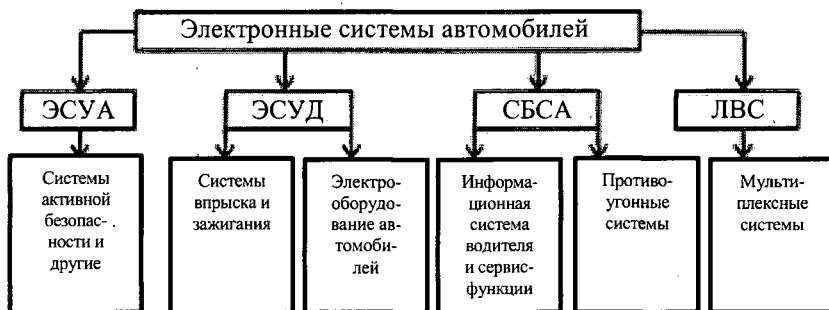


Рис. 1. Классификация электронных систем автомобилей

Электронные системы управления автомобилем подразделяются на два типа: обеспечивающие безопасность при движении автомобиля и улучшающие управляемость и эргономичность автомобиля. Например, система курсовой устойчивости предотвращает увод автомобиля в неуправляемый занос, а автоматическая коробка перемены передач облегчает управление автомобилем.

Электронные системы управления двигателем включают в себя системы впрыска, зажигания и пуска двигателя и другие приборы электрооборудования автомобиля, обеспечивающие надежную работу двигателя и его высокий КПД.

Специализированные бортовые системы автомобиля включают в себя различные системы отображения информации, необходи-

мой для водителя; системы, повышающие комфортабельность автомобиля; системы навигации; противоугонные устройства.

Локальные вычислительные сети являются мультиплексными системами передачи информации на основе технологии CAN. Они позволяют значительно уменьшить число проводов, контактов и звеньев связи на автомобиле.

1. ЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АВТОМОБИЛЕМ

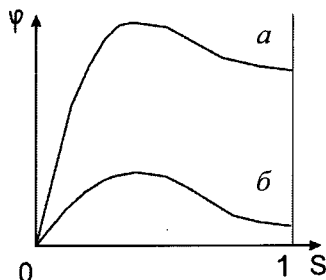
Антиблокировочная тормозная система автомобиля

Антиблокировочная тормозная система (англ. Antilock Brake System, ABS) препятствует блокировке колес автомобиля при торможении и тем самым обеспечивает безопасность движения и быструю остановку автомобиля.

Автомобильное колесо в процессе торможения замедляет свое вращение в широком диапазоне скоростей от свободного качения до полного блокирования, т.е. движется относительно дорожного полотна с проскальзыванием. Степень проскальзывания определяется отношением разности скорости автомобиля и окружной скорости вращения колеса к скорости автомобиля. От этой величины зависит коэффициент сцепления колеса с дорогой, а следовательно, и тормозная сила на колесе автомобиля.

Типовая зависимость коэффициента сцепления колеса с дорогой φ от проскальзывания S (рис. 2) достигает максимального значения коэффициента сцепления в продольном направлении. Для получения максимального замедления автомобиля и, следовательно, наименьшего тормозного пути (близкого к оптимальному торможения) необходимо, чтобы колеса при торможении имели проскальзывание, соответствующее максимальному значению коэффициента сцепления колеса с дорогой в продольном направлении. Для решения такой задачи и используется антиблокировочная тормозная система.

Рис. 2. Зависимость коэффициента сцепления колеса с дорогой φ от проскальзывания S (a и b – коэффициенты S соответственно на сухом и обледенелом бетоне)



При экстренном торможении обычная тормозная система обеспечивает торможение колес до их полного блокирования. Как показывают исследования, оптимальное торможение, по сравнению с торможением до блокирования колеса, позволяет уменьшить тормозной путь автомобиля на сухой дороге на 20 %, а на мокрой и покрытой льдом – на 50–60 %. При этом коэффициент сцепления колеса с дорогой в поперечном направлении также имеет высокое значение, что, в свою очередь, повышает устойчивость и управляемость автомобиля при торможении.

В современных автомобилях антиблокировочная тормозная система управляет всеми колесами автомобиля, но возможны и другие варианты.

Структурная схема антиблокировочной тормозной системы с обратной связью представлена на рис. 3. Электронный блок управления (ЭБУ) собран на базе интегральных микросхем с применением цифровой технологии. Он состоит из четырех блоков и семи микросхем:

- входной усилитель ABS для формирования и усиления сигналов датчика скорости колеса;
- блок вычислений ABS для выполнения логических операций, сравнения угловых скоростей колес, определения пробуксовки колес, их замедления и для формирования команд исполнительному механизму;
- блок управления ABS, представляющий собой усилитель мощности для привода электромагнитных клапанов в модуляторе давления;
- блок контроля исправности ABS. При возникновении неисправности этот блок отключает антиблокировочную систему. При

этом основная тормозная система (без регулировки) остается в рабочем состоянии.

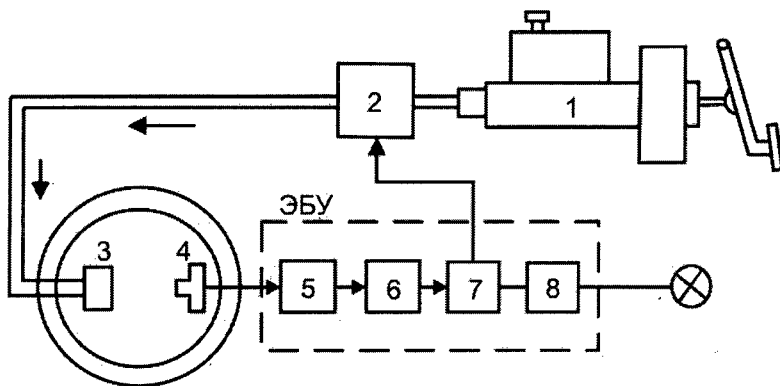


Рис. 3. Антиблокировочная тормозная система (ABS) с обратной связью: 1 – главный тормозной цилиндр; 2 – модулятор давления; 3 – колесный тормозной цилиндр; 4 – датчик скорости колеса; 5 – входной усилитель ABS; 6 – блок вычислений ABS; 7 – блок управления ABS; 8 – блок контроля исправности ABS

Противобуксовочная система автомобиля

Противобуксовочная система (англ. Anti-Slip Regulation, ASR) – это электрогидравлическая система автомобиля, предназначенная для предотвращения потери тяги посредством контроля за пробуксовкой ведущих колес. Иногда эту систему называют системой управления силой тяги (трэкшн-контроль).

Во время ускорения автомобиля, когда излишний крутящий момент приводит к быстрому повышению частоты вращения одного или обоих ведущих колес, противобуксовочная система поддерживает проскальзывание ведущих колес в пределах допустимого уровня, выполняя следующие функции:

- регулирование силы тяги;
- поддержание курсовой устойчивости автомобиля.

Противобуксовочная система с замкнутой обратной связью (рис. 4) объединяется с блоком управления антиблокировочной

системы для совместного использования ее компонентов, включающих датчики частоты вращения колес и клапаны управления давлением.

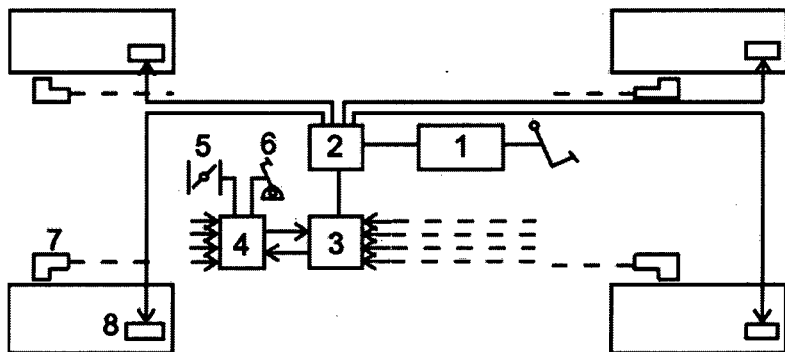


Рис. 4. Принципиальная схема противобуксовочной системы автомобиля:

- 1 – главный тормозной цилиндр; 2 – модулятор давления ABS/ASR;
- 3 – электронный блок управления ABS/ASR; 4 – электронный блок управления тягой двигателя; 5 – датчик положения дроссельной заслонки; 6 – датчик положения педали акселератора; 7 – датчики угловой скорости колес; 8 – колесные тормозные цилиндры

Для оптимального управления (с замкнутой обратной связью) крутящим моментом на ведущих колесах механическая связь между педалью подачи топлива и дроссельной заслонкой (или рычагом управления топливной форсункой на дизельных двигателях) заменена на электронную систему управления. Датчик преобразует положение педали подачи топлива в электрический сигнал, который затем с помощью блока управления используется для генерирования управляющего напряжения. Серводвигатель реагирует на этот сигнал восстановлением позиции дроссельной заслонки (или рычага управления топливным насосом в дизельных двигателях); затем он передает данные о положении дроссельной заслонки снова в блок управления. Краткое одновременное срабатывание рабочих тормозов применяется в качестве дополнения к работе электронной системы управления дроссельной заслонкой. К стандартному гидравлическому модулятору ABS может быть подключена секция ASR, что создает дополнительную гидравлическую

энергию для получения тормозного усилия и переключения на работу ASR.

Реакция системы согласовывается регулированием момента воспламенения смеси, что позволяет сократить относительно протяженные задержки момента воспламенения, возникающие в том случае, когда крутящий момент двигателя контролируется исключительно с помощью дроссельной заслонки.

Существует несколько вариантов противобуксовочных систем (рис. 5): управление двигателем, управление двигателем–тормозами, управление двигателем с блокировкой дифференциала.

Первый вариант управления не использует тормоза и не требует модификации антиблокировочной тормозной системы. Для повышения быстродействия системы при резком ускорении не только прикрывается дроссельная заслонка, но и уменьшается угол опережения зажигания и количество впрыскиваемого топлива. Данные меры способствуют увеличению устойчивости движения автомобиля.

Вместе с этой системой может применяться устройство блокировки дифференциала, что также увеличивает устойчивость автомобиля при ускорении. Подобная система управления тяговым усилием используется на автомобилях с задними ведущими колесами.

Во втором случае блок электронного управления используется антиблокировочной тормозной системой в качестве элемента системы управления тяговым усилием. Механическая связь между педалью управления подачей топлива и дроссельной заслонкой заменяется электронной. Педаль управления подачей топлива воздействует на потенциометр, который посылает сигнал о ее положении в ЭБУ.

Датчики угловых скоростей колес позволяют обнаружить пробуксовку ведущих колес. При возникновении пробуксовки ЭБУ посылает сигнал для закрытия дроссельной заслонки. В том случае, если пробуксовка начинается только у одного колеса, оно притормаживается антиблокировочной тормозной системой и одновременно прикрывается дроссельная заслонка.

Эффективными являются применение блокируемого дифференциала и при необходимости притормаживание обоих ведущих колес. Этот способ требует наличия дополнительной гидравлической системы, кроме ABS.



Рис. 5. Блок-схема вариантов противобуксовочной системы

Система управления курсовой устойчивостью автомобиля

Система управления курсовой устойчивостью автомобиля (англ. Vehicle Dynamic Control, VDC) представляет собой систему с обратной связью, которая позволяет сохранить курсовую устойчивость во время движения автомобиля. Она объединена с тормозной системой

и силовой передачей. В России ее называют противозаносной системой (ПЗС).

Система VDC предупреждает опережение или запаздывание поворота автомобиля во время управления им. Преимущества ABS и ASR развиваются системой VDC за счет повышения активной безопасности движения во время управления автомобилем по следующим пунктам:

- обеспечение водителя активной помощью даже в критических динамических ситуациях;
- увеличение курсовой устойчивости автомобиля даже при предельно сложных условиях дорожного движения для всех режимов эксплуатации, таких как полное или частичное торможение, движение накатом, разгон, торможение двигателем, изменение нагрузок;
- повышение устойчивости движения даже во время экстремальных маневров управления (аварийная ситуация);
- улучшение управляемости при предельно сложных условиях дорожного движения;
- лучшее использование потенциала сцепления между шинами и дорожным покрытием в зависимости от условий движения по сравнению с ABS и ASR.

На характеристику рулевого управления автомобиля можно повлиять посредством скольжения шин. В системе VDC эта характеристика шин используется в целях внедрения сервоуправления.

Система VDC управляет не только скоростью вокруг вертикальной оси, но и курсовым углом. VDC не ограничивается режимами работы систем ABS и ASR, но также распространяется на режим движения автомобиля накатом и приводится в действие во время частичного торможения на пределе возможности управления автомобилем.

Управление автомобилем на пределе физических возможностей должно учитывать три степени свободы автомобиля на плоскости дороги (продольная и поперечная составляющие движения и поворот относительно вертикальной оси). Первоначально необходимо определить, как правильно должен вести себя автомобиль в соответствии с действиями водителя (номинальное поведение) и как он фактически себя ведет на дороге (действительное поведение). В целях минимизации разницы между номинальным и действительным поведением, силы действия на шину должны управляться исполнительными механизмами.

На рис. 6 показана структура управления курсовой устойчивостью автомобиля, состоящая из главного контроллера VDC и контроллеров скольжения. С помощью главного контроллера вводится значение номинальной величины проскальзывания λ_N для контроллера скольжения. Следящий блок определяет переменную контролируемого состояния (курсовой угол автомобиля).

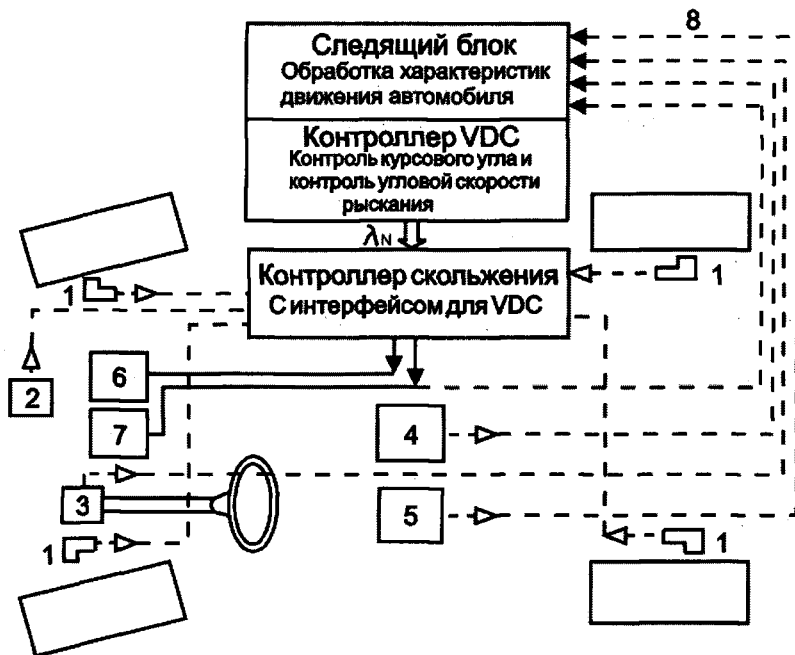


Рис. 6. Принципиальная схема системы управления курсовой устойчивостью автомобиля:

1 – датчики скорости вращения колес; 2 – датчик давления в тормозной системе; 3 – датчик положения рулевого колеса; 4 – датчик угловой скорости относительно вертикальной оси; 5 – датчик поперечного ускорения; 6 – модулятор давления; 7 – электронный блок управления тягой двигателя; 8 – сигналы датчиков для VDC; λ_N – номинальное проскальзывание шины

Оцениваются сигналы от датчика положения рулевого колеса, датчика давления в тормозной системе и органов управления рабо-

той двигателя. Помимо скорости движения автомобиля вычисляются также необходимые характеристики коэффициентов сцепления между шинами и дорожным покрытием. Эти параметры оцениваются на основе сигналов, получаемых от датчиков скорости вращения колес, поперечного ускорения, угловой скорости относительно вертикальной оси и давления в тормозной системе. Затем рассчитывается момент относительно вертикальной оси, который нужен для приближенного приведения параметров действительного состояния к параметрам требуемого состояния. В целях получения требуемого момента рыскания необходимо, чтобы изменения в величинах относительного скольжения колес определялись посредством контроллера VDC. Затем эти величины устанавливаются с использованием контроллеров скольжения и тягового усилия с помощью исполнительного механизма гидравлической тормозной системы (модулятора давления) и электронного блока управления тягой двигателя. В данной системе применяется метод последовательных приближений компонентов ABS и ASR. Гидравлический модулятор с расширенными функциями ASR допускает высокий уровень динамического торможения всех колес при любых существующих температурах и в то же время надежно поддерживает необходимое разделение тормозных контуров.

Необходимый крутящий момент двигателя может быть установлен посредством управления работой двигателя через интерфейс CAN.

Далее рассмотрим, как ведет себя автомобиль во время работы ПЗС.

ПЗС реагирует на критические ситуации в том случае, если известно, куда намерен ехать водитель и куда на самом деле едет автомобиль. Ответ на первый вопрос система получает от датчиков, определяющих угол поворота рулевого колеса и угловые скорости колес автомобиля. Ответ на второй вопрос можно получить, измерив угол поворота автомобиля вокруг вертикальной оси и величину его поперечного ускорения. Если от датчиков поступают разные ответы на упомянутые выше вопросы, то существует вероятность возникновения критической ситуации, при которой необходимо вмешательство ПЗС. Критическая ситуация может проявляться в двух вариантах поведения автомобиля: недостаточная и избыточная поворачиваемость автомобиля.

В случае недостаточной поворачиваемости автомобиля ПЗС дозированно подтормаживает заднее колесо на внутренней стороне поворота, а также воздействует на системы управления работой двигателя и АКП (если автомобиль оборудован автоматической трансмиссией). В результате добавления к сумме сил тормозной силы, приложенной к упомянутому выше колесу, вектор результирующей силы, действующей на автомобиль, поворачивается в сторону поворота и возвращает машину на заданную траекторию движения, предотвращая выезд за пределы проезжей части и обеспечивая тем самым вписываемость в поворот.

В случае избыточной поворачиваемости автомобиля ПЗС дозированно подтормаживает переднее колесо на внешней стороне поворота и воздействует на системы управления работой двигателя и АКП (если автомобиль оборудован автоматической трансмиссией). Вследствие чего вектор результирующей силы, действующей на автомобиль, поворачивается наружу поворота, предотвращая тем самым занос автомобиля и следующее за ним неуправляемое вращение вокруг вертикальной оси. Еще одной распространенной ситуацией, в которой требуется вмешательство ПЗС, является объезд неожиданно возникшего на дороге препятствия. В случае, если автомобиль не оборудован ПЗС, события часто развиваются по следующему сценарию. Чтобы избежать столкновения с неожиданно возникшим препятствием, водитель резко поворачивает влево, а затем, чтобы возвратиться на ранее занимаемую полосу, – вправо. В результате автомобиль резко поворачивается и возникает занос задних колес, переходящий в неуправляемое вращение автомобиля вокруг вертикальной оси.

Развитие ситуации в случае с автомобилем, оборудованным ПЗС, выглядит несколько иначе. Водитель пытается объехать препятствие, как и в первом случае. По сигналам датчиков ПЗС распознает возникший неустойчивый режим движения автомобиля, производит необходимые вычисления и (в качестве контрмеры) подтормаживает левое заднее колесо, способствуя тем самым повороту автомобиля. При этом сила бокового увода передних колес сохраняется. Пока машина движется по дуге влево, водитель начинает поворачивать рулевое колесо вправо. Чтобы способствовать повороту автомобиля вправо, ПЗС подтормаживает правое переднее колесо. Задние колеса при этом вращаются свободно, благода-

ря чему оптимизируется действующая на них боковая сила увода. Предпринятая водителем смена полосы движения может вызвать резкий поворот автомобиля вокруг вертикальной оси. Чтобы предотвратить занос задних колес, подтормаживается левое переднее колесо. В особо критических ситуациях это торможение должно быть очень интенсивным, чтобы ограничить нарастание боковой силы увода, действующей на передние колеса.

Рекомендуется выключать ПЗС при «раскачке» автомобиля, застрявшего в глубоком снегу или рыхлом грунте, езде с цепями противоскольжения и проверке автомобиля на динамометрическом стенде. Отключение ПЗС осуществляется нажатием кнопочного выключателя на панели приборов, включение – повторным нажатием на указанную клавишу. При запуске двигателя ПЗС находится в рабочем режиме.

Система автоматического управления трансмиссией автомобиля

Система автоматического управления трансмиссией автомобиля реализуется благодаря появлению на автомобилях автоматических коробок перемены передач (АКПП).

АКПП обеспечивают бесступенчатое регулирование крутящего момента, подводимого к колесам автомобиля. Большинство АКПП состоят из гидротрансформатора, планетарных редукторов, фрикционных и обгонных муфт и соединительных валов и барабанов. Также иногда применяется тормозная лента, затормаживающая один из барабанов относительно корпуса АКПП при включении той или иной передачи.

Устройство управления АКПП представляет собой набор золотников, управляющих потоками масла к поршням тормозных лент и фрикционных муфт. Положения золотников задаются как вручную – механически рукояткой селектора, так и автоматически. Автоматика может быть гидравлической или электронной.

Гидравлическая автоматика реагирует на изменение давления масла от центробежного регулятора, соединенного с выходным валом АКПП, а также от нажатой водителем педали газа, получая

информацию о скорости автомобиля и положении педали газа, на основании которой переключаются золотники.

Электронная автоматика предполагает использование соленоидов, перемещающих золотники. Кабели от соленоидов выходят из АКПП и идут к расположенному вне АКПП блоку управления, иногда объединенному с блоком управления впрыском топлива и зажиганием (рис. 7).

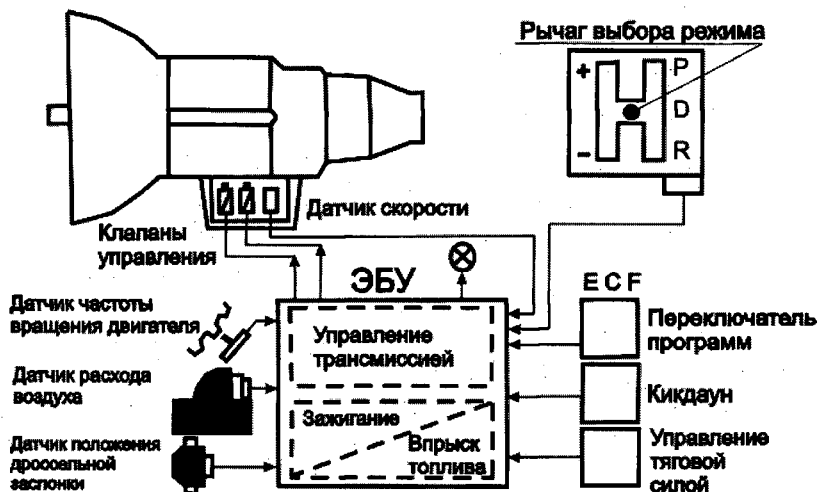


Рис. 7. Управление автоматической коробкой перемены передач

Решение о перемещении соленоидов принимается электронной на основе информации о положении педали газа и скорости автомобиля, а также о положении рукоятки селектора.

В некоторых случаях работоспособность АКПП сохраняется даже при полном выходе из строя электронной автоматике, но только с третьей передачей переднего хода или же со всеми передачами переднего хода, но с необходимостью их ручного переключения рукояткой селектора.

Разновидностью АКПП является автоматизированная бесступенчатая трансмиссия (вариатор). Также существуют различные автоматизированные («роботизированные») механические коробки перемены передач. Второе поколение роботизированных коробок передач называется преселективными коробками передач.

Пионером массового использования преселективных коробок стал концерн Volkswagen, применяющий DSG (Stronic у Audi) как на переднеприводных, так и на полноприводных моделях с продольно и поперечно установленными двигателями. Аббревиатура DSG (Direct Shift Gearbox – коробка прямого включения) означает роботизированную коробку передач с двумя сцеплениями.

Данный вид АКПП в настоящее время является наиболее совершенным с точки зрения экономичности и скорости переключения.

«Типтроник» (Tiptronic) – тип АКПП с возможностью ручного переключения передач. Это совместная разработка фирм-производителей узлов трансмиссии Porsche, Volkswagen и ZF Friedrichshafen AG.

Возможность ручного переключения передач используется на АКПП с гидротрансформатором и электронным управлением. Хотя, в принципе, возможность ручного переключения не зависит от конкретной конструкции АКПП и может применяться на любой АКПП при ее соответствующей доработке.

Физически метод ручного переключения представляет собой подачу с помощью селектора передач команды электронному блоку управления АКПП о желании повысить или понизить используемую передачу. Далее блок управления решает, что делать в ответ на поступившую команду.

На АКПП типа «Типтроник» сохраняется возможность выбора автоматического режима переключения передач, как и на традиционных АКПП, т.е. АКПП может функционировать в двух режимах: полностью автоматическом и ручном. При выборе ручного режима селектор заходит в специальный паз на панели, где он может перемещаться в двух направлениях: плюс и минус. Также на некоторых моделях автомобилей возможно ручное переключение на руле с помощью кнопок, аналогичное селектору.

Впервые «Типтроник» начал применяться на автомобилях Porsche и Audi с середины 1990-х годов. Впоследствии подобные системы управления АКПП появились практически у всех производителей, однако в связи с тем, что название Tiptronic запатентовано фирмой Porsche, каждый производитель называет такие коробки по-своему (Steptronic у BMW, AutoStick у Chrysler, S-Matic у Honda и т.д.).

Использование гидромеханической передачи (ГМП) облегчает работу водителя, особенно при движении в городских условиях. Применение электронного управления, в свою очередь, упрощает конструкцию гидромеханических и механических элементов передачи, повышает надежность системы в целом и позволяет оптимизировать закон переключения передач, обеспечивая тем самым снижение расхода топлива. Структурная схема электронного управления трехступенчатой ГМП автобуса ЛиАЗ-5256 представлена на рис. 8.

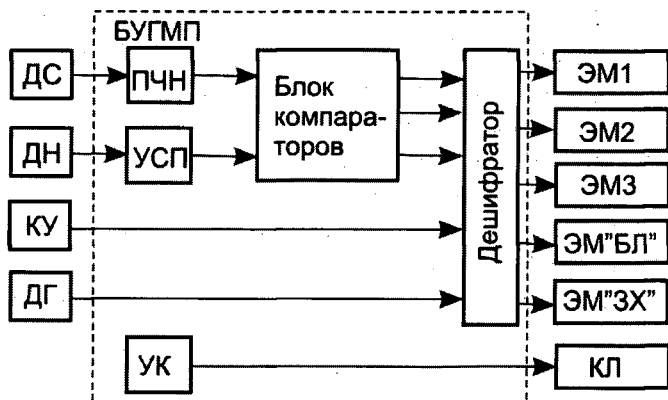


Рис. 8. Структурная схема электронного управления ГМП автобуса ЛиАЗ-5256

В состав ГМП входят (рис. 8):

ДС – датчик скорости, вырабатывающий сигнал переменного тока, частота которого пропорциональна частоте вращения выходного вала ГМП;

ДН – датчик нагрузки двигателя, представляющий собой связанный с топливоподающим органом двигателя ступенчатый переключатель на три положения. Первое положение соответствует нагрузке 0...50 %, второе – 50...100 %, третье – более 100 % (так называемый режим «кикдаун»);

КУ – контроллер управления – ступенчатый переключатель на пять положений;

ДГ – контактный датчик включения гидрозамедлителя;

БУГМП – блок управления ГМП;

ЭМ1, ЭМ2, ЭМ3, ЭМ"БЛ", ЭМ"ЗХ" – соответственно исполнительные электромагниты включения первой, второй и третьей передач, блокировки гидротрансформатора и передачи заднего хода;

КЛ – контрольная лампа индикации аварийного режима.

Сигнал ДС поступает в преобразователь частота–напряжение (ПЧН), где преобразуется в сигнал постоянного тока, пропорционального частоте входного сигнала. Напряжение с выхода ПЧН подается на вход блока компараторов. Этот блок содержит три компаратора, сигнальные входы которых объединены. Опорным сигналом для компараторов является сигнал, формируемый в устройстве сдвига порогов (УСП). Каждый из компараторов настроен таким образом, что при увеличении (или уменьшении) скорости автомобиля происходит поочередное переключение компараторов. При срабатывании первого компаратора формируется команда на включение второй передачи. Вторым и третьим компараторы формируют команды соответственно на включение третьей передачи и блокировку гидротрансформатора. Отсутствие сигналов на входах компараторов будет свидетельствовать о включении первой передачи. УСП изменяет порог срабатывания компараторов в зависимости от положения датчика нагрузки двигателя. При увеличении нагрузки переключение компараторов будет происходить при больших скоростях движения автомобиля.

Команды на переключение передач с выходов блока компараторов поступают на входы дешифратора. Сюда же подаются командные сигналы с КУ и ДГ. В зависимости от положения контроллера управления дешифратор обеспечивает автоматическое переключение передач по командам блока компараторов, принудительное включение первой передачи, передачи заднего хода или отключение коробки передач («нейтраль»). При включении гидрозамедлителя обеспечивается принудительная блокировка гидротрансформатора.

Узел контроля (УК) обеспечивает защиту от аварийных режимов при коротком замыкании или обрыве в цепи датчика скорости и при непредусмотренных комбинациях одновременного включения двух электромагнитов. При возникновении аварийных режимов УК снимает напряжение питания с электромагнитов и включает контрольную лампу КЛ.

Система автоматического управления подвеской автомобиля

Система автоматического управления подвеской позволяет повысить не только комфортабельность салона автомобиля для водителя и пассажиров, но и безопасность движения. Это достигается за счет введения в подвеску исполнительных механизмов, управляемых с помощью электронных устройств, которые изменяют жесткость упругих элементов и сопротивление амортизаторов, что способно уменьшить крен кузова на повороте и его продольный наклон при разгоне и торможении. Разработаны также устройства, обеспечивающие горизонтальное положение кузова при движении по неровным дорогам.

Рассмотрим принцип регулирования сопротивления амортизатора, жесткости подвески и высоты кузова на примере одного колеса (рис. 9).

Упругий элемент расположен между кузовом автомобиля и нижним рычагом подвески. Параллельно пружине подвески установлена основная пневмокамера, внутри которой (иногда вне ее) находится амортизатор. В кузове, выше основной пневмокамеры, расположена вспомогательная камера. Обе камеры соединены между собой перепускным клапаном, проходное сечение которого регулируется электромагнитным клапаном. Этот клапан связан с компрессором подпитки камер воздухом через влагоотделитель. Атмосферный воздух поступает в компрессор через фильтр.

Регулирование жесткости подвески достигается изменением производительности перепускного клапана, а изменение высоты кузова осуществляется подкачиванием пневмокамеры от компрессора или выпуском воздуха из нее в атмосферу, что позволяет растягивать или сжимать основную пневмокамеру.

Сопротивление амортизаторов регулируется изменением проходного сечения перепускных отверстий в поршне. Для этого в поршень вмонтирован поворотный золотник. Золотник поворачивается стержнем, соединенным с электродвигателем. ЭБУ дает команду электродвигателю повернуть золотник на необходимый угол, тем самым изменяя сопротивление амортизаторов.

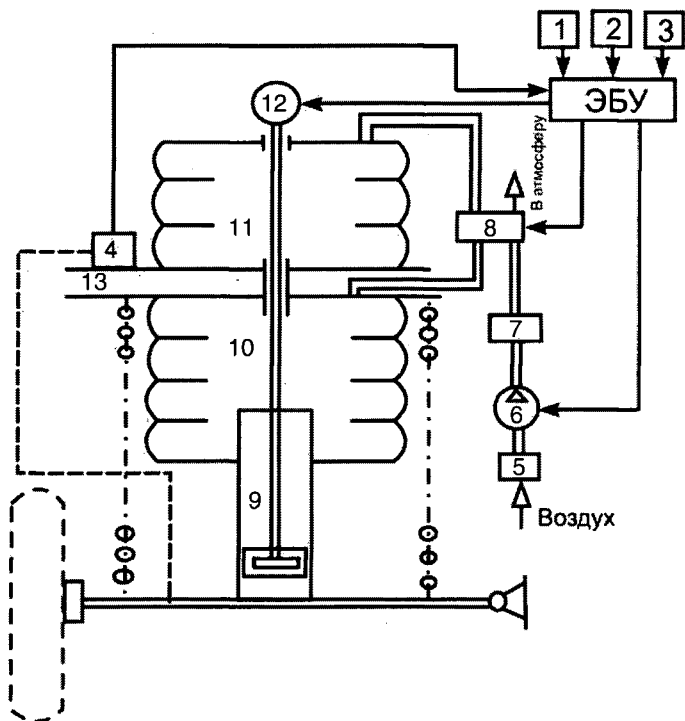


Рис. 9. Схема автоматического регулирования подвески:

1 – датчик скорости; 2 – датчик ускорения; 3 – датчик угловой скорости относительно вертикальной оси; 4 – датчик положения кузова автомобиля; 5 – фильтр; 6 – компрессор с приводом; 7 – влагоотделитель; 8 – электромагнитный клапан; 9 – амортизатор; 10, 11 – пневмокамеры; 12 – электродвигатель; 13 – кузов

Электронный блок управления силой сопротивления амортизаторов выполняется на цифровых схемах (рис. 10). Все входные сигналы являются цифровыми и поступают в микропроцессор через схемы входной обработки, формирующие сигналы. Выходные сигналы ЭБУ подаются на исполнительные механизмы управления режимами работы амортизаторов и на индикаторы, показывающие уровень силы сопротивления, через схемы выходной обработки от микропроцессора.

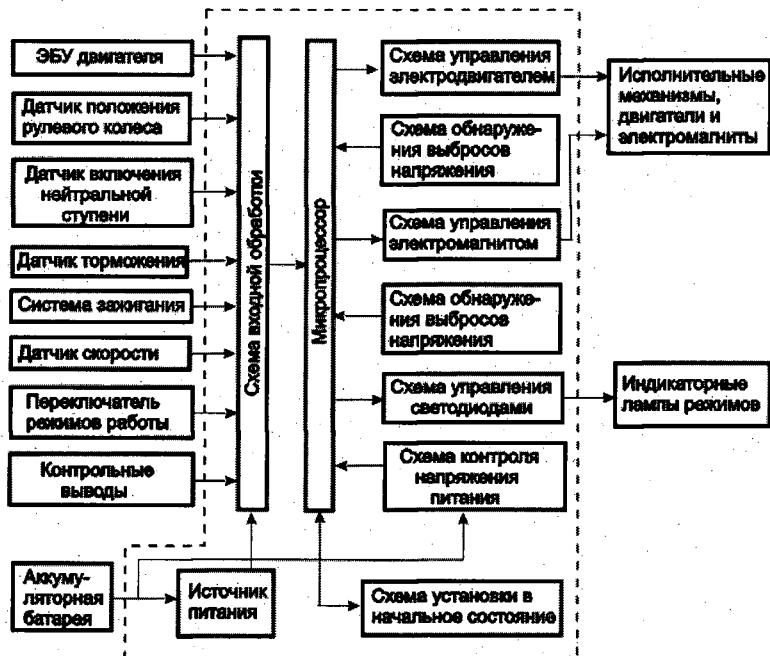


Рис. 10. Структурная схема ЭБУ силы сопротивления амортизаторов

В схемах управления исполнительными механизмами предусматриваются средства обеспечения работоспособности при появлении ошибок от скачков напряжения и защита от перегрузки по току. Источники питания преобразуют напряжение бортовой сети в напряжение 5 В, необходимое для работы интегральных схем. Выполнение основной программы занимает приблизительно 4 мс. За это время микропроцессор обрабатывает входные сигналы от датчиков и подает выходные сигналы на исполнительные механизмы. Чем короче время выполнения основной программы, тем выше быстродействие ЭБУ.

Такой принцип управления амортизатором используется в активной гидропневматической подвеске Hydractive, которой оснащен французский легковой автомобиль Citroen-ХМ (рис. 11). Основой подвески Hydractive является гидропневматический упругий элемент (рис. 12) на каждом колесе, апробированный на автомобилях Citroen-BX и Citroen-CX. Он состоит из гидропневматического

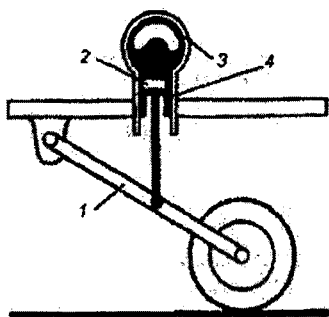


Рис. 11. Принципиальная схема гидропневматического баллона активной гидропневматической подвески:
 1 – рычаг подвески; 2 – цилиндр;
 3 – гидропневматический баллон;
 4 – поршень

баллона, разделенного эластичной мембраной, в верхней полусфере которого находится газообразный азот, а в нижней – жидкость (масло ЛHM), и цилиндра, также заполненного жидкостью, со скользящим в нем полым поршнем.

Шток поршня соединен с поперечным рычагом передней подвески или продольным – задней. На ходе сжатия жидкость под воздействием поршня поступает через гидроамортизатор в баллон и сжимает газ за мембраной. Сжатый газ работает как пружина. Повышенные ездовые качества автомобиля Citroen-ХМ объясняются работой его подвески в двух режимах: «мягком» и «жестком». «Мягкий» режим обеспечивает комфортабельность и удобство управления. При этом подвеска обладает большей гибкостью и умеренной амортизацией. «Жесткий» режим улучшает устойчивость автомобиля и безопасность. Подвеска в этом случае характеризуется меньшей гибкостью, но лучше защищает пассажиров и водителя от неблагоприятных воздействий качки, толчков и рывков на неровной дороге.

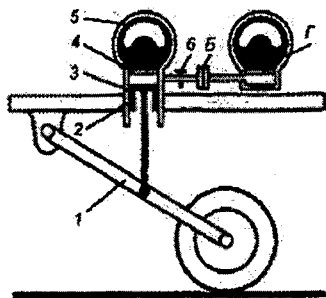


Рис. 12. Принципиальная схема активной гидропневматической подвески («мягкий» режим):
 1 – рычаг подвески; 2 – поршень;
 3 – цилиндр; 4 – гидроамортизатор;
 5 – гидропневматический баллон;
 6 – кран (открыт); Б и Г – соответственно дополнительные гидропневматический баллон и гидроамортизатор

Подвеска переводится в «жесткий» режим в результате отключения гидроамортизатора краном (регулятор жесткости). При этом уменьшается ее гибкость (меньше объем газа), а следовательно, увеличивается амортизация (жидкость проходит через одно отверстие).

Электронное управление регулятором жесткости осуществляет микропроцессор, который получает информацию от датчиков угла поворота и угловой скорости рулевого колеса, положения педали подачи топлива, давления в тормозной системе, крена кузова, скорости автомобиля.

В память микропроцессора заложен ряд предельных параметров и их сочетаний, определенных на основе продолжительных испытаний автомобилей Citroen-CX. Микропроцессор сравнивает эти данные с получаемой от датчиков информацией и выбирает соответствующий режим подвески. Причем гидравлическая система включается немедленно (время срабатывания менее 0,05 с), опережая динамическую реакцию автомобиля, что особенно важно при быстрой езде по извилистой дороге.

Работа подвески зависит от получаемой от датчиков информации и переработки ее микропроцессором, который при обнаружении какого-либо отклонения (от предварительно введенных данных) подает команду на переход в «жесткий» режим.

Датчик угла поворота и угловой скорости рулевого колеса информирует о достижении предельных значений этих параметров. Одновременно происходит переход в «жесткий» режим. Подвеска остается в данном режиме до тех пор, пока угол поворота рулевого колеса не станет ниже предельного значения. В результате качка уменьшается и замедляется, с одной стороны, благодаря переходу подвески в «жесткий» режим, с другой стороны, вследствие прекращения получения сообщений от элементов подвески правого и левого бортов. Датчик положения педали подачи топлива регистрирует время, необходимое для прохождения 10 % полного хода педали.

Датчик давления в тормозной системе информирует о достижении эталонного его значения, когда происходит переход в «жесткий» режим. Подвеска остается в таком режиме при падении давления ниже заданного предела.

Датчик крена (колебания) кузова регистрирует поворот торсионного вала. Переход в «жесткий» режим происходит при достижении определенного уровня крена кузова.

Датчик скорости автомобиля информирует о ее значении, когда необходимо определить данные, применяемые при переходе в «жесткий» режим по сигналам других датчиков, а также для обеспечения большей чувствительности к повороту рулевого колеса на высокой скорости или к крену (колебанию) кузова на малой скорости движения автомобиля.

На приборной панели автомобиля расположены переключатели, с помощью которых водитель может выбрать одну из двух программ: Sport и Automatic.

В режиме Sport питание (напряжение) на электроклапане отсутствует. Подвеска работает в «жестком» режиме. Однако при разгоне для уравнивания давления в элементах подвески обоих мостов автоматически меняется режим. В режиме Automatic питание подается на электроклапан. Подвеска работает в «мягком» режиме. Но в зависимости от регистрируемой датчиками информации микропроцессор выдает или не выдает команду на переход в «жесткий» режим. В результате обеспечиваются комфорт на большей части пути и возможность временного перехода в «жесткий» режим при соответствующих условиях (резкий поворот, торможение, выбоины на дороге) для лучшего управления и безопасности.

Управление высотой кузова обычно осуществляется с помощью пневматических упругих элементов, устанавливаемых на всех четырех или только двух задних колесах.

Сигнал от датчика высоты поступает в ЭБУ. Если текущая высота отличается от номинальной, ЭБУ регулирует давление в упругих элементах, включая электродвигатель компрессора (для увеличения давления) или соленоид выпускного клапана (для уменьшения давления). Таким образом обеспечивается постоянная, независимая от нагрузки на подвеску высота кузова.

В качестве датчика высоты могут использоваться фотоэлементы, герконы и другие преобразователи неэлектрического показателя (пути) в электрический. Для этих целей целесообразно применение таких датчиков, которые вырабатывали бы П-образные импульсы, а не аналоговые сигналы (например, резисторы), потому что в последнем случае их все равно необходимо преобразовывать

в цифровые. Если бы кузов опустился или поднялся, то сигнал датчика, поступивший в ЭБУ, будет считан и преобразован в управляющий импульс. Во время работы кузов колеблется, т.е. то опускается, то поднимается. В связи с этим сигнал датчика вводится в ЭБУ через каждые несколько миллисекунд. Электронный блок подсчитывает число тех или иных состояний высоты и по частоте состояния (их процентному соотношению) делает вывод о текущем значении высоты. В зависимости от положения дверей (закрыты или открыты) ЭБУ определяет происходит посадка или движение. При посадке высота определяется в течение короткого интервала времени (2,5 с), а при движении – за более длительное время (20 с). Например, если во время движения сигнал высоты в течение 20 с находится в области «очень высокое положение кузова» в 80 % случаев и более, то приводится в действие выпускной клапан. Если же в течение 20 с сигнал высоты оказывается в области «очень низкое» или «низкое положение кузова» более чем в 10 % случаев, то снижение прекращается. Подъем и опускание при посадке обеспечиваются аналогично. Структурная схема ЭБУ высотой кузова автомобиля Toyota показана на рис. 13.

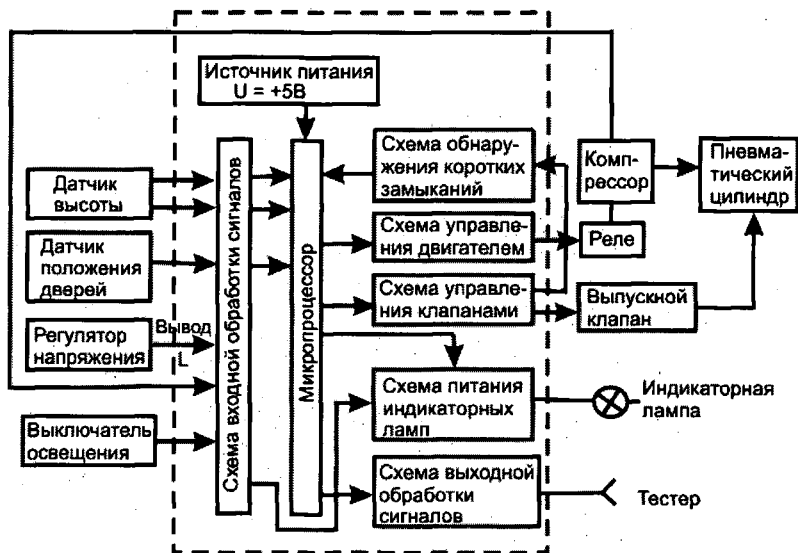


Рис. 13. Структурная схема ЭБУ высотой кузова автомобиля Toyota

Чем меньше жесткость подвески, тем меньше колебания кузова и тем выше комфортабельность автомобиля. Для электронного управления обычно используются пневматическая или гидропневматическая подвески. Жесткость таких подвесок можно делать довольно малой, что чревато появлением продольных колебаний. По этой причине управление жесткостью подвески в большинстве случаев комбинируют с управлением высотой кузова и силой сопротивления амортизаторов. Схема управления жесткостью подвески автомобиля Toyota представлена на рис. 14.

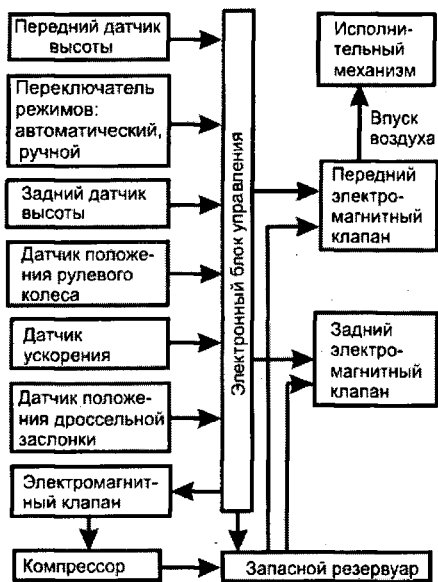


Рис. 14. Структурная схема управления жесткостью подвески автомобиля Toyota

На современных дорогах японских автомобилей (Toyota Aristo, Toyota Celsior и др.) применяется система электронного управления подвеской на пьезокристаллах. В отличие от других подобных систем, датчики, изготовленные на пьезокристаллах, мгновенно реагируют на характер движения автомобиля, и быстрдействие таких систем существенно повышается.

Разработаны системы, не только изменяющие жесткость амортизаторов, но и величину давления масла в них, за счет чего устраняются крены автомобиля и при движении по ухабистой дороге увеличивается дорожный просвет.

Кроме достоинств, электронные подвески обладают существенными недостатками: на российских дорогах они «ходят» меньше, чем обычные; амортизаторы и стойки таких подвесок примерно в 1,5–2 раза дороже простых.

Однако, если даже взамен изношенных «электронных» стоек или амортизаторов поставить обыкновенные, то машина все равно

будет обладать лучшими качествами из-за увеличенной колесной базы и большего дорожного просвета.

У различных производителей электронные подвески обозначаются по-разному:

у Toyota – TEMS;

у Nissan – DUET-SS;

у Mazda – ASA;

у Mitsubishi – Active ECS,

но все они служат одной цели – повышению устойчивости, управляемости автомобиля, а значит, и безопасности движения.

2. СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ БОРТОВЫЕ СИСТЕМЫ АВТОМОБИЛЯ

Специализированные бортовые системы автомобиля очень разнообразны. Автопроизводители стремятся оснастить автомобиль как можно большим количеством систем, повышающим его комфортабельность, эргономичность, управляемость, информативность и безопасность. Рассмотрим некоторые из них.

Электронные противоугонные системы автомобиля

Электронные противоугонные системы являются стандартным оборудованием на большинстве новых автомобилей и могут устанавливаться на выпущенные ранее. Промышленность производит много различных противоугонных систем, их цена, как правило, связана с предлагаемым уровнем защиты. Противоугонные системы должны быть эффективными, надежными, иметь длительный срок службы, устойчивыми к внешним воздействиям, например к радиопомехам. Установка такой системы не должна ухудшать безопасность автомобиля.

Противоугонные системы реализуют защиту автомобиля условно на трех уровнях:

1) по периметру. Система периметрической защиты использует микровыключатели для контроля за открывающимися панелями автомобиля (двери, капот, багажник). При попытке несанкционированного

рованного открытия панели включаются звуковой и световой сигналы. Иногда система дополняется датчиками, способными обнаруживать движения тела;

2) по объему. Система с помощью инфракрасных, ультразвуковых или микроволновых датчиков обнаруживает несанкционированное движение в салоне автомобиля. Ультразвуковые датчики используют эффект Доплера, когда любое движение в салоне изменяет частоту сигнала ультразвукового излучателя (40 кГц), принимаемого приемником. Микроволновая радиосистема работает на том же принципе, но радиосигнал излучается на частоте 10 ГГц. Микроволновые датчики реже ложно реагируют на движение воздуха и часто устанавливаются в кабриолетах. Инфракрасные датчики представляют собой сборку «приемник–излучатель» и монтируются на потолке салона. Они создают невидимую инфракрасную завесу до пола салона. Приемник постоянно контролирует отраженный сигнал и при его изменении (кто-то появился в салоне) включается сигнал тревоги;

3) иммобилизация двигателя. Иммобилизация двигателя осуществляется специальным ЭБУ, запрещающим запуск двигателя при получении сигнала тревоги. Это может быть выполнено двумя способами:

а) аппаратной иммобилизацией, при которой некоторые электрические цепи системы пуска двигателя разрываются специальными реле или полупроводниковыми переключателями. Эффективность аппаратных систем иммобилизации сильно зависит от скрытности размещения разрывающих реле и немаркированных проводов в жгуте. Скрытность нужна для того, чтобы нельзя было шунтировать создаваемые этими устройствами разрывы в цепи;

б) программной иммобилизацией, когда по команде противоугонной системы ЭБУ двигателя запрещает его запуск, например делает недоступными калибровочные диаграммы подачи топлива и зажигания. После этого двигатель хотя и будет проворачиваться стартером, но не запустится. Такие системы очень эффективны, нужно только исключить возможность запуска двигателя путем замены ЭБУ двигателя на другой работоспособный блок.

Состав противоугонных устройств, входящих в стандартную комплектацию, зависит от модели автомобиля. Во всех случаях автомобиль комплектуется средствами периметрической защиты, многие противоугонные системы имеют иммобилизатор и защиту по

объему. Обычно противоугонная система включается и выключается ключом замка двери или с дистанционного пульта, управляющего также и центральным замком. Припарковав автомобиль, водитель запирает двери и включает противоугонное устройство нажатием кнопки на дистанционном пульте управления (брелке). Светодиодный индикатор включения противоугонной системы начинает вспыхивать: сначала часто, информируя водителя о включении системы, затем редко, отпугивая потенциальных угонщиков.

При попытке несанкционированного проникновения в автомобиль противоугонная система включает звуковой сигнал, периодически зажигает и гасит фары, иммобилизатор блокирует работу двигателя. Примерно через 30 с звуковые и световые сигналы прекращаются, чтобы не разрядить чрезмерно аккумулятор, но иммобилизатор остается включенным до тех пор, пока владелец автомобиля не выключит его дверным ключом или с дистанционного пульта управления.

Существуют спутниковые охранно-поисковые системы, состоящие из двух основных частей: мобильного устройства (бортовой модуль), скрытно установленного в автомобиле, и круглосуточно диспетчерского центра. Диспетчерский центр обрабатывает информацию, полученную от бортового модуля с последующим отображением ее на электронной карте.

Бортовой модуль представляет собой небольшой герметичный необслуживаемый блок, скрытно устанавливаемый на контролируемый автомобиль и подключаемый к его бортовой сети и GPS/GSM антеннам. Бортовой модуль потребляет очень мало электроэнергии, его можно эксплуатировать практически неограниченное время даже при выключенном двигателе. Бортовой модуль получает сигналы от спутников, обрабатывает их и автоматически или по запросу передает в диспетчерский центр необходимую информацию, которая регистрируется в базе данных.

Диспетчерский центр – это рабочее место диспетчера, оснащенное персональным компьютером, специальным программным обеспечением и приемником сообщений от бортовых модулей. Диспетчерский центр позволяет обрабатывать сообщения от большого количества автомобилей, содержит базу данных маршрутов следования, позволяет определить местоположение автомобиля на электронной географической карте.

Разработана автосигнализация с обратной связью, когда сигнал тревоги передается прямо на брелок владельца автомобиля.

Противоугонная система автомобиля с автозапуском обеспечивает запуск и прогрев двигателя в холодное время в автоматическом режиме.

Система дистанционного управления позволяет управлять противоугонным устройством и центральным замком с некоторого расстояния. Она состоит из портативного передатчика, носимого водителем, и приемника, подключенного к ЭБУ противоугонного устройства и центральному замку.

Передатчик размещается в брелке или самом ключе. Для миниатюризации применяются многослойные печатные платы и бескорпусные микросхемы. Питание осуществляется от миниатюрных литиевых батареек (как для наручных часов).

Передатчики изготавливаются на базе специализированных микросхем, например HCS200, HCS201 (Microchip), или недорогих 8-рядных микроконтроллеров, например MC68HC05K3 (Motorola). Второй вариант дороже, но он дает возможность применять одно и то же оборудование в передатчиках с различными функциональными возможностями для различных систем дистанционного управления, отличающихся криптографическими алгоритмами, интерфейсом и т.д.

Противоугонная система включается и выключается передатчиком при посылке соответствующего цифрового кода. Код передается последовательно, при этом используется инфракрасное излучение или радиосигнал в УКВ-диапазоне. Системы, применяющие инфракрасное излучение, имеют малый радиус действия, требуют точного наведения луча передатчика, но не создают электромагнитных помех. УКВ-системы обладают большим радиусом действия, но их сигнал может быть перехвачен и декодирован угонщиками с помощью соответствующей электронной аппаратуры. УКВ-излучатели могут быть источниками электромагнитных помех, поэтому их параметры регламентируются соответствующими законодательными актами. Работают они в диапазоне дециметровых волн (200–450 МГц).

Передача сигналов кодовой информации в автомобильных противоугонных системах производится, как правило, в одном направлении из соображений удешевления оборудования. Брелки и электромеханические ключи приемников не имеют, хотя двуна-

правленные сигналы значительно усложнили бы взлом противоугонных систем.

Для повышения секретности линий связи многие противоугонные системы используют набор кодов, в результате при каждом нажатии кнопки передатчика (брелка) посылается свой код из набора. Программное обеспечение приемника синхронизирует его работу с передатчиком, т.е. приемник ожидает смену кода. Если приемник и передатчик вышли из синхронизации (например, когда водитель случайно нажал кнопку передатчика вдали от автомобиля), дистанционное управление работать не будет, но система автоматически синхронизируется при отпирании двери ключом.

В современных противоугонных системах используется динамический код **Keeloq**, алгоритм которого был разработан в середине 1980-х годов южноафриканской фирмой Nanoteq.

Технология динамических (плавающих) кодов делает бессмысленным и перехват кодов из эфира, и их подбор. Действительный код шифруется таким образом, что при каждой передаче излучается внешне совершенно другая кодовая посылка. В приемнике действительный код восстанавливается путем математической обработки. В результате становится невозможным предсказать, какая следующая кодовая комбинация снимет сигнализацию с охраны. Простое повторение предыдущей посылки не приведет к выключению сигнализации, так как использованные в прошлом посылки считаются недействительными. Предсказать же будущую посылку теоретически можно, только зная алгоритм шифрования кода, который держится фирмой-изготовителем в секрете, и достаточное количество выборок кода для анализа. Кодовые комбинации повторяются с очень большим интервалом.

На рис. 15 и 16 схематично изображены алгоритмы работы передатчика и приемника при использовании динамического кода Keeloq. При нажатии кнопки брелка (передатчика) его микросхема переходит из режима ожидания в рабочий режим. Запускается 16-разрядный синхронизирующий счетчик, генератор динамического кода вырабатывает по определенному алгоритму динамический код (28–32 бит) в зависимости от значения секретного ключа (статический код) и состояния синхронизирующего счетчика. Динамический код, заводской номер брелка и код нажатой клавиши образуют управляющее слово длиной 60–70 бит, которое передается приемнику по радиоканалу или иным способом. Если брелок зарегистрирован

в данном приемнике, т.е. его идентификационный номер, секретный код, состояние синхронизирующего счетчика помещены в постоянное программируемое запоминающее устройство (EEPROM) приемника, принятая информация идентифицируется по номеру брелка и обрабатывается. Синхронизирующий счетчик приемника запускается и в генераторе приемника вырабатывается динамический код. Если динамические коды приемника и передатчика совпадают, производится выполнение переданной команды.

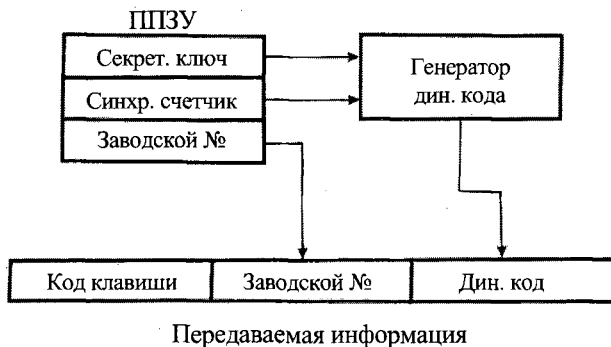


Рис. 15. Алгоритм работы передатчика (брелок)

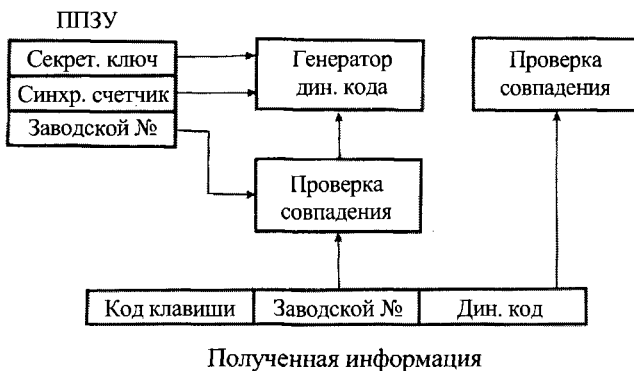


Рис. 16. Алгоритм работы приемника

Заводской номер передатчика и секретный ключ – статические коды. Генератор динамического кода, тактируемый от 16-разрядного синхронизирующего счетчика, вырабатывает 65 535 различных значений кода, меняющихся в каждой посылке, повторяющихся цикли-

чески. Если пользоваться брелком по 50 раз в день, повторение кода произойдет через 1310 суток.

Системы дистанционного управления на основе динамического кода являются криптографическими. Защита автомобиля от вскрытия зависит от кодовой длины секретного ключа, т.е. от числа его возможных состояний.

В современных противоугонных системах часто применяются специализированные микросхемы фирмы Microchip, реализующие алгоритм генерации псевдослучайной последовательности (динамического кода) Keeloq с длиной ключа 64 бита.

Код Keeloq представляет собой двоичную псевдослучайную последовательность с периодом $2^{64}-1$ бит. Для идентификации передатчика используются блоки длиной 32 бита. Уникальный для каждого передатчика 64-битовый ключ – это начальное состояние сдвигающего регистра генератора псевдослучайной последовательности.

Стандартный формат кода Keeloq имеет вид, представленный на рис. 17.

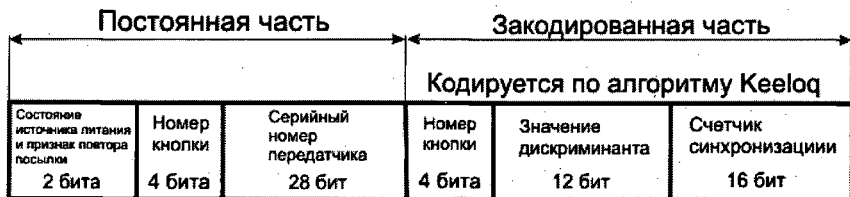


Рис. 17. Стандартный формат кода Keeloq

При данном формате кода Keeloq открыто передаются:

- 28 бит серийного номера передатчика, который должен быть уникальным для каждого выпускаемого производителем передатчика. Этот номер является первичной информацией для распознавания передатчика в приемнике устройства дистанционного управления. Как правило, он используется при формировании ключа кодирования для данного передатчика. Кроме того, в более секретных устройствах управления такой номер может передаваться в закодированном виде (Envelope Code) для исключения возможности применения различных код-грабберов;

- 4 бита кода команды (номер кнопки);

- 2 бита состояния источника питания передатчика и признака повтора посылки.

Собственно алгоритм Keeloq используется для кодирования следующих 32 бит данных:

- 4 бита команды (номер кнопки);
- 12 бит значения дискриминанта – секретного слова, которое может задаваться для каждой группы устройств, выпускаемых производителем;

- 16 бит счетчика синхронизации передаваемых посылок, обеспечивающих правильную работу декодера на приемной стороне.

На практике возможны случайные нажатия кнопок брелка, ведущие к рассинхронизации приемника и передатчика. В этом случае приемник начинает процедуру ресинхронизации, т.е. инкрементирует синхронизирующий счетчик и дешифрует сообщение с помощью соответствующих состояниям синхронизирующего счетчика и секретного ключа последовательностей, пока дискриминационное слово не дешифруется правильно. Далее реализуется алгоритм синхронизации приемника и передатчика.

Системы бортовой самодиагностики автомобиля

Сегодня многие легковые и грузовые автомобили оборудованы системами бортовой диагностики. В 1970-х–начале 1980-х годов производители начали использовать электронные системы управления двигателем и диагностики двигателя. Причиной этого стало ужесточение требований стандартов EPA (Environmental Protection Agency – Агентство по защите окружающей среды при Правительстве США) по выбросам в атмосферу. Со временем системы бортовой диагностики развились в сложные системы. OBD-II (On-Board Diagnostic II – система бортовой самодиагностики, версия II) – новый стандарт, разработанный в середине 1990-х годов, предоставляет полный контроль за двигателем, позволяет проводить мониторинг частей кузова и дополнительных устройств, а также диагностирует сеть управления автомобилем.

Разработка требований и рекомендаций по стандарту OBD-II велась под эгидой EPA при участии CARB (California Air Resources Board – Калифорнийский совет по ресурсам атмосферы) и SAE

(Society of Automotive Engineers – Международное общество автомобильных инженеров). Стандарт OBD-II предусматривает более точное управление двигателем, трансмиссией, каталитическим нейтрализатором и т.д. Доступ к системной информации бортового ЭБУ можно осуществлять не только специализированными, но и универсальными сканерами. С 1996 года все продаваемые в США автомобили стали соответствовать требованиям OBD-II.

В Европе аналогичные документы традиционно принимаются с запаздыванием по отношению к США. Аналогичные правила EOBD (European On Board Diagnostic) вступили в силу с 1 января 2000 года. С применением стандартов EOBD и OBD-II процесс диагностики электронных систем автомобиля унифицируется, теперь можно один и тот же сканер без специальных адаптеров использовать для тестирования автомобилей всех марок.

Система OBD-II предназначена для контроля за исправностью систем и компонентов автомобиля, влияющих на качество эмиссии (выхлопа): топливной системы; системы зажигания; системы рециркуляции отработавших газов; системы улавливания паров бензина; датчиков кислорода; нагревателей датчиков кислорода; катализаторов; нагревателей катализаторов; системы вторичного воздухозабора. Состояние системы поддержания требуемого состава смеси и пропуски сгорания смеси контролируются постоянно, другие системы и компоненты автомобиля тестируются 1 раз за поездку автомобиля (Drive Cycle). В случае определения неисправности система самодиагностики OBD-II сохраняет код ошибки в памяти ЭБУ и зажигает индикатор ошибок (MIL – Malfunction Indicator Lamp, Check Engine или просто Check). При помощи программы OBD-II можно считать ошибки и найти причину неисправности. Кроме считывания кодов ошибок программа позволяет: стирать ошибки; просматривать зафиксированные параметры (freeze frame data); контролировать состояние топливной системы (открыта/закрыта); контролировать работу датчиков кислорода; просматривать параметры работы системы в режиме реального времени (data stream); просматривать результаты тестов самодиагностики; считывать идентификационные данные ЭБУ.

В рамках OBD-II используются пять протоколов обмена данными: ISO 9141, ISO 14230 (второе название – KWP2000), PWM, VPW и CAN. Каждый из протоколов имеет несколько разновидно-

стей, отличающихся по скорости обмена информацией и другим признакам.

Общим признаком того, что автомобиль поддерживает OBD-II-диагностику, является наличие 16-контактного диагностического разъема (DLC – Diagnostic Link Connector) трапециевидной формы (рис. 18). На подавляющем большинстве автомобилей он находится под приборной панелью со стороны водителя; разъем может быть как открыт, так и закрыт легко снимаемой крышкой с надписями «OBD-II», «Diagnose» и т.п.

Для оценки применимости того или иного сканера для диагностики конкретного автомобиля необходимо определить тип OBD-II-протокола, используемого на данном автомобиле (если OBD-II вообще поддерживается). Для этого нужно осмотреть диагностический разъем и определить наличие выводов в нем (как правило, присутствует только часть задействованных выводов, а каждый протокол использует свои выводы разъема).

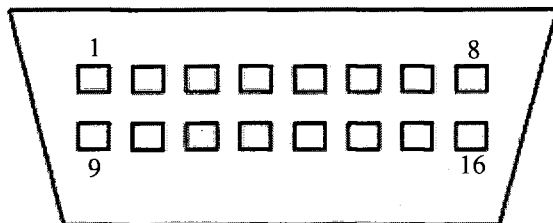


Рис. 18. Диагностический разъем OBD-II

Назначение выводов («распиновка») 16-контактного диагностического разъема OBD-II:

- 02 – J1850 Bus+;
- 04 – Chassis Ground;
- 05 – Signal Ground;
- 06 – CAN High (J-2284);
- 07 – ISO 9141-2 K-Line;
- 10 – J1850 Bus-;
- 14 – CAN Low (J-2284);
- 15 – ISO 9141-2 L-Line;
- 16 – Battery Power (напряжение АКБ).

По наличию выводов можно ориентировочно судить об используемом протоколе (табл. 1):

- протокол ISO-9141-2 идентифицируется наличием контакта 7 и отсутствием контактов 2 и/или 10 в диагностическом разъеме (K-line). Используемые выводы: 4, 5, 7, 15 (может не быть), 16;

- SAE J1850 VPW (Variable Pulse Width Modulation) использует выводы: 2, 4, 5, 16 (без 10);

- SAE J1850 PWM (Pulse Width Modulation) использует выводы: 2, 4, 5, 10, 16.

Протоколы PWM, VPW идентифицируются отсутствием контакта 7 в диагностическом разъеме.

Таблица 1. Стандарты диагностического разъема OBD-II

Стандарт	Pin 2	Pin 7	Pin 10	Pin 15
ISO-9141 и ISO-14230	-	Должен присутствовать	-	Должен присутствовать (если автомобиль использует L-линию диагностики)
PWM (J1850)	Должен присутствовать	-	Должен присутствовать	-
VPW (J1850)	Должен присутствовать	-	-	-

Основная часть автомобилей использует протоколы ISO, исключения составляют:

- большая часть легковых автомобилей и легких грузовиков концерна General Motors, использующих протокол SAE J1850 VPW;

- большая часть автомобилей Ford, использующих протокол J1850 PWM

- и др.

Световой индикатор наличия неисправности Check Engine, расположенный на приборном щитке (на некоторых моделях специальные светодиоды, расположенные непосредственно на устройствах управления), загорается при включении зажигания и гаснет через некоторое время после запуска двигателя. Если при самодиагностике обнаружатся неисправности компонентов, под-

лежащих диагностике, то индикатор не погаснет. В случае возникновения некоторых неисправностей во время движения индикатор также загорится, причем при однократной незначительной неисправности он может погаснуть (сохранив ошибку в памяти для последующего считывания), но если индикатор продолжает гореть, то не удастся избежать немедленной остановки, более глубокой диагностики и ремонта.

Сохраненные в памяти коды ошибок считываются специальным прибором (сканером) или вручную при помощи определенной процедуры, которая вводит ЭБУ в режим индикации кодов самодиагностики. После их изучения и анализа дополнительных данных оператором принимается решение о последующих мероприятиях.

В настоящее время доступно большое количество различных сканеров с невысокой стоимостью, что предоставляет возможность владельцу автомобиля обнаружить и устранить неисправности собственными силами. Сканеры – это действительно мощный инструмент, позволяющий с применением соответствующего программного обеспечения быстро и устойчиво установить связь с бортовым устройством и автоматически получить информацию. Возможно также, при подключении к диагностическому разъему, получать данные во время движения автомобиля. Подключение к ноутбуку (через адаптер) позволяет использовать дополнительную память, получать и обрабатывать информацию с использованием различных графических приложений.

Климат-контроль

Система климат-контроля обеспечивает полностью автоматическое и эффективное управление климатом в салоне автомобиля. Основным ее элементом на автомобиле является блок отопителя-кондиционера. Именно в нем холодный воздух превращается в теплый и наоборот, а в конструкции и принципах управления этим блоком заключены основные различия между климатическими установками различного типа. Пользователь системы климат-контроля избавлен от необходимости двигать рычаги заслонок – ему нужно лишь задать желаемую температуру. Микропроцессор-

ное устройство, ориентируясь на информацию, приходящую от различных датчиков (температурных, а в некоторых системах и датчиков уровня солнечной радиации), автоматически выбирает, устанавливает и поддерживает нужные режимы независимо от внешней температуры и погодных условий.

Автоматические системы контроля климата либо входят в штатную комплектацию современных автомобилей, либо устанавливаются опционно, за отдельную плату.

Круиз-контроль

Круиз-контроль – это система управления скоростью автомобиля. Она получает сигнал от положения педали управления подачей топлива и поддерживает заданную водителем скорость вне зависимости от погодных и дорожных условий. Система имеет обратную связь, при помощи которой производится сравнение заданной и действительной скоростей движения. Когда блок сравнения обнаруживает различие между ними, он формирует сигнал для открытия или закрытия дроссельной заслонки. Нестабильность скорости движения автомобиля уменьшается за счет включения специального блока задержки сигналов.

Установленный на педали тормоза выключатель гарантирует мгновенное отключение системы. На некоторых моделях выключатель установлен и на педали сцепления во избежание перегазовки двигателя при переключении передач.

Адаптивный круиз-контроль (ACC – Adaptive Cruise Control) – усовершенствованная система круиз-контроля, которая может автоматически поддерживать не только скорость, но и безопасную дистанцию до впереди идущего автомобиля. С помощью встроенных в переднюю часть машины радаров, система измеряет расстояние до находящегося впереди автомобиля и в случае сокращения дистанции сбавляет скорость, а при необходимости слегка притормаживает машину. Как только расстояние увеличивается, автомобиль опять набирает заданную скорость. Если расстояние до препятствия сокращается очень быстро, система звуковым сигналом сообщает водителю о необходимости принудительного торможения.

Радиолокационный контроль дороги основан на эффекте Доплера. Приемопередатчик, встроенный в переднюю часть автомобиля, непрерывно испускает радиоволны. При отражении эти волны возвращаются и улавливаются приемным устройством. По изменению частоты сигнала определяются расстояние до препятствия и относительная скорость движения автомобиля.

Бортовой компьютер

В последние годы в связи со значительным снижением стоимости микропроцессоров компьютерная техника все шире внедряется в автомобилестроение, и бортовой компьютер становится обычным оборудованием автомобиля.

Типичный бортовой компьютер может давать следующую информацию:

- дату и время;
- мгновенный расход топлива;
- средний расход топлива;
- стоимость топлива на километр (или милю) пробега;
- ожидаемое время прибытия в пункт назначения;
- ожидаемый пробег на оставшемся топливе;
- количество израсходованного топлива;
- температура наружного воздуха;
- пройденный путь.

Для расчета компьютером некоторых параметров водитель должен перед выездом ввести в него исходные данные, после чего компьютер сможет давать указанную выше информацию при нажатии соответствующей кнопки на пульте управления. Для отображения информации все чаще применяются цветные жидкокристаллические дисплеи.

3. АВТОМОБИЛЬНЫЕ МУЛЬТИПЛЕКСНЫЕ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

За последние 20 лет значительно возросла сложность автомобильной электропроводки. Сегодня разработка и изготовление ав-

40

томобильного жгута проводов является проблемой из-за его размеров и массы. В современном автомобиле может быть более 1200 отдельных проводов. Большое число проводов и соединений ухудшает надежность. По стоимости автомобильный жгут проводов занимает четвертое место после кузова, двигателя и трансмиссии.

Растет число систем автомобиля, имеющих автотронное управление, таких как:

- управление двигателем;
- антиблокировочные системы;
- управление коробкой передач;
- управление клапанами;
- активная подвеска и т.д.

Эти системы в той или иной степени связаны друг с другом. Выходные сигналы некоторых датчиков могут использоваться несколькими электронными системами. Можно применять один компьютер для управления всеми автомобильными системами (но на текущий момент и в ближайшем будущем это экономически нецелесообразно). Начинает претворяться в жизнь другое техническое решение, когда контроллеры отдельных ЭБУ связываются друг к другу коммуникационной шиной для обмена данными. Датчики и исполнительные механизмы, подключенные к данной шине через специальные согласующие устройства, становятся доступными для всех ЭБУ. Это решение представляет собой локальную вычислительную сеть (ЛВС) на борту автомобиля.

Термин «мультиплексный» широко используется в автомобильной промышленности. Обычно его относят к последовательным каналам передачи данных между различными электронными устройствами автомобиля. Несколько проводов, по которым передаются управляющие сигналы, заменяются шиной для обмена данными. Уменьшение количества проводов в электропроводке автомобиля – одна из причин разработки мультиплексных систем. Другая причина – необходимость объединения в ЛВС контроллеров различных ЭБУ для эффективной работы и диагностики.

Мультиплексные системы значительно отличаются от обычных:

1) в обычных системах электропроводки информация и питание передаются по одним и тем же проводам. В мультиплексных системах сигналы и электропитание разделены;

2) в мультиплексных системах управляющие ключи непосредственно не включают и не выключают электропитание нагрузок;

3) в некоторых случаях электронная схема узла должна постоянно считывать состояние управляющего ключа, даже когда большая часть электрооборудования обесточена. Например, положение ключа центрального замка дверей должно определяться и при парковке, когда многие системы выключены из соображений энергосбережения.

Любая промышленная сеть, в том числе автомобильная, представляет собой совокупность датчиков, исполнительных механизмов, вычислительных устройств и органов управления, объединенных системой передачи данных и взаимодействующих по правилам, задаваемым протоколом. Протокол – центральный элемент, определяющий характеристики и возможности связанных им систем.

SAE разделяет автомобильные сети на три класса: А, В и С, отличающиеся скоростью передачи данных и областями применения (табл. 2). Причем к сетям класса С предъявляются особо жесткие требования, поскольку они по одному каналу связи обслуживают наиболее ответственные системы автомобиля, а передаваемые по ним сообщения могут быть как периодическими, так и случайными. Такие сети должны быть не только надежными и защищенными от внешних воздействий, но и обеспечивать возможность расстановки приоритетов различным сообщениям, сигнализировать об ошибках в передаче управляющих сигналов, иметь скорость реакции на важное сообщение определенной длительности.

Таблица 2. Классификация автомобильных сетей

Класс сети	Скорость передачи	Область применения данных
А	10 кбит/с	Системы комфорта
В	10–125 кбит/с	Самодиагностика
С	125 кбит/с–1 Мбит/с	Системы управления двигателем, тормозами, коробкой передач, АБС и т.д.

Автомобильные системы, независимо от их класса, могут выполняться (и выполняются) по одной из трех топологических схем (способов объединения устройств) сетей: «звезда», «кольцо» и «шина» (рис. 19).

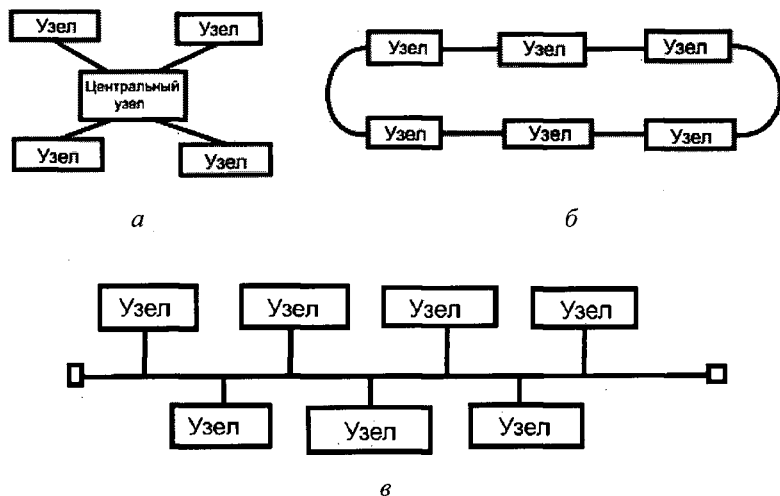


Рис. 19. Топологические схемы автомобильных мультиплексных систем:
а – звезда; *б* – кольцо; *в* – шина

В схеме «звезда» есть центральный узел, связанный с каждым устройством системы отдельным каналом связи, т.е. для связи двух или более таких устройств необходимо, чтобы информация прошла через «центр». Плюс у схемы один – простота протоколов обмена информацией, недостатков, к сожалению, гораздо больше, и они явно перекрывают этот плюс. В их числе: большое время задержки и значительное число проводов; ограниченное число коммутируемых устройств; низкая надежность из-за наличия центрального узла. Схема используется редко.

В схеме «кольцо» все устройства равноправны, так как последовательно объединены в кольцо. Значит, передаваемые сигналы должны проходить по нескольким звеньям, этим обусловлены и недостатки схемы: потеря работоспособности при разрыве цепи или выходе из строя одного устройства; большая задержка и ее увеличение при добавлении нового звена.

Схема «шина» позволяет устройствам функционировать в общей среде передачи данных, используя широкоэвещательную передачу; не требует доработок при подключении дополнительных устройств; в ней возможна реализация любого типа доступа к среде передачи данных, а время их передачи невелико. Самая важная

задача протокола здесь – решение вопросов доступа в среду передачи данных.

Очевидно, что для автомобиля предпочтительнее именно эта схема: она экономит провода, обеспечивает высокую надежность системы управления.

Схема «шина» реализует доступ трех типов: основной узел по определенным правилам опрашивает дочерние узлы; получив от синхронизирующего пакета сигнал, отправляет данные тому дочернему узлу, который соответствует полученному от пакета сигналу; получив сигнал от дочернего узла, открывает последнему доступ в сеть.

Первые два типа доступа называются централизованными, третий – децентрализованным. Он особенно эффективен, так как не тратит время на «холостые» опросы, т.е. обеспечивает мгновенное реагирование на высокоприоритетное сообщение.

Протокол CAN был разработан инженерами фирмы R. Bosch GmbH для применения на автомобилях. Протокол соответствует международным стандартам ISO 11898 и ISO 11519 и используется несколькими производителями электронного оборудования. Протокол CAN признан автомобильными производителями США и Европы, применяется на современных легковых автомобилях, грузовиках, автобусах, сельскохозяйственном транспорте, в морском оборудовании, для автоматизации производства.

Протокол CAN поддерживает метод доступа CSMA/CD-A к сети с равноправными узлами. Пакет данных имеет размер не более 8 байт и передается по последовательной шине, 15-битовый циклический контроль избыточности обеспечивает высокий уровень целостности данных.

Каждый узел состоит из двух составляющих. Это собственно CAN-контроллер, который обеспечивает взаимодействие с сетью и реализует протокол, и микропроцессор (CPU) (рис. 20).

CAN-контроллеры соединяются с помощью дифференциальной шины, имеющей две линии: CAN_H (can-high) и CAN_L (can-low), по которым передаются сигналы. Логический ноль регистрируется, когда на линии CAN_H сигнал выше, чем на линии CAN_L, логическая единица – в случае, когда сигналы CAN_H и CAN_L одинаковы (отличаются менее чем на 0,5 В). Использование такой дифференциальной схемы передачи делает возможной работу

CAN-сети в очень сложных внешних условиях. Логический ноль называется доминантным битом, а логическая единица – рецессивным битом. Эти названия отражают приоритет логических единицы и ноля на шине CAN. При одновременной передаче в шину логического ноля и единицы на ней будет зарегистрирован только логический ноль (доминантный сигнал), а логическая единица будет подавлена (рецессивный сигнал).

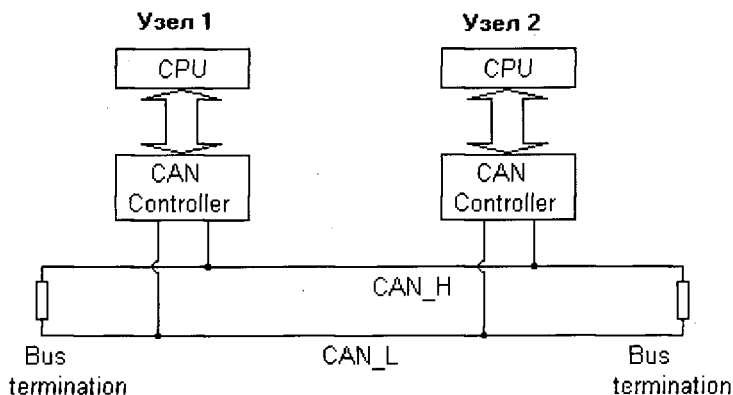


Рис. 20. Структура сети CAN

На рис. 21 представлена схема включения и битовые уровни протокола CAN в соответствии с международным стандартом ISO 11898, на рис. 22 – соответствии с международным стандартом ISO 11519.

Используемый в настоящее время протокол CAN версии v2.0 состоит из двух частей: версия v2.0A со стандартным форматом кадра и v2.0B с расширенным форматом кадра. Версия v2.0A идентична предыдущей версии v1.2 и использует 11-битовое поле идентификатора. В версии v2.0B поле идентификатора – 29 бит. Расширенный формат кадра необходим для совместимости с существующим коммуникационным протоколом J1850. Функции протокола CAN реализуются в микропроцессоре со встроенным контроллером CAN. Первыми на рынке появились контроллеры CAN с внешними драйверами для шины. В настоящее время производятся несколько типов CAN-контроллеров, которые можно

разделить на три группы в зависимости от поддержки ими расширенного формата кадра:

- контроллеры v2.0A. Поддерживают только стандартный формат, не могут работать в сети, где передаются кадры расширенного формата;

- контроллеры v2.0B, пассивные. Поддерживают только стандартный формат, но могут работать в сети, где передаются и кадры расширенного формата;

- контроллеры v2.0B, активные. Поддерживают операции с кадрами стандартного и расширенного форматов.

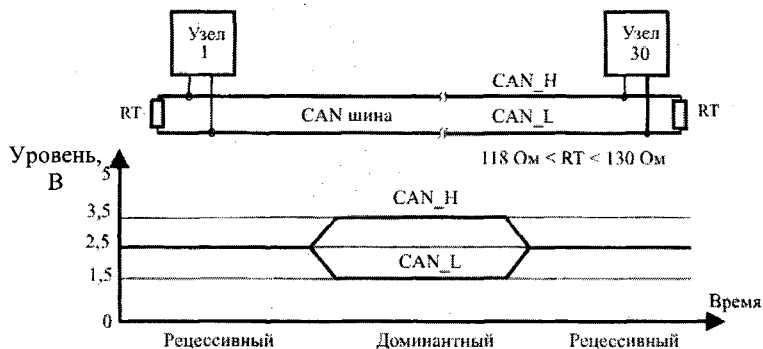


Рис. 21. Схема включения и битовые уровни по ISO 11898

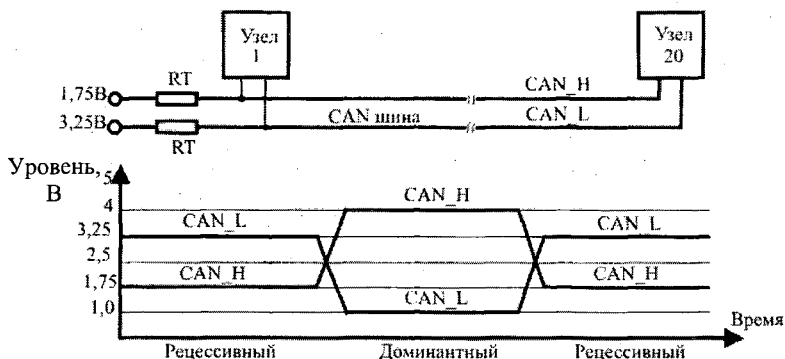


Рис. 22. Схема включения и битовые уровни по ISO 11519

Контроллеры CAN классифицируются также на полные и базовые в зависимости от организации буферизации данных.

Полный CAN-контроллер имеет некоторое количество (обычно 14) специализированных буферов для временного хранения сообщений. При инициализации CAN-контроллера можно сконфигурировать его, указав, какой кадр будет поступать в какой буфер.

Большинство европейских автомобилестроительных фирм в системах управления двигателем, безопасности и обеспечения комфорта применяют сетевой протокол CAN. Причем в ближайшие годы, как ожидается, на базе данного протокола будет введен единый интерфейс и для систем компьютерной диагностики. Таким образом, на каждом западноевропейском автомобиле в скором времени будет по крайней мере один узел данной сети. И это вполне объяснимо. Протокол CAN обладает важнейшим достоинством: идентификаторы сообщений используются не только для алгоритма разрешений коллизий, но и для описания сообщений, когда применяется не прямая адресация данных, а лишь отмечается характер информации, представленной в сообщении (например, «давление масла»). Поэтому большинство автомобилестроителей выбрали этот протокол для построения сетей именно класса C.

Физически CAN представляет собой последовательную асинхронную шину, данные которой передаются или по витой паре, или по оптоволокну, или по радиоканалу. Шина – мультимастерская, т.е. управлять ею могут сразу несколько устройств. Теоретически число подсоединяемых к ней устройств не ограничено. Скорость передачи данных задается программно (не более 1 Мбит/с).

В настоящее время действующей спецификацией для протокола CAN служит «CAN Specification version 2,0», состоящая из двух частей: А и В, первая описывает обмен данными по сети с использованием 11-битного идентификатора, а вторая – 29-битного. Если узел CAN поддерживает обмен данными только с использованием 11-битного идентификатора, не выдавая при этом ошибки на обмен данными с использованием 29-битного идентификатора, то его обозначают «CAN2.0A Active, CAN2.0B Passive»; если с использованием и 11-битного, и 29-битного идентификаторов – то «CAN2.0B Active».

Существуют также узлы, которые поддерживают обмен данными с использованием только 11-битного идентификатора, а при обнаружении в сети данных с 29-битным идентификатором выдают ошибку. Но на автомобилях устанавливают, естественно, только согласованные системы. Они работают в двух сетях, имеющих разные (250 и 125 кбит/с) скорости передачи данных. Первые обслуживают основные системы управления (двигатель, автоматическая коробка передач, ABS и т.д.), вторые – вспомогательные (стеклоподъемники, освещение и пр.).

Сеть CAN состоит из узлов с собственными тактовыми генераторами. Любой ее узел посылает сообщение всем системам, подсоединенным к шине, а получатели решают, относится ли данное сообщение к ним. Для этого предусмотрена аппаратная реализация фильтрации сообщений.

Протокол CAN обладает исключительно развитой системой обнаружения ошибок и сигнализации о них, включающей поразрядный контроль, прямое заполнение битового потока, проверку пакета сообщений CRC-полиномом, контроль формы пакета сообщений, подтверждение верного приема пакета данных. В итоге общая вероятность необнаружения ошибки не превышает $4,7 \cdot 10^{-11}$. Кроме того, имеющаяся система арбитража протокола CAN исключает потерю информации и времени при «столкновениях» на шине.

Поле арбитража CAN-кадра (поле идентификатора сообщений) используется в CAN для разрешения коллизий доступа к шине методом недеструктивного арбитража. Суть метода недеструктивного арбитража заключается в следующем (рис. 23): в случае когда несколько контроллеров начинают одновременную передачу CAN-кадра в сеть, каждый из них сравнивает бит, который собирается передать на шину, с битом, который пытается передать на шину конкурирующий контроллер. Если значения этих битов равны, оба контроллера передают следующий бит, и так происходит до тех пор, пока значения передаваемых битов не окажутся различными. Теперь контроллер, который передавал логический ноль (более приоритетный сигнал), будет продолжать передачу, а другой (другие) контроллер прервет свою передачу до того времени, пока шина вновь не освободится. Конечно, если шина в данный момент занята, то контроллер не начнет передачу до момента ее освобождения.

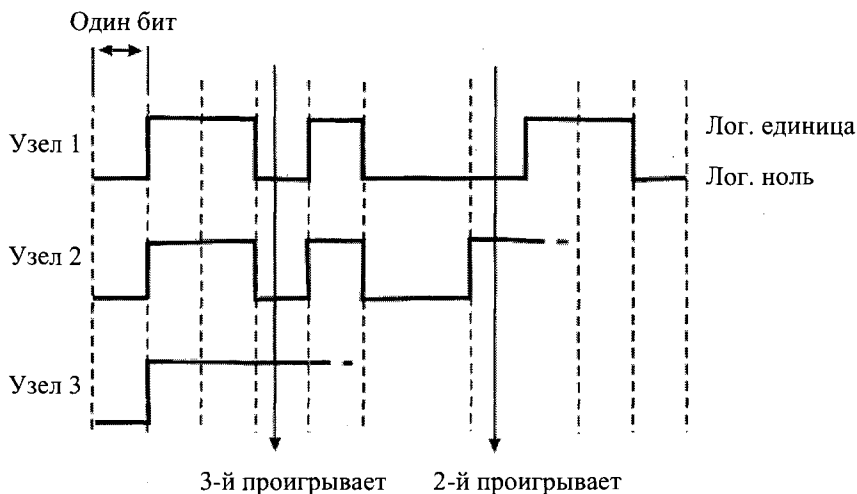


Рис. 23. Побитовый арбитраж на шине CAN

Как было сказано выше, поле идентификатора сообщений составляет 11 или 29 бит.

Возможны два основных способа работы протокола: по событиям и временным меткам. В CAN реализован именно первый способ. Однако ЕС одновременно финансировал и программу исследования по второму способу – коммуникационному протоколу для высоконадежных приложений TTP («временно-пусковой» протокол). Над ним работали DaimlerChrysler, British Aeropac, FIAT, Ford, Marelli, Bosch, Volvo и Венский технический университет. Разработанная архитектура TTA признана эффективной для критичных по безопасности систем (автомобильных, железнодорожных, авиационных).

Архитектуры систем на основе протоколов TTP и CAN в целом сходны. Обе системы подразделяются на ряд подсистем (кластеров, т.е. распределенных компьютерных систем), и наборы узлов, объединенных последовательным каналом. Для выполнения функций, которые невозможно реализовать на одном узле (таких как точная координация работы двигателя, тормозов и др.), узлы обмениваются сообщениями через последовательный коммуникационный канал.

Каждый узел, в свою очередь, состоит из трех элементов: компьютера, коммуникационного контроллера и подсистемы ввода-вывода для связи с датчиками и элементами управления. Все эти элементы связаны между собой двумя интерфейсами: коммуникационным интерфейсом сети (CNI) между компьютером и коммуникационным контроллером и управляемым интерфейсом объекта (COI) между компьютером и подсистемой ввода-вывода процесса.

На рис. 24 схематично показано подключение линейного драйвера коммуникационного контроллера к скоростной шине.

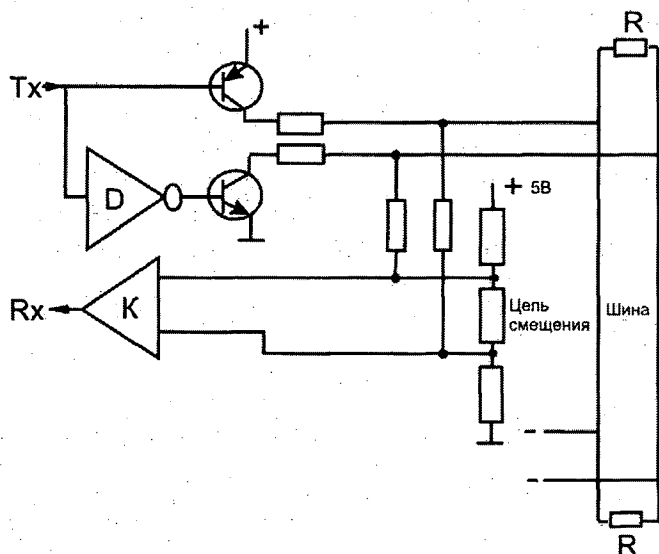


Рис. 24. Подключение драйвера к шине

Когда логический уровень сигнала на входе Tx «1», оба транзистора в выходном каскаде закрыты, выход драйвера находится в высокоимпедансном состоянии, шина – в состоянии недоминирующего уровня, дифференциальное напряжение примерно равно нулю, напряжение смещения около 2,5 В (см. рис. 21).

При подаче сигнала «0» на вход Tx оба транзистора отпираются, дифференциальное напряжение становится около 2,5 В, шина переходит в состояние доминирующего уровня.

Наличие цепи смещающего напряжения гарантирует смену полярностей сигналов на входах компаратора «К» при переходе шины от одного состояния к другому.

Компьютер узла содержит центральный процессор управления (ЦПУ), память, часы реального времени и собственную операционную систему, а также прикладное программное обеспечение. Он принимает и передает данные от и в CNI и COI, исполняет приложения реального времени в заданные временные интервалы.

Коммуникационный контроллер в случае протокола TTP образован коммуникационным каналом и совокупностью управляемых временем коммуникационных контроллеров кластера, каждый из которых держит в памяти диспетчер-таблицу, определяющую в какую точку данное сообщение послано или в какой точке ожидается его получение. Коммуникационный контроллер CAN, управляемый событиями, такой таблицы не имеет, поскольку передача сообщения инициируется командой с компьютера узла.

Назначение коммуникационной системы – передавать (в масштабе реального времени) сообщения либо о значении параметра (переменной состояния, например скорости), либо о возникновении события от узла-передатчика одному или нескольким узлам-приемникам этого кластера. Сообщение состоит из трех частей: имени переменной состояния или события; наблюдаемого значения переменной состояния; времени наблюдения за переменной состояния или события. Ключевое место в нем занимает значение переменной состояния или события. Причем сообщение может не содержать значения времени, и тогда это значение принимается по факту приема сообщения.

Как видим, протоколы CAN и TTA базируются на понятиях «событие» и «состояние». Но следует иметь в виду, что в ряде случаев информацию о новом состоянии можно упаковывать в сообщение о событии, которое посылается только при изменении состояния.

Итак, протокол CAN есть коммуникационная система, управляемая сообщениями, которые посылаются, если компьютер узла запрашивает передачу сообщения и канал не занят. Но если другие узлы в данный конкретный момент времени тоже хотят послать сообщение, то посылается сообщение с наибольшим приоритетом.

Протокол ГТР – система, управляемая временем. Доступ к физической среде управляется бесконфликтной стратегией TDMA (разделенный во времени множественный доступ). Каждый узел получает уникальный временной слот в цикле TDMA. Каждый контроллер ГТР содержит таблицу диспетчеризации (список дескрипторов сообщений, -MEDI) с информацией о том, какой узел имеет право послать и какое сообщение в конкретный момент времени, два дублированных канала коммуникации (для того чтобы не допустить возможную потерю информации).

Система, основанная на протоколе ГТР, обладает большой величиной возможного потока данных (до 4 Мбит/с), надежностью (за счет дублирования коммуникационного канала) и строгим регламентом работы во времени, который позволяет заранее определить свойства системы. Вероятно, что будущее именно за данной системой: она, как предполагается, будет управлять всеми жизненными функциями автомобилей (электронным рулем, акселератором, тормозами и другими высокоприоритетными устройствами). Это особенно актуально в свете того, что на протяжении последних лет демонстрируются многочисленные концептуальные автомобили и даже ходовые макеты, которые не имеют механических связей между органами управления и исполнительными механизмами. Однако на современном этапе развития возможен только частичный мультиплекс, когда сетевая схема состоит из набора элементов, включающих датчики и устройства, подключенные к распределительному устройству посредством проводов.

4. ЭЛЕКТРОМОБИЛИ

Большинство автомобильных производителей серийно выпускают небольшие количества электромобилей. Гаражи различных городских служб экспериментируют с их широкомасштабной эксплуатацией. В крупных городах уже имеются пункты зарядки аккумуляторов электромобилей. Тем не менее на сегодняшний день эксплуатация электромобилей экономически неоправданна, она

происходит более в силу политических и экологических соображений. Электромобили стоят значительно дороже аналогичных моделей с двигателями внутреннего сгорания (ДВС).

Несмотря на последние достижения, технология производства электромобилей все еще недостаточно развита. Серьезный недостаток электромобилей – малый пробег до перезарядки аккумуляторной батареи (80–160 км в зависимости от скорости). В гибридных электромобилях этот недостаток преодолевается за счет использования двух источников энергии: электродвигателя с аккумулятором и ДВС. Например, гибрид Toyota Prius (Япония) (рис. 26, в) при небольших нагрузках применяет электрическую тягу, при больших – бензиновый 1,5-литровый ДВС или оба двигателя одновременно, аккумуляторная батарея подзаряжается от ДВС. Загрязнение окружающей среды токсичными отходами от гибридных электромобилей по сравнению с автомобилями значительно уменьшено.

Малый пробег электромобиля до перезарядки связан с тем, что современные типы аккумуляторных батарей не совершенны. Имеется большое количество типов аккумуляторов (табл. 3) пригодных для применения в тяговых батареях на электромобилях, но ни один из них полностью не отвечает всем требованиям и нет четкого критерия выбора оптимального аккумулятора. Недостаточная емкость, большое время заряда, малая удельная энергия аккумуляторов уже много лет ограничивают усилия конструкторов электромобилей. Свинцово-кислотные аккумуляторы, наиболее дешевые и часто применяемые, лишь незначительно усовершенствованы с момента появления первого электромобиля. Применяются также никель-кадмиевые и никель-металлгидридные аккумуляторы с большей плотностью энергии, но они гораздо дороже свинцовых.

Многие ведущие автомобильные фирмы ведут научные исследования в области создания дешевых аккумуляторных батарей большой емкости. Аккумуляторы электромобилей должны соответствовать следующим требованиям: высокие удельные энергия и мощность, высокий КПД, большое число циклов «заряд-разряд», низкая стоимость, безопасность, надежность, незначительные затраты на техническое обслуживание, малое время заряда, восстанавливаемость материалов. Уже разработанные аккумуляторы не соответствуют большинству из этих требований.

В структурную схему современного электромобиля (рис. 25) входят следующие устройства:

- зарядное устройство – преобразует переменное напряжение внешней сети в постоянное для заряда аккумуляторных батарей, тяговой и вспомогательной;

- устройство защиты (блок реле и предохранителей) – состоит из выключателей, реле, предохранителей, которые включены между аккумуляторной батареей и остальной электрической схемой – потребителями. При возникновении неисправности цепь переменного тока и аккумуляторы отключаются;

- тяговая аккумуляторная батарея – обеспечивает энергией двигатель электромобиля;

- бортовой компьютер – контролирует состояние основных функциональных компонентов и бортовых систем электромобиля. При необходимости инициирует средства защиты;

- дополнительный источник электроэнергии (обычно вспомогательная аккумуляторная батарея на 12 В) – обеспечивает работу осветительных приборов, панели приборов, стеклоподъемников, стеклоочистителей и т.д.;

- система климат-контроля салона – состоит из кондиционера и электроотопителя;

- электронный контроллер электродвигателя – формирует требуемый вид напряжения питания. Управляет числом оборотов и тяговым моментом на валу по командам водителя или автоматически;

- электродвигатель – приводит в движение колеса электромобиля непосредственно или опосредованно через трансмиссию. Применяются электродвигатели постоянного и переменного тока, а также мотор-колеса;

- механическая трансмиссия – состоит из коробки передач, дифференциала и других механических устройств для обеспечения движения электромобиля;

- водительские органы управления электромобилем;

- движители (колеса) электромобиля.

Основная задача разработчиков электромобилей – создать модель, конкурентоспособную автомобилю с ДВС. Большинство электромобилей являются модификациями обычных автомобилей, например Ford Ranger или Toyota RAV4 выпускаются и с ДВС, и

как электромобили. Встречаются модели, которые с самого начала проектировались как электромобиль, например General Motors EV1 (табл. 3).

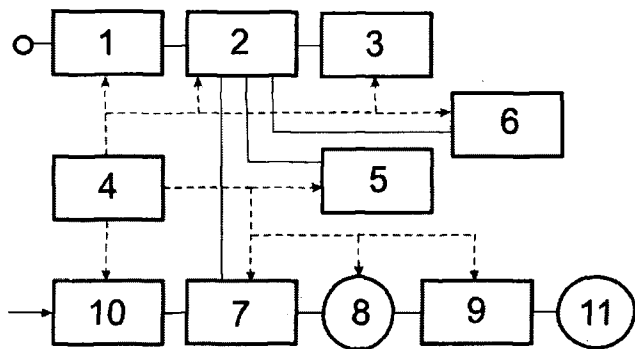


Рис. 25. Структурная схема современного электромобиля:

- 1 – зарядное устройство; 2 – защитное устройство;
- 3 – аккумуляторная батарея; 4 – бортовой компьютер;
- 5 – вспомогательная аккумуляторная батарея; 6 – система климат-контроля;
- 7 – электронный контроллер электродвигателя;
- 8 – электродвигатель / мотор-редуктор; 9 – механическая трансмиссия;
- 10 – органы управления; 11 – колеса электромобиля

Таблица 3. Типы современных аккумуляторов

Тип аккумулятора	Удельная мощность, Вт/кг	Плотность энергии, Вт·ч/дм ³	Удельная энергия, Вт·ч/кг	Число циклов «заряд-разряд»	Цена, \$/кВт·ч
Свинцово-кислотный	35–300	50–90	15–45	300–600	70–400
Железо-никелевый	70–130	60–100	35–60	400–1200	400–500
Никель-кадмиевый	100–200	60–100	30–60	1000–1500	500
Никель-металл-гидридный	140–200	100–210	55–80	1000	150–800
Натриево-серный	90–120	75–110	80–120	250–500	300
Никель-хлоридный	150	160	100	500	1000
Литий-ионный	100	100	150	300	1000

Таблица 4. Эксплуатационные характеристики электромобилей

Модель	Ford Ranger EV	Toyota RAV4 EV	Chevrolet S10 EV	GM EV1
Тип	Пикап	4-местный пассажирский	Пикап	2-местный пассажирский
Вес снаряженный, кг	2000	1500	1900	1300
Двигатель	3-фазный, 90 л.с.	Бесконтактный, постоянного тока, 45 кВт	3-фазный, 114 л.с.	Переменного тока, 137 л.с.
Аккумулятор	Свинцово-кислотный, 312 В, 23 кВт·ч	Никель-металлгидридный, 300 В	Свинцово-кислотный, 312 В, 16,2 кВт·ч	Свинцово-кислотный, 312 В, 16,2 кВт·ч
Зарядное устройство	Бортовое, без гальванической развязки, 4,16 кВт, время заряда 8 ч	Бортовое, без гальванической развязки, 12 кВт, время заряда 6–8 ч	Стационарное, с гальванической развязкой, 6,6 кВт, время заряда 2,5 ч	Стационарное, с гальванической развязкой, 6,6 кВт, время заряда 3 ч
Разгон	12,3 с до 80 км/ч	13,3 с до 80 км/ч	10,35 с до 80 км/ч	6,7 с до 80 км/ч
Пробег до подзарядки на скорости: 96,5 км/ч 72,4 км/ч	104,8 км 139,8 км	88 км 131,5 км	62,6 км 97,2 км	143 км 217,6 км

5. ГИБРИДНЫЕ ЭЛЕКТРОМОБИЛИ

Гибридные электромобили имеют ДВС, тяговый электродвигатель и аккумуляторную батарею. Гибридные электромобили с ДВС иногда называют бензоэлектромобилями. Во время поездки по загородному шоссе, когда загрязнение атмосферы не столь критично, работает ДВС, движущий электромобиль и подзаряжающий

аккумуляторную батарею. В городе движение производится от тяговой аккумуляторной батареи. В ночные часы тяговые аккумуляторы могут подзаряжаться от электрической сети. Известны параллельные, последовательные и смешанные схемы гибридных силовых установок (рис. 26):

- последовательная схема (рис. 26, а) – ДВС приводит в действие генератор G, который заряжает аккумуляторную батарею и дает энергию тяговому электродвигателю M, вращающему колеса. Привод от электродвигателя упрощает коробку переключения передач. Недостаток такой схемы: и ДВС, и тяговый электродвигатель рассчитывают исходя из максимальной мощности, КПД системы низкий. Последовательную схему гибридной силовой установки имеет автомобиль Chevrolet Volt;

- параллельная схема (рис. 26, б) – в параллельной структуре ДВС и тяговый электродвигатель подключены к механической коробке переключения передач. Электрический привод состоит из обратимого электродвигателя G/M, электронного управления и аккумуляторной батареи. На шоссе ДВС движет электромобиль и через мотор-генератор заряжает аккумуляторную батарею. В городе работает электродвигатель. При подъеме и других условиях, когда требуется максимум мощности, оба двигателя работают параллельно, их мощности суммируются. Эта схема обеспечивает меньший вес, невысокую стоимость, больший КПД по сравнению с аккумуляторными электромобилями. Параллельную схему гибридной силовой установки имеет седан BMW Active Hybrid 7;

- смешанная схема (рис. 26, в) – модель Toyota Prius является первым серийным гибридным электромобилем. С 1997 года только в Японии их было продано более 37 000 штук. Электромобиль имеет 1,5-литровый бензиновый двигатель мощностью 53 кВт (70 л.с.) при 4500 об/мин, бесколлекторный электродвигатель постоянного тока мощностью 33 кВт при 1040–5600 об/мин, тяговую батарею из никель-металлгидридных аккумуляторов с номинальным напряжением 274 В.

Система управления гибридной силовой установкой (рис. 26, в) обеспечивает движение электромобиля с заданной скоростью в оптимальном режиме. При этом работают бензиновый двигатель или электродвигатель по отдельности, или их комбинация с различными долями по мощности. Для водителя и пассажиров переключение режимов происходит практически незаметно.

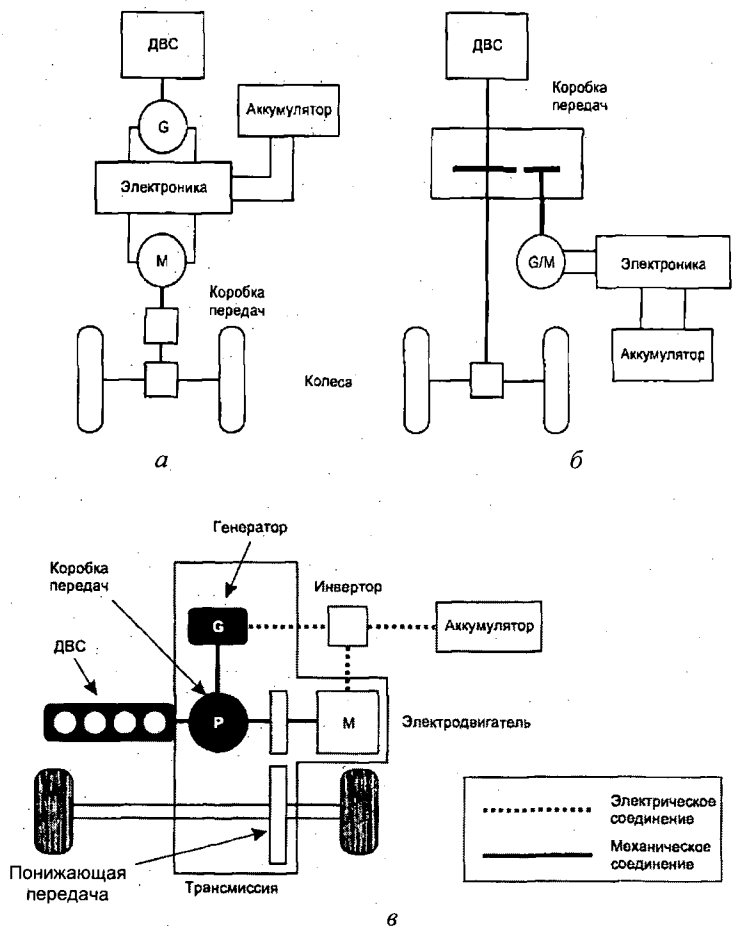


Рис. 26. Последовательная (а), параллельная (б) и смешанная (в) схемы силовой установки гибридного электромобиля

Смешанная схема, реализованная на Toyota Prius, сочетает достоинства параллельной и последовательной схем. Бензиновый двигатель через коробку переключения передач может приводить в движение колеса и генератор. Напряжение с генератора после преобразования в инверторе поступает для заряда аккумуляторной батареи и/или работы электродвигателя. Специальная коробка пе-

реключения передач суммирует и распределяет энергию между бензиновым двигателем, электродвигателем, генератором. При торможении энергия рекуперирована, при необходимости резкого торможения используются и обычные гидравлические тормоза. Имеется антиблокировочная тормозная система.

Интерес к электромобилям с гибридными силовыми установками непрерывно растет. Ведущие автомобильные фирмы уже начали серийное производство гибридных моделей: Ford Fusion Hybrid (Ford Motor), Chevrolet Volt (General Motors), Honda Civic Hybrid (Honda) и другие.

6. ДАТЧИКИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ

Сегодня датчики устанавливаются практически во всех системах автомобиля.

Датчики автомобильных электронных систем можно классифицировать по трем признакам: принципу действия, типу энергетического преобразования и основному назначению.

По принципу действия датчики подразделяются на электроконтактные, потенциометрические, оптические, оптоэлектронные, электромагнитные, индуктивные, магниторезистивные, магнитострикционные, фото- и пьезоэлектрические, датчики на эффектах Холла, Доплера, Кармана, Зеебека, Вигонда.

В зависимости от энергетического преобразования (рис. 27) датчики (Д) бывают активными (поз. 1), в которых выходной электрический сигнал (ЭС) возникает как следствие входного неэлектрического воздействия (НВ) без приложения сторонней электрической энергии за счет внутреннего физического эффекта (например, фотоэффекта), и пассивными (поз. 2), в которых электрический сигнал есть следствие модуляции внешней электрической энергии (ВЭ) управляющим неэлектрическим воздействием.

Таким образом, любой датчик всегда состоит как минимум из двух частей: из чувствительного элемента (ЧЭ), способного воспринимать входное неэлектрическое воздействие (перемещение, ско-

рость, температуру, давление и т.д.), и преобразователя (П) промежуточного неэлектрического сигнала (НС) от чувствительного элемента в выходной электрический сигнал (ЭС) (поз. 3).

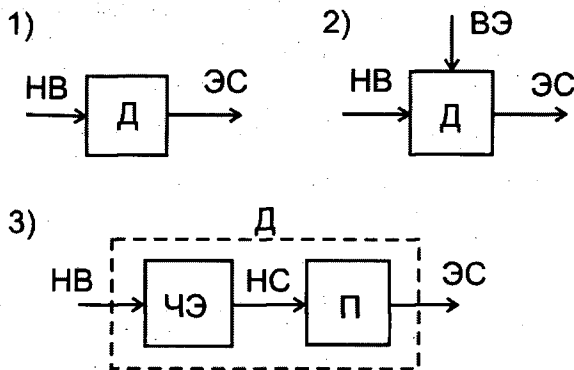


Рис. 27. Классификация датчиков по типу энергетического преобразования

В зависимости от назначения датчики классифицируются по типу управляющего неэлектрического воздействия: краевых положений, угловых и линейных перемещений, частоты вращения и числа оборотов, относительного или фиксированного положения, механического воздействия, давления, температуры, влажности, концентрации кислорода, радиации и другие.

Наблюдаются тенденции интеграции автомобильных датчиков и увеличения их возможностей по переработке информации. По степени интеграции датчики условно разделяются на следующие уровни (рис. 28):

- обычный нулевой уровень – аналоговый сигнал с датчика передается по линии связи (проводам) в ЭБУ, где и производится вся необходимая обработка. Такой метод наименее помехозащищен;

- уровень интеграции 1 – в датчик встроены цепи предварительной аналоговой обработки сигнала, улучшена помехозащищенность;

- уровень интеграции 2 – датчик помимо аналоговой обработки сигнала имеет аналого-цифровой преобразователь, может быть подключен к цифровой коммутационной шине, например CAN,

улучшена помехозащищенность, сигнал датчика становится доступным локальной сети контроллеров;

- уровень интеграции 3 – датчики получают интеллектуальные возможности за счет установки в них микропроцессоров. Цифровой сигнал хорошо помехозащищен, есть возможности программной установки параметров датчиков под конкретную модель автомобиля, расширены диагностические возможности.



Рис. 28. Интеграция датчиков:

АОС – аналоговая обработка сигнала; АЦП – аналого-цифровой преобразователь; МП – микропроцессор

Например, обычному уровню соответствует датчик положения дроссельной заслонки, первому уровню интеграции – интегральный датчик разрежения во впускном коллекторе, а третьему уровню – радарный датчик скорости и расстояния для целей адаптивного круиз-контроля.

За последние несколько лет широкое распространение по всему миру получили датчики, основанные на микроэлектромеханических системах, так называемых МЭМС. Популярность данных устройств вызвана рядом причин, основными из которых являются простота их использования, относительно низкая цена и малые габариты. МЭМС-датчики, как правило, оснащаются интегрированной электроникой обработки сигнала и не имеют движущихся частей. Этим обуславливается их высокая надежность и способность обеспе-

чивать стабильные показания в достаточно жестких условиях окружающей среды (перепады температур, удары, влажность, вибрация, электромагнитные и высокочастотные помехи). Совокупность данных преимуществ побуждает производителей (от авиа- и автомобилестроителей до производителей бытовой техники) использовать в своих разработках те или иные МЭМС-сенсоры.

МЭМС-датчики для измерения ускорения (акселерометры) и угловой скорости (гироскопы) активно применяются для обеспечения безопасности движения автомобилей, например в системе управления курсовой устойчивостью автомобиля. В настоящее время существует достаточно много различных решений по исполнению МЭМС-устройств. В их числе одноосевой МЭМС-гироскоп с вибрирующим кольцом и трехосевой емкостной МЭМС-акселерометр.

Одноосевой МЭМС-датчик угловой скорости (гироскоп) с вибрирующим кремниевым кольцом

Данный кремниевый цифровой гироскоп разработан с учетом требований к стоимости изделия и экономичности энергопотребления для систем навигации и наведения нового поколения. Он имеет два режима вывода: аналоговый сигнал напряжения, линейно-пропорциональный угловой скорости, и цифровой по протоколу SPI.

Режим вывода – аналоговый или цифровой – выбирается пользователем при подключении датчика к какой-либо системной плате. Главной отличительной особенностью гироскопа является применение технологии сбалансированного вибрирующего кольца в качестве датчика угловой скорости. Именно она обеспечивает надежную работу и точное измерение скорости вращения даже в условиях сильной вибрации.

Возможны две основные конфигурации гироскопа, одна из них позволяет датчику измерять угловую скорость по оси, перпендикулярной к плоскости системной платы, другая – по оси, параллельной плоскости системной платы. Сочетание в одном устройстве гироскопов обеих конфигураций создает инерциальную систему, измеряющую угловую скорость по нескольким осям (любые сочетания тангажа, крена и рысканья летательного аппарата).

Как правило, подобные гироскопы выпускаются в герметичных керамических LCC-корпусах, которые можно устанавливать на системные платы (рис. 29). Датчик состоит из пяти основных компонентов:

- кремниевый кольцевой МЭМС-сенсор (MEMS-ring);
- основание из кремния (Pedestal);
- интегральная микросхема гироскопа (ASIC);
- корпус (Package Base);
- крышка (Lid).

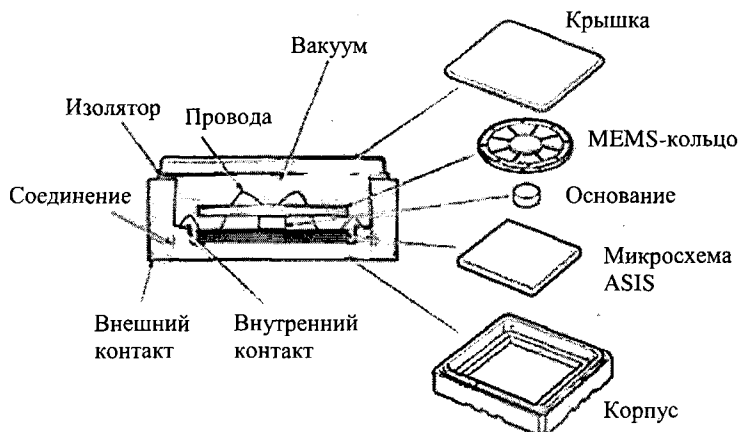


Рис. 29. Элементы датчика

Кремниевый кольцевой МЭМС-сенсор, микросхема и кремниевое основание размещены в герметичной части корпуса с вакуумом, частично заполненного азотом. Это дает серьезные преимущества перед сенсорами, которые поставляются в пластиковых корпусах или имеют определенные ограничения чувствительности в зависимости от уровня влажности.

Диаметр кремниевого МЭМС-кольца 3 мм, толщина 65 мкм. Его изготавливают методом глубокого реактивного ионного травления объемных кремниевых структур на пяти пластинах. Кольцо поддерживается в свободном пространстве восемью парами симметричных спиц, которые исходят из твердого концентратора диаметром 1 мм в центре кольца.

Процесс объемного травления кремния и уникальная технология изготовления кольца позволяют получить хорошие геометрические свойства, необходимые для точного баланса и термической стабильности сенсорного кольца. В отличие от других гироскопов здесь нет мелких расхождений, создающих проблемы с интерференцией и трением. Указанные особенности определяют стабильность датчика при колебаниях температуры, вибрации или ударе. Еще одним преимуществом подобной конструкции является ее «врожденный» иммунитет к ошибкам, которые датчики могут выдавать под влиянием ускорения, или «g-чувствительности».

Пленочные приводы и преобразователи прикреплены к верхней поверхности кремниевого кольца по периметру и для получения электроэнергии подключены к связующим контактам в центре концентратора через треки на спицах. Они переводят периметр кольца в рабочий режим вибрации на уровне $\cos 2\theta$ с частотой 22 кГц, определяя радиальное перемещение, которое может осуществляться по причине первичного движения привода либо за счет действия силы Кориолиса, когда гироскоп вращается относительно его оси чувствительности. Существует одна пара приводов первичного движения, одна пара первичных снимающих преобразователей и две пары вторичных снимающих преобразователей.

Комбинация сенсорной технологии и восьми вторичных снимающих преобразователей улучшает соотношение «сигнал/шум» в датчике, что позволяет получать малозумящие устройства с отличными свойствами по угловому случайному дрейфу гироскопа, которые являются ключевыми для применения в сферах инерциальной навигации (например, стабильность наведения камеры или антенны). Описанную схему можно сравнить с камертонной структурой, содержащей бесконечное количество камертонов, интегрированных в единую балансирующую вибрирующую кольцевую конструкцию, что обеспечивает наиболее высокую стабильность измерения угловой скорости по времени, температуре, вибрациям и ударам для МЭМС-гироскопов данного класса.

Концентратор в центре кольца сенсора установлен на цилиндрическом кремниевом основании диаметром 1 мм, которое связано с кольцом и ASIC с помощью эпоксидной смолы. Микросхема

гироскопа имеет габариты 3×3 мм и изготовлена по технологии 0,35 мкм КМОП. ASIC и МЭМС-сенсор (кольцо) разделены физически, но соединены электрической цепью через золотые проводки. В связи с этим в подобной схеме отсутствуют внутренние каналы, что позволяет уменьшить шумовую нагрузку и получить отличные электромагнитные свойства.

Керамический корпус датчика изготовлен по технологии LCC и представляет собой многослойную оксидно-алюминиевую конструкцию с внутренними контактными площадками для разварки, соединенными через корпус с наружными контактными площадками посредством многослойных вольфрамowych межсоединений. Аналогичные интегральные межсоединения есть в крышке гироскопа, что обеспечивает размещение чувствительного элемента датчика внутри шита Фарадея и хорошие электромагнитные показатели гироскопа. При этом внутренние и наружные контактные площадки покрыты гальваническим путем слоем никеля и золота.

Корпус включает в себя уплотнительное кольцо, на верхней части которого шовной сваркой приварена металлическая крышка. Сварка произведена электродом сопротивления, что создает полную герметичность конструкции. В отличие от большинства МЭМС-корпусов, представленных на рынке, при изготовлении корпуса данного устройства используется специально разработанная шовная сварка, при которой исключена возможность образования комочков (брызг) сварки внутри гироскопа. При использовании других технологий сварки сварочные брызги могут попасть на нижние конструкции и негативно влиять на надежность гироскопа за счет воздействия на вибрирующий МЭМС-элемент, особенно в тех местах, где конструкции имеют небольшие зазоры. В корпусе также есть встроенный датчик температуры для обеспечения внешней термокомпенсации.

Принцип действия МЭМС-гироскопа

Описываемые гироскопы обычно являются твердотельными устройствами и не имеют движущихся частей, за исключением сенсорного кольца, которое может отклоняться. Оно показывает

величину и направление угловой скорости за счет использования силы Кориолиса. Во время вращения гироскопа силы Кориолиса действуют на кремниевое кольцо, являясь причиной радиального движения по периметру кольца.

По периметру кольца равномерно расположены восемь приводов-преобразователей. При этом есть одна пара приводов «первичного движения» и одна пара первичных снимающих преобразователей, расположенных относительно их главных осей (0° и 90°). Две пары вторичных переключающих преобразователей расположены относительно их вторичных осей (45° и 135°). Приводы первичного движения и первичные переключающие преобразователи действуют вместе в замкнутой системе, чтобы возбуждать и контролировать первичную рабочую амплитуду вибрации и частоты (22 кГц).

Вторичные снимающие преобразователи распознают радиальное движение на вторичных осях, величина которого пропорциональна угловой скорости вращения, благодаря чему гироскоп определяет угловую скорость. Преобразователи производят двухполосный сжатый передающий сигнал, демодулирующийся обратно в полосы, ширина которых контролируется пользователем одним простым внешним конденсатором. Это дает пользователю возможность полностью контролировать производительность системы и делает преобразование абсолютно независимым от постоянного напряжения или низкочастотных параметрических условий электроники.

На рис. 30 продемонстрирована структура кремниевого кольца сенсора, показывающая приводы первичного движения PD (одна пара), первичные снимающие преобразователи PPO (одна пара) и вторичные снимающие преобразователи SPO (две пары).

На рис. 31 схематично показано кольцо, при этом спицы, приводы и преобразователи удалены для ясности. В данном случае гироскоп выключен, кольцо круглое.

В момент, когда датчик находится в выключенном состоянии, в кольце возбуждается движение вдоль его основных осей за счет приводов первичного движения и первичных снимающих преобразователей, воздействуя в замкнутом контуре на систему контроля ASIC. Круглое кольцо принимает в режиме $\cos 2\theta$ эллиптическую форму и вибрирует с частотой 22 кГц. Это показано на рис. 32, на котором гироскоп уже включен, но еще не вращается. На четырех

вторичных снимающих узлах, расположенных на периметре кольца под углом 45° по отношению к основным осям, нет радиального движения.

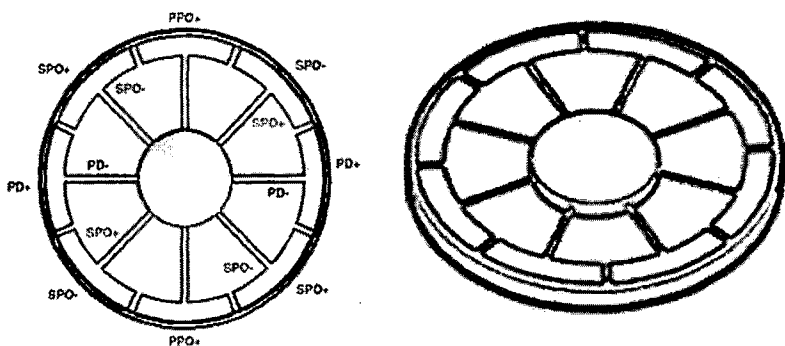


Рис. 30. Структура кремниевого кольца сенсора

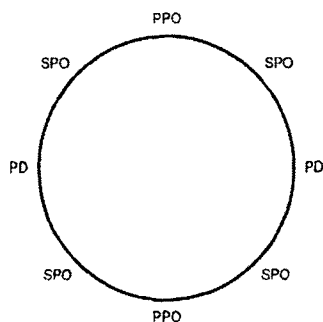


Рис. 31. Схема кольца сенсора

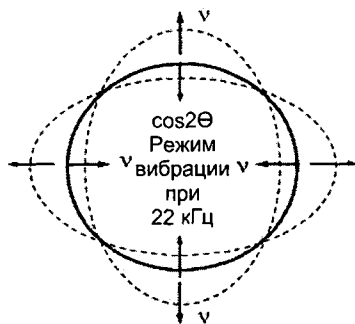


Рис. 32. Режим вибрации

Если гироскоп подвергается воздействию угловой скорости, то на кольцо по касательной к его периметру относительно главных осей действуют силы Кориолиса (рис. 33). Эти силы деформируют кольцо, что вызывает радиальное движение вторичных снимающих преобразователей. Данное движение, определяемое на вторичных снимающих преобразователях, пропорционально прилагаемой угловой скорости. При этом двухполосный сжатый передава-

емый сигнал демодулируется с учетом основного движения. В итоге получается низкочастотный компонент, который пропорционален угловой скорости.

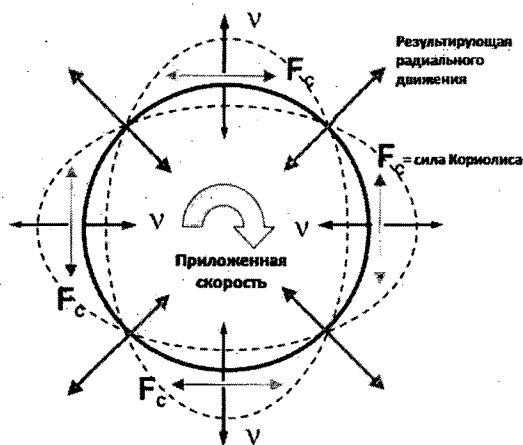


Рис. 33. Режимы работы сенсорного кольца при вращающемся гироскопе

Такие датчики обладают миниатюрными габаритами ($6,5 \times 1,2$ мм) при сверхнизком потреблении энергии (12 мВт). Для них характерны широкий диапазон измерения (до $900^\circ/\text{с}$), сверхмалый вес 0,08 г и высокая стабильность работы. Гироскопы подобной конструкции можно с успехом применять для измерения скоростей вращения объекта по трем осям в транспортных и персональных навигаторах в целях определения и сохранения параметров движения и определения местоположения, а также в системах отслеживания по трассе, на сельскохозяйственной технике, для стабилизации антенн, в промышленной аппаратуре, робототехнике и других сферах. Использование таких датчиков угловой скорости на летательных аппаратах позволяет на порядок уменьшить габариты, вес, энергопотребление приборов и в результате значительно снизить цену навигационной системы в целом. Надежность и точность в управлении широким спектром самолетов, вертолетов и других летательных аппаратов при этом увеличивается. Таким образом, данный вид гироскопов оптимален для использования в ситуации, ко-

гда есть ограничения по габаритам, весу и стоимости изделия (табл. 5).

Таблица 5. Технические характеристики гироскопа

Параметр	Предельный диапазон значений	Типовая величина
Напряжение питания	2,7–3,6 В	3 В
Диапазон измерения	75, 150, 300, 900°/с	–
Чувствительность (аналоговый выход)	13,3; 6,7; 3,3; 1,0 мВ/(...°·с)	–
Температурное смещение чувствительности	+/-3 %	+/-1 %
Ширина полосы (ослабление – 3 дБ)	>75 Гц – задается пользователем при использовании внешнего конденсатора	Аналоговый выход до 160 Гц. Цифровой выход 150 Гц фиксированный
Рабочая температура	–40...+85 °С –40...+100 °С (при ограниченной работоспособности)	–
Температура хранения	–55...+125 °С	–
Удары	3500g в течение до 500 мкс; 500g в течение 1 мс; 1 полуволна при включенном гироскопе; 100g в течение 6 мс при включенном гироскопе	–
Вибрация	3,5g в диапазоне 10 Гц–5 кГц при включенном гироскопе	–

Параметр	Предельный диапазон значений	Типовая величина
Время включения	0,5 с	<0,3 с
Вес	В зависимости от модификации от 0,08 до 0,12 г	—
Потребляемый ток	6 мА	4 мА

Емкостной трехосевой МЭМС-акселерометр с цифровым выходом

Высокопроизводительный трехосевой емкостной акселерометр (рис. 34) изготовлен по специальной технологии 3D-МЭМС.

В корпусе датчика находятся высокоточный чувствительный элемент для определения ускорений и сервисная электроника (микросхема ASIC) с гибким цифровым выходом SPI.

Схематичное расположение ASIC и блока сенсорного элемента в датчике подобной конструкции показано на рис. 35.

Корпус акселерометра изготовлен из пластика, а крышка из металла. В нижней части корпуса по обеим сторонам расположены плоские свинцовые выводы для поверхностного монтажа на печатную плату (рис. 36).

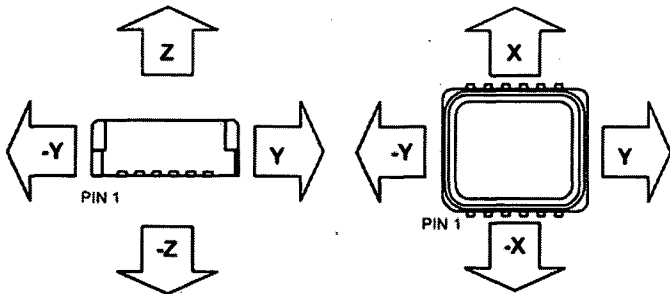
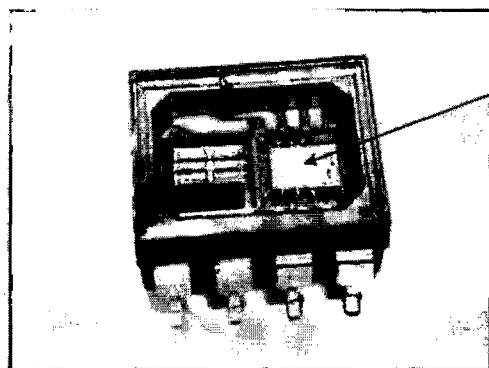


Рис. 34. Оси датчика, по которым проводится измерение ускорения



**Микросхема (ASIC)
чувствительного
элемента**

Рис. 35. Схематичное расположение ASIC и блока сенсорного элемента в датчиках



Рис. 36. Конструкция корпуса акселерометра

Такая конструкция корпуса гарантирует надежную работу сенсоров на протяжении всего жизненного цикла. Для обеспечения стабильного выхода акселерометры подобного класса разрабатываются, производятся и тестируются в широком диапазоне температур, влажности и механического шума. У датчика акселерометра есть возможность самодиагностики по нескольким сценариям. Он полностью совместим с одно- и двухосевыми акселерометрами данного типа, что дает возможность комбинировать датчики при построении различных сенсорных систем.

3D-МЭМС представляет собой инновационное сочетание технологий для формирования кремния в трехмерные структуры, инкапсуляции и контактирования в целях легкого монтажа и сборки сенсоров. В результате обеспечиваются высокая точность сенсора,

маленький размер устройства и низкое потребление энергии. Таким образом, усовершенствованный сенсор может быть изготовлен в виде крошечного кусочка кремния, способного измерять ускорение в трех ортогональных направлениях.

Применяя технологию 3D-МЭМС, можно производить оптимизированные структуры для точных датчиков угла наклона. Такие структуры обеспечивают механические затухания в акселерометрах и позволяют использовать сенсоры в условиях сильной вибрации и в высокоточных альтиметрах. Энергопотребление рассматриваемых акселерометров является крайне низким, что дает им значительное преимущество при использовании в устройствах с батарейным питанием. В то же время использование технологии 3D-МЭМС при производстве инклинометров обеспечивает точность уровней измерения выше одной угловой минуты и отвечает самым высоким требованиям к качеству измерения.

Преимуществами технологии 3D-МЭМС являются следующие:

- использование монокристаллического кремния для изготовления МЭМС (идеально упругий материал: нет пластической деформации, выдерживает до 70000g циклов ускорений);

- емкостной принцип действия датчиков (обеспечивает прямое измерение отклонения в зависимости от большого числа вариантов величины зазора между двумя плоскими поверхностями; при этом емкость или заряд на паре пластин зависят от величины зазора между ними и площади пластин);

- высокий уровень точности и стабильности;

- легкая диагностика при помощи ограниченного числа конденсаторов;

- низкая потребляемая мощность;

- высокая герметичность датчиков (позволяет снизить требования к упаковке; обеспечивает высокую надежность, так как частицы или химические вещества не могут попасть в элемент);

- симметричные структуры элементов (улучшенная стабильность нуля акселерометра; линейность и чувствительность по оси (нелинейность обычно ниже 1 %; чувствительность по оси обычно не превышает 3 %); низкая зависимость показаний от температуры);

- возможность производства датчиков по индивидуальному заказу (получение конкретных уровней чувствительности и частотных характеристик, необходимых заказчику; гибкие двухчиповые решения);

- реальные 3D-структуры (большая защитная масса и емкость обеспечивают высокую производительность при работе в диапазоне измерений при малых g; хорошая стабильность по «0» и низкое влияние шума на показания датчика; образование 3D-сенсорных элементов).

Принцип действия емкостного акселерометра

Весь кристалл акселерометра размером 3,05×3,05 мм занят главным образом схемами формирования сигнала, которые окружают миниатюрный датчик ускорения размером 1×1 мм, расположенный в его центре.

Датчик представляет собой дифференциальную конденсаторную структуру с воздушным диэлектриком, обкладки которого вырезаны (вытравлены) из плоского куска поликремниевой пленки толщиной 2 мкм. Неподвижные обкладки этого конденсатора представляют собой простые консольные стержни, расположенные на высоте 1 мкм от поверхности кристалла в воздухе на поликремниевых столбиках-анкерах, приваренных к кристаллу на молекулярном уровне (рис. 37).

Инерционная масса датчика ускорения при изменении скорости перемещения кристалла смещается относительно остальной части кристалла. Ее пальцеобразные выступы образуют подвижную обкладку конденсатора переменной емкости. С каждого конца эта структура опирается на столбики-анкеры, аналогичные по конструкции держателям неподвижных обкладок. Растяжки по концам инерционной массы, удерживающие ее на весу, являются как бы механическими пружинами постоянной упругости, ограничивающими перемещение пробной массы и ее возврат в исходное положение.

Поскольку перемещение инерционной массы должно происходить в плоскости поликремниевой пленки, ось чувствительности датчика лежит в этой плоскости, и, следовательно, она параллельна плоскости печатной платы, к которой припаивается датчик.



Рис. 37. Принцип действия емкостного акселерометра

Каждый из наборов неподвижных обкладок конденсатора (Y и Z) электрически соединен параллельно внутри схемного кристалла. В результате получается пара независимых конденсаторов $X-Y$ и $X-Z$, подвижная обкладка которых образована всей совокупностью пальцеобразных выступов инерционной массы. Внутри кристалла эти три обкладки подключены к встроенным схемам формирования сигнала акселерометра. В спокойном состоянии (движение с постоянной скоростью) все «пальцы» подвижной обкладки X благодаря растяжкам находятся на одинаковом расстоянии от пар «пальцев» неподвижных обкладок. При каком-либо ускорении подвижные «пальцы» приближаются к одному из наборов неподвижных «пальцев» и удаляются от другого набора. В результате этого относительного перемещения соответствующие расстояния становятся неодинаковыми, и емкости между подвижной обкладкой и каждой из неподвижных обкладок изменяются. Изменение емкости приводит к изменению электрического тока, заряда или напряжения.

Превосходные характеристики рассматриваемых датчиков основаны на технологии емкостного измерения и хорошо подходят для определения малых изменений в движении. Чувствительный элемент для определения ускорения сделан из монокристаллического кремния и стекла. Это обеспечивает сенсору исключительную надежность, высокую точность и устойчивость показаний по

отношению к воздействию времени и температуры. Стандартный емкостной трехосевой акселерометр имеет технические характеристики, представленные в табл. 6.

Таблица 6. Технические характеристики емкостного трехосевого акселерометра

Параметр	Типовое значение
Электропитание	3,3 В
Диапазон измерений	$\pm 6g$
Разрешение АЦП	12 бит
Стандарт АЕС-Q	Соответствует
Встроенный температурный сенсор	–
Цифровой выход SPI	–
Максимальный удар	20 кг
Рабочая температура	$-40 \dots +125 \text{ }^\circ\text{C}$
Полоса пропускания	45–50 Гц
Улучшенная самодиагностика	–
Размер	7,7×8,6×3,3 мм
Совместимость	С 2- и 1-осевыми датчиками аналогичного типа

Как правило, чувствительный элемент датчика с диапазоном измерений $\pm 1g$ выдерживает как минимум 50000g ускорений ($1g$ – ускорение, вызванное силой тяжести Земли). Датчик измеряет ускорение как в положительном, так и в отрицательном направлении и чувствителен к статическому ускорению и вибрации. «Сердцем» акселерометра является симметричный чувствительный элемент (рис. 38), изготовленный по технологиям объемной микромеханики, у которого есть два чувствительных конденсатора.

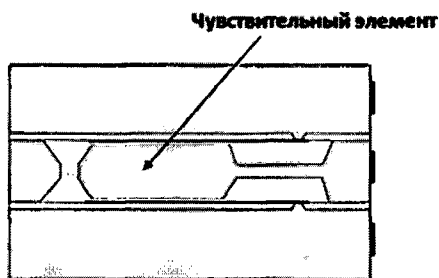


Рис. 38. Симметричный чувствительный элемент емкостного акселерометра

Симметрия чувствительного элемента уменьшает зависимость от температуры и чувствительности по оси и улучшает линейность. Герметичность датчика обеспечивается за счет анодного соединения пластин друг с другом. Это облегчает корпусирование элементов, повышает надежность и позволяет использовать газовое затухание в сенсорном элементе.

Интересное применение акселерометров с малым значением максимального измеряемого ускорения (и, соответственно, высокой чувствительностью) – определение угла наклона относительно горизонта – можно использовать в охранных системах автомобилей.

На рис. 39 представлена структурная схема емкостного акселерометра.

Противофазные сигналы прямоугольной формы частотой 1 МГц одинаковой амплитуды подаются от генератора соответственно на верхнюю и нижнюю обкладки Y и Z. Емкости CS1 и CS2 между неподвижными и подвижной обкладками при отсутствии ускорения одинаковы, поэтому на подвижную обкладку передаются сигналы одинаковой амплитуды. Разностный сигнал, поступающий на вход повторителя, равен нулю. При ускорении датчика разностный сигнал не равен нулю, причем его амплитуда зависит от смещения подвижной обкладки, а фаза определяется знаком ускорения.

Фазочувствительный демодулятор преобразует такой сигнал в низкочастотный (полосой от 0 до 1000 Гц), характеризующий величину и знак ускорения. Это напряжение поступает на предусилитель, с выхода которого сигнал идет на внешний вывод датчика.

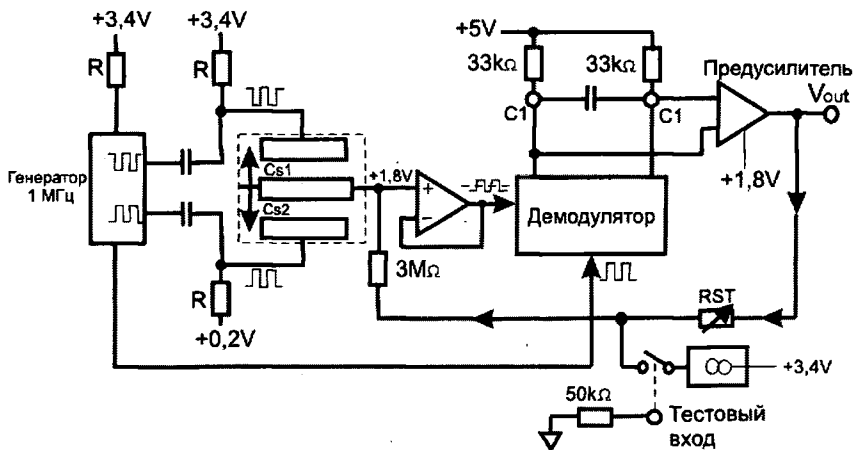


Рис. 39. Структурная схема емкостного акселерометра

Чтобы уменьшить влияние температуры окружающей среды, временные изменения параметров, снизить нелинейность переходной характеристики акселерометра, разработчики ввели отрицательную обратную связь по положению инерционной массы. Для этого напряжение с выхода предусилителя через резистор 3 МОм подается на подвижные обкладки датчика. Данное напряжение создает электростатические силы между подвижной и неподвижной обкладками, которые стремятся вернуть инерционную массу в исходное состояние. Поскольку в этом случае формируется следящая система с высокой надежностью, инерционная масса никогда не будет отклоняться от своего исходного положения более чем на 0,01 мкм. В отсутствии ускорения выходное напряжение предусилителя равно $V_{out} = 1,8 \text{ В}$, при полном ускорении $\pm 50g$ $V_{out} = 1,8 \pm 1,5 \text{ В}$.

Современные акселерометры снабжены системой самотестирования. Тестовый сигнал в виде последовательности прямоугольных импульсов низкой частоты подается на подвижную обкладку. Это вызывает колебания инерционной массы, аналогичные тем, которые вызываются воздействием инерционных сил. Выходное напряжение исправного датчика будет изменяться с той же частотой.

На рис. 40 представлена двухосевая инерциальная система на основе акселерометра.

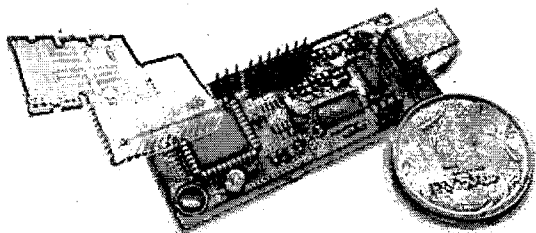


Рис. 40. Двухосевая инерциальная система на основе акселерометра

Благодаря отличным характеристикам стабильности и вибрационной надежности рассматриваемые акселерометры могут успешно применяться в следующих сферах:

- электронный контроль стабильности движения контролируемого устройства;
- система помощи при старте двигателя на подъеме;
- электронный стояночный тормоз;
- электронная защита от переворачивания;
- регулировка подвески;
- контроль углов наклона;
- встроенные инерциальные системы;
- в промышленности для различных устройств.

Кроме емкостных акселерометров существуют пьезоэлектрические и пьезорезистивные.

Пьезоэлектрические акселерометры – самый распространенный на сегодняшний день вид акселерометров. Они наиболее часто используются для решения задач тестирования и измерений. Такие акселерометры имеют очень широкий частотный диапазон (от нескольких герц до 30 кГц) и диапазон чувствительности, выпускаются различных размеров и форм. Выходной сигнал пьезоэлектрических акселерометров может быть зарядовым (в Кл) или по напряжению. Датчики используются для измерений как удара, так и вибрации, в частности для измерения параметров движения подвески автомобиля.

Пьезорезистивные акселерометры обычно имеют малый диапазон чувствительности, поэтому они больше подходят для детекти-

рования ударов, чем определения вибрации. Еще одна область их применения – испытания на пассивную безопасность автомобилей (крэш-тест, англ. crash test). В основном пьезорезистивные акселерометры отличаются широким диапазоном частот (от нескольких сотен герц до 130 кГц и более), при этом частотная характеристика может доходить до 0 Гц (так называемые DC-датчики) или оставаться неизменной, что позволяет измерять сигналы большой продолжительности.

В настоящее время производством акселерометров занимаются многие компании, например Bosch, Analog Devices, Motorola и другие.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Автомобили: Теория и конструкция автомобиля и двигателя: учеб. для студентов учреждений сред. проф. образования / В.К. Вахламов, М.Г. Шаптров, А.А. Юрчевский; под ред. А.А. Юрчевского. – М.: Академия, 2003. – 816 с.

Автомобильный справочник фирмы «Bosch»: пер. с англ. – М.: За рулем, 2000. – 896 с.

Сига Х., Мидзутани С. Введение в автомобильную электронику: пер. с яп. – М.: Мир, 1989. – 232 с.

Соснин Д.А., Яковлев В.Ф. Новейшие автомобильные электронные системы: учеб. пособие для специалистов по ремонту автомобилей, студентов и преподавателей вузов и колледжей. – М.: СОЛОН–Пресс, 2005. – 240 с.

Федосов В.П., Сытенький В.Д. Автомобильная электроника: учеб. пособие. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 1998. – 73 с.

Электрическое и электронное оборудование автомобилей. – М.: Рэндал; СПб.: Алфамер Пабблишинг, 2008. – 284 с.

Электронные системы автомобиля: сайт. – URL: <http://awtoel.narod.ru/index.html>.

Ютт В.Е. Электрооборудование автомобилей: учеб. для студентов вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1995. – 304 с.

Sovtest: сайт компании. – URL: <http://www.sovtest.ru/ru/publication/sovremennye-mems-giroskopy-i-akselerom>.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
1. Электронные системы управления автомобилем	4
Антиблокировочная тормозная система автомобиля	4
Противобуксовочная система автомобиля	6
Система управления курсовой устойчивостью автомобиля	9
Система автоматического управления трансмиссией автомобиля	14
Система автоматического управления подвеской автомобиля	19
2. Специализированные бортовые системы автомобиля	27
Электронные противоугонные системы автомобиля	27
Системы бортовой самодиагностики автомобиля	34
Климат-контроль	38
Круиз-контроль	39
Бортовой компьютер	40
3. Автомобильные мультиплексные системы передачи информации	40
4. Электромобили	52
5. Гибридные электромобили	56
6. Датчики автомобильных электронных систем	59
Одноосевой МЭМС-датчик угловой скорости (гироскоп) с вибрирующим кремниевым кольцом	62
Принцип действия МЭМС-гироскопа	65
Емкостной трехосевой МЭМС-акселерометр с цифровым выходом	70
Принцип действия емкостного акселерометра	73
Список литературы	80

Редактор *И.В. Кузнецова*
Оригинал-макет *И.И. Свищевой*
Дизайн обложки *Е.А. Банниковой*

Подписано в печать 08.02.2013. Формат 60×84/16.
Усл. печ. л. 4,65. Тираж 80 экз. Заказ № 634.

Издательско-полиграфический центр имени В.Н. Булатова
ФГАОУ ВПО САФУ
163060, г. Архангельск, ул. Урицкого, д. 56