Учимся только на «отлично»!

Д. А. Соснин, В. Ф. Яковлев

«СОЛОН»

Новейшие автомобильные электронные системы

Датчики ЭСАУ

Электронное управление ДВС

Бортовые функциональные преобразователи

Спутниковая навигация и круиз-контроль

Электромагнитные клапаны ДВС

Электромобили

Рекомендовано
Учебное пособие

9 785980 032012

серия
Библиотека студента

ЗАЧЕТНАЯ КН

УДК 629.113.066
ББК 39.33-04
С66

Соснин Д. А., Яковлев В. Ф.

С66 Новейшие автомобильные электронные системы. — М.: СОЛОН-Пресс, 2005. — 240 с.: ил. — (Серия «Библиотека студента»). Учебное пособие для специалистов по ремонту автомобилей, студентов и преподавателей вузов и колледжей.
ISBN 5-98003-201-0

Рецензенты:
действительный член АЭН РФ, заслуженный деятель науки и техники РФ, д-р техн. наук, проф. **Ютт В. Е.**
действительный член АЭН РФ, заслуженный деятель науки РФ, д-р техн. наук, проф. **Рекус Г. Г.**

В книге описаны основные принципы построения и функциональные особенности новейших электронных систем, которые находят все более широкое применение в бортовом оборудовании концептуальных автомобилей и, надо полагать, уже скоро будут использоваться на серийных автомобилях. Это системы электронной автоматики для управления механическими узлами и агрегатами, а также системы с нетрадиционными для автомобиля рабочими функциями. Описаны также входные преобразователи (датчики) и некоторые выходные исполнительные устройства принципиально нового назначения.

Книга является учебным пособием для специалистов по ремонту автомобилей, студентов и преподавателей вузов и колледжей и является дополнением к ранее опубликованным книгам авторов (см.: Д. А. Соснин. Автотроника, М.: Солон-Р, 2001 г. и В. Ф. Яковлев. Диагностика электронных систем автомобиля, М.: СОЛОН-Пресс, 2003 г.).

КНИГА — ПОЧТОЙ

Книги издательства «СОЛОН-Пресс» можно заказать наложенным платежом (оплата при получении) по фиксированной цене. Заказ оформляется одним из двух способов:

1. Послать открытку или письмо по адресу: 123242, Москва, а/я 20.
2. Передать заказ по электронной почте на адрес: ***magazin@solon-r.ru.***

Бесплатно высылается каталог издательства по почте.

При оформлении заказа следует правильно и полностью указать адрес, по которому должны быть высланы книги, а также фамилию, имя и отчество получателя. Желательно дополнительно указать свой телефон и адрес электронной почты.

Через Интернет вы можете в любое время получить свежий каталог издательства «СОЛОН-Пресс». Для этого надо послать пустое письмо на робот-автоответчик по адресу: ***katalog@solon-r.ru***.

Получать информацию о новых книгах нашего издательства вы сможете, подписавшись на рассылку новостей по электронной почте. Для этого пошлите письмо по адресу: ***news@solon-r.ru***. В теле письма должно быть написано слово SUBSCRIBE.

ISBN 5-98003-201-0

© Макет и обложка «СОЛОН-Пресс», 2005
© Соснин Д. А., Яковлев В. Ф., 2005

Предисловие

Успешное развитие автомобильной бортовой электроники каждые 8—10 лет значительно повышает качественные показатели вновь выпускаемых автомобилей. Интерес к автомобильным электронным системам постоянно растет.

В настоящей книге описаны основные принципы построения и функциональные особенности новейших электронных систем автоматического контроля, управления и регулирования, которые в последние годы находят все более широкое распространение в бортовом оборудовании концептуальных автомобилей и, надо полагать, в недалеком будущем будут широко применяться и на серийных. Это прежде всего системы автоматического управления механическими узлами и агрегатами, в которых ранее средства электронной автоматики не применялись (газораспределительный механизм ДВС, гидравлические тормоза, коробка переключения передач, рулевое и педальное управление, ходовая часть, подвеска). Это и системы с нетрадиционными для автомобиля функциями, с помощью которых реализуются: круиз-контроль, спутниковая навигация, автопоиск, защита автомобиля от соударений, а пассажиров от увечий, стабилизация устойчивости движения, защита экологии окружающей среды, мультиплексная электропроводка, компьютеризация контрольно-измерительных приборов, управление электромобилем и другие новации. Описаны также входные преобразователи (датчики) и некоторые выходные исполнительные устройства нетрадиционного назначения.

Книга написана в дополнение к ранее опубликованным монографиям авторов (см.: Д. А. Соснин. Автотроника, М.: Солон-Р, 2001 г. и В. Ф. Яковлев. Диагностика электронных систем автомобиля, М.: СОЛОН-Пресс, 2003 г.). В совокупности три книги образуют достаточно полное учебное пособие для студентов технических университетов, углубленно изучающих устройства, принципы действия, диагностику, параметры и характеристики автомобильного электрического, электронного и автотронного оборудования. Как дополнительная литература будут полезны специалистам в области аппарато- и приборостроения.

Работа по написанию книги была распределена следующим образом. Главы 3—7 написаны В. Ф. Яковлевым. Д. А. Соснин написал Предисловие, Главы 1, 8, 9, составил список литературы и выполнил научное редактирование всего материала книги. Главы 2 и 10 написаны совместно.

Авторы считают своим долгом выразить глубокую признательность заведующему кафедрой «Электротехника и электрооборудование» МАДИ-ГТУ, академику АЭН РФ, заслуженному деятелю науки и техники РФ, доктору технических наук, профессору Ютту Владимиру Евсеевичу и профессору кафедры «Электротехника и электроника» РХТУ им. Менделеева, академику АЭН РФ, заслуженному деятелю науки РФ, доктору технических наук, профессору Рекусу Григорию Гавриловичу за рецензирование книги и полезные замечания.

Глава 1. Тенденции развития автомобильного бортового электрического и электронного оборудования

Современный автомобиль состоит из четырех основных агрегатов: двигателя внутреннего сгорания (ДВС), кузова, шасси и ходовой части. Эти агрегаты состоят из различных функциональных систем, которые обеспечивают выполнение главной функции автомобиля — перевозку грузов и пассажиров. Для того чтобы перевозки были безопасными, а для пассажиров и комфортными, чтобы агрегаты, узлы, блоки, системы работали безотказно, на автомобиле широко используются электротехнические устройства и средства электронной автоматики.

▸ В последние годы техническая оснащенность автомобилей электронной бортовой автоматикой значительно возрастает.

Совсем недавно микропроцессорные системы зажигания, электронные системы управления гидравлическими тормозами, системы впрыска бензина, бортовая самодиагностика считались последними достижениями в области автомобильного аппарато- и приборостроения. Теперь их относят к классическим системам и устанавливают почти на каждый серийный автомобиль.

В наши дни на вновь разрабатываемые модели автомобилей дополнительно начинают устанавливать совершенно нетрадиционные бортовые автоматические системы, к которым относятся: информационная система водителя с микропроцессорным обеспечением; спутниковая навигационно-поисковая система; радарные и ультразвуковые системы защиты автомобиля от столкновений и угона; системы повышения безопасности и комфорта людей в салоне; система круиз-контроля; система «электронная карта»; мультиплексная электропроводка.

Параллельно проводятся поиски более эффективных компьютерных технологий обработки информации в бортовых электронных системах. Разработаны и уже находят применение так называемые лингвистические функциональные преобразователи, работающие с нечеткими подмножествами лингвистических переменных, выраженных отдельными словами или целыми предложениями на естественном (английском) или искусственном (компьютерном) языке. При некотором усложнении логических и арифметических операций в микроЭВМ это позволяет повысить точность и скорость (быстроту) обработки сигналов. Как следствие, значительно усложнился интерфейс и возникла необходимость в ведении CAN-протокола в мультиплексную систему.

На базе электронных систем автоматического управления двигателем (ЭСАУ-Д) и тормозами (ЭСАУ-Т) разработана и уже применяется гироскопическая система VDC для повышения курсовой устойчивости автомобиля на дороге в сложных условиях движения. Система VDC работает по принципу запрограммированного под нештатные условия движения совместного воздействия на крутящий момент ДВС (посредством системы ASR) и на антиблокировочную систему тормозов ABS, чем исключается боковой увод (снос) автомобиля при поворотах на большой скорости или на скользкой дороге. Водителю в таком случае отводится роль активного наблюдателя, контролирующего и корректирующего поведение автомобиля.

Интенсивно ведутся научные исследования возможности применения электромагнитных клапанов с электронным управлением в газораспределительном механизме (ГРМ) поршневого ДВС. Идею заменить классические механические клапаны электромагнитными еще в 50-х гг. XX в. предложил профессор Московского автомобильно-дорожного института (МАДИ), доктор технических наук Владимир Митрофанович Архангельский. Что это дает поршневому ДВС, хорошо известно теоретически [24]. Но практическая реализация идеи оказалась исключительно трудоемкой задачей, над решением которой работают специалисты многих зарубежных фирм и отечественные разработчики. Теоретические и экспериментальные исследования уже завершены. Теперь идут разработки конструкторских вариантов исполнения ГРМ с электромагнитными клапанами.

Наряду с усовершенствованием автомобильных бензиновых ДВС все более активизируются работы по созданию экологически чистых силовых установок для электромобилей. Полагают, что достойной заменой городскому автомобилю может стать гибридный электромобиль, электронные системы управления которым также относятся к современным новациям в области автомобилестроения.

В современных условиях глобальным требованием к новейшим автомобильным электрическим и электронным системам является неукоснительное исполнение международных стандартов OBD-II (США) и EOBD-II (EU), которые также продолжают совершенствоваться.

▸ Помимо специфики выполняемых функций новейшие системы автомобильной бортовой автоматики кардинально отличаются от классических, чисто электронных систем широким разнообразием принципов действия входящих в них составных подсистем. В зависимости от решаемой задачи в новую систему в качестве основных компонентов могут входить не только электрические и электронные узлы и блоки, но и механические, гидравлические, светооптические, ультразвуковые и любые прочие устройства, имеющие неэлектрическую природу функционирования. Их роль в реализации заданной функции управления главная, хотя все информационные процессы в системе реализуются на уровне электронных блоков управления (ЭБУ), а в новейших системах — в бортовых микропроцессорах. Такие крупные составные комплексы управления не могут относиться ни к механическим, ни к электрическим, ни к электронным, ни к любым другим «чистым» по принципу действия системам. В этой связи новейшие системы автомобильной бортовой автоматики, устанавливаемые на концептуальные автомобили, получили новое название — автотронные системы [3].

Автотронная система, управляя неэлектрическими процессами через неэлектрическую периферию на выходе, сама управляется от сигналов, имеющих неэлектрическую природу, которые формируются неэлектрической входной периферией.

▸ Например, автотронная система VDC (управления курсовой устойчивостью движения автомобиля), функциональные взаимосвязи которой с водителем и дорогой показаны на рис. 1.1, использует в качестве входной информации скорость движения, углы наклонения кузова, разность частот вращения колес, угол поворота руля, атмосферные условия, а в некоторых вариантах — давление в шинах и состояние дорожного покрытия.

Описание условных обозначений, принятых на рис 1.1.

I. *Географические условия*: извилистость дороги, спуски, подъемы, повороты, перекрестки дорог, переезды.

II. *Дорожные условия*: тип дорожного покрытия (гравий, бетон, асфальт); асфальт сухой, мокрый, обледенелый; освещение дороги; плотность транспортного потока.

III. *Климатические условия*: атмосферные - температура, влажность, давление; температура асфальта.

IV. *Техногенные условия*: сцепление колес с дорогой по состоянию протекторов шин; скорость вращения колес; скорость рыскания; боковой увод автомобиля, боковой увод колес, боковое ускорение.

A. Блок датчиков: угла поворота руля; угла поворота кузова автомобиля вокруг вертикальной оси (гироскоп); бокового ускорения.

B. УВР — управляющие реакции водителя, являющиеся откликом субъективного мышления на дорожные условия движения; проявляются индивидуально в зависимости от физического и психического состояния человека.

C. Блок датчиков: температуры, давления, влажности в атмосфере, температуры асфальта (по давлению в шинах).

D. Блок колесных датчиков (ДК) ABS и вычисляемых в ЭБУ системы VDC неэлектрических входных параметров — μ, φ, α, β, δ, ν (см. далее рис. 8.5).

E. Центральный боковой компьютер (микропроцессор МП), в который интегрированы все логические и вычислительные функции четырех автоматических систем управления VDC, ADS, ASR, ABS. Содержит оперативную (ОЗУ) и постоянную (ПЗУ) память, а также входные аналогово-цифровые (АЦП) и выходные цифроаналоговые (ЦАП) преобразователи.

F. Блок оконечных преобразователей электрических сигналов в неэлектрические воздействия:

а) ДИС/ВП — драйверы информационной системы водителя (ДИС) и визуальный преобразователь (ВП) электрического сигнала в оптическое изображение;

б) ЭДД/КД — электродвигатель (ЭДД) и клапан (КД) демпфирования активной подвески (системы ADS);

в) ЭДН/НД — электродвигатель (ЭДН) и нагнетатель (НД) высокого давления в системе VDC;

г) ЭДТ/ГК — электродвигатель (ЭДТ) и гидроклапаны (ГК) системы ABS;

д) ШЭД/ДР — шаговый электродвигатель (ШЭД) и дроссельная заслонка (ДР) системы ASR.

G. Блок водительских органов управления: ВИ — визуальные индикаторы (стрелочные, электронные, дисплей и пр.); РК — рулевое колесо; ПТ — педаль тормоза; ПГ — педаль акселератора (газа).

Все это неэлектрические проявления условий движения автомобиля, которые с помощью входных неэлектрических преобразователей перерабатываются в неэлектрические информационные сигналы: скорость движения — в круговую частоту вращения колес; углы вертикального наклонения — в механические перемещения инерционных элементов в гироскопическом устройстве; угол поворота руля — в движение (поворот) светомодулирующего (кодирующего) диска; давление в шинах — в прогиб упругой мембраны и т. д.

Полученные таким образом неэлектрические информационные сигналы посредством входных датчиков (рис. 1.1, поз. A, C, D) преобразуются в электрические сигналы: поворот кодирующего диска на руле — в цифровой электрический код; круговая частота вращения колес — в последовательность электрических импульсов с изменяющейся частотой следования; перемещение инерционных элементов гироскопа, упругой мембраны датчика давления — в аналоговые электрические сигналы, которые далее с помощью аналогово-цифровых преобразователей (АЦП) перерабатываются в цифровые электрические сигналы, пригодные для подачи на вход микропроцессора МП.

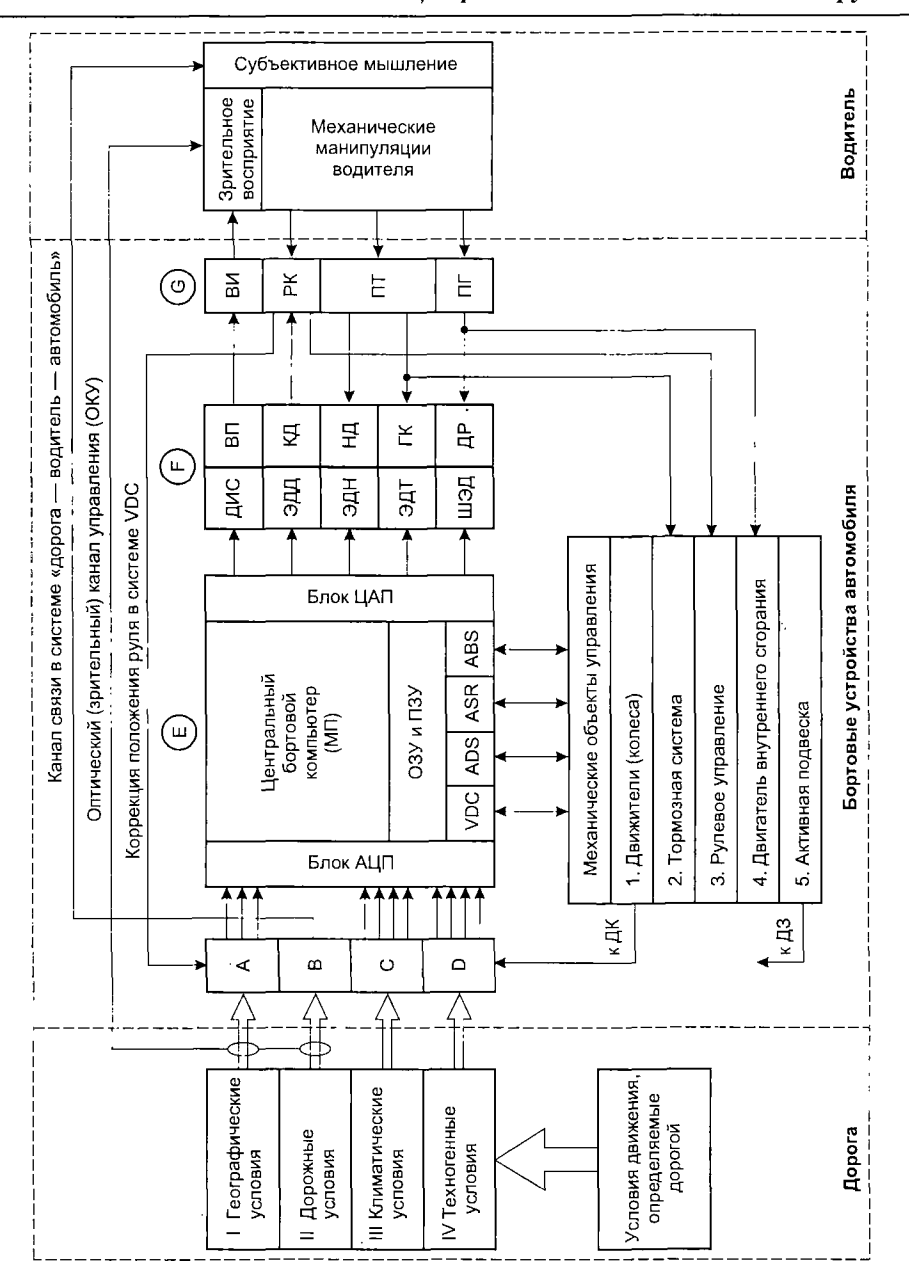


Рис. 1.1. Система VDC — как составная часть системы «дорога — водитель — автомобиль»

Микропроцессор — это центральный орган управления (мозг) автотронной системы. Его главная функция заключается в преобразовании электрических информационных сигналов об условиях движения автомобиля, полученных от входной периферии, в электрические сигналы управления, несущие информацию об интенсивности и последовательности неэлектрических воздействий на неэлектрические органы управления. Такая информация формируется в микропроцессоре в виде кодовых последовательностей электрических импульсов, которые для непосредственного управления неэлектрическими органами непригодны.

Для согласования энергетических уровней без нарушения информационного содержания на выходе микропроцессора реализуется обратное преобразование информационных сигналов из цифровой в аналоговую форму. Эту функцию выполняют цифроаналоговые преобразователи (ЦАПы), которые одновременно являются усилителями мощности аналоговых электрических сигналов.

Чтобы выполнить управляемое неэлектрическое воздействие на неэлектрические органы управления, вслед за ЦАПами устанавливаются оконечные преобразователи электрических сигналов в механические или любые другие неэлектрические воздействия. Оконечные преобразователи (блок F на рис. 1.1) являются выходными исполнительными устройствами автотронной системы, но не являются ее информационным окончанием. В отличие от электронной системы автотронная система включает в свой состав и неэлектрические объекты управления, которые и являются оконечными потребителями информации. Применительно к рассматриваемой системе управления устойчивостью движения автомобиля, оконечными потребителями информации являются: система подачи топлива в двигатель **4**, тормозная система **2** автомобиля и информационная система водителя с визуальными индикаторами (ВИ) и оптическим (зрительным) каналом управления (ОКУ). Эти три системы представляют собой выходную исполнительную периферию автотронной системы, которая (периферия) под автоматическим управлением микропроцессора, при крайне ограниченном (посредством коррекции положения руля) участии водителя, обеспечивает наиболее оптимальный режим движения автомобиля в сложных дорожных условиях или в аварийной ситуации (более подробно система VDC описана в главе 8).

▸ Другой пример — автотронное управление насос-форсунками, которые используются в системах впрыска бензина под большим давлением непосредственно в камеру сгорания для реализации внутреннего смесеобразования. Начиная с 2000 года такие форсунки стали устанавливаться в двигателях экспериментальных легковых автомобилей фирмы TOYOTA (Япония).

Насос-форсунка (рис. 1.2), являясь гидромеханическим устройством, приводится в действие от кулачка **10** распределительного вала ДВС, а управляется от электронной системы S автотронного управления впрыском (ЭСАУ-В) посредством быстродействующего электрогидравлического клапана **2**.

Насос-форсунка является ярким примером составного компонента автотронной системы. Входными неэлектрическими сигналами здесь служат: частота вращения и угловое положение распределительного вала; абсолютное давление (разрежение) во впускном коллекторе; температура двигателя и положение водительской педали газа. Эти неэлектрические величины с помощью соответствующих датчиков и АЦП преобразуются в числоимпульсную последовательность электрических сигналов и подаются на вход микропроцессора ЭСАУ-В. В микропроцессоре путем математической обработки входных сигналов происходит формирование последовательности управляющих импульсов для электрогидравлического клапана насос-форсунки.

В данном случае ЦАП на выходе микропроцессора не применяется, но управляющие импульсы усиливаются в усилителе мощности и подаются на обмотку электромагнита гидроклапана **2**. Гидроклапан представляет собой выходное исполнительное устройство автотронной системы. Однако объектом управления является не гидроклапан, а точно отмеренная по массе и распределенная по времени струя **21** распыленного бензина, поступающая в объем цилиндра через дисковый запорный клапан **17** форсунки. Управление струей позволяет получить так называемый послойный впрыск бензина, суть которого состоит в строго дозиро-

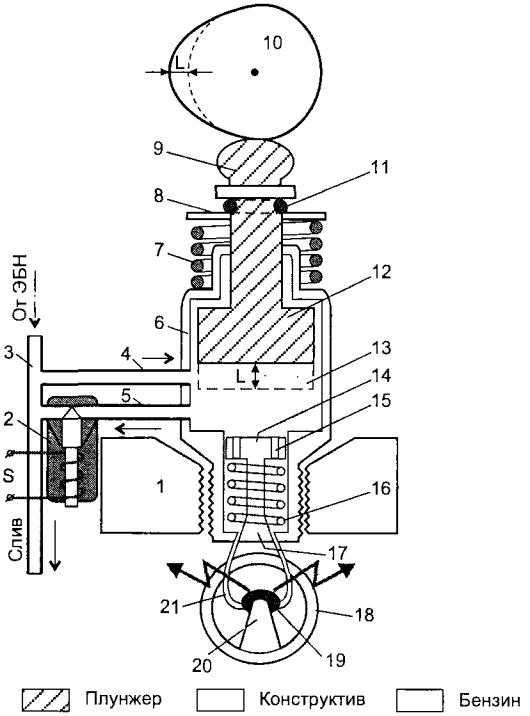


Рис. 1.2. Насос-форсунка системы впрыска бензина

1 — фрагмент блока цилиндров в зоне камеры сгорания; 2 — магнитоэлектрический гидроклапан в сливном канале; 3 — главная бензомагистраль; 4 — подающая бензомагистраль; 5 — сливной канал (обратная бензомагистраль); 6 — корпус насос-форсунки; 7 — возвратная пружина плунжера; 8 — опорная тарелочка пружины плунжера; 9 — толкатель плунжера; 10 — кулачок распредвала; 11 — запорное кольцо опорной тарелочки; 12 — поршень плунжерного насоса; 13 — рабочая полость насос-форсунки; 14 — гидромеханическая форсунка закрытого типа высокого давления (100—150 бар); 15 — перепускной канал из полости плунжерного насоса в полость форсунки; 16 — возвратная пружина запорного клапана форсунки; 17 — дисковый запорный клапан форсунки; 18 — свеча зажигания (СЗ); 19 — центральный электрод СЗ; 20 — боковой электрод; 21 — конус (струя) распыленного бензина; L — ход плунжера

ванной подаче топлива отдельными порциями и в строго определенное время. При этом за один цикл впрыска бензин подается не сплошной однородной струей, как в обычной форсунке с электронным управлением, а несколькими частями, каждая из которых образует «свой» коэффициент избытка воздуха β. В объеме цилиндра образуется послойная структура ТВ-смеси с разной концентрацией компонентов. Преимущество прямого послойного впрыска бензина состоит в том, что в первый момент воспламенения в зоне центрального электрода **19** свечи зажигания **18** имеет место стехиометрическая (нормальная) ТВ-смесь с коэффициентом $\beta = 1$, которая легко возгорается. Далее процесс горения бензина при значительном избытке кислорода ($\beta = 2{,}0$) поддерживается за счет «открытого огня», образовавшегося в первый момент воспламенения. Такой процесс сгорания ТВ-смеси позволяет получить значительную экономию бензина (до 35%), понизить выброс в атмосферу угарного газа CO и углеводородов CH, а также увеличить удельную мощность двигателя.

▶ Из приведенных примеров очевидно, что автотронная система является совокупностью самых различных по принципу действия устройств, объединенных в единый комплекс с целью выполнения требуемой специфической функции управления, регулирования или текущего контроля на борту автомобиля. Современные подходы автомобилестроителей к комплексному решению задач автоматического контроля, управления и регулирования приводят к тому, что подавляющее большинство новейших автомобильных систем бортовой автоматики являются автотронными, входными воздействиями для которых являются неэлектрические проявления режима работы, условий движения, дорожных ситуаций и других факторов, а выходными потребителями информации (объектами управления) — неэлектрические узлы, блоки, устройства, газообразные и жидкостные среды, имеющие место на автомобиле, и сам водитель. Это принципиальные отличия автотронных систем от чисто электронных и электрических.

▶ Говоря о тенденциях и перспективах развития автомобильных бортовых устройств, следует отметить, что традиционно наиболее интенсивно совершенствуются узлы, агрегаты и схемы классического электрооборудования. Уже скоро в бортсеть автомобиля будет внедрено второе рабочее напряжение 42 вольта. Это связано с необходимостью повышения напряжения электропитания для новейших энергоемких потребителей, таких как силовые электромагнитные гидроклапаны, электромагнитные соленоиды силовых исполнительных устройств, мощные электродвигатели, силовые электронные коммутаторы, мультиплексная электропроводка и т. п. Ясно, что при повышении напряжения электропитания соответственно уменьшаются токи в цепях потребителей, что приводит к более надежной и экономичной их работе. Но сразу переводить все электропотребители на новое напряжение, как это было сделано при переходе с 6 на 12 вольт, в настоящее время нерационально. Причина тому — выпуск 12-вольтовых потребителей огромными сериями, технологическая оснащенность производства и, главное, все эксплуатируемые в настоящее время автомобили оборудованы 12-вольтовыми потребителями (электролампы, электродвигатели, электронное и микрокомпьютерное оснащение, аудио-, радио-, видеоаппаратура, бортовая самодиагностика и т. п.).

Единой стратегии перевода бортсети автомобиля на более высокое напряжение пока нет. Полагают, что некоторое время на автомобиле будет два напряжения: 12 вольт — для классического электрооборудования, и 42 вольта — для новейших мощных потребителей. Такой подход широко используется на многотонных грузовых автомобилях, где мощные электропотребители 24-вольтовые, а освещение — от 12 вольт. Еще более яркий пример — электромобили. Здесь главная тяговая аккумуляторная батарея, управляющий контроллер и тяговый электродвигатель рассчитаны на напряжение 120...380 В и соединены между собой отдельными цепями. При этом бортсеть остается 12-вольтовой.

Из приведенных примеров ясно, что функциональное многообразие бортовых электрических устройств неизбежно приводит к необходимости применения на автомобиле нескольких первичных источников электроэнергии с различными рабочими напряжениями. При этом не исключено, что будет использоваться и переменное синусоидальное напряжение для специальных потребителей.

▶ Под новые напряжения в первую очередь будут модернизированы бортовые электромашины. Уже в наши дни значительно видоизменен электростартер. В нем не применяется последовательное возбуждение, которое заменено возбуждением от постоянных магнитов. Жесткая механическая характеристика электродвигателя

такого стартера согласовывается с пусковым моментом ДВС посредством планетарного редуктора (редуктора Джемса). Давно нет коллекторных генераторов постоянного тока, их заменили многофазные синусоидальные генераторы с полупроводниковыми выпрямителями и электронными регуляторами напряжения. Но и такие генераторы могут значительно видоизмениться при появлении второго рабочего напряжения или если необходимость в высоковольтном переменном напряжении станет реальной.

Ведутся также разработки по созданию универсальной электрической машины, так называемого «стартер-генератора», которая сможет выполнять две функции: запуск ДВС и подачу электроэнергии в бортсеть после запуска ДВС.

▸ Современная микропроцессорная система зажигания с низкоуровневым многоканальным распределением энергии по свечам [2] является наиболее совершенным решением проблемы принудительного электроискрового воспламенения ТВ-смеси в цилиндрах поршневого ДВС. Но и это не предел достижений. Уже испытаны лазерные свечи зажигания, которые работают непосредственно от электронной схемы управления без промежуточного энергонакопителя. Это позволит значительно повысить надежность и КПД системы зажигания, а также избавить ее от высокочастотных электроискровых помех на другие узлы и блоки бортовой электронной автоматики. Электронной схемой управления может стать магнитный модулятор сжатия, работающий на ферромагнитных сердечниках насыщения. Схема такого модулятора показана на рис. 1.3, основным элементом в которой является высоковольтный трансформатор с насыщающимися сердечниками.

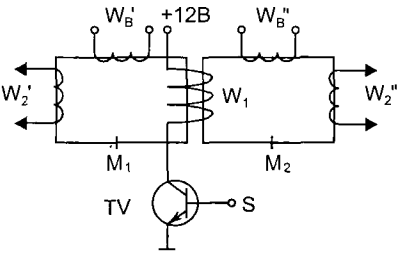


Рис. 1.3. Магнитный модулятор системы зажигания

Если магнитопровод трансформатора ввести в режим насыщения, то его коэффициент трансформации резко падает и энергия из первичной обмотки во вторичную не трансформируется.

Выходной трансформатор имеет два изолированных друг от друга магнитопровода — M_1 и M_2, охваченных общей первичной обмоткой W_1. Каждый магнитопровод оснащен отдельной обмоткой управления (W_B' и W_B'') и отдельной двухвыводной вторичной обмоткой (W_2' и W_2'').

Когда по управляющей обмотке W_B' протекает ток, достаточный для насыщения сердечника M_1, а обмотка W_B'' обесточена, то высокое напряжение будет наводиться только во вторичной обмотке W_2''. Если обесточить управляющую обмотку W_B' и пропустить ток насыщения по обмотке W_B'', то насытится сердечник M_2 и высокое напряжение будет трансформировано только в обмотку W_2'.

Система зажигания с трансформатором насыщения обладает высокой надежностью, малыми габаритами и весом.

В заключение следует отметить, что не все известные разработки бортовых систем вышли из стадии экспериментальных исследований. Они используются в основном на фирменных моделях спортивных и концептуальных автомобилей. Но, как и прежде, почти все новации, испытанные на концепткарах, рано или поздно начинают применяться на серийных автомобилях.

Таковы тенденции развития автомобильной техники и, в частности, систем бортового электрического, электронного и автотронного оборудования.

Глава 2. Датчики новейших автомобильных электронных систем

2.1. Предварительные замечания

Современные электронные системы автоматического управления (ЭСАУ) различными техническими объектами, в том числе и автомобильными бортовыми устройствами, имеют сходную структуру.

Различные датчики ЭСАУ преобразуют информацию о значениях контролируемых неэлектрических параметров в электрический сигнал — напряжение, ток, частоту, фазу и т. д. Эти сигналы преобразуются в цифровой код и поступают в микроконтроллер. Микроконтроллер на основании значений этих сигналов и в соответствии с заложенным в него программным обеспечением принимает решения, управляет через исполнительные механизмы (реле, соленоиды, электродвигатели) объектом.

Возможность совершенствования автомобильных электронных систем во многом зависит от наличия надежных, точных и недорогих датчиков.

В 60-х годах автомобили были оборудованы датчиками давления масла, уровня топлива, температуры, охлаждающей жидкости. Их выходы были подключены к стрелочным или ламповым индикаторам на щитке приборов.

В 70-х годах автомобильные компании начали бороться за уменьшение количества токсичных выбросов из глушителя автомобиля — потребовались дополнительные датчики для управления силовой установкой, которые необходимы для обеспечения нормальной работы электронного зажигания, системы впрыска топлива, трехкомпонентного нейтрализатора, для точного задания соотношения воздух/топливо в рабочей смеси, для минимизации токсичности выхлопных газов.

В 80-х годах начали уделять больше внимания безопасности водителя и пассажиров — появились антиблокировочная система торможения (ABS) и воздушные мешки безопасности.

В силовом агрегате (в ДВС) датчики используются для измерения температуры и давления большинства текучих сред (температура всасываемого воздуха, абсолютное давление во впускном коллекторе, давление масла, температура охлаждающей жидкости, давление топлива в системе впрыска).

Почти ко всем движущимся частям автомобиля подключены датчики скорости или положения (скорость автомобиля, положение дроссельной заслонки, положение коленчатого вала, положение распределительного вала, положение и скорость вращения вала в коробке переключения передач, положение клапана рециркуляции выхлопных газов).

Другие датчики определяют уровень детонации, нагрузку двигателя, пропуски воспламенения, содержание кислорода в выхлопных газах.

В системе управления климатом (в климат-контроле) используются различные датчики в кондиционере для определения давления и температуры хладагента, температуры воздуха в салоне и за бортом.

Есть датчики, которые определяют положение сидений.

После появления антиблокировочной системы торможения и активной подвески потребовались датчики для определения скорости вращения колес, высоты кузова по отношению к шасси, давления в шинах.

Датчики удара и акселерометры нужны для правильного функционирования фронтальных и боковых воздушных мешков безопасности. Для переднего пассажирского сиденья с помощью датчиков определяют наличие пассажира, его вес. Эта информация используется для оптимального наддува мешка безопасности на переднем сиденьи. Другие датчики используются для боковых и потолочных воздушных мешков безопасности, а также специальных воздушных мешков для защиты шеи и головы.

На современных автомобилях антиблокировочные системы торможения заменяются более сложными и эффективными системами управления стабильностью движения автомобиля. Возникает необходимость в новых датчиках. Разрабатываются и уже имеются датчики скорости вращения автомобиля вокруг вертикальной оси, датчики для предупреждения столкновений (например радарные), датчики для определения близости других автомобилей, датчики положения рулевого колеса, бокового ускорения, скорости вращения каждого колеса, крутящего момента на валу двигателя и т. д. Управление тормозной системой автомобиля становится частью более общей и эффективной системы электронного управления курсовой устойчивостью и стабильностью движения.

Из сказанного ясно, что сегодня датчики устанавливаются практически во всех системах автомобиля.

На рис. 2.1, *а* показано наиболее рациональное расположение различных датчиков на автомобиле.

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

По принципу действия датчики подразделяют 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. 2.1, *б*) датчики (Д) бывают активными (поз. 2 на рис. 2.1, *б*), 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. 3 на рис. 2.1, *б*), в которых электрический сигнал (ЭС) есть следствие модуляции внешней электрической энергии (ВЭ) управляющим неэлектрическим воздействием (НВ). Например, потенциометрический датчик, показанный на рис. 2.1, *б* (поз. 5), является пассивным преобразователем угла поворота оси потенциометра (чувствительного элемента ЧЭ) в электрический сигнал. Электрический сигнал (ЭС) появится на выходе потенциометра только после того, как на резистивную дорожку (П) будет подано внешнее напряжение (ВЭ). Следует отметить, что внутри датчика, посредством чувствительного элемента (ЧЭ), всегда имеет место внутреннее преобразование внешнего неэлектрического воздействия (НВ) в промежуточный неэлектрический сигнал (НС), что показано на рис. 2.1, *б* (поз. 1). Применительно к датчику угла поворота, угловое положение оси потенциометра является неэлектрическим сигналом (НС) на выходе чувст-

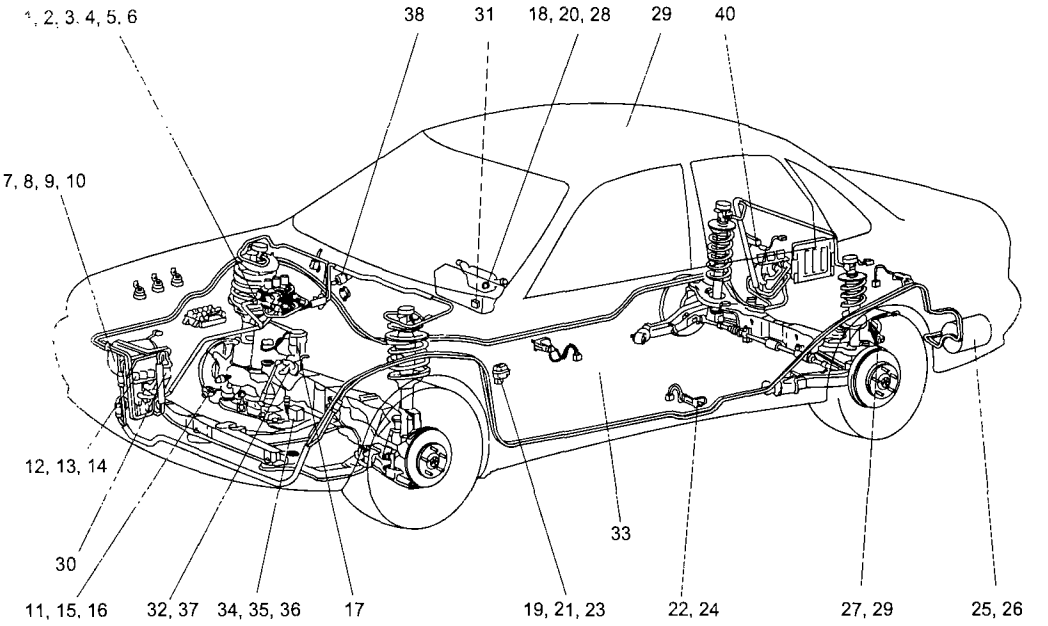


Рис. 2.1, а. Расположение датчиков на автомобиле

1 — датчик конфигурации впускного коллектора с управляемой геометрией, 2 — датчик тахометра, 3 — датчик положения распределительного вала, 4 — датчик нагрузки двигателя, 5 — датчик положения коленчатого вала, 6 — датчик крутящего момента двигателя, 7 — датчик количества масла, 8 — датчик температуры охлаждающей жидкости, 9 — датчик скорости автомобиля, 10 — датчик давления масла, 11 — датчик уровня охлаждающей жидкости, 12 — радарный датчик системы торможения, 13 — датчик атмосферного давления, 14 — радарный датчик системы предотвращения столкновений, 15 — датчик скорости вращения ведущего вала коробки передач, 16 — датчик выбранной передачи в коробке передач, 17 — датчик давления топлива в рампе форсунок, 18 — датчик скорости вращения руля, 19 — датчик положения педали, 20 — датчик скорости вращения автомобиля относительно вертикальной оси, 21 — датчик противоугонной системы, 22 — датчик положения сиденья, 23 — датчик ускорения при фронтальном столкновении, 24 — датчик ускорения при боковом столкновении, 25 — датчик давления топлива в баке, 26 — датчик уровня топлива в баке, 27 — датчик высоты кузова по отношению к шасси, 28 — датчик угла поворота руля, 29 — датчик дождя или тумана, 30 — датчик температуры забортного воздуха, 31 — датчик веса пассажира, 32 — датчик кислорода, 33 — датчик наличия пассажира в сиденье, 34 — датчик положения дроссельной заслонки, 35 — датчик пропусков воспламенения, 36 — датчик положения клапана рециркуляции выхлопных газов, 37 — датчик абсолютного давления в впускном коллекторе, 38 — датчик азимута, 39 — датчик скорости вращения колес, 40 — датчик давления в шинах

вительного элемента (ЧЭ). Этому неэлектрическому сигналу (НС) соответствует выходной электрический сигнал (ЭС) датчика, если поданное на резистивную дорожку (П) внешнее напряжение (ВЭ) постоянно (рис. 2.1, *б*, поз. 4). Линейная характеристика преобразования (рис. 2.1, *б*, поз. 6) может быть легко изменена на квадратичную, ступенчатую и любую нелинейную с заданной крутизной, что достигается подбором конструктивных размеров (длины, ширины, толщины) резистивной дорожки.

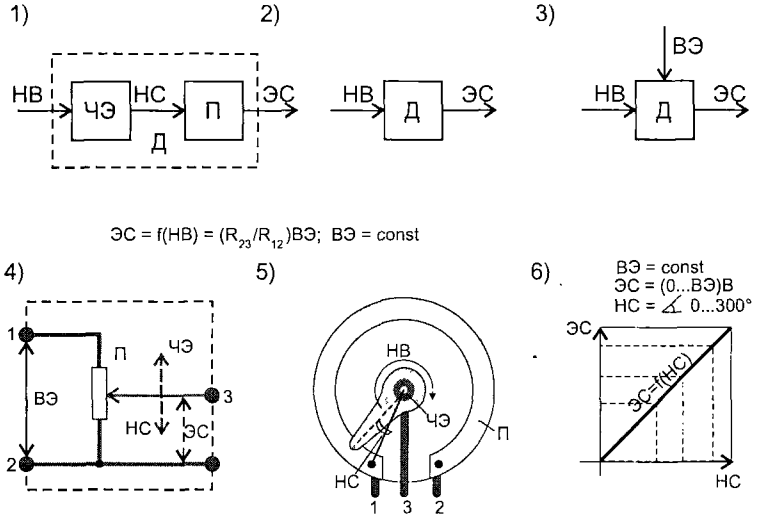


Рис. 2.1, б. Модели датчиков ЭСАУ

Из приведенного примера ясно, что любой датчик всегда состоит, как минимум, из двух частей — из чувствительного элемента (ЧЭ), способного воспринимать входное неэлектрическое воздействие (НВ), и из преобразователя (П) промежуточного неэлектрического сигнала (НС) от чувствительного элемента в выходной электрический сигнал (ЭС).

По назначению датчики классифицируются по типу управляющего неэлектрического воздействия: датчики краевых положений, датчики угловых и линейных перемещений, датчики частоты вращения и числа оборотов, датчики относительного или фиксированного положения, датчики механического воздействия, датчики давления, датчики температуры, датчики влажности, датчики концентрации кислорода, датчик радиации и др.

▶ Датчики подключаются к ЭБУ или средствам индикации для передачи информации о параметрах контролируемой среды. В автомобильных системах цена и надежность имеют огромное значение и при прочих равных условиях всегда выбирают датчик с наименьшим числом соединителей. Если к датчику следует подключить 5—6 проводов (например, ЛДТ), целесообразно разместить микросхему обработки сигнала непосредственно на датчике и передавать данные контроллеру через последовательный интерфейс.

При подключении датчиков к ЭБУ следует иметь в виду, что шасси (масса) автомобиля не может быть использована в качестве измерительной земли. Между точкой подключения ЭБУ к массе и датчиком напряжение может падать до 1 В за счет токов силовых элементов по массе, что недопустимо как при штатной работе датчика, так и при его диагностике.

Подавляющее большинство датчиков из числа вышеперечисленных уже достаточно широко используется на современных импортных и отечественных автомобилях. Их устройство, работа и принципы диагностирования подробно описаны в [3] и [4]. Но есть и такие, которые появились относительно недавно и находятся на стадии внедрения в новейшие автомобильные системы. Описанию именно таких датчиков уделено наибольшее внимание в данной главе.

2.2. Датчики давления

На современных автомобилях используется большое число датчиков давления (от давления масла до дифференциального давления воздуха по разные стороны кузова), и их количество постоянно растет.

Измерение давления в различных жидкостных и газообразных текучих средах производится на автомобиле в процессе разработки, производства и эксплуатации. Результаты этих измерений необходимы для проведения экспериментальных исследований, обеспечения нормальной безопасной эксплуатации автомобиля, выдачи информации водителю, для диагностики.

В зависимости от измеряемого параметра могут применяться разные единицы измерения давления. В системе СИ это паскаль (Па) или килопаскаль (кПа). Независимо от метода измерения в технических системах определяется избыточное, абсолютное или дифференциальное давление.

Таблица 2.1

	[psi]	[Мм рт. ст]	[кПа]
[psi]	1,0	51,715	6,8947
[Мм рт. ст]	0,0193	1,0	0,133332
[кПа]	0,1450	7,5006	1,0

Таблица 2.2

Система	Параметр	Диапазон
Управление двигателем	Абсолютное давление во впускном коллекторе [кПа]	100
	Абсолютное давление во впускном коллекторе двигателя с наддувом [кПа]	200
	Барометрическое давление [кПа]	100
	Давление в системе рециркуляции выхлопных газов [кПа]	51,7
	Давление топлива [кПа]	450
Коробка переключения передач	Давление масла [кПа]	550
Антиблокировочная система тормозов	Давление масла [кПа]	3447
Воздушные мешки безопасности	Давление газа [кПа]	51,7
Подвеска	Давление в пневматическом амортизаторе [мПа]	1,0

В табл. 2.1 приведены соотношения между различными единицами измерения давления, которые используются при маркировке датчиков в автомобильной промышленности. Здесь psi — это фунт на квадратный дюйм, единица, которая применяется в англоязычных странах.

Современный серийный автомобиль имеет несколько датчиков для измерения давления, например, разрежения во впускном коллекторе, давления масла в двигателе и т. д.

В табл. 2.2 приведены некоторые узлы автомобиля, где имеется необходимость измерения давления с целью получения управляющих сигналов для ЭСАУ.

Водителю обычно выдается информация со следующих датчиков: давления масла в двигателе, уровня топлива, уровня масла, давления охлаждающей жидкости, уровня охлаждающей жидкости, уровня жидкости в омывателе, уровня жидкости в коробке переключения передач, давления в шинах.

2.2.1. Датчики барометрического давления и абсолютного давления во впускном коллекторе

Такие датчики используются в системах управления двигателем при определении массы топлива по объемному расходу воздуха. Этот способ дешевле в реализации по сравнению с непосредственным измерением массового расхода воздуха, но менее точен. Могут использоваться только для диагностики в бортовых диагностических системах второго поколения OBD-II.

Датчики барометрического (атмосферного) давления нужны для адаптации ЭБУ к перепадам высоты и изменениям погоды. Они применяются совместно с расходомером воздуха по объему. Часто это один и тот же датчик, тогда измерение атмосферного давления производится, когда зажигание включено, а двигатель еще не работает. При езде в горах иногда приходится специально останавливаться и перезапускать двигатель для адаптации системы управления подачей топлива к новой высоте.

Выпускаются и сдвоенные датчики (рис. 2.2). Вход барометрического датчика остается открытым и на него подается атмосферное давление, вход датчика разрежения соединяется вакуумным шлангом с впускным коллектором.

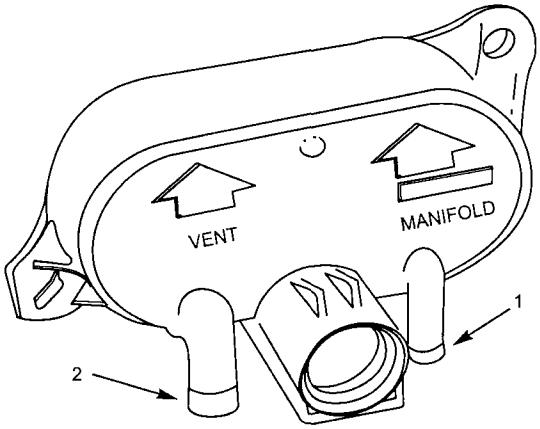


Рис. 2.2. Комбинированный датчик барометрического давления и разрежения (Ford): 1 — вакуумный шланг, 2 — шланг в атмосферу

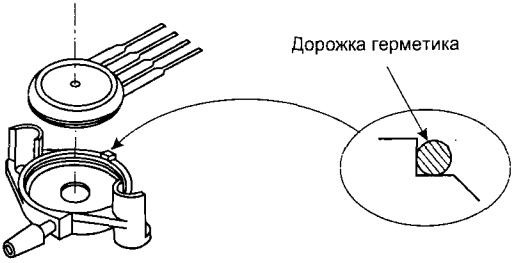


Рис. 2.3. Современный интегральный датчик давления в защитном корпусе

Барометрические датчики и датчики давления, применяемые для измерения разрежения во впускном трубопроводе, могут быть различных конструкций. Датчики давления дискретного действия представляют собой устройство, где замыкание и размыкание контактов происходят под действием упругой мембраны, испытывающей измеряемое давление.

Датчики давления непрерывного действия представляют собой либо потенциометр, ползунок которого связан с мембраной, либо катушку индуктивности, в которую мембрана под действием давления вдвигает магнитный сердечник.

Современные интегральные датчики (рис. 2.3) подключаются к микропроцессору ЭБУ через коммутатор и аналого-цифровой преобразователь (АЦП). Для 8-разрядного контроллера шаг дискретизации может составлять до 4 мс, для 16-разрядного — до 2 мс.

Погрешность датчика абсолютного давления во впускном коллекторе обычно около 1%.

Датчик барометрического давления работает в диапазоне 60...115 кПа, имеет погрешность около 1,5%. По краям рабочего диапазона, как по температуре, так и по давлению, погрешность растет.

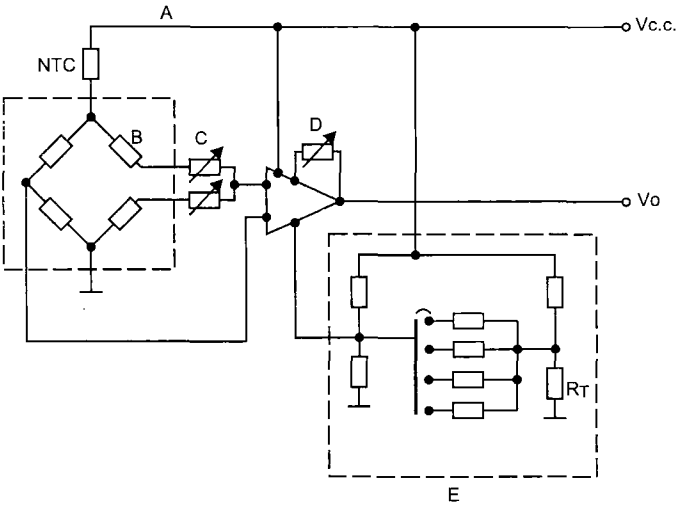


Рис. 2.4. Упрощенная электрическая схема датчика абсолютного (атмосферного) давления с цепями компенсации: A — цепь температурной компенсации, B — измерительный мост, C — подстройка нуля, D — коэффициент усиления, E — термокомпенсация усилителя

Датчики абсолютного давления в двигателях с наддувом работают в диапазоне давлений 20...200 кПа.

Рассмотренные датчики имеют, как правило, интегральное исполнение и крепятся к стенкам соответствующих трубопроводов.

Широкое распространение получили полупроводниковые датчики с преобразователем давления на кремниевом кристалле, в работе которого используется пьезорезистивный эффект (рис. 2.4, 2.5). На поверхности кристалла сформирован мостик сопротивлений, ток через которые изменяется под действием деформации. Затем ток усиливается и вводится температурная компенсация. Эти датчики отличаются небольшими размерами и высокой надежностью. Интегральные датчики очень технологичны, их выходной сигнал унифицирован для подключения к аналоговым или импульсным входам микроконтроллера.

Информацию о давлении в зависимости от конструкции датчика несет величина выходного напряжения или его частота.

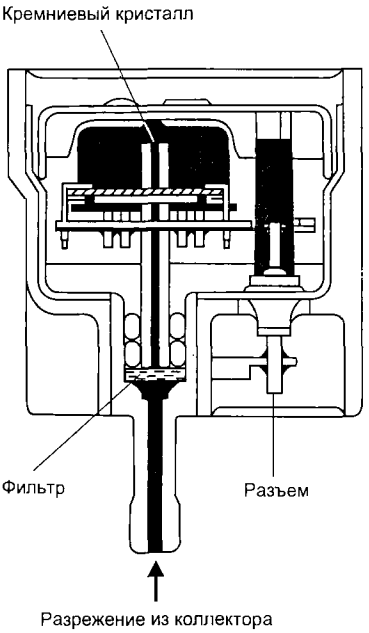


Рис. 2.5. Датчик разрежения во впускном трубопроводе

В табл. 2.3 приведены характеристики некоторых датчиков абсолютного давления.

Таблица 2.3

Разрежение, мм рт. столба	GM, вольты	Ford, Гц	Разрежение, мм рт. столба	GM, вольты	Ford, Гц
0	4,8	156...159	308,4	2,54	
25,7	4,52		334,1	2,36	
51,4	4,46		359,8	2,20	
77,1	4,26		385,5	2,00	114...117
102,8	4,06		411,2	1,80	
128,5	3,88	141...143	436,9	1,62	
154,2	3,66		462,6	1,42	108...109
179,9	3,50		488,3	1,20	
205,6	3,30		514	1,10	102...104
231,3	3,10		539,7	0,88	
257	2,94	127...130	565,4	0,66	
282,7	2,76				

2.2.2. Датчики давления в жидкостных средах

На автомобилях они традиционно основаны на преобразовании перемещения упругой диафрагмы в положение переключателя или движка потенциометра. На таком принципе работают все датчики давления масла в ДВС прежних конструкций. Сегодня электромеханические датчики заменяются на кремниевые или керамические интегральные. Непосредственно в корпусе датчика размещают унифицирующие преобразователи. Имеется защита от электромагнитных помех, микросхемы работают при температуре –40...+150 °С в условиях вибраций, при давлении до 500 psi (3440 кПа), в агрессивных химических средах. Из соображений стоимости корпуса датчиков изготовляются из пластмассы, устойчивой к перечисленным воздействиям.

Информация о давлении масла в коробке переключения передач используется контроллером, управляющим переключением скоростей. Требования к датчику здесь такие же, как и при измерении давления масла в двигателе.

Давление жидкости в тормозной гидравлической системе гораздо выше, чем в коробке переключения передач. Например, в ABS оно может достигать 500 psi (3440 кПа). Давление жидкости в тормозной системе автомобиля около 150 psi (1030 кПа), оно измеряется датчиками на легковых автомобилях на этапе испытаний и на тяжелых грузовиках при эксплуатации. На пассажирском автомобиле достаточно иметь один датчик давления для контроля за гидравлической системой. Например, в системе ABS-VI фирмы GM давление оценивается по току электродвигателей насосов.

2.2.3. Новые применения датчиков давления

Описываемые ниже датчики используются на стадии разработки новых автомобильных систем. Их применение на серийных автомобилях определяется ценой, запросами потребителя, требованиями законодательства, необходимостью при диагностике.

Система контроля давления воздуха в шинах

Система позволяет следить за давлением в шинах и при его уменьшении ниже заданного уровня на щитке приборов автомобиля загорается ламповый или светодиодный индикатор.

Каждому колесу соответствует отдельный индикатор. Пониженное давление в шинах повышает их износ, а также расход топлива, может привести к потере управления автомобилем, повышенное — ведет к вибрациям. На рис. 2.6 показаны блок-схема системы контроля давления в шинах и размещение датчика в колесе автомобиля.

Система состоит из трех основных элементов. На ободе колеса установлен мембранный миниатюрный датчик давления (первый элемент), замыкающий контакты при снижении давления в шине и тем самым создающий вторичную цепь для высокочастотного излучателя (второй элемент), который размещен на узле крепления тормозных колодок (на супорте). Датчик давления постоянно проходит в непосредственной близости от излучателя при вращении колеса. Факт появления вторичной цепи для излучателя фиксируется ЭБУ. На приборном щитке загорается контрольный индикатор (третий элемент), соответствующий колесу со сниженным давлением в шине. Система измеряет давление с точностью до ±50 миллибар. При нагреве на 10 °С давление в шине повышается на 1,5 psi (10,33 кПа). Повышение температуры воздуха в шине не сказывается на точности датчика давления и не вызывает ложных срабатываний системы.

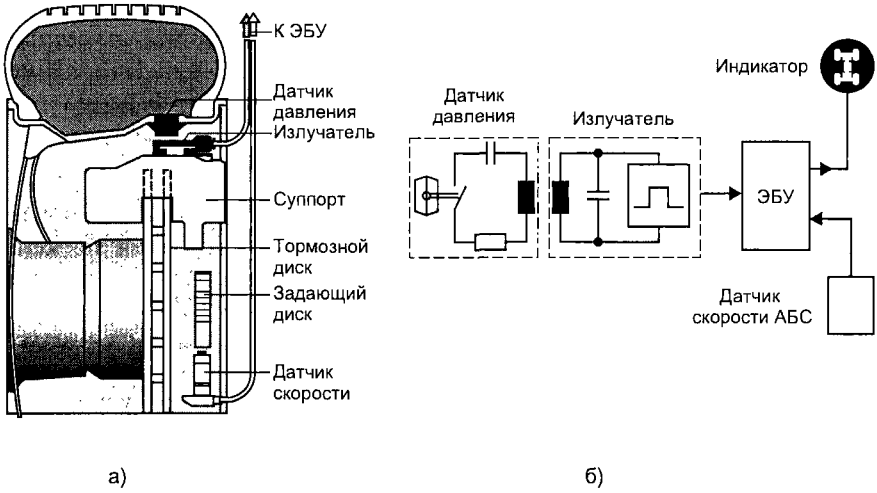


Рис. 2.6. Система контроля давления в шинах: а — размещение на колесе; б — блок схема

В другом варианте система контроля давления воздуха в шинах содержит аналоговые датчики давления и температуры. Эти датчики размещаются в шинах и передают бесконтактным способом информацию в ЭБУ о давлении и температуре, даже если автомобиль неподвижен. Учитываются также скорость и загрузка автомобиля.

Давление в системе рециркуляции выхлопных газов

Система рециркуляции выхлопных газов (exhaust gas recirculation — EGR) предназначена для уменьшения содержания окислов азота (NO_x) в выхлопных газах. В присутствие солнечного света NO_x вступает в реакцию с углеводородом, образуя канцерогенный фотохимический смог.

Впервые система EGR была применена на автомобилях Chrysler в 1972 году. Окислы азота возникают при температуре в камере сгорания выше 1370 °C (2500 °F). При некоторых режимах работы двигателя, когда не производится отбор полной мощности, например, при равномерном движении по шоссе, можно снизить температуру сгорания рабочей смеси, т. е. пойти на уменьшение мощности. Это достигается введением небольшого количества (6...10%) выхлопных газов из выпускного во впускной коллектор. Так как выхлопные газы инертны, то они разбавляют ТВ-смесь, не изменяя соотношения воздух/топливо.

С 80-х годов EGR стала частью электронной системы управления двигателем. В соответствии с требованиями к бортовым диагностическим системам второго поколения OBD-II, система управления двигателем постоянно контролирует исправность клапана EGR, т. к. выход его из строя приводит к увеличению загрязнения окружающей среды выхлопными газами автомобиля.

Например, на автомобилях Ford в трубе между EGR и впускным коллектором делается вставка с калиброванным отверстием и измеряется дифференциальное давление по обе ее стороны. Когда клапан EGR открывается, это давление убывает, что фиксируется компьютером с помощью датчика дифференциального давления. Когда клапан EGR закрыт, давление по обе стороны вставки становится одинаковым.

На серийных автомобилях могут также применяться датчики положения клапана EGR. Положение клапана модулируется в зависимости от разрежения во

впускном коллекторе по принципу широтно-импульсной модуляции или 3-разрядного цифроаналогового преобразователя, когда в различной комбинации открываются 3 электроклапана с сечениями в отношении 1-2-4. Изменение давления на 50 мм рт. ст. достаточно для открывания клапана. Дифференциальное давление обычно равно 200 мм рт. ст.

Давление паров топлива в баке

Автомобиль производит токсичные отходы при эксплуатации, которые поступают в окружающую среду: 60% в виде выхлопных газов во время движения, 20% в виде картерных газов и 20% за счет испарений топлива. Для уменьшения вредного влияния испарений топлива последние из бака поступают в адсорбер с активированным углем, объемом 850...1000 см^3, где накапливаются и сжигаются в двигателе в подходящее время. На рис. 2.7 показана система улавливания паров бензина из топливного бака, в которой для управления продувкой адсорбера используется клапан с дифференциальным датчиком давления между давлением в задроссельной зоне впускного коллектора и давлением паров топлива в баке. Рабочий диапазон ±0,5 psi (3,5 кПа).

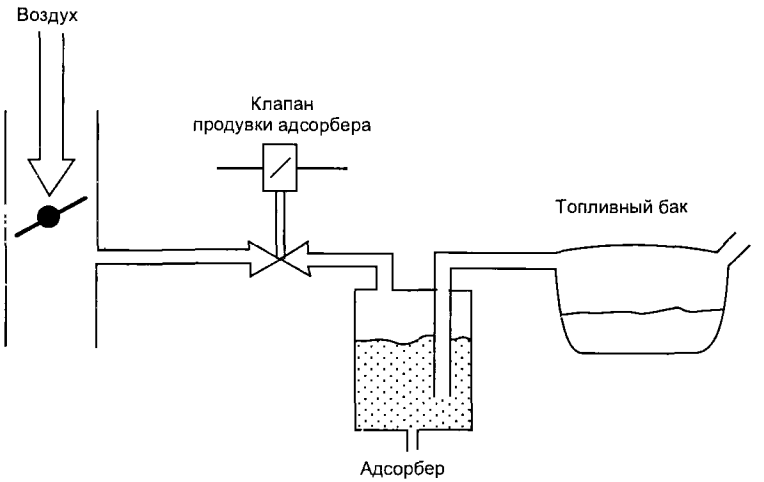


Рис. 2.7. Система улавливания паров бензина

Давление бензина в рампе

Регуляторы давления топлива в рампе форсунок обычно выполняют механическими и размещают непосредственно на рампе. В некоторых моделях (например, 5,9-литровый Dodge Magnum) топливный фильтр и регулятор давления размещены непосредственно в баке, что исключает возврат нагретого топлива, уменьшает его испарение. Имеются системы подачи топлива со стабилизацией давления в рампе без возвратной линии, где топливный электронасос включается системой стабилизации периодически.

Броски давления

Такие явления могут возникать в различных автомобильных системах. Например, в системе подачи топлива нормальное давление меньше 75 psi (520 кПа), но во время работы форсунок могут быть скачки до 300 psi (2070 кПа).

Во время обратной вспышки во впускном коллекторе давление поднимается до 75 psi (520 кПа).

Традиционные методы борьбы с бросками давления: механические стопоры и фильтры, рациональная (ударостойкая) конструкция датчиков. В современных интегральных датчиках давления используются кремневые чувствительные элементы. Их модуль упругости $30 \cdot 10^6$ psi (не хуже, чем у стали), а напряжение текучести даже выше (180...300 psi). В прочном корпусе такие датчики обычно выдерживают броски давления.

2.2.4. Новые конструкции датчиков давления

Мембранные потенциометрические датчики

Чувствительным элементом является гибкая диафрагма или мембрана. При изменении давления ее перемещение преобразуется в положение движка потенциометра. Для потенциометрических датчиков характерны повышенный уровень шума, износ, статическое трение затрудняет регулирование в диапазоне менее 0,5% от номинала.

Резистивный проволочный потенциометр со скользящим контактом — один из наиболее простых и эффективных преобразователей перемещения. Для его использования нужно лишь соединить скользящий контакт (движок) с движущимся объектом, а остальную часть потенциометра закрепить неподвижно. Но движок потенциометра контактирует с отдельными витками на катушке, поэтому выходной сигнал (напряжение) преобразователя изменяется не непрерывно, а в виде перемежающихся малых и больших скачков. Малый скачок имеет место, когда движок замыкает два соседних витка, большой скачок соответствует моменту перехода движка к следующему витку и размыкания контакта с предыдущим витком. Таким образом, разрешение этого преобразователя зависит от диаметра намоточного провода и может быть улучшено путем использования более тонкого провода. Для потенциометра с плотностью намотки 50 витков на миллиметр, что близко к практическому пределу, предельное разрешение составляет 20 мкм.

Сегодня в потенциометрических датчиках используется пленочное покрытие резистивной дорожки. Более подробно о потенциометрических и других традиционных датчиках ЭСАУ см. [3].

Датчики давления на основе линейных дифференциальных трансформаторов (ЛДТ)

В этих датчиках смещение диафрагмы преобразуется в перемещение сердечника ЛДТ. Такие датчики ранее на автомобилях не применялись.

Линейный дифференциальный трансформатор — это электромеханическое устройство, вырабатывающее выходной электрический сигнал, пропорциональный перемещению ферромагнитного сердечника. ЛДТ состоит из первичной и двух вторичных обмоток, симметрично расположенных на цилиндрическом каркасе. Свободно движущийся внутри обмоток ферромагнитный сердечник в форме стержня обеспечивает связь этих обмоток через магнитный поток. На рис. 2.8 показана конструкция ЛДТ и приведена его принципиальная электрическая схема.

При возбуждении первичной обмотки с помощью внешнего источника переменного напряжения в двух вторичных обмотках наводятся ЭДС взаимоиндукции. Вторичные обмотки включены последовательно и встречно, поэтому результирующий выходной сигнал преобразователя представляет собой разность этих напряжений и равен нулю, когда сердечник находится в центральной (или в нулевой)

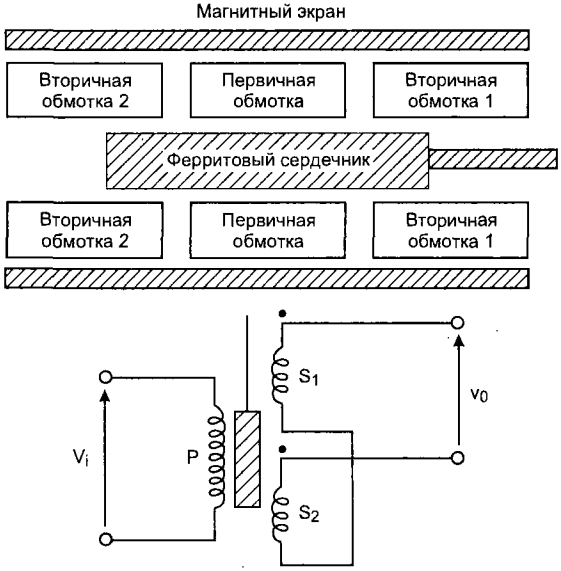


Рис. 2.8. Линейный дифференциальный трансформатор и его принципиальная схема

позиции. При уходе сердечника из этой позиции напряжение, индуцируемое в той вторичной обмотке, к которой движется сердечник, возрастает, а напряжение, индуцируемое в другой вторичной обмотке, уменьшается. В результате вырабатывается дифференциальный выходной сигнал, величина которого линейно зависит от положения сердечника. Фаза выходного напряжения изменяется скачком на 180° при переходе через нулевую позицию.

Полезную информацию о перемещении несут амплитуда и фаза выходного сигнала. Приходится использовать фазочувствительные демодуляторы, они имеются в интегральном исполнении.

На автомобилях ЛДТ могут применяться в датчиках абсолютного давления впускного коллектора, где они преобразуют перемещение мембраны в электрический сигнал.

ЛДТ обеспечивает погрешность преобразования перемещения сердечника в напряжение порядка 0,25%.

Первичная обмотка запитывается синусоидальным напряжением 3...15 В с частотой 2...5 кГц. Коэффициент трансформации дифференциального трансформатора 10:1...2:1.

ЛДТ характеризуется отсутствием трения, стабильностью нуля, гальванической развязкой входа и выхода, может работать в агрессивных средах.

Емкостные датчики давления

В таких датчиках одна из обкладок конденсатора является диафрагмой, которая прогибается при изменении давления. Номинальная емкость конденсатора определяется зависимостью $C = A \cdot k \cdot \varepsilon / d$, где A — площадь обкладки, ε — диэлектрическая постоянная, d — расстояние между обкладками, k — коэффициент, зависящий от конструкции датчика. В качестве чувствительных элементов используются кремниевые или керамические диафрагмы.

На рис. 2.9 показан емкостной датчик с кремниевым чувствительным элементом для измерения разрежения (Ford).

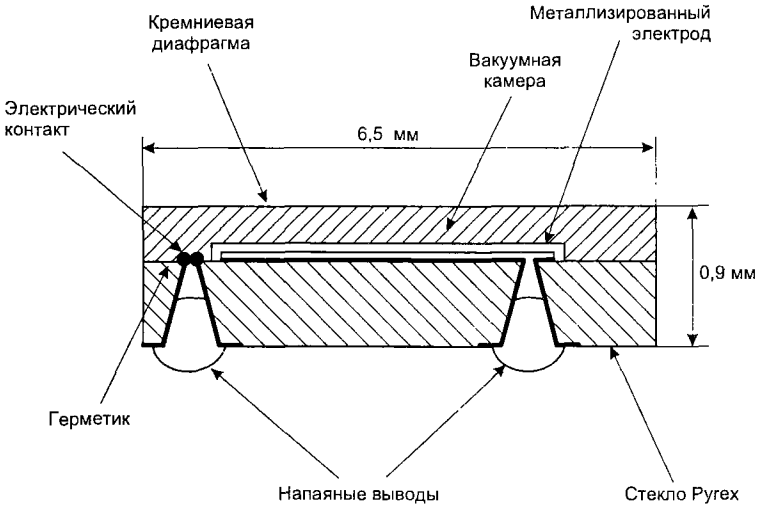


Рис. 2.9. Емкостной датчик

Кремниевая диафрагма закреплена на корпусе из стекла Pyrex, поверхность стекла металлизирована для создания обкладки конденсатора методом фотолитографии. После закрепления кремниевой диафрагмы на стеклянной основе специальным герметиком в полости создается вакуум, отверстия запаиваются припоем, который образует выводы конденсатора для монтажа на печатную плату или керамическую подложку. Емкость конденсатора меняется линейно примерно от 32 до 39 пФ при изменении давления от 17 до 105 кПа. Размеры датчика 6,7 × 6,7 мм, коэффициент ТКЕ — $(30...80) \cdot 10^{-6}$ на °С, нелинейность менее 1,4%, время установления показаний менее 1 мс. Выходной сигнал датчика для подключения к ЭБУ обычно преобразуют в частоту.

Аналогично устроены и керамические датчики.

Стекловолоконный датчик давления

Для измерений больших давлений или при высоких температурах применяются специальные методы. Стекловолоконный датчик возможно будет использоваться для непосредственного измерения давления в камере сгорания на серийных автомобилях. Это нужно для управления двигателем и контроля процесса воспламенения рабочей смеси.

Стекловолоконный, иногда говорят волоконно-оптический, датчик (рис. 2.10) выдерживает температуры до 550 °С (больше, чем пьезоэлектрический), рабочий диапазон давлений 0...1000 psi (7000 кПа) с перегрузками до 3000 psi.

Световое излучение от источника проходит через оптическое волокно и попадает на диафрагму расходящимся пучком. Отраженное от диафрагмы излучение про-

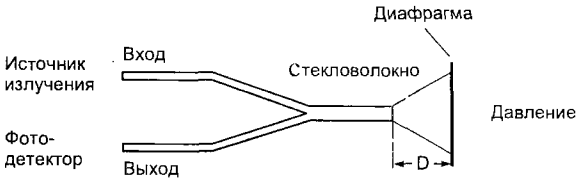


Рис. 2.10. Стекловолоконный датчик давления

ходит по другому каналу кабеля. Интенсивность обратного светового излучения зависит от зазора D и положения диафрагмы. Опытные образцы датчиков монтировались непосредственно в свечу зажигания и имели погрешность менее 5%.

В качестве датчиков аварийного давления и для выполнения прочих несложных функций в современных автомобильных системах, наряду с вышеописанными, по-прежнему применяются простейшие контактные датчики.

2.3. Датчики температуры и влажности

Температура и влажность — важнейшие факторы, учитываемые при проектировании и эксплуатации автомобилей. Автомобили эксплуатируются в различных климатических зонах (–60...+57 °С), при этом в подкапотном пространстве температура может меняться в диапазоне –40...+125 °С; в салоне –40...+85 °С.

Температура и влажность в различных местах автомобиля могут иметь значения, величины которых сведены в табл. 2.4.

Таблица 2.4

Узел	Температура, [°С]	Влажность (относительная)	Иней
Выпускной коллектор	–40...+649	95% при 38 °С...0	+
Впускной коллектор	–40...+121	95% при 38 °С...0	+
Приборная панель	–40...+141	95% при 38 °С...0	–
Шасси, корпус	–40...+177	98% при 38 °С...0	+

Влажность влияет на комфортабельность салона и работоспособность некоторых узлов автомобиля.

На автомобиле имеется достаточное количество источников тепла, которые указаны в табл. 2.5.

Таблица 2.5

Источник	Примечание	Макс. температура, °С
Двигатель	Процесс сгорания	>1000
Каталитический нейтрализатор	Химические реакции	>1000
Шины	Трение о дорогу, удары	<100
Тормоза	Колодки	<250
Лампы освещения	Обычные	<125
Лампы в фарах	Галогеновые	<750
Силовые транзисторы	В электронных схемах	<200

2.3.1. Узлы автомобиля, в которых производится измерение температуры

Во многих узлах автомобиля необходимо производить измерение температуры на этапе доводки опытного образца. На серийных автомобилях датчики температуры необходимы для обеспечения штатной работы двигателя, систем управления и диагностики. В табл. 2.6 перечислены основные системы автомобиля, в компонентах которых производится измерение температуры и возможно будет производиться измерение влажности в ближайшее время.

Таблица 2.6

Узел/система	Параметр
Система управления двигателем	Температура воздуха во впускном коллекторе Температура охлаждающей жидкости в двигателе Влажность воздуха во впускном коллекторе Температура забортного воздуха Температура топлива
Система управления климатом в салоне	Влажность воздуха в салоне Температура воздуха в салоне Температура забортного воздуха
Информационная система водителя	Температура охлаждающей жидкости в двигателе Температура тормозной жидкости в колесных тормозных цилиндрах Температура забортного воздуха Температура воздуха в салоне Температура воздуха в шинах Температура электролита Наличие дождя (осадков) Интенсивность солнечной радиации

Методы и средства измерения температуры могут различаться для серийных и опытных автомобилей. Для серийных наиболее важны эксплуатационные характеристики, надежность, стоимость. Для опытных — совместимость со сложным измерительным и регистрирующим оборудованием, доступность такого оборудования в данное время.

▸ *Температура жидкостных сред.* Это обычно охлаждающая жидкость (охладитель ДВС), масло двигателя, в коробке передач, топливо, тормозная жидкость, электролит в аккумуляторе. Температура охладителя контролируется на серийных автомобилях. Возможно контролировать температуру масла в двигателе и коробке передач. На гоночных автомобилях при отборе пиковой мощности контролируется температура топлива, масла, охладителя. Температура указанных жидкостей измеряется в пределах –40...+200 °С.

▸ *Температура электролита* в аккумуляторах должна учитываться для установки оптимального зарядного напряжения на генераторе. Это делается обычно на этапе испытаний. Используются стеклянные термометры или остекленные термопары.

На электромобилях могут использоваться аккумуляторы с рабочей температурой электролита 300...350 °С или твердые топливные элементы с рабочей темпера-

турой до 1000 °С, при этом система управления и диагностики должна постоянно контролировать эту температуру.

▶ *Температура воздуха* на серийных автомобилях контролируется на входе в двигатель, за бортом, в салоне. При испытаниях измеряется температура воздуха вблизи электронных компонентов, верхний предел обычно 85...125 °С.

▶ *Температура в каталитическом нейтрализаторе* ранее контролировалась лишь на этапе испытаний, т. к. ее высокие рабочие значения (>350 °С) не должны оказывать отрицательного воздействия на близко расположенные узлы автомобиля. Сегодня есть необходимость ускоренного разогрева нейтрализатора при пуске двигателя для скорейшего его приведения в рабочее состояние и уменьшения токсичности выхлопа. Разогрев производят или бензиновой горелкой или электрически, при этом осуществляется контроль за температурой нейтрализатора. Измерение температуры производится также с диагностической целью.

▶ *Температура датчика кислорода* (>350 °С) контролируется на этапе испытаний автомобиля и двигателя.

▶ *Температура воздуха в шинах*, наряду с давлением, измеряется на опытных и гоночных моделях автомобилей. Например, система Michelin для гоночных автомобилей Peugot Proxima имеет датчики в каждом колесе, сигналы передаются на радиочастоте приемнику и затем в информационную систему водителя. При t > 85 °С данная система рекомендует снизить скорость до 240 км/час, при t > 90 °С до 160 км/час, при t > 100 °С — остановиться.

▶ *Температура в силовых электронных и интегральных схемах* контролируется автоматически. Это сохраняет дорогостоящие компоненты в аварийных режимах, например, при коротком замыкании.

Ясно, что датчики температуры на автомобиле разнятся по назначению и имеют различные рабочие диапазоны.

В табл. 2.7 приведены типы датчиков. Тип P — используется на серийных моделях; тип D — на опытных автомобилях при их испытаниях; тип F — возможно использование в будущем.

Таблица 2.7

Тип датчика	Диапазон температур, °С	Использование
Термистор	0...500	P
Термопара	–200...+3000	D
Биметаллическая пластина	–50...+450	P
Потенциометрический	–40...+125	P
Резистор (платиновый)	–200...+850	P
p-n-переход	–40...+200	P
Термостат	–50...+500	P
Волоконная оптика	0...+1800	D/F
Термоиндикаторы	–40...+1350	D
Инфракрасный термометр	–200...+1000	D

2.3.2. Термисторы

Термисторы наиболее часто используются для измерения температуры на автомобилях. При изменении температуры меняется электрическое сопротивление термистора и выходной сигнал датчика в виде тока или напряжения.

В основном термисторы имеют отрицательный температурный коэффициент сопротивления. Термисторы, используемые в автомобильной промышленности, имеют сопротивление от нескольких килоом при 0 до сотен ом при 100 °С. Такой динамический диапазон изменения сопротивления считается удовлетворительным для всех автомобильных нужд.

Термисторы изготавливаются из полупроводников, например, окиси никеля или окиси кобальта. При увеличении температуры в полупроводнике растет количество свободных электронов и уменьшается электрическое сопротивление. Система измерения температуры на основе термистора имеет высокую чувствительность, так как относительно небольшие изменения температуры приводят к значительным изменениям сопротивления.

На рис. 2.11 показана простейшая схема преобразователя температуры в напряжение. Напряжение питания должно быть стабильным, рабочий ток не должен нагревать термистор, иначе возникают дополнительные погрешности. Температура термистора увеличивается на 1 °С на каждые 1,3 мВт рассеиваемой мощности.

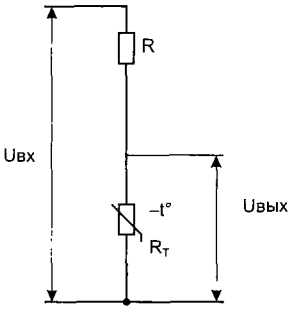


Рис. 2.11. Схема включения термистора R_T

Типичный пример применения термисторов на автомобиле — датчик температуры охлаждающей жидкости (рис. 2.12). Датчик ввернут в выпускной патрубок охлаждающей жидкости, закрепленный на головке блока цилиндров или непосредственно в головку блока, т. е. находится в потоке охлаждающей жидкости.

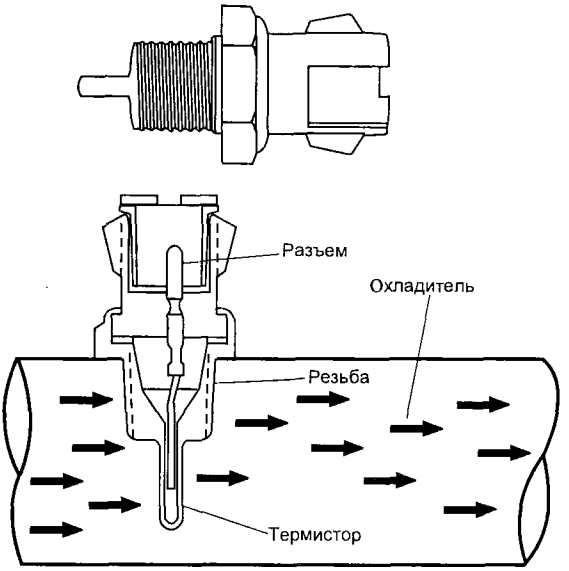


Рис. 2.12. Датчик температуры охлаждающей жидкости

При низкой температуре охлаждающей жидкости датчик имеет высокое сопротивление (100 кОм при –40 °С), а при высокой температуре — низкое (70 Ом при 130 °С). Электронный блок управления подает к датчику через сопротивление определенной величины напряжение 5 В (образуя таким образом делитель напряжения) и измеряет падение напряжения на датчике. Оно будет высоким на холодном двигателе и низким, когда двигатель прогрет. По падению напряжения блок управления определяет температуру охлаждающей жидкости. Эта температура влияет на работу большинства систем, которыми управляет электронный блок управления.

▶ *Термисторный датчик температуры воздуха* имеет аналогичную конструкцию. Размещен в системе подачи и очистки воздуха. Рабочий диапазон температур –40...120 °С.

В некоторых случаях, с целью повышения чувствительности, предусматривается шунтирование добавочного сопротивления R в схеме показаний на рис. 2.11. При этом характеристики термисторного датчика изменяются в соответствии с табл. 2.8.

Таблица 2.8

	Температура, °С	Сопротивление термистора, Ом	Выходное напряжение, В
Шунт выключен	–40	> 100000	5,00
	–8	3260	3,93
	0	2940	3,56
	10	2445	2,98
	20	1956	2,41
	30	1493	1,86
	40	1115	1,40
Шунт включен	50	786	3,69
	60	566	3,27
	70	426	2,87
	80	308	2,44
	90	226	2,05
	100	170	1,70
	110	128	1,39
	120	98	1,15

2.3.3. Термопары

Термопара представляет собой устройство, состоящее из двух проводников из разнородных металлов или сплавов со сварным контактом на одном из концов. На другом конце два проводника соединяют друг с другом, так что образуется замкнутая цепь. Если температуры, при которых находятся два противоположных

контакта, различны, то в замкнутой цепи будет протекать ток. Этот ток существует в цепи до тех пор, пока существует разница температур. Электродвижущая сила, вызывающая наблюдаемый ток, называется термоЭДС Зеебека. Если замкнутую цепь разорвать посередине, то напряжение между ее разомкнутыми свободными концами будет функцией разности между температурой сварного контакта и температурой свободных концов и будет зависеть от конкретной комбинации материалов в термопаре.

Термопары используются обычно для измерения высоких температур. Например, термопара, выполненная из сплава 70% платины и 30% родия или 94% платины и 6% родия, работает в диапазоне температур 0...1500 °С. Такой датчик устанавливается в выпускном трубопроводе.

Термопары в автомобилях используются на этапе испытаний.

2.3.4. Другие типы датчиков температуры

▶ *В датчике температуры на основе биметаллического чувствительного элемента* (рис. 2.13) используется свойство различных металлов по-разному изменять свои линейные размеры в зависимости от температуры. Изгиб (перемещение) пластины используется для замыкания или размыкания контактов или перемещения движка потенциометра. В первом случае получается дискретный, а во втором — аналоговый датчик температуры.

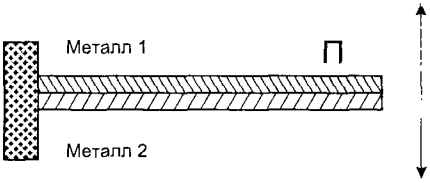


Рис. 2.13. Биметаллический чувствительный элемент

▶ *В датчиках температуры, реализованных на p-n-переходе,* используется свойство перехода изменять падение напряжения в зависимости от температуры при постоянном токе. Например, в качестве датчика используется переход база-эмиттер кремниевого транзистора с малым током коллектора (около 0,1 мА) для предотвращения саморазогрева. В диапазоне температур –40...+150 °С напряжение на переходе изменяется от 730 до 300 мВ с нелинейностью ±3 мВ. Подобные датчики размещаются непосредственно в микросхемах силовых преобразователей и стабилизаторов.

▶ *Термостат* — это механический датчик температуры. Расширяющийся элемент приводит в действие клапан, перенаправляющий поток охлаждающей жидкости в радиаторе.

▶ *Термоиндикаторы* — материалы, температура плавления которых калибруется с точностью до ±1 °С, при этом меняется цвет. Используются в виде краски или аппликаций, которые наносятся на поверяемую поверхность во время испытаний автомобиля.

▶ *Инфракрасные термометры (пирометры)* определяют температуру тел по их тепловому излучению. Метод бесконтактный.

2.3.5. Датчики влажности

Этот тип датчиков интенсивно используется во время климатических испытаний автомобиля. На серийных автомобилях пока не устанавливаются.

В основном используются датчики относительной влажности — резистивные и емкостные. В емкостных влажность изменяет диэлектрические свойства изолятора

(полимерной пленки). Такие датчики стабильны, работают до 180 °С. В резистивных датчиках меняется сопротивление объемного полимера в зависимости от относительной влажности. Например, при изменении относительной влажности в пределах 10...100% сопротивление датчика меняется в диапазоне $2 \cdot 10^7 ... 2 \cdot 10^3$ Ом.

2.4. Датчики расхода жидкостей и газов

2.4.1. Общие сведения

Датчики расхода необходимы для оптимальной реализации основных функций управления двигателем. Например, в системах управления впрыском количество подаваемого в двигатель топлива рассчитывается по массе воздуха, подаваемого в цилиндры. Масса воздуха M_A измеряется непосредственно или косвенно, по объемному расходу:

$$M_A = N \cdot V \cdot \eta \cdot P/R_A \cdot T_A$$

N — число оборотов, V — объем двигателя (литраж), η — коэффициент использования объема двигателя ($\eta = f(N)$), P — разрежение во впускном коллекторе, R_A — конструктивная постоянная, T_A — температура воздуха во впускном коллекторе.

При косвенном измерении массы M_A воздуха следует учитывать зависимость объема V от коксования, а также запаздывание изменений P по отношению к изменениям M_A. Такой способ получается более дешевым по отношению к непосредственному измерению массы воздуха, но менее точным.

Современные автомобили оснащаются в основном датчиками для непосредственного измерения массы M_A всасываемого в цилиндры воздуха. Выходной сигнал таких датчиков аналоговый (0...4 В) или частотный.

Помимо измерения массы поступающего в двигатель воздуха датчики расхода уже сегодня находят применение на автомобиле в следующих случаях:

- при определении расхода топлива для информационной системы водителя. Расход определяется по разности между количеством топлива, поступившим в рампу форсунок и возвращенным в бак;
- при определении расхода газа через клапан рециркуляции выхлопных газов (EGR). При определенных условиях выхлопные газы через клапан EGR охлаждают камеру сгорания, что понижает содержание NO_X в выхлопе. Контроль за расходом газа через клапан — один из способов проверки правильности его функционирования. В соответствии с требованиями OBD-II, ЭБУ должен осуществлять постоянный мониторинг систем, неисправность которых приведет к увеличению загрязнения окружающей среды;
- при определении расхода дополнительного воздуха в каталитическом нейтрализаторе. В некоторых типах нейтрализаторов для минимизации токсичных веществ CO и CH применяется подача дополнительного воздуха при прогреве двигателя, когда рабочая смесь богатая. Исправность насоса контролируется по расходу воздуха. Непосредственный контроль за составом выхлопных газов не применяется из-за высокой стоимости измерительного оборудования.

В табл. 2.9 приведены сведения о параметрах современных датчиков расхода жидкостей и газов.

Таблица 2.9

Назначение	Что измеряется	Диапазон, [кг/час]	Допустимая погрешность, [%]
Воздух, поступающий в двигатель	Масса	10...1000	±4
Расход топлива	Масса/объем	1...66	±4
Выхлопные газы	Масса	30...100	±10
Доп. воздух в нейтрализаторе	Объем	50 м^3/час	±20

Датчики расхода имеют принцип действия, основанный на измерении одного из следующих параметров: угла отклонения парусной заслонки или скорости вращения турбины, находящихся в потоке среды (жидкости или газа); частоты вращения вихревых потоков за рассекателем; падения давления среды после прохождения ею препятствия (дросселя); изменения температуры находящегося в потоке среды нагретого тела.

2.4.2. Расходомеры и массметры

По виду выдаваемой информации датчики расхода жидкостей и газов подразделяют на две группы — на расходомеры и массметры.

▶ Если расход жидкости или газа (например воздуха) определяется по объему пропущенной среды, то датчик называется объемным расходомером. К таким датчикам относятся расходомеры воздуха для автомобильных систем впрыска бензина.

В свою очередь расходомеры воздуха подразделяются на механические — с круглым плавающим ротаметром; потенциометрические — с парусной измерительной заслонкой; вихревые (датчики Кармана) — с рассекателем воздушного потока, выполняющего функцию генератора воздушных завихрений, частота или вариации давления в которых несут информацию об объеме пропущенного воздуха.

При измерении расхода жидкости (например бензина) чаще применяются более простые расходомеры с вращающейся турбиной в подвижном потоке, по частоте вращения турбины определяется объем пропущенной жидкости. Так как объем жидкостей под действием температуры изменяется незначительно, то с небольшой погрешностью можно считать, что значению этого параметра соответствует и масса (вес) жидкости.

▶ Если расход текучей среды (жидкости или газа) определяется непосредственно по массе, то измерительный датчик называется массметром.

Массметры, в отличие от расходомеров, выдают более качественную метрологическую информацию. Особенно это касается воздушных массметров, т. к. объем газообразных сред, в отличие от жидкостей, в значительной степени зависит от температуры и давления. Так, в расходомерах воздуха, работающих в системах впрыска бензина, приходится устанавливать дополнительные (корректирующие) датчики температуры и давления в атмосферном воздухе. Массметры в системах впрыска работают без таких датчиков.

Основной принцип действия воздушных массметров основан на применении платиновой нити, разогретой электрическим током, в качестве датчика информации о массе проходящего воздушного потока, охлаждающего разогретую нить. Такой принцип измерения массы воздуха пришел в технику из метеорологии и называется термоанемометрическим.

Термоанемометрический массметр, а также все вышеописанные расходомеры, кроме датчиков Кармана, подробно описаны в [3].

2.4.3. Датчик Кармана

Датчики Кармана относятся к вихревым расходомерам воздуха. Если узкий стержень (рассекатель) разместить поперек равномерного воздушного потока, то за стержнем начнут образовываться завихрения. Принцип работы датчика Кармана основан на измерении частоты вращения вихревых потоков, которые образуются за поперечным стержнем в потоке всасываемого воздуха. Скорость V потока воздуха определяется уравнением:

$$V = f \cdot (d/St),$$

где d — константа, зависящая от геометрии стержня; St — критерий подобия неустановившихся движений текучих сред (число Струхаля) для конструкций автомобильных датчиков расхода воздуха $St = 0{,}23$); f — частота вращения вихревых потоков (генерации вихрей).

По частоте f определяют скорость V, затем по известному поперечному сечению входного канала датчика — объем воздуха.

Частоту генерации вихрей определяют ультразвуковым методом или по вариациям давления.

▸ В ультразвуковых датчиках (рис. 2.14) частоту генерации вихрей определяют по доплеровскому сдвигу частоты ультразвуковой волны (обычно 50 кГц) при ее рассеянии движущейся средой (потоком воздуха).

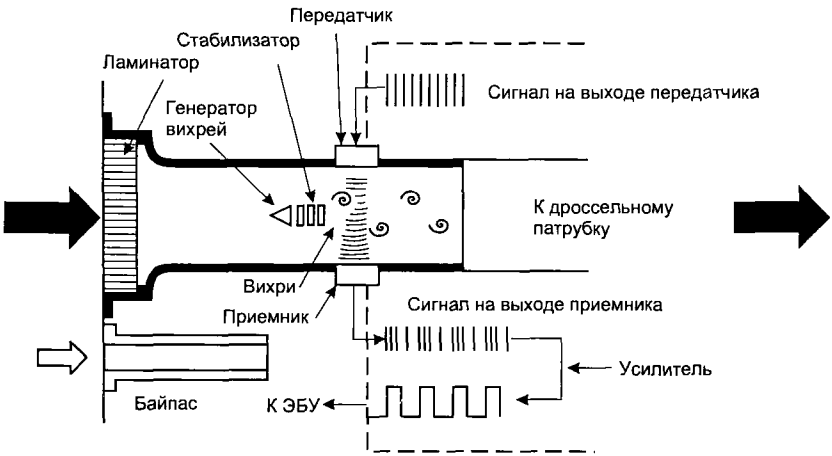


Рис. 2.14. Ультразвуковой датчик Кармана

Датчики, аналогичные представленному на рис. 2.14, использовались на двигателях с центральным впрыском автомобилей Chrysler.

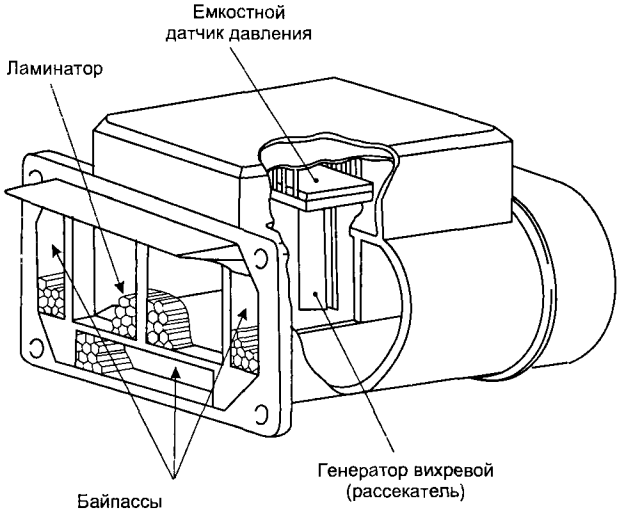


Рис. 2.15. Датчик Кармана с измерением вариаций давления

▶ Датчики Кармана на основе подсчета числа вихрей по вариациям давления гораздо дешевле. В них полупроводниковый, чувствительный к изменениям давления элемент расположен непосредственно за вихреобразующим стержнем (рассекателем). Вихрь, появляющийся за стержнем, вызывает изменение давления, которое преобразуется в электрический сигнал, поступающий в ЭБУ двигателя. Конструкция такого датчика показана на рис. 2.15. Он состоит из формирователя ламинарного потока (ламинатора) на входе, треугольного поперечного стержня (рассекателя) — генератора вихрей и емкостного датчика давления. В корпусе также размещены датчики температуры и барометрического давления (на рис. 2.15 не показаны) для определения массы поступающего воздуха по его объему. На холостом ходу датчик выдает сигнал с частотой около 100 Гц, при полной загрузке двигателя — около 2000 Гц.

2.5. Датчики состава выхлопных газов

Процесс сжигания топлива описывается уравнением:

$$C_mH_n + (m + n/4)O_2 = mCO_2 + (n/2)H_2O$$

В идеальном случае, когда состав ТВ-смеси стехиометрический ($\lambda = 1$), при сжигании 1 кг (1 л) топлива и 14,7 кг (10 м^3) воздуха образуются вода и двуокись углерода. Эти вещества нетоксичны. Но даже при стехиометрическом составе ТВ-смеси ее сгорание осуществляется не полностью и образуются токсичные вещества. Сгорание богатой смеси ($\lambda < 1$) приводит к появлению избыточного количества CO, H_2 и CH, бедные смеси ($\lambda > 1$) приводят к образованию NO_x, O_2. На современных автомобилях вредные компоненты выхлопных газов нейтрализуются. Почти любая система нейтрализации содержит в своем составе датчик (или два датчика) концентрации кислорода, который в англоязычной литературе называется лямбда-зондом (λ-зонд).

2.5.1. Циркониевые и титановые датчики концентрации кислорода в выхлопных газах

В современных автомобильных двигателях, снабженных каталитическими нейтрализаторами, важно точно контролировать состав ТВ-смеси и поддерживать коэффициент избытка воздуха близким к единице. Для этого применяются датчики кислорода, устанавливаемые в системе отвода выхлопных газов и вырабатывающие сигнал, зависящий от концентрации кислорода в выхлопе. Этот сигнал используется в ЭБУ двигателя для коррекции длительности открывания форсунок, чем обеспечивается поддержание стехиометрического состава ТВ-смеси.

В таких случаях используются циркониевые и титановые датчики кислорода, которые реагируют на изменение содержания свободного кислорода в выхлопных газах скачкообразным изменением выходного сигнала в диапазоне значений 0,99...1,01 для коэффициента λ.

Бортовые диагностические автомобильные системы второго поколения OBD-II должны осуществлять постоянный мониторинг узлов, выход из строя которых приведет к увеличению выбросов токсичных веществ [4]. Прямое измерение концентрации CO, CH и NO_x в выхлопных газах на серийных автомобилях экономически нецелесообразно. Вместо этого применяется система нейтрализации с двумя датчиками кислорода. Второй датчик кислорода устанавливается на выходе нейтрализатора и контролирует его исправность (рис. 2.16).

Система управления подачей топлива в двигатель является релейным стабилизатором стехиометрического состава ТВ-смеси, который (состав) колеблется около стехиометрического значения с частотой 4...10 Гц. Колебания отслеживаются первым, входным по отношению к каталитическому нейтрализатору, датчиком кислорода. Сигнал с первого датчика изменяется между значениями 0,1...0,9 В с частотой 4...10 Гц (в соответствии с изменениями концентрации кислорода в выхлопных газах). В исправном нейтрализаторе избыточный кислород участвует в химических реакциях, его концентрация в выхлопных газах уменьшается и в выходном сигнале второго датчика кислорода на выходе нейтрализатора практически нет колебаний (поз. **2** на рис. 2.17). Чем более засорен или отравлен нейтрализатор, тем более похожи сигналы входного и выходного датчиков (поз. **1** и **3** на рис. 2.17).

Подробно о циркониевых и титановых датчиках кислорода см. в [3] и [4].

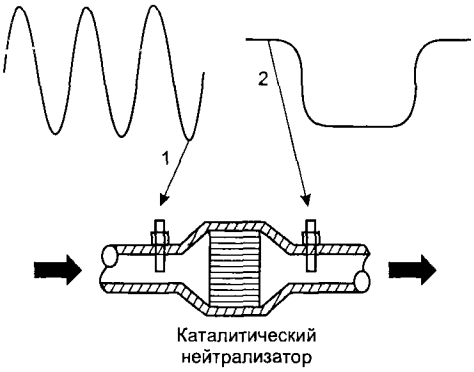


Рис. 2.16. Датчики кислорода на входе (1) и выходе (2) каталитического нейтрализатора с соответствующими выходными сигналами

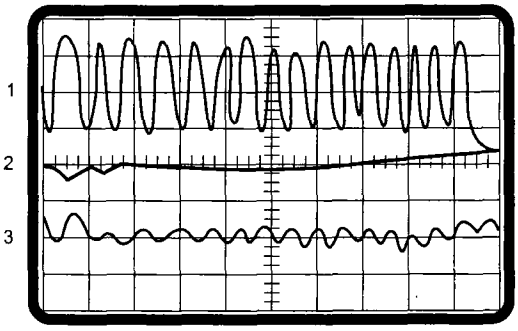


Рис. 2.17. Выходной сигнал входного (сверху — 1) и выходного (снизу — 2 и 3) датчиков кислорода

2.5.2. Датчики кислорода для двигателей, работающих на обедненных смесях

Ужесточение требований к уменьшению количества токсичных веществ, выбрасываемых в атмосферу с выхлопными газами автомобиля, в частности возможное нормирование в ближайшее время содержания CO_2, а также повышение требований к топливной экономичности делают необходимым применение двигателей, более эффективно использующих топливо. Потенциально таким требованиям отвечают двигатели, работающие на обедненных смесях. Использование рабочих смесей с соотношением воздух/топливо 16:1...25:1, когда имеет место активное выгорание избыточного кислорода, может дать экономию топлива по меньшей мере на 10% и значительное уменьшение содержания NO_x и CO в выхлопных газах.

В двигателе, работающем на обедненной ТВ-смеси, требуется более точное регулирование ее состава и более мощная искра зажигания. Уже имеются такие автомобильные двигатели, выпускаемые серийно (например, на японских автомобилях Honda VTEC-E и Toyota Carina-E). Эти двигатели используют рабочие смеси с соотношениями воздух/топливо порядка 22:1, отвечают требованиям по экологии в Европе и США и обеспечивают экономию топлива до 25%. Необходимым элементом системы автоматического управления таким двигателем является аналоговый датчик кислорода с выходным сигналом, меняющимся не скачкообразно, а плавно в пропорции с содержанием кислорода в выхлопных газах (рис. 2.18).

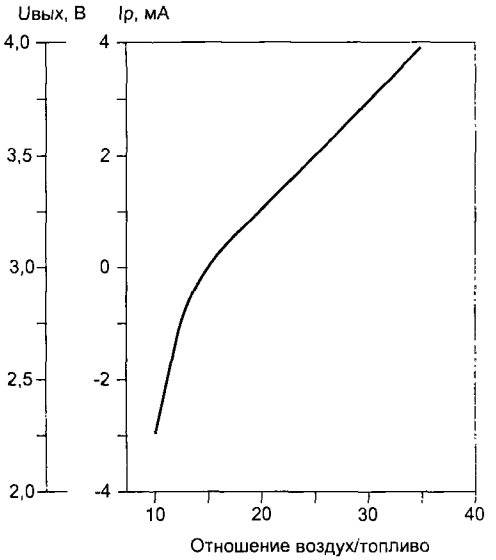


Рис. 2.18. Сигнал аналогового датчика кислорода

Аналоговый датчик кислорода для двигателей с обедненными рабочими смесями является модернизацией обычного циркониевого датчика. Помимо обнаружения точки стехиометрического состава ТВ-смеси он способен выдавать рабочий сигнал, пропорциональный изменению соотношения воздух/топливо в ТВ-смеси от очень обогащенного (10:1) до очень обедненного (35:1).

Конструкция одного из типов таких датчиков кислорода показана на рис. 2.19. Датчик выполнен из циркониевой керамики с платиновыми электродами. Он состоит из двух ячеек для перемещения ионов кислорода: ячейки I_p, куда закачиваются ионы кислорода, и ячейки V_s для обнаружения ионов кислорода. Через ячейку V_s проходит небольшой стабилизированный ток $I_{ср}$, переносящий ионы кислорода вправо и тем самым поддерживающий камеру O_2 заполненной кислородом. Содержание кислорода в этой камере является эталонным количеством для датчика. Выхлопные газы поступают в измерительную камеру, и на электродах ячейки V_s образуется падение напряжения, пропорциональное концентрации кислорода в выхлопе. Электронная схема формирует ток I_p через электроды ячейки, вызывая генерацию и перемещение ионов кислорода из атмосферного воздуха, поддержи-

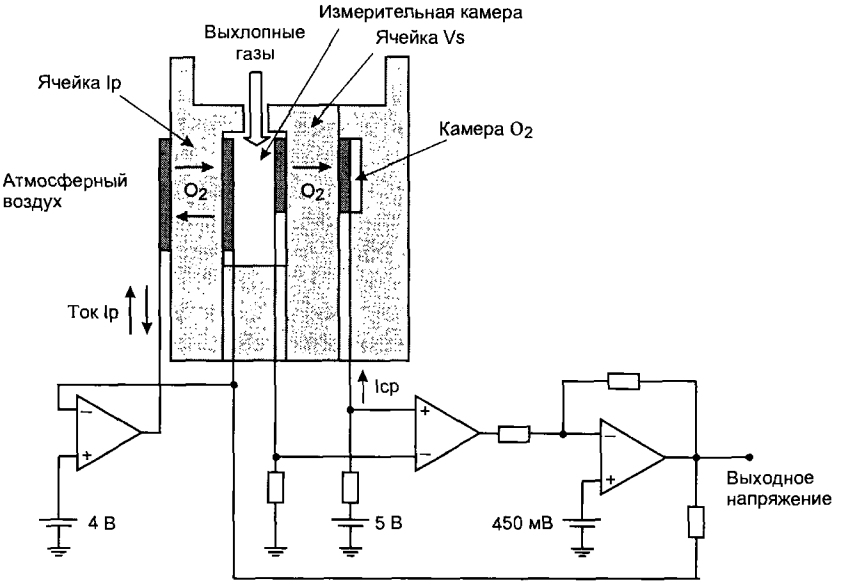


Рис. 2.19. Конструкция и электронная схема датчика кислорода для ДВС, работающего на обедненных ТВ-смесях

вая напряжение V_s на одном и том же уровне 0,45 В. Таким образом ток I_p становится мерилом соотношения воздух/топливо для рабочей смеси и формирует выходной аналоговый сигнал датчика в виде напряжения $U_{вых.}$.

2.5.3. Влияние различных факторов на характеристики датчиков кислорода

При появлении некоторых веществ в выпускном коллекторе происходит изменение статических характеристик датчика кислорода (отравление) и преждевременный выход его из строя. Чаще всего это свинец (Pb) из этилированного бензина или кремний (Si) из силиконовых герметиков (рис. 2.20).

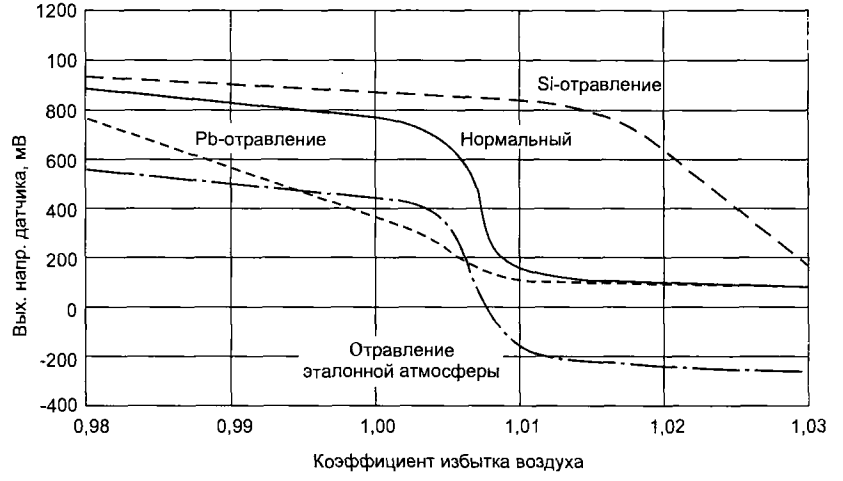


Рис. 2.20. Влияние различных факторов на характеристики датчика кислорода

Кроме того, на динамические характеристики системы управления двигателем влияет конструкция датчика кислорода, его расположение, техническое состояние. Без защитного колпачка датчик на основе ZrO_2 способен переключаться за время менее 10 мс при температуре керамики 900 °С. Большинство систем управления двигателем не нуждаются в таком быстродействии, и оно ограничивается.

Датчик кислорода размещается на расстоянии 0,2...2 м (обычно 1 м) от выпускных клапанов, чтобы газы из всех цилиндров равномерно перемешивались, а транспортное запаздывание не было слишком большим. Запаздывание составляет от 500 мс на холостом ходу до 20 мс под нагрузкой.

2.5.4. Газоанализаторы

Газоанализаторы предназначены для определения параметров выхлопных газов в стационарных условиях на испытательном стенде.

Как правило, определяют содержание следующих газов в выхлопе автомобиля: окиси углерода CO, двуокиси углерода CO_2, углеводорода CH, кислорода O_2. Газоанализатор выполняется в виде отдельного модуля с собственным дисплеем, но может подключаться через последовательный порт и к компьютерному мотор-тестеру. Помимо концентрации CO, CO_2, CH, O_2 газоанализатор может определять коэффициент избытка воздуха λ и соотношение воздух/топливо. Показания могут сниматься до и после каталитического нейтрализатора. В табл. 2.10 значения, полученные с помощью газоанализатора для современного двигателя в отличном состоянии.

Таблица 2.10

	CO, [%]	HC, [млн$^{-1}$]	O_2, [%]	CO_2, [%]	λ	Возд./топл.
До нейтрализатора	0,6	120	0,7	14,7	1,0	14,7
После нейтрализатора	0,2	12	0,1	15,3	1,0	14,7

Содержание окиси углерода, двуокиси углерода, углеводов определяется инфракрасными методами, с использованием свойств различных газов по-разному поглощать инфракрасное излучение. Содержание кислорода определяется электрохимическими методами, используется устройство, аналогичное датчику кислорода.

Рассмотрим схему измерения концентрации газа CO (рис. 2.21). Инфракрасный излучатель нагревается примерно до 900 °С. Его лучи направляются рефлектором через вращающийся диск с отверстиями и далее через измерительную камеру в приемную камеру. В приемной камере, состоящей из двух герметичных полостей (**1** и **2**), которые сообщаются между собой по соединительному кана-

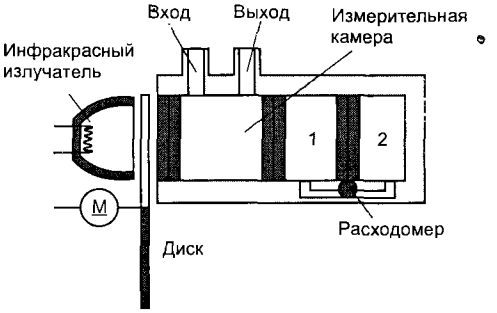


Рис. 2.21. Измерение концентрации CO

лу, содержится определенная концентрация газа CO. Газ в приемной полости **1** поглощает инфракрасное излучение, его температура увеличивается и часть газа переходит в полость **2**, что фиксируется расходомером. Вращение диска с отверстиями модулирует поток инфракрасного излучения, в результате газ в приемной камере периодически нагревается и охлаждается. Показания расходомера, фиксирующие переход газа CO из полости **1** в полость **2** и обратно представляют собой периодический разнополярный сигнал в виде напряжения. При введении в измерительную камеру выхлопных газов, содержащих CO, часть излучения в диапазоне, характерном для окиси углерода, будет поглощена и выходное напряжение расходомера изменится пропорционально содержанию CO в выхлопе.

По такой же методике определяют содержание CH и CO_2. В новейших газоанализаторах определяется и концентрация окислов азота NO_x.

2.6. Датчики угловых и линейных перемещений и положений

2.6.1. Общие сведения

Датчики угловых и линейных перемещений находят широкое применение на автомобиле. От простых — типа микровыключателя на двери, до сложных — типа линейных дифференциальных трансформаторов в активной подвеске. Назначение датчиков данного типа — преобразование углового или линейного перемещения в электрический сигнал.

Датчики выполняются контактными или бесконтактными. Контактные датчики подвержены износу, на оптические датчики отрицательно влияют пыль и влага. Поэтому в современных бесконтактных датчиках угловых и линейных перемещений, применяемых в автомобильной промышленности, чаще всего используются те или иные магнитные свойства чувствительных элементов.

2.6.2. Контактные датчики

Микровыключатели

Микровыключатели — это простейшие контактные датчики для фиксации определенного краевого положения механического объекта, например двери, стекла в стеклоподъемнике и т. п. При срабатывании микровыключателя в ЭБУ подается сигнал, соответствующий напряжению питания или общей шины. Для диагностики состояния такого датчика и его цепи он обычно включается по схеме, показанной на рис. 2.22.

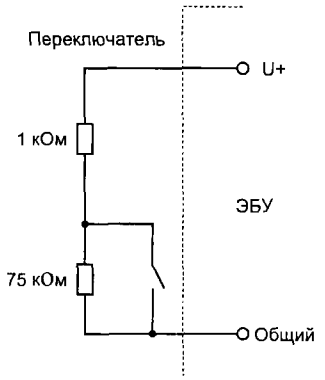


Рис. 2.22. Микровыключатель с возможностью диагностирования

В этом случае по изменению входного напряжения ЭБУ различает рабочее или нерабочее состояние ключа и проводки. Недостатком микровыключателей является дребезг контактов. В ответственных схемах дребезг подавляют схемотехнически или программно.

Потенциометрические датчики

Потенциометры применяются на автомобиле в качестве датчиков положения (например, датчик положения дроссельной заслонки и т. п.). Современные автомобильные потенциометрические датчики имеют наработку на отказ больше, чем срок эксплуатации среднего автомобиля, выдерживают вращение движка со скоростью до 1000 оборотов в минуту в течение более 1000 часов.

Проволочные потенциометры характеризуются числом витков намотки на градус: от 1 до 8. Сопротивление проволочных потенциометров лежит в пределах 10...10000 Ом, оно задается с погрешностью 5%. Достоинство проволочных потенциометров — возможность реализации низкоомных датчиков. Недостатки: нелинейность, дискретность, быстрый износ (около 10^5 оборотов).

Чаще используются в качестве датчиков положения непроволочные потенциометры с напыленным на пластике или керамике резистивным покрытием. Щетки движка демпфируются для устойчивости к вибрациям. Сопротивление автомобильных непроволочных потенциометрических датчиков положения лежит в пределах 50...20000 Ом, с погрешностью 10...20%. Потенциометры используются в режиме делителя напряжения, погрешность их номинала не имеет большого значения. Линейность и разрешающая способность высокие.

При измерении линейных перемещений движок может перемещаться в пределах 10 мм...3 м, при измерении угловых — до 355 °.

Потенциометрические датчики запитываются напряжением 5 В от стабилизатора в ЭБУ. Это же напряжение подается на АЦП и компараторы, что делает систему «датчик — АЦП» нечувствительной к вариациям питающего и опорного напряжений.

Для оптимальной работы потенциометрических датчиков в микроэлектронных схемах ток через щетки движка ограничивается величиной порядка 0,1 мкА.

Потенциометры с пластиковой дорожкой, покрытой резистивным слоем, выдерживают более 10^7 оборотов для датчиков угловых перемещений и 10^7 ходов «вперед — назад» для датчиков линейных перемещений.

Хорошими примерами использования резистивных потенциометрических преобразователей на автомобиле являются датчики положения дроссельной заслонки и высоты кузова.

Датчик положения дроссельной заслонки — ДПДЗ (рис. 2.23) установлен сбоку дроссельного патрубка на оси дроссельной заслонкой. Он представляет собой резистор потенциометрическо-

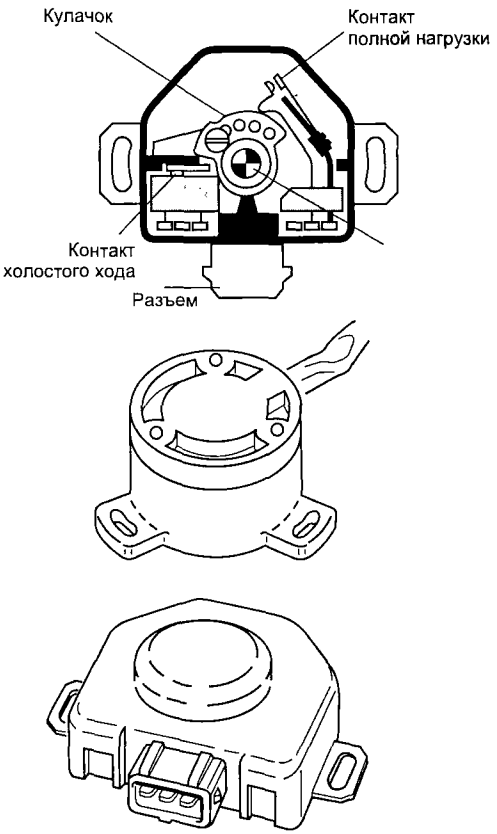


Рис. 2.23. Датчик положения дроссельной заслонки

го типа, один из выводов которого соединен с опорным напряжением (5 В) контроллера, а второй с массой контроллера. Третий вывод соединяет подвижный контакт ДПДЗ с измерительным входом контроллера, что позволяет контроллеру определять напряжение выходного сигнала ДПДЗ.

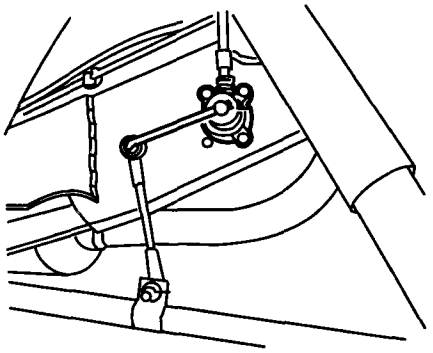


Рис. 2.24. Датчик высоты кузова

Данные о положении дроссельной заслонки необходимы для расчета длительности импульсов управления форсунками. При повороте дроссельной заслонки (движением педали акселератора) изменяется напряжение на подвижном контакте ДПДЗ. При закрытом положении дроссельной заслонки выходной сигнал ДПДЗ ниже 0,7 В. При открытии дроссельной заслонки выходной сигнал соответственно возрастает. Полностью открытой заслонке соответствует выходное напряжение не менее 4 В. Контролируя выходное напряжение сигнала ДПДЗ, контроллер определяет текущее положение дроссельной заслонки (задаваемое водителем).

Датчики высоты кузова выполняются на основе обычных потенциометров, выходное напряжение датчика пропорционально высоте кузова по отношению к шасси (рис. 2.24). Такие датчики необходимы для работы системы управления активной подвеской.

2.6.3. Бесконтактные датчики

В некоторых автомобильных системах необходима информация об угловой скорости или угловом положении вращающегося вала. Такая информация вырабатывается бесконтактными датчиками частоты вращения. Известен ряд таких бесконтактных датчиков, в основу работы которых положены различные физические явления: магнитоэлектрические, на эффекте Холла, высокочастотные, оптоэлектронные, токовихревые, на эффекте Виганда, фотоэлектрические.

Оптические датчики

В оптических датчиках относительного углового положения используются светомодулирующие (кодирующие) диски с симметричными прозрачными и непрозрачными секторами. Для прецизионных датчиков диски стеклянные, для обычных — металлические, которые стоят дешевле. Кодирующий диск освещается с одной стороны, с другой располагают фотоприемники. Кодирующий диск может иметь от 16 до 6000 позиций на оборот. Сектора часто располагают на двух радиусах, смещая их на половину длины отверстия, что в четыре раза увеличивает разрешающую способность. Используется и третья дорожка для размещения маркера. На рис. 2.25 в качестве примера оптического датчика углового положения показан датчик положения рулевого колеса. Датчик содержит вращающийся диск с прорезями и три неподвижных оптоэлектронных пары. Диск вместе с рулем вращается между светодиодами и фототранзисторами. При повороте руля на фототранзисторах вырабатываются последовательности электрических импульсов, по которым ЭБУ определяет угол и скорость поворота. Для определения направления поворота необходимо иметь два фотопрерывателя ST-1 и ST-2. Третий прерыватель ST-N фиксирует центральное положение рулевого колеса.

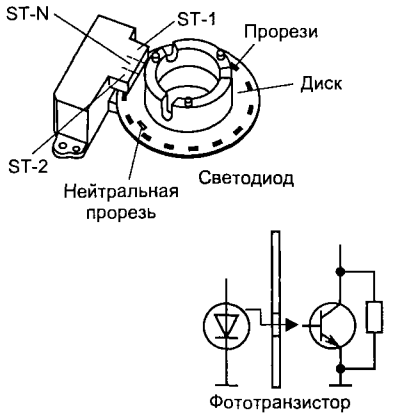


Рис. 2.25. Датчик положения рулевого колеса

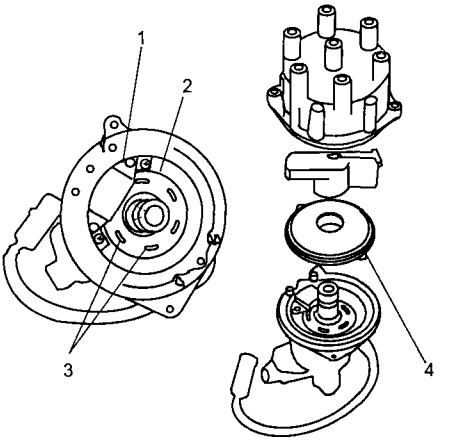


Рис. 2.26. Распределитель автомобиля Chrysler с оптическим датчиком: 1 — оптический датчик с интегральной микросхемой, 2 — задающий диск, 3 — прорези, 4 — защитная кассета

В конце 80-х годов на автомобилях Chrysler (США) и некоторых японских автомобилях в системе зажигания использовались оптические датчики углового положения коленчатого вала и ВМТ. Датчик помещался в распределителе (рис. 2.26) в защитной кассете для уменьшения загрязнения и световых помех. На рис. 2.27 показан кодирующий диск датчика с прорезями на двух радиусах и выходные сигналы датчика. С внешнего радиуса диска снимается информация об угловом положении коленчатого вала шестицилиндрового ДВС, с внутреннего о ВМТ. Светодиоды и фототранзисторы приходится периодически очищать от загрязнения.

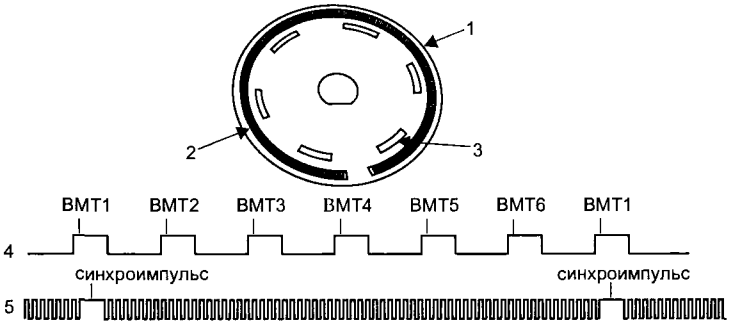


Рис. 2.27. Задающий диск оптического датчика в распределителе: 1 — диск, 2 — прорези внешнего радиуса, 3 — прорези внутреннего радиуса, 4 — сигнал с внутреннего радиуса, 5 — сигнал с внешнего радиуса

Выпускаются серийные микросхемы для подключения к оптическим датчикам. Дешифруется относительное угловое положение и направление вращения. Угловое положение измеряется с погрешностью 10...40 минут. При вращении кодирующего диска может возникать погрешность из-за конечной крутизны фронтов сигналов. Типичный частотный диапазон для светодиода не более 100 кГц. При

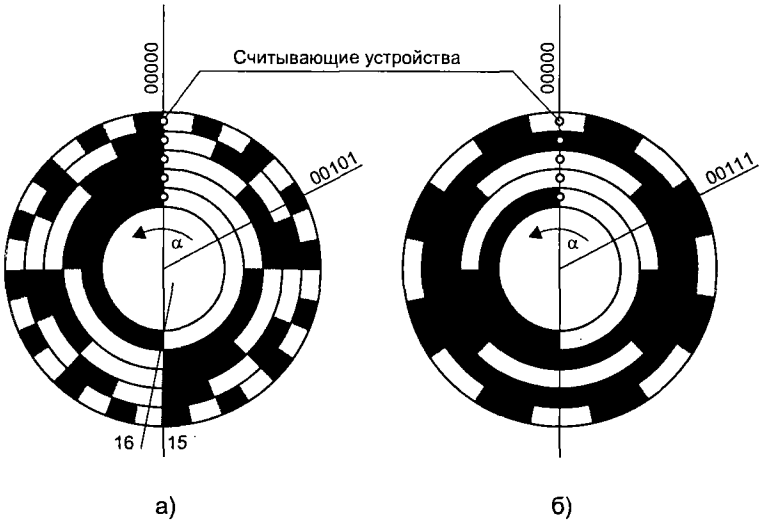


Рис. 2.28. Кодирующие диски: а — двоичный код, б — код Грея

этом, например, для диска со 100 различимыми позициями частота вращения не может быть более 1000 мин$^{-1}$.

Оптические датчики абсолютного углового положения применяются там, где информация нужна сразу же после подачи питания. Оптические кодирующие диски таких датчиков (рис. 2.28) имеют разрешение от 2^6 до 2^{16}, формат данных — двоичный, двоично-десятичный, код Грея. На диске имеется N концентрических дорожек с секторами, где N — разрядность слова. Считывающее устройство может воспринять часть разрядов из соседнего сектора, тогда возникает ошибка считывания. Для уменьшения ошибок считывания, как правило, используется код Грея. В этом коде при изменении любого числа на единицу меняется только один двоичный разряд.

Выпускаются также оптические датчики относительного линейного положения, например, для регулятора холостого хода с шаговым двигателем. Датчик и излучатели выполняются в виде модулей, количество отсчетов до 8 на миллиметр. Это дает разрешение до 30 микрон.

Исходя из стоимости производства, требований к точности, надежности помехозащищенности, стойкости к внешним воздействиям, датчики магнитоэлектрические и на эффекте Холла получили наибольшее применение и производятся у нас в стране и за рубежом крупными сериями.

Магнитоэлектрические датчики

Наиболее распространенным типом магнитоэлектрического датчика является генераторный датчик коммутаторного типа с пульсирующим магнитным потоком. Принцип действия такого датчика заключается в изменении магнитного сопротивления магнитной цепи, а следовательно, и магнитного потока в ней, при изменении зазора с помощью ферромагнитного зубчатого ротора (коммутатора).

На рис. 2.29 показана принципиальная схема магнитоэлектрического датчика коммутаторного типа. При вращении зубчатого ротора в обмотке статора в соответствии с законом электромагнитной индукции возникает переменное напряже-

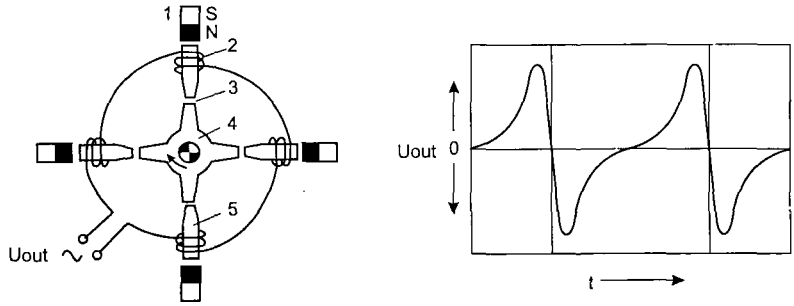


Рис. 2.29. Принципиальная схема коммутаторного датчика и осциллограмма выходного сигнала

ние с частотой, соответствующей частоте вращения зубчатого ротора. Напряжение определяется по формуле:

$$U_{out} = kwn(d\Phi/d\alpha),$$

где k — коэффициент, зависящий от характеристик магнитной цепи; w — количество витков обмотки; n — частота вращения зубчатого ротора; $d\Phi/d\alpha$ — изменение потока Φ в зависимости от угла поворота α.

Когда зубцы ротора 4 приближаются к полюсам 5 статора, в обмотках 2, включенных последовательно и согласованно, нарастает напряжение U_{out}. При совпадении фронтов зубцов ротора с полюсами статора (со средней их линией) напряжение U_{out} достигает максимума, затем быстро меняет знак и при удалении зубцов увеличивается в противоположном направлении снова до максимума. Такие датчики еще и по настоящее время применяются в распределителях зажигания, в которых зубчатый ротор устанавливается на распределительный валик и изготавливается из мягкой стали. Число зубцов зависит от числа цилиндров двигателя. Необходимое магнитное поле создают постоянные магниты 1.

Интересно отметить, что в данной симметричной магнитной системе для каждого положения ротора обеспечивается усредненное значение зазора 3, за счет чего компенсируются погрешности изготовления отдельных деталей и биение ротора.

Датчики на эффекте Холла

Благодаря развитию микроэлектроники широкое распространение получили датчики углового положения на эффекте Холла. Эффект Холла возникает в плоской полупроводниковой пластине, внесенной в магнитное поле, при пропускании через нее электрического тока. Если поместить пластинчатый элемент толщиной h в магнитном поле таким образом, чтобы направление индукции B магнитного поля было перпендикулярно плоскости пластины, и пропустить ток I через пластину в продольном направлении, то в поперечном направлении между противоположными гранями пластины возникнет ЭДС Холла:

$$E_X = kIB/h,$$

где k— постоянная Холла, м^2/А.

Чувствительность элемента Холла зависит от соотношения между длиной и шириной пластины и повышается при уменьшении ее толщины. Для пленки толщина h достигает 10^{-6} м, для пластины из полупроводникового кристалла — 10^{-4} м. Для изготовления элементов Холла используются германий, кремний, арсенид галлия (GaAs), арсенид индия (InAs), антимонид индия (InSb).

Электродвижущая сила самоиндукции Холла очень мала и поэтому должна быть усилена вблизи кристалла для того, чтобы устранить влияние электромагнитных помех. Конструктивно элемент Холла и преобразовательная схема, содержащая усилитель, пороговый элемент, выходной каскад и стабилизатор напряжения, выполняются в виде интегральной микросхемы, которая называется магнитоуправляемой интегральной схемой.

Такие интегральные схемы (ИС) с датчиками Холла выпускаются дискретными и аналоговыми. Дискретные ИС применяются в датчиках относительного положения и скорости. Аналоговые — в датчиках абсолютного положения вместо контактных потенциометрических. Дискретные датчики Холла, работающие в условиях подкапотного пространства, имеют погрешность менее 0,5% и используются, как правило, в качестве датчиков положения коленчатого или распределительного валов, в системах зажигания. Описание конструкции и принципа действия датчика-распределителя зажигания на эффекте Холла см. в [3].

Выходное напряжение аналоговых датчиков Холла пропорционально магнитной индукции поля и напряжению питания, что упрощает их сопряжение с АЦП. На практике для определения углового положения может применяться аналоговый датчик Холла, конструкция которого показана на рис. 2.30. При повороте кольцевого магнита относительно статоров, между которыми размещен датчик Холла, выходное напряжение датчика меняется. В диапазоне 150° характеристика линейна, погрешность преобразования менее 1%. В подобных датчиках нет трущихся частей, кроме подшипников, они безынерционны и имеют высокую надежность.

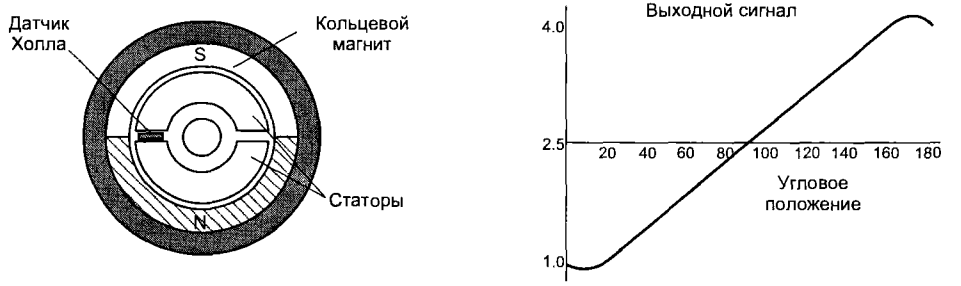


Рис. 2.30. Датчик абсолютного углового положения с чувствительным элементом Холла

Однако стоимость аналоговых датчиков Холла высокая, кроме того, на их чувствительность влияет температура (порядок 0,001/ °С). Стоимость — очень существенный фактор для автомобильных датчиков, поэтому в датчиках Холла применяются более дешевые магнитные материалы с низкой температурной стабильностью: ферриты и сплавы AlNiCo (0,002...0,02/ °С). Приходится вводить внешние компенсирующие элементы, программировать характеристики датчика через интерфейс.

Сельсины и дифференциальные трансформаторы

В качестве датчиков абсолютного углового положения на автомобилях начинают применяться вращающиеся трансформаторы (сельсины). Ранее они считались слишком дорогостоящими. Сельсины характеризуются высокой разрешающей способностью (до 7′), работают в тяжелых внешних условиях. Обмотки возбуждения запитываются напряжением с частотой 400...20000 Гц, обычно для автомобилей 2...5 кГц. Угловое положение ротора декодируется по сигналам с

синусной и косинусной обмоток специальной микросхемой в цифровой код (R-D — convertor).

В качестве датчиков абсолютного линейного положения находят применение линейные дифференциальные трансформаторы. Выходной сигнал может быть декодирован специализированной ИС.

Магниторезистивные датчики

В магниторезистивных датчиках используется способность некоторых материалов, например, сплава FeNi, менять свое сопротивление под воздействием изменения напряженности магнитного поля. Такие датчики, как и датчики Холла, безынерционны, также могут работать на нулевой частоте. В рабочем диапазоне магниторезистора его сопротивление меняется в пределах 2,5% по квадратичному закону функции косинуса. Магниторезисторы встраивают в интегральную схему, где размещают и цепи обработки сигнала. Имеются также магниторезисторы с большей чувствительностью: 4...15%.

2.7. Радарные и другие специальные датчики

2.7.1. Радарные и ультразвуковые датчики

Автомобильные радарные датчики работают на сверхвысоких радиочастотах в диапазоне 20...100 ГГц. Для определения скорости сближения автомобиля с фронтальным препятствием на дороге используется эффект Доплера.

Акселерометры используются в системах безопасности, ABS, навигационных системах, активной подвеске.

Еще в 1969 году фирма Lukas устанавливала экспериментальный доплеровский радиорадар с несущей частотой 24 ГГц на автомобиле Ford Zodiak для получения информации о скорости сближения и расстоянии до объекта перед автомобилем. На поворотах такой радар часто давал ложные сигналы тревоги, когда деревья и дорожные знаки отражали сигнал излучателя.

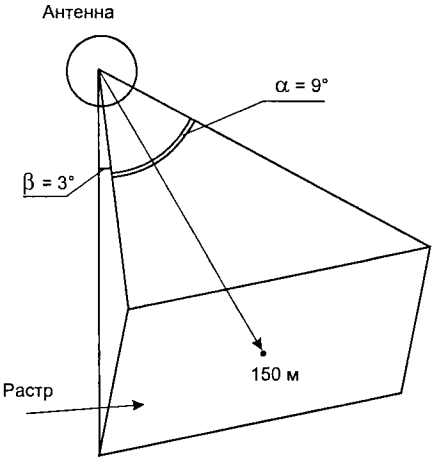


Рис. 2.31. Растр радиоизлучателя

В современных радиорадарных системах эта проблема решается за счет сложной цифровой обработки сигнала и значительного повышения частоты излучения (в Европе — это 77 ГГц), что дает более высокое разрешение и повышает помехоустойчивость. В радиоизлучателе используется сканирующая антенна или три неподвижных антенны, смонтированные под передним пластиковым бампером. Такие антенны посылают вперед радиолуч с размером растра 3 × 9° (рис. 2.31). Радиосигналы отражаются от других автомобилей, неподвижных препятствий и обрабатываются в ЭБУ примерно 20 раз в секунду с учетом собственной скорости автомобиля и положения руля. Радар дает информацию о фронтальных препятствиях перед автомобилем, объекты на обочине (деревья и дорожные знаки) не вызывают ложных срабатываний.

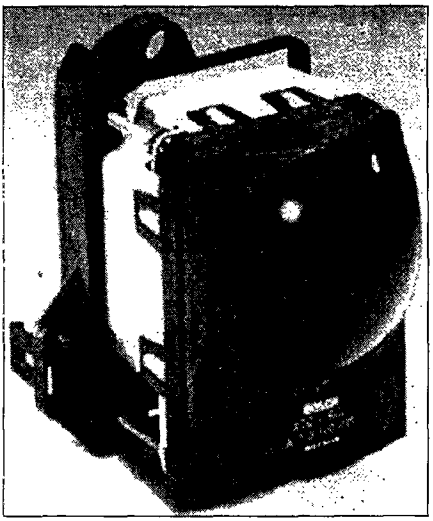


Рис. 2.32. Радиорадарный датчик АСС с контроллером

Современные радарные системы обнаруживают препятствия на расстоянии до 150 метров, определяют расстояние до объекта с точностью до 1 метра и скорость сближения с точностью до 1 км/час. Информация о препятствии поступает в ЭБУ, который через исполнительный механизм управляет специальной дроссельной заслонкой, не связанной с педалью водителя, поддерживается безопасная скорость сближения. В случае возможного столкновения ЭБУ использует средства звукового и визуального предупреждения.

На рис. 2.32 представлен радарный датчик АСС для адаптивного круиз-контроля фирмы BOSCH. В блоке размещены приемопередающая антенна диаметром 75 мм, радиорадар с модуляцией частоты, контроллер.

Помимо радиоарадарных датчиков разработаны и уже применяются ультразвуковые датчики сближения.

Ультразвуковые датчики излучают узконаправленные звуковые волны на частоте 40 кГц. Для определения скорости сближения и расстояния до обнаруженных по отраженному сигналу объектов здесь, как и в радиорадаре, используется эффект Доплера. Скорость распространения звуковой волны (340 м/с при 15 °С) зависит от свойств атмосферы.

2.7.2. Датчики ускорения (акселерометры)

Некоторые твердотельные материалы обладают электрической чувствительностью к механическим воздействиям. Такие материалы часто используются для преобразования механических величин в электрические.

На их основе создаются пьезоэлектрические и тензорезистивные акселерометры, которые в автомобильных электронных системах чаще всего используются как датчики ускорения.

Пьезоэлектрические акселерометры

Этот тип датчиков ускорения широко используется для вибрационных измерений, т. к. это точные, надежные и простые устройства. На рис. 2.33 показана базовая конструкция акселерометра, работающая в компрессионном режиме. Чувствительность автомобильных акселерометров составляет около 20 мВ/g.

При деформации (сжатии) пьезокристалла на его гранях появляется электрический сигнал, пропорциональный в данном случае ускорению. Рабочий диапазон частоты 5...100000 Гц. Для обработки сигнала от пьезоэлектрического датчика используется электронный усилитель-формирователь, собранный по схеме рис. 2.34.

Пьезоэлектрические акселерометры имеют малые размеры и выпускаются в интегральном исполнении. После принятия мер по термокомпенсации эти датчики ускорения имеют погрешность не хуже 0,5% в температурном диапазоне –40...+110 °С.

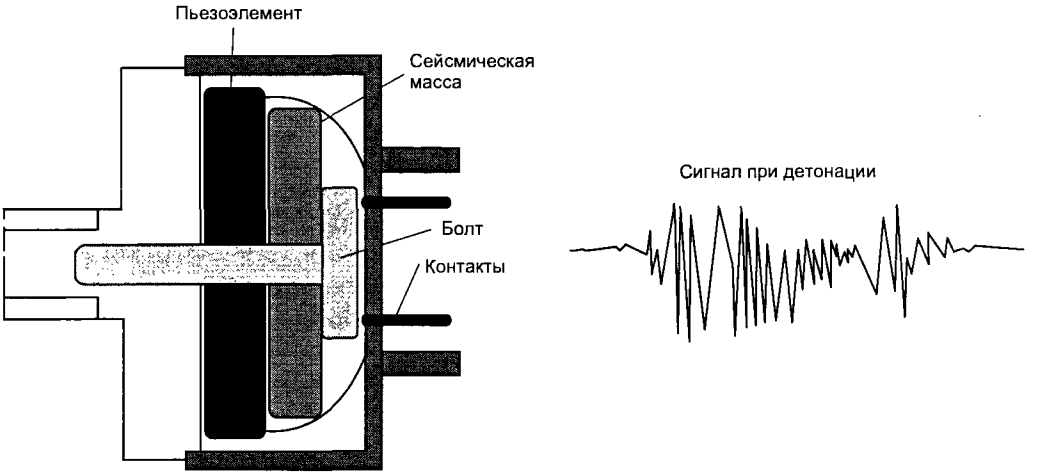


Рис. 2.33. Базовая конструкция акселерометра

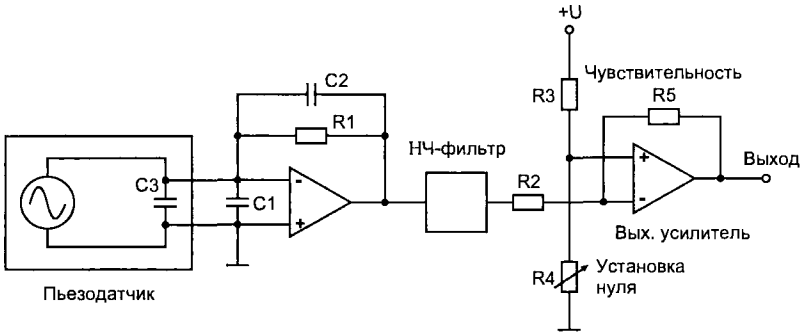


Рис. 2.34. Схема усилителя-формирователя для обработки сигнала пьезоэлектрического акселерометра

Акселерометры для воздушных мешков безопасности

Эти акселерометры являются механическими датчиками инерционного типа. Такие датчики должны располагаться не далее 40 см от места удара. Используются обычно 3—5 датчиков.

Конкретное исполнение инерционных датчиков выбирается производителем системы безопасности, но все они работают по одному и тому же принципу. В обычных условиях движения автомобиля выходные контакты акселерометра разомкнуты, они замыкаются, когда датчик испытывает отрицательное ускорение в диапазоне 15...20 g, что соответствует наезду автомобиля на твердое препятствие со скоростью 12...20 миль в час. Существует несколько конструкций акселерометров, применяемых в системах безопасности, рассмотрим некоторые из них.

Самыми распространенными механическими акселерометрами являются акселерометры с постоянным магнитом. Эта механическая конструкция (рис. 2.35) состоит из чувствительной массы (металлического шара), которая прочно удерживается в задней части небольшого цилиндра мощным постоянным магнитом. Во время обычной езды выходные электрические контакты датчика разомкнуты. При столк-

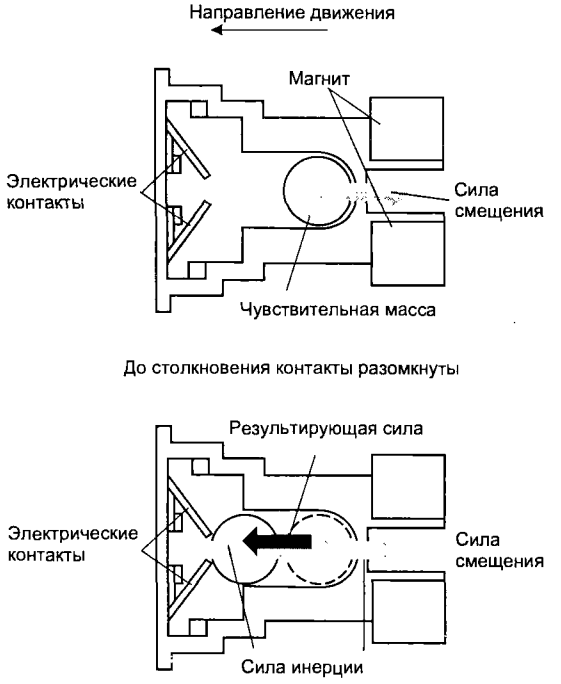


Рис. 2.35. Акселерометр с постоянным магнитом

новении сила инерции металлического шара преодолевает притяжение магнита, шар катится по цилиндру вперед и замыкает контакты, сигнал поступает в ЭБУ.

Динамические характеристики механических акселерометров описываются дифференциальным уравнением 2-го порядка. Такие параметры, как жесткость пружины, масса шарика, сила притяжения магнита, демпфирование и т. д., должны быть увязаны с динамикой автомобиля при ударе. Эти параметры подбирают под конкретную модель автомобиля с учетом его веса, конструкции корпуса, места расположения датчика.

Специальные акселерометры

В последнее время начали применяться интегральные акселерометры на основе полупроводниковых или пьезоэлектрических тензорезисторов. Они малогабаритны, более надежны, программируются, их характеристики воспроизводимы с более высокой точностью. Интегральные датчики располагаются примерно в центре салона. Их чувствительность к ударному ускорению выше, чем у механических, из-за амортизации корпуса. Используется один датчик для фронтального удара с диапазоном ±50 g. Могут применяться датчики боковых ударов, пьезорезистивные или емкостные. Погрешность менее 5%, частотный диапазон 0...750 Гц.

Акселерометры используются также в активной подвеске для определения изменения нагрузки на колеса. Рабочий диапазон ±2 g, погрешность менее 5%, диапазон частот 0...10 Гц.

В некоторых недорогих системах ABS используются акселерометры для определения предельных значений ускорения, при которых возможно проскальзывание колес. Рабочий диапазон ±1g, погрешность менее 5%, диапазон частот 0,5...50 Гц.

2.7.3. Датчик детонации

Датчики детонации используются для обнаружения явления детонации при сгорании рабочей смеси в цилиндрах [1] и [2]. Контроль за детонацией особенно актуален в современных двигателях с высокой компрессией, так как для их эффективной работы угол опережения зажигания близок к предельному, за которым начинается детонация.

Обнаружение детонации можно производить различными способами: измерением давления непосредственно в цилиндре, измерением ионизационного тока через электроды свечи после воспламенения и т. д. На практике используется метод измерения вибрации цилиндров с помощью пьезоэлектрического датчика детонации. На рис. 2.36 схематично показан датчик детонации. Датчик выполнен таким образом, что его резонансная частота совпадает с частотой детонации двигателя (обычно в диапазоне 6...12 кГц). Датчик закрепляется на блоке цилиндров и реагирует даже на слабую детонацию.

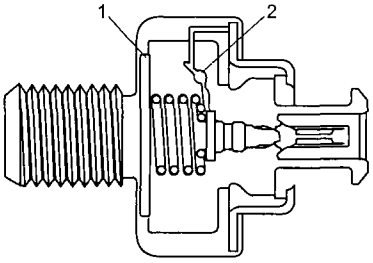


Рис. 2.36. Датчик детонации. 1 — пьезоэлемент, 2 — шунтирующий резистор

При появлении детонации вибрация двигателя приводит к генерации сигнала на выходе датчика (рис. 2.37). ЭБУ двигателя фильтрует сигнал с датчика детонации, производит аналого-цифровое преобразование. После момента зажигания (вероятное время появления детонации) производится сравнение сигнала с датчика детонации с заданным уровнем (рис. 2.38). При обнаружении детонации ЭБУ уменьшает угол опережения зажигания во всех цилиндрах или только в одном. При выходе датчика детонации из строя ЭБУ устанавливает несколько уменьшенное безопасное значение угла опережения зажигания. При исчезновении детонации ЭБУ начинает постепенно увеличивать угол опережения зажигания до появления детонации вновь и т. д. Таким образом ЭБУ с помощью датчика детонации удерживает двигатель в эффективном режиме работы на грани детонации, но без опасности поломок и выхода из строя.

Рис. 2.37. Выходной сигнал датчика детонации

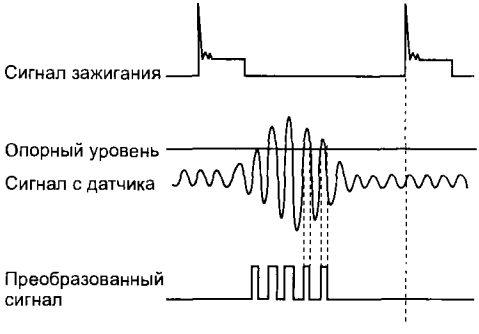


Рис. 2.38. Определение детонации

2.7.4. Датчик содержания метанола в топливе

Для уменьшения содержания токсичных веществ в выхлопных газах автомобиля возможно использование смешанных топлив. Предполагается, что положительный эффект может дать добавление метанола (метилового спирта) к бензину. Проблема состоит в том, что для поддержания стехиометрического состава бензиновой и составной (метаноловой) ТВ-смеси требуется разное количество воздуха.

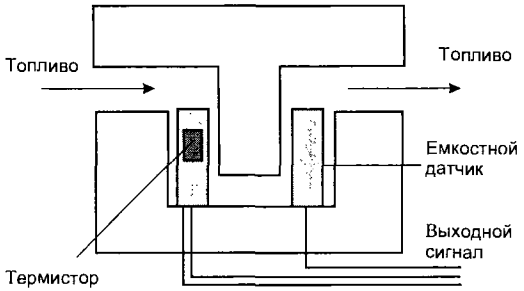


Рис. 2.39. Датчик метанола

ЭБУ двигателя должен работать с обеими этими смесями и их комбинацией в различных пропорциях. В этом случае необходим датчик, способный определить процентное содержание метанола в топливе.

Один из вариантов реализации датчика метанола показан на рис. 2.39. Содержание метанола в топливе здесь определяется по электрической емкости, при этом учитывается температура топлива и его электрическое сопротивление. В соответствии с полученным сигналом программное обеспечение ЭБУ выбирает стратегию управления подачей топлива под конкретный состав ТВ-смеси.

Предполагается, что такие датчики найдут в будущем широкое применение в двигателях и с другими альтернативными видами топлива.

2.7.5. Датчики состояния электрических цепей

Состояние электрических цепей современного автомобиля постоянно контролируется ЭБУ. Датчиками состояния служат, как правило, резистивные шунты и делители напряжения, обмотки токовых реле. Например, для того чтобы можно было различить закрытое и открытое состояние ключа от неисправностей в проводке, в его цепь введены дополнительные резисторы (рис. 2.40).

На схеме исправной проводке соответствует сопротивление R1 = 1 кОм при разомкнутом ключе и R2 = 39 Ом при замкнутом. Любые иные значения ЭБУ воспримет как признак неисправности датчика и занесет в память соответствующий код ошибки.

На рис. 2.41 показана схема контроля исправности лампы в фаре.

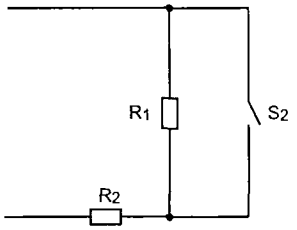


Рис. 2.40. Схема контроля состояния электрической цепи

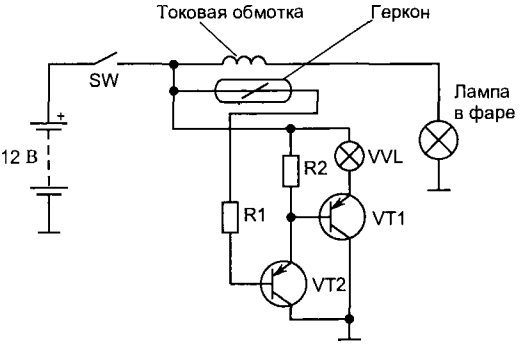


Рис. 2.41. Схема контроля исправности цепи лампы

2.7.6. Интеграция датчиков

Имеется тенденция интеграции автомобильных датчиков и увеличения их возможностей по переработке информации. По степени интеграции (рис. 2.42) датчики условно разделяются на следующие уровни.

- Обычный нулевой уровень. Аналоговый сигнал с датчика передается по линии связи (проводам) в ЭБУ, где и производится вся необходимая обработка. Такой метод наименее помехозащитен.
- Уровень интеграции 1. В датчик включены цепи предварительной аналоговой обработки сигнала, улучшена помехозащищенность.
- Уровень интеграции 2. В датчик помимо аналоговой обработки сигнала встроен аналого-цифровой преобразователь. Датчик может быть подключен к цифровой коммуникационной шине, например CAN, улучшена помехозащищенность, сигнал датчика становится доступным локальной сети контроллеров.

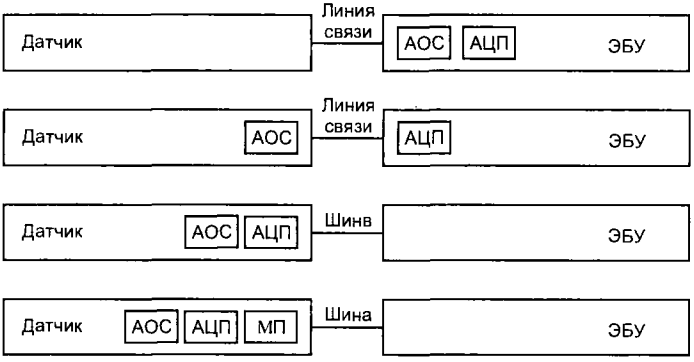


Рис. 2.42. Интеграция датчиков.

АОС — аналоговая обработка сигнала, МП — микропроцессор, АЦП — аналого-цифровой преобразователь

- Уровень интеграции 3. Датчики получают интеллектуальные возможности за счет установки в них микропроцессоров. Цифровой сигнал хорошо помехозащищен, имеются возможности программной установки параметров датчиков под конкретную модель автомобиля, расширены диагностические возможности. Например, датчик положения дроссельной заслонки соответствует обычному уровню, интегральный датчик разрежения во впускном коллекторе соответствует первому уровню интеграции, а радарный датчик скорости и расстояния для целей адаптивного круиз-контроля соответствует третьему уровню.

Глава 3. Электронное управление автомобильным двигателем

3.1. Необходимость электронного управления автомобильным двигателем

Электронная система автоматического управления двигателем (ЭСАУ-Д) состоит из датчиков для постоянного контроля за его параметрами и параметрами окружающей среды, электронного блока управления (ЭБУ) на основе микропроцессора и исполнительных устройств, с помощью которых ЭБУ управляет двигателем по заложенной в его память программе и в соответствии с информацией от датчиков [3].

Электронное управление необходимо для удовлетворения высоких требований по экологичности, топливной экономичности, эксплуатационным характеристикам, удобству обслуживания и диагностики, предъявляемым к современным автомобильным двигателям законодательно и потребителями [4].

3.1.1. Уменьшение загрязнения окружающей среды выхлопными газами

В выхлопных газах содержатся остатки углеводородного топлива (CH), окись углерода (CO), двуокись углерода (CO_2), окислы азота NO_x, азот (N) и кислород (O_2).

Содержание углеводородов измеряется в частях на миллион по объему (PPM или млн$^{-1}$). Нормально работающий двигатель сжигает в цилиндрах практически все топливо. Допустимое содержание CH должно быть менее 50 PPM. Бензин является канцерогеном.

Окись углерода — неустойчивое химическое соединение, легко вступающее в реакцию с кислородом, в результате которой образуется двуокись углерода CO_2. CO — ядовитый газ, вступая в легких человека в реакцию с кислородом, вызывает сильное отравление (возможен летальный исход). Уровень CO в выхлопных газах измеряется в процентах и не должен превышать 0,5%.

Двуокись углерода CO_2 — результат соединения углерода из топлива с кислородом воздуха. Допустимое содержание 12...15%. Высокие значения свидетельствуют о хорошей работе двигателя. Низкий уровень CO_2 говорит о том, что топливно-воздушная смесь (ТВ-смесь) богатая или бедная. Повышение концентрации CO_2 в атмосфере способствует развитию парникового эффекта.

Кислород — в воздухе его 21% и большая часть вступает в реакцию с топливом. Уровень кислорода в выхлопных газах должен быть низким, менее 0,5%.

В камере сгорания двигателя образуется группа окислов азота, для краткости обозначаемых NO_x. Окись азота NO — бесцветный газ без вкуса и запаха. Двуокись азота NO_2 — рыжеватый газ с кислым едким запахом, слабо токсичен.

Окислы азота NO_x формируются в камере сгорания двигателя при температуре выше 1370 °C (2500 °F) или при большом давлении. При соединении окислов азота с углеводородом CH в атмосфере под воздействием солнечных лучей образуется фотохимический смог, вредный для органов дыхания человека.

3.1.2. Экология бензиновых двигателей

На работу бензинового двигателя сильно влияет соотношение между массой воздуха и топлива в горючей смеси [37].

В идеальном случае при полном сжигании 1 кг (1 л) бензина в 14,7 кг (10 $м^3$) воздуха образуются нетоксичные вещества — вода и двуокись углерода. Соотношение между массой воздуха и топлива, равное 14,7:1, называется стехиометрическим. Качество ТВ-смеси определяется коэффициентом избытка воздуха λ, который равен отношению фактического состава ТВ-смеси к ее стехиометрическому составу. Полное сгорание топлива в цилиндрах ДВС имеет место при $\lambda = 1$. Но в силу ряда причин даже при стехиометрическом составе ТВ-смеси сгорание осуществляется не полностью и образуются токсичные вещества. Сгорание богатой ТВ-смеси ($\lambda < 1$) приводит к появлению избыточного количества CO, H_2 и CH. Бедные ТВ-смеси ($\lambda = 1$) сгорают с образованием NO_x и приводят к пропускам воспламенения.

3.1.3. Каталитический газонейтрализатор

В каталитическом газонейтрализаторе происходят химические реакции, уменьшающие концентрацию токсичных веществ в выхлопных газах:

$$2CO + O_2 \rightarrow 2CO_2$$

$$2C_2H_6 + 7O_2 \rightarrow 4CO_2 + 6H_2O$$

$$2NO + 2CO \rightarrow N_2 + 2CO_2$$

В современных газонейтрализаторах в качестве катализаторов химических реакций используются благородные металлы, например платина. Для нормальной эксплуатации каталитического газонейтрализатора требуется поддержание стехиометрического состава ТВ-смеси с высокой точностью — менее 1%. В противном случае нейтрализатор постепенно деградирует. Такая точность дозирования без электронного управления недостижима. В исправном каталитическом нейтрализаторе до 90% токсичных веществ перерабатывается в нетоксичные.

3.1.4. Угол опережения зажигания

Неоптимальные значения угла опережения зажигания приводят к увеличению концентрации CH и NO_x в выхлопных газах. Точное задание угла опережения зажигания для всех режимов работы двигателя возможно только с помощью электронной системы управления [2].

3.1.5. Экология дизельных двигателей

В дизелях топливо впрыскивается непосредственно в цилиндры и воспламеняется за счет разогрева сжимаемого воздуха. В дизелях λ всегда больше единицы. При оптимальных значениях $\lambda = 1,1...1,2$ в выхлопных газах содержится минимальное количество сажи, CH и CO. На дизелях работают двухкомпонентные окислительные каталитические нейтрализаторы, преобразующие CH и CO в CO_2 и H_2O. Применение трехкомпонентного каталитического нейтрализатора невозможно из-за избытка воздуха. На процесс сгорания топлива сильно влияет точность синхронизации его впрыска. Например, погрешность начала впрыска в 1° оборота

коленчатого вала ведет к увеличению содержания в выхлопных газах NO_x на 5% и CH на 15%.

Для уменьшения концентрации NO_x на дизелях, как и на бензиновых двигателях, применяется система рециркуляции выхлопных газов.

3.1.6. Уменьшение потребления топлива

Экономия топлива в двигателях с электронным управлением достигается за счет его более точного дозирования во всех режимах работы и отключения подачи топлива, когда это допустимо, например, при торможении двигателем. Обеднение горючей ТВ-смеси с целью экономии топлива приводит к необходимости увеличивать угол опережения зажигания, т. к. бедная смесь горит медленно, но при этом возрастает токсичность выхлопных газов.

Управление углом опережения зажигания осуществляется электронной автоматикой путем компромисса между количеством потребляемого топлива и содержанием токсичных веществ в выхлопных газах по сложным алгоритмам.

3.1.7. Диагностика

ЭБУ в фоновом режиме постоянно контролирует исправность подключенных к компьютеру датчиков и исполнительных механизмов, а также исправность систем, выход из строя которых ведет к увеличению загрязнения окружающей среды (каталитический газонейтрализатор, система подачи топлива и т. д.) [4].

3.2. Функции электронных систем управления бензиновым двигателем

3.2.1. Определение необходимого количества топлива

Масса подаваемого в двигатель топлива F_M связана с массой воздуха A_M и требуемым значением коэффициента избытка воздуха λ соотношением [37]:

$$F_M = \frac{A_M}{\lambda \cdot 14{,}7}.$$

Масса воздуха может быть выражена через его объем A_V и плотность A_D.

$$A_M = A_V \cdot A_D.$$

Плотность воздуха A_D определяется по его давлению и температуре во впускном коллекторе с помощью соответствующих датчиков. В простейшем случае объем воздуха A_{VRPM} рассчитывается по числу оборотов двигателя в минуту N:

$$A_{VRPM} = \frac{N}{60} \cdot \frac{D}{2} \cdot V_E,$$

где D — объем двигателя, V_E — коэффициент использования объема, зависящий от оборотов.

Если в двигателе применяется рециркуляция выхлопных газов, их объем A_{VEGR} также учитывается:

$$A_V = A_{VRPM} - A_{VEGR}.$$

Объем A_{VEGR} зависит от положения клапана системы рециркуляции выхлопных газов.

В датчиках расхода воздуха с измерительной заслонкой по отклонениям заслонки определяют непосредственно объем воздуха A_V. Объем выхлопных газов A_{VEGR}, если они подаются в камеру сгорания, системой рециркуляции учитывать не требуется. Для определения плотности воздуха во впускном коллекторе устанавливаются датчики температуры и давления.

В современных системах управления двигателями устанавливаются, как правило, датчики массового расхода воздуха.

Определив необходимую массу топлива F_M, контроллер по известной производительности форсунок вычисляет для них базовые значения времени включения. Для того чтобы масса подаваемого через форсунки топлива зависела только от длительности их включения, в рампе форсунок относительно впускного коллектора специальным регулятором поддерживается постоянное давление топлива.

Базовые значения длительности включения форсунок контроллер корректирует в зависимости от режима работы двигателя. Так реализуются компенсация изменений электромеханических характеристик форсунок при вариациях напряжения бортовой сети, коррекция по сигналу от датчика кислорода, обогащение топливной смеси при прогреве двигателя и т. д.

В двигателях с распределенным впрыском в зависимости от сложности и совершенства системы управления подача топлива производится следующим образом:

- все форсунки включаются одновременно один раз за один оборот коленчатого вала;
- форсунки включаются группами, например, парами для 4-цилиндрового двигателя, один раз за 4 такта. Группы управляются раздельно;
- форсунки управляются независимо, т. е. подача топлива на соответствующем такте впуска ТВ-смеси в каждый цилиндр регулируется индивидуально.

3.2.2. Управление по сигналу датчика кислорода

Сигнал с датчика кислорода поступает в ЭБУ двигателя, где сравнивается с опорным напряжением $V_s = 0{,}45$ В. Это напряжение находится примерно посередине между уровнями сигналов для обедненной и обогащенной ТВ-смеси для циркониевого датчика.

Когда сигнал с датчика кислорода превышает опорный уровень, программное обеспечение ЭБУ двигателя определяет рабочую ТВ-смесь как обогащенную и ЭБУ начинает постепенно уменьшать длительность импульса отпирания форсунки. Датчик реагирует на изменение состава топливовоздушной смеси с некоторой задержкой. Чем дольше датчик кислорода индицирует обогащенный состав ТВ-смеси, тем больше уменьшается длительность импульса отпирания форсунок и тем беднее становится ТВ-смесь. В результате таких действий выходной сигнал датчика кислорода перейдет на уровень ниже опорного и ЭБУ зафиксирует обедненный состав смеси. Далее начнется постепенное увеличение длительности импульса отпирания форсунок и обогащение ТВ-смеси будет продолжаться до тех пор, пока датчик кислорода вновь не переключится. Таким образом, состав ТВ-смеси постоянно колеблется между обедненным и обогащенным состояниями даже при работе исправного датчика кислорода при постоянной нагрузке двигателя (рис. 3.1). В данном случае имеет место релейная стабилизация при колебаниях по предельному циклу.

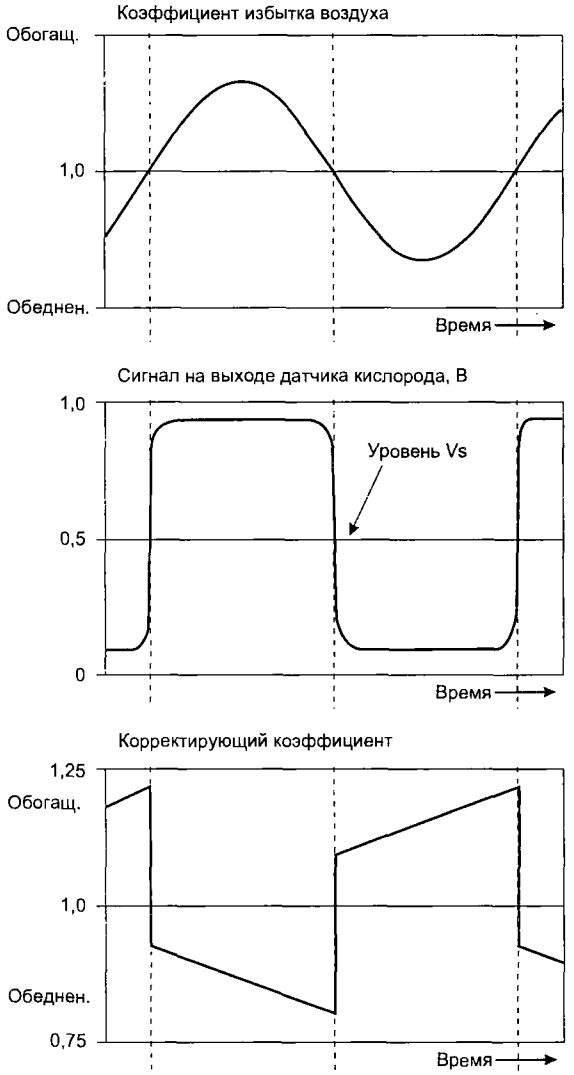


Рис. 3.1. Сигналы в системе стабилизации стехиометрического состава ТВ-смеси

Частота переключений сигналов датчика (обедненный состав смеси — обогащенный состав смеси) определяется по формуле:

$$f = 1/4t_L,$$

где t_L — время, за которое топливо проходит путь от форсунки впрыска, через впускной коллектор, цилиндр и выпускной коллектор до датчика кислорода.

Для большинства двигателей при работе на холостом ходу частота f лежит в диапазоне 0,5...2,0 Гц. У новейших ДВС — до 10 Гц.

Отметим, что данная релейная система стабилизации поддерживает стехиометрический состав ТВ-смеси с погрешностью 1...5%. Каталитический газонейтрализатор имеет некоторый рабочий объем для выхлопных газов, выполняющий функ-

цию ресивера, демпфирующего колебания в составе отработанных газов. Таким образом, в ресивере катализатора продукты сгорания перемешиваются и усредненный их состав становится близким к составу продуктов сгорания стехиометрической ТВ-смеси. Это способствует более эффективной работе газонейтрализатора, и количество токсичных веществ на его выходе становится минимальным.

Отметим также, что из-за задержки срабатывания системы управление составом ТВ-смеси по сигналу датчика кислорода не имеет необходимого быстродействия. Следствием инерционности может быть увеличение выброса токсичных веществ с выхлопными газами при работе двигателя на переходных режимах. На практике контроллер для управления подачей топлива использует не только сигнал с датчика кислорода, но и калибровочные диаграммы в осях «обороты — нагрузка двигателя», хранящиеся в памяти ЭБУ.

3.2.3. Управление углом опережения зажигания

Правильная установка текущего значения угла опережения зажигания оптимизирует крутящий момент на валу двигателя, минимизирует содержание токсичных веществ в выхлопных газах, уменьшает расход топлива, улучшает ездовые характеристики, исключает детонацию. Базовые значения для определения угла опережения зажигания в зависимости от нагрузки и оборотов двигателя заложены в постоянной памяти контроллера. Их получают во время экспериментальных исследований вновь разрабатываемого двигателя на стендовом динамометре. Базовые значения корректируются в зависимости от режима работы двигателя: перегрев, ускорение, включение системы рециркуляции выхлопных газов и т. д. В некоторых системах, изменяя угол опережения зажигания, стабилизируют обороты холостого хода и регулируют обороты двигателя при переключении скоростей в автоматической коробке переключения передач.

В современных системах зажигания первичный ток катушки зажигания регулируется временем ее подключения к напряжению питания. ЭБУ определяет длительность временного интервала подключения по калибровочным диаграммам, хранящимся в постоянной памяти, и в зависимости от оборотов двигателя и напряжения бортовой сети выполняет корректировку. Работа ключа (коммутатора зажигания) синхронизируется так, чтобы необходимое значение тока первичной обмотки катушки зажигания достигалось непосредственно перед моментом искрообразования.

Значения угла опережения зажигания, обеспечивающие наиболее эффективную работу двигателя, близки к предельным, на которых возникает детонация. При обнаружении детонации датчиком детонации угол опережения зажигания соответственно уменьшается. В современных системах управления угол опережения зажигания регулируется раздельно по цилиндрам.

3.3. Режимы работы системы управления двигателем

3.3.1. Запуск двигателя

Двигатель при прокрутке стартером должен быстро запускаться при любой температуре охладителя и внешней среды. При пуске топливо подается с избытком (богатая ТВ-смесь), т. к. оно плохо испаряется в холодном двигателе и конденсируется на стенках впускного коллектора. Но свечи зажигания заливаться не

должны, иначе искрообразование ухудшится. Во время запуска ЭБУ управляет подачей топлива по калибровочным диаграммам, хранящимся в постоянной памяти, и корректируют состав ТВ-смеси по температуре охлаждающей жидкости. Датчик кислорода в это время еще не работает, так как не прогрет, а ТВ-смесь переобогащена. Количество подаваемого топлива начинает уменьшаться, после того как скорость вращения коленчатого вала превысит пороговое значение для данного типа двигателя. В некоторых системах управления при прокрутке ДВС все форсунки открываются одновременно и только после запуска начинают работать синхронно с тактами впуска своих цилиндров.

Угол опережения зажигания при прокрутке определяется ЭБУ по оборотам и температуре двигателя. Для холодного двигателя и низкой скорости прокрутки угол опережения зажигания почти равен нулю. В любом случае при прокрутке ДВС значение угла опережения зажигания ограничивается, т. к. вспышка в камере сгорания до верхней мертвой точки может провернуть коленчатый вал в обратном направлении и повредить стартер.

3.3.2. Прогрев двигателя

Сразу после запуска холодного ДВС во время его прогрева система управления двигателем должна обеспечивать:

- устойчивую работу двигателя;
- быстрый нагрев датчика кислорода и каталитического нейтрализатора для введения их в рабочее состояние;
- минимальное потребление топлива и загрязнение окружающей среды.

Для устойчивой работы холодного двигателя в него подается обогащенная ТВ-смесь. Степень обогащения зависит от температуры двигателя и всасываемого воздуха. В некоторых системах во время прогрева в каталитический газонейтрализатор подается дополнительный воздух. Образовавшиеся в цилиндрах излишки CO и CH (из-за обогащенной ТВ-смеси) доокисляются в каталитическом нейтрализаторе. Химическая реакция окисления ускоряет разогрев нейтрализатора.

В другом варианте во время прогрева двигателя увеличивают обороты холостого хода и уменьшают угол опережения зажигания, что повышает температуру выхлопных газов и ускоряет разогрев каталитического газонейтрализатора и датчика кислорода.

Применяется и электрический разогрев датчика кислорода и нейтрализатора.

3.3.3. Работа в переходных режимах

В переходных режимах, то есть при быстром увеличении или уменьшении нагрузки или оборотов ДВС, система управления должна обеспечивать плавную устойчивую работу двигателя.

При ускорении автомобиля дроссельная заслонка резко открывается, во впускной коллектор поступает больше воздуха. Система управления должна быстро отреагировать, чтобы не только не допустить обеднения рабочей смеси, но и успеть обогатить ее так, чтобы двигатель штатно отработал возросшую нагрузку. При этом не должно заметно увеличиваться загрязнение окружающей среды выхлопными газами. Для обеспечения максимального крутящего момента на валу двигателя угол опережения зажигания устанавливается на грани детонации.

При торможении, езде под гору, торможении двигателем подача топлива резко ограничивается или полностью отключается до тех пор, пока обороты двига-

теля остаются выше заданного значения (чуть больше оборотов холостого хода). Система управления двигателем следит за тем, чтобы при отключении подачи топлива не остыли и не перешли в нерабочее состояние датчик кислорода и каталитический нейтрализатор. Обычно это реализуется дополнительным электроподогревом.

3.3.4. Полная нагрузка

При езде автомобиля под полной нагрузкой, например в гору, двигатель должен развивать максимальную мощность. ЭБУ управляет составом ТВ-смеси и углом опережения зажигания по калибровочным таблицам. Двигатель имеет наилучшие тяговые характеристики при λ = 0,9...0,95, в этом диапазоне датчик кислорода не работает. Угол опережения зажигания имеет значение, обеспечивающее максимальный крутящий момент на валу, при необходимости производится коррекция по детонации. Экологические показатели двигателя несколько ухудшаются.

3.3.5. Работа на холостых оборотах

В режиме холостого хода система управления двигателем в целях экономии топлива поддерживает минимальные устойчивые обороты. В городском цикле движения на холостом ходу автомобиль потребляет около 30% топлива. Система регулирования холостых оборотов должна отрабатывать как скачкообразно, так и плавно меняющиеся нагрузки.

Обороты двигателя на холостом ходу автоматически регулируются изменением количества подаваемого воздуха или угла опережения зажигания.

Воздух в режиме холостого хода обычно подается через байпасный канал, сечение которого регулируется шаговым двигателем по командам ЭБУ. Есть варианты, когда количество подаваемого воздуха регулируется автоматически управляемым электроприводом дроссельной заслонки. Недостатком системы управления оборотами холостого хода путем изменения пропускного сечения воздушного канала является ее инерционность, особенно при скачкообразных изменениях нагрузки. Более высокое быстродействие имеет система, работающая с изменением угла опережения зажигания в заданных пределах. В современных ЭБУ для управления оборотами холостого хода используются оба эти варианта управления.

Чтобы двигатель, работающий на холостых оборотах, не останавливался при подключении к нему мощной нагрузки (например, компрессора кондиционера), сначала от выключателя нагрузки на ЭБУ поступает сигнал о предстоящем увеличении нагрузки, по которому ЭБУ увеличивает обороты двигателя, и лишь затем включается нагрузка.

3.4. Системы подачи топлива

Работа системы подачи топлива в цилиндры двигателя заключается в формировании состава ТВ-смеси, ее дозировании, транспортировке и распределении по цилиндрам [15]. Водитель управляет оборотами двигателя посредством дроссельной заслонки, которая дозирует количество поступающего в цилиндры воздуха. Система управления измеряет объем или массу всасываемого воздуха и по результатам измерения формирует наиболее оптимальный состав ТВ-смеси.

3.4.1. Классификация систем

Системы подачи топлива бывают одноточечные (карбюратор или центральный впрыск, рис. 3.2, *а*) и многоточечные (распределенный впрыск, рис. 3.2, *б*). В системах с одноточечной подачей топлива формирование ТВ-смеси производится вблизи дроссельной заслонки. Транспортировка и распределение смеси по цилиндрам возлагается на конструкцию патрубков впускного коллектора. Удовлетворительной работы такой системы во всех режимах добиться трудно.

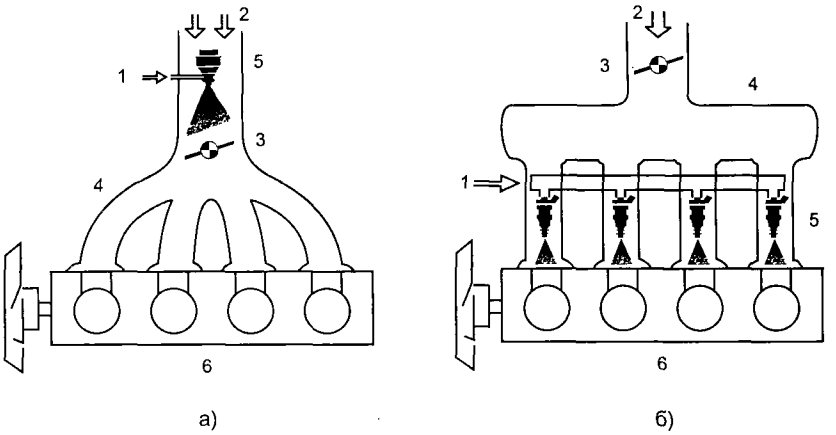


Рис. 3.2. Патрубки впускного коллектора:
а — для центрального впрыска; б — для распределенного впрыска;
1 — топливо, 2 — воздух, 3 — дроссельная заслонка, 4 — впускной коллектор,
5 — форсунки, 6 — двигатель

В многоточечных системах подача топлива и внешнее смесеобразование производятся в непосредственной близости от впускных клапанов. Топливо лучше испаряется, минимизировано влияние конструкции впускного коллектора на равномерность распределения смеси по цилиндрам, патрубки впускного коллектора транспортируют только воздух.

3.4.2. Карбюратор с электронным управлением

При использовании простейшего поплавкового карбюратора, чем больше воздуха засасывается в цилиндры, тем больше топлива поступает для образования ТВ-смеси. Основной недостаток такой системы смесеобразования — нелинейная связь между массой поступающего в двигатель воздуха и количеством распыленного топлива, т.е. не выдерживается стехиометрический состав ТВ-смеси при различных оборотах двигателя. Для компенсации этого недостатка приходится вводить в конструкцию карбюратора электронное управление. Такой карбюратор называют электронным.

Электронный карбюратор позволяет более качественно реализовать следующие функции:

- стабилизация оборотов холостого хода. Обороты ДВС на холостом ходу поддерживаются постоянными на достаточно низком уровне с целью экономии топлива и уменьшения токсичности выхлопных газов. При этом двигатель не должен глохнуть. Регулирование производится шаговым дви-

гателем. Обороты холостого хода могут быть изменены по сигналу от автоматической коробки переключения передач, от реле включения муфты кондиционера и другим сигналом об увеличении нагрузки;

- прогрев двигателя. При прогреве двигателя обороты холостого хода поддерживаются увеличенными до тех пор, пока соответствующий сигнал не поступит от датчика температуры охлаждающей жидкости;
- обогащение ТВ-смеси при прогреве. Используется вращающаяся воздушная заслонка или иной тип клапана для обогащения смеси в зависимости от режима работы двигателя и температуры окружающей среды;

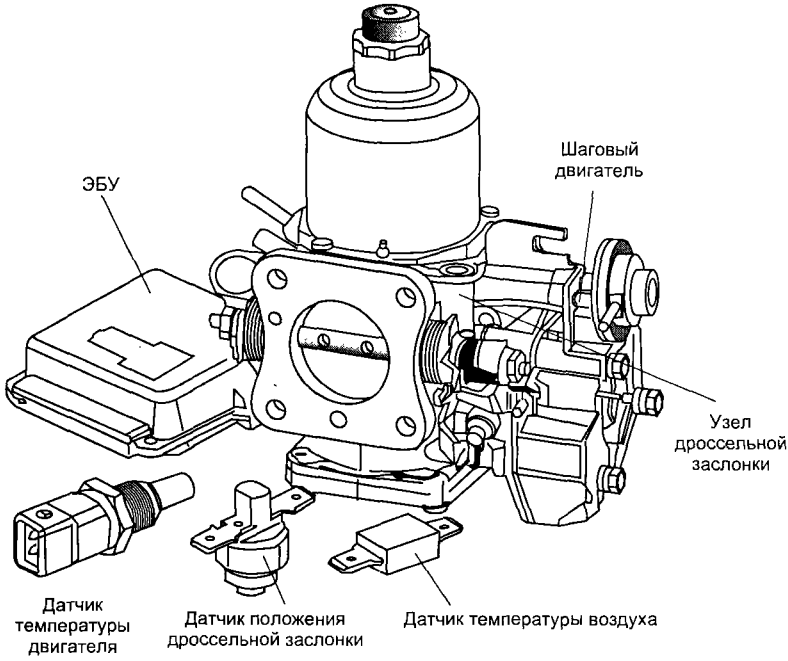


Рис. 3.3. Основные компоненты карбюратора с электронным управлением

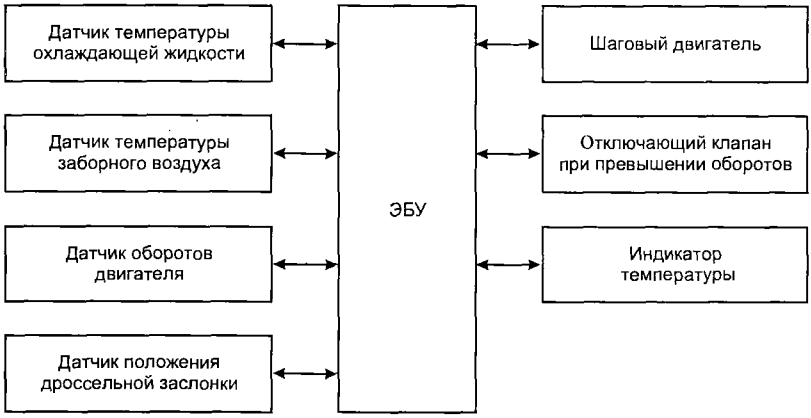


Рис. 3.4. Блок-схема системы управления электронным карбюратором

- отключение подачи топлива при больших оборотах двигателя. Для отключения подачи топлива используется запирающий электроклапан, который срабатывает, когда температура двигателя выше установленного предела или обороты двигателя выше допустимого значения при отпущенной педали акселератора (случай — торможение двигателем).

Изменение состава (качества) ТВ-смеси осуществляется в любом карбюраторе механическими средствами и плохо поддается электронному управлению.

На рис. 3.3 показаны основные компоненты карбюратора с электронным управлением, используемые на некоторых ранних моделях автомобилей фирмы Rover [10]. На рис. 3.4 показана блок-схема системы управления карбюратором. Как обычно, в систему управления входят набор необходимых датчиков, устройство обработки информации, исполнительные механизмы.

В такой системе обороты двигателя определяются по частоте импульсного сигнала, поступающего с отрицательного зажима первичной обмотки катушки зажигания, как и во многих других системах.

Датчик температуры охлаждающей жидкости (термистор) размещен в рубашке водяного охлаждения двигателя, этот же датчик используется в системе управления зажиганием.

Температура окружающего воздуха определяется термистором, расположенным под передним бампером или за фарой. В более поздних системах температура всасываемого воздуха измеряется датчиком, установленным во впускном коллекторе.

Датчик закрытого положения дроссельной заслонки помещен под педалью акселератора и срабатывает, когда педаль отпущена, т. е. дроссельная заслонка закрыта.

Основным исполнительным механизмом в электронном карбюраторе является шаговый электродвигатель. Шаговый двигатель изменяет положение дроссельной заслонки в соответствии с командами, которые формируются в ЭБУ с учетом режима работы двигателя, температуры охлаждающей жидкости и всасываемого воздуха.

Когда обороты двигателя превышают допустимое значение, ЭБУ с помощью электроклапана уравнивает давление в поплавковой и смесительной камерах и подача топлива прекращается.

ЭБУ выдает также сигнал на указатель температуры двигателя, который установлен на щитке приборов для водителя.

Электронное управление карбюратором оказалось неэффективным по сравнению с системами впрыска топлива, которые нашли широкое применение на современных автомобилях.

3.4.3. Системы с центральным впрыском топлива

В этих системах используются одна или две форсунки, устанавливаемые во впускном трубопроводе перед дроссельной заслонкой (рис. 3.5). Электробензонасос постоянно прокачивает топливо через форсунку **2**. Регулятор давления топлива **1** поддерживает давление топлива постоянным на уровне 0,71 бар. Топливо подается через ввод **7** и сливается обратно в бак по возвратной линии **3**. По команде ЭБУ форсунка включается обычно один раз за два оборота коленчатого вала. Сопло сконструировано так, чтобы распыляемое топливо проходило между стенками трубопровода и краями дроссельной заслонки. На холостом ходу ТВ-смесь подается во впускной коллектор через байпасный канал **5**, сечение которого регулируется шаговым двигателем **4**.

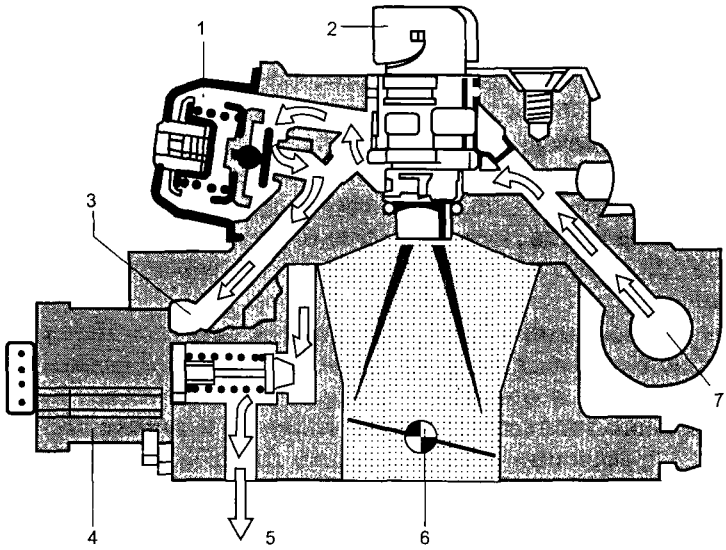


Рис. 3.5. Форсунка центрального впрыска

3.4.4. Системы с распределенным впрыском топлива

Топливо подается вблизи впускных клапанов каждого цилиндра с помощью механических или электромеханических форсунок. Преимущества распределенного впрыска по сравнению с центральным:

- экономия топлива за счет его более равномерного распределения по цилиндрам. В системах с центральным впрыском подача топлива регулируется под цилиндр, получающий наиболее бедную смесь, в результате суммарное потребление топлива возрастает;
- в системах с распределенным впрыском есть возможность оптимизировать конструкцию впускного коллектора под подачу максимального количества воздуха, в результате с двигателя снимается большая мощность;
- за счет подачи топлива непосредственно в зону впускных клапанов уменьшается транспортное запаздывание, двигатель быстрее реагирует на изменение положения дроссельной заслонки;
- за счет сокращения транспортного запаздывания в системе стабилизации стехиометрического состава топливовоздушной смеси по сигналу с датчика кислорода повышена частота переключений «бедная смесь — богатая смесь». Это улучшает работу каталитического нейтрализатора, уменьшается содержание токсичных веществ в выхлопных газах.

В системах распределенного постоянного впрыска, например K-Jetronic фирмы BOSCH, количество подводимого воздуха непрерывно измеряется расходомером, а масса впрыскиваемого топлива пропорциональна объему поступающего воздуха [11]. Система поддерживает стехиометрическое соотношение 1:14,7 в ТВ-смеси, кроме переходных режимов и работы двигателя с полной нагрузкой. Топливо впрыскивается постоянно, его количество регулируется дозатором-распределителем, управляемым расходомером воздуха и регулятором управляющего давления. В свою очередь воздействие регулятора управляющего давления опреде-

ляется величиной подводимого к нему разрежения во впускном коллекторе и температурой охлаждающей жидкости. В этой чисто механической системе используются датчики температуры на основе биметаллических пластин. Датчики управляют работой дозатора-распределителя через систему диафрагм и патрубков.

В системах распределенного постоянного впрыска с электронным управлением, например в KE-Jetronic, используется больше датчиков, информация с которых обрабатывается в микропроцессорном ЭБУ. Управляющее давление в дозаторе-распределителе меняется электрогидравлическим регулятором по командам ЭБУ. За счет электронного управления лучше оптимизировано дозирование топлива.

Наиболее совершенными на сегодняшний день являются системы прерывистого распределенного впрыска топлива. В них давление подводимого к форсункам топлива поддерживается постоянным по отношению к впускному коллектору. Количество подаваемого топлива регулируется временем включения электромагнитных форсунок, управляемых непосредственно от ЭБУ, чем достигается высокое быстродействие и точность дозирования. Неотъемлемыми частями современных систем подачи топлива с прерывистым впрыском являются:

- датчик массового расхода воздуха (массметр), обычно термоанемометрический;
- система дозирования топлива: электробензонасос, топливный фильтр, рампа форсунок, электромагнитные форсунки, регулятор давления топлива. Бензонасос подает топливо в рампу под давлением 250...350 кПа. Регулятор давления поддерживает постоянный перепад давления между впускной трубой и нагнетающей магистралью рампы, излишки топлива возвращаются в бензобак по линии слива. Соленоиды форсунок управляются силовыми транзисторами ЭБУ. В некоторых системах имеется дополнительная пусковая форсунка, которая устанавливается за дроссельной заслонкой и включается при холодном пуске двигателя;
- датчик кислорода, сигнал которого используется ЭБУ для работы в замкнутом режиме стабилизации стехиометрического состава топливовоздушной смеси.

3.5. Системы электроискрового зажигания

Назначение системы зажигания — воспламенение ТВ-смеси в камере сгорания двигателя в нужный момент времени. Искровой разряд должен обладать энергией, достаточной для воспламенения смеси во всех рабочих режимах, в противном случае происходит пропуск воспламенения, несгоревшее топливо может повредить датчик кислорода и каталитический нейтрализатор, возрастет токсичность выхлопных газов и расход топлива.

Процесс горения рабочей смеси в цилиндре длится около 2 мс и заканчивается образованием сильно разогретого газообразного рабочего тела. Необходимо, чтобы максимум давления разогретых газов в цилиндре имел место непосредственно за верхней мертвой точкой поршня. Двигатель работает на разных оборотах, следовательно, приходится устанавливать угол опережения зажигания в зависимости от оборотов, чтобы пик давления в цилиндрах имел место при требуемом угловом положении коленчатого вала. Величина угла опережения за-

жигания влияет на экономичность двигателя, токсичность выхлопных газов, развиваемую мощность.

Электронная система зажигания содержит следующие основные компоненты: накопитель энергии (чаще всего индуктивный), устройство синхронизации момента зажигания (электронный микроконтроллер), распределитель, свечи зажигания и высоковольтные провода.

В электронных системах зажигания напряжение на свечах превышает 30 кВ. Энергия для осуществления искрового разряда накапливается в магнитном поле катушки зажигания. Ее первичная обмотка периодически подключается под напряжение бортовой сети автомобиля, и, когда ток достигает определенной величины, обмотка отключается, а накопленная энергия трансформируется во вторичную повышающую обмотку катушки зажигания, в цепь которой через высоковольтный распределитель включены электроискровые свечи зажигания. Высоковольтный разряд в искровом промежутке свечи является интенсивным источником тепловой энергии, которая затрачивается на воспламенение ТВ-смеси, сжатой в камере сгорания. Разряд накопителя производится контактным (механический прерыватель) или бесконтактным (транзисторный коммутатор) способом. Чередование искр по свечам синхронизируется с тактами работы двигателя при помощи распределителя. В качестве датчиков углового положения вала механического распределителя используются индукционные датчики или датчики на эффекте Холла. В ранних электронных системах зажигания регулирование угла опережения зажигания по нагрузке и оборотам двигателя осуществлялось с помощью вакуумного и центробежного автоматов зажигания.

В дальнейшем были разработаны системы, в которых синхронизация искрообразования и распределение высоковольтных импульсов производится в распределителе, а коррекция угла опережения зажигания по оборотам и нагрузке двигателя выполняется программно в ЭБУ по сигналам с датчиков разряжения во впускном коллекторе, положения дроссельной заслонки, температуры охлаждающей жидкости.

В современных многоканальных электронных системах зажигания распределитель отсутствует. Синхронизация и генерация искры производится электронными цепями под управлением программы в ЭБУ. Например, в системе зажигания с холостой искрой двухвыводная вторичная обмотка катушки зажигания подключена к свечам двух цилиндров, рабочие процессы в которых сдвинуты по фазе на 360°. Тогда в 4-цилиндровом двигателе можно использовать блок из двух двухвыводных катушек, в 6-цилиндровом — блок из трех таких же катушек, при этом потребность в высоковольтном распределителе отпадает.

Электронная система управления углом опережения зажигания (УОЗ) значительно точнее механической. Для управления УОЗ применяется калибровочная диаграмма (трехмерная характеристика зажигания — ТХЗ), которая хранится в памяти ЭБУ и имеет вид, показанный далее на рис. 4.1, *а*. Коррекция значений угла опережения зажигания реализуется автоматически при изменении оборотов и нагрузки двигателя.

На дорогих автомобилях используются наиболее совершенные многоканальные системы зажигания с отдельными катушками для каждого цилиндра.

Имеются системы зажигания с накоплением энергии в электрическом поле конденсатора, который затем разряжается через повышающий трансформатор на искровой промежуток свечи зажигания. Применяются на высокооборотных ДВС.

3.6. Комплексные системы управления двигателем

Тенденции развития бортовой автомобильной электроники таковы, что специализированные по исполняемым функциям системы управления поршневым бензиновым двигателем, такие как система зажигания, система впрыска топлива, система пуска холодного двигателя, система стабилизации холостых оборотов, система рециркуляции и нейтрализации выхлопных газов и прочие, в настоящее время как отдельные самостоятельные системы разрабатываются ограниченно. Их функции интегрируются в единую комплексную электронную систему автоматического управления двигателем (ЭСАУ-Д). В качестве примера комплексной ЭСАУ-Д на рис. 3.6 показана схема современной системы управления двигателем с прерывистым и распределенным по цилиндрам впрыском топлива (Motronic M5, Bosch).

Следует указать на то, что и комплексные ЭСАУ-Д в свою очередь теперь тоже не являются новациями, а входят составной частью в более общую бортовую систему управления, реализованную с применением новейших компьютерных технологий и включающую в свой состав наравне с прежними совершенно нетрадиционные для автомобиля бортовые подсистемы. Уже разработаны и эксклюзивно

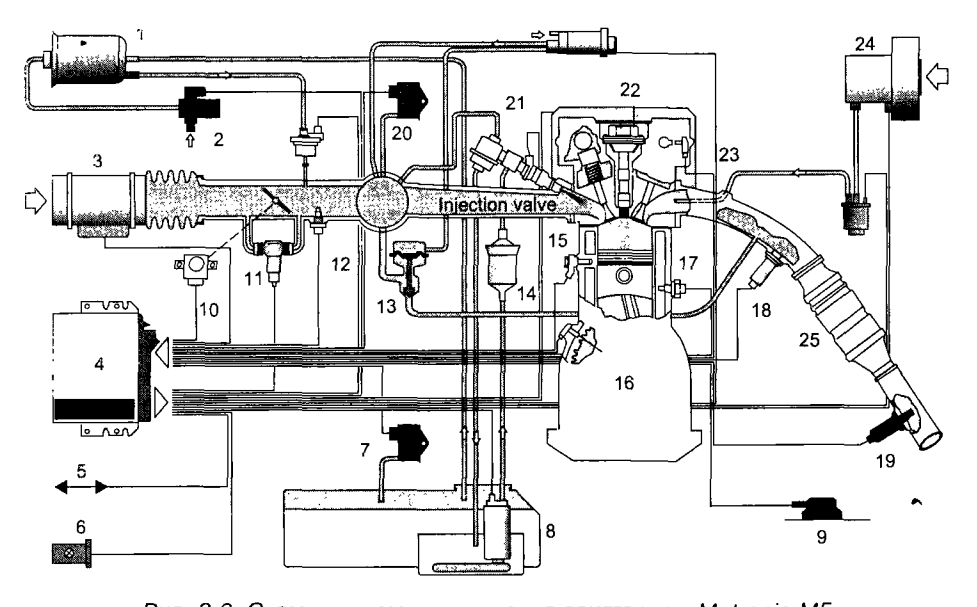


Рис. 3.6. Схема системы управления двигателем Motronic M5

1 — адсорбер, 2 — клапан продувки адсорбера, 3 — датчик массового расхода воздуха, 4 — ЭБУ, 5 — диагностический интерфейс, 6 — лампа MIL (Check Engine), 7 — датчик дифференциального давления паров топлива в баке, 8 — электробензонасос, 9 — акселерометр на корпусе автомобиля, 10 — датчик положения дроссельной заслонки, 11 — регулятор оборотов холостого хода, 12 — датчик температуры воздуха во впускной трубе, 13 — клапан рециркуляции выхлопных газов, 14 — топливный фильтр, 15 — датчик детонации, 16 — датчик положения коленчатого вала, 17 — датчик температуры охлаждающей жидкости, 18 — датчик кислорода на входе каталитического нейтрализатора, 19 — датчик кислорода на выходе каталитического нейтрализатора, 20 — датчик разрежения, 21 — регулятор давления топлива и форсунка, 22 — индивидуальная катушка зажигания, 23 — датчик фаз, 24 — насос подачи воздуха в каталитический нейтрализатор, 25 — каталитический нейтрализатор

поступают к потребителю концептуальные автомобили, все узлы, агрегаты и системы которых, а также сам процесс движения автомобиля находятся под контролем, регулированием и управлением единого бортового компьютера.

3.7. Диагностические функции системы управления двигателем

Любая современная микропроцессорная система управления обладает некоторыми диагностическими возможностями. Эти возможности реализуются контроллером в соответствии с программой, заложенной в постоянной памяти, во время, когда микропроцессор не полностью загружен выполнением основных управляющих алгоритмов, т. е. в фоновом режиме.

Во время обычной эксплуатации автомобиля контроллер периодически тестирует его электрические и электронные компоненты. При обнаружении неисправности контроллер переходит в аварийный режим работы, подставляя в алгоритмы подходящее значение параметра вместо того, которое дает неисправный блок. Например, если контроллер обнаружит неисправность в цепи датчика температуры охлаждающей жидкости, программа установит значение температуры для штатной работы двигателя (обычно 80 °С) и будет использовать это значение при реализации управляющих алгоритмов, чтобы автомобиль оставался на ходу. Замещающее значение будет храниться в памяти ЭБУ.

Водитель информируется о неисправности с помощью контрольной лампы CHECK ENGINE (или светодиода), расположенной на панели приборов. Микропроцессор заносит специфический код неисправности в КАМ память ЭБУ. КАМ (Keep Alive Memory) — память контроллера, способная сохранять информацию при отключении питания ЭБУ. Это обеспечивается или подключением микросхем памяти отдельным кабелем к аккумуляторной батарее, или применением малогабаритных перезаряжаемых аккумуляторов, размещенных на печатной плате ЭБУ.

3.7.1. Основные сведения о стандарте OBD-II

Программное обеспечение современных автомобильных бортовых диагностических систем соответствует стандарту OBD-II [4].

Разработка требований и рекомендаций OBD-II велась под эгидой EPA (Environmental Protection Agency — Агентство по охране окружающей среды при правительстве США), при участии CARB (California Air Resources Board — отдел по охране окружающей среды при правительстве штата Калифорния) и SAE (Society of Automotive Engineers — Международное общество автомобильных инженеров). OBD-II предусматривает более точное управление двигателем, трансмиссией, каталитическим нейтрализатором и т. д. Доступ к системной информации ЭБУ можно осуществлять неспециализированными сканерами. С 1996 года все продаваемые в США автомобили соответствуют требованиям OBD-II. В Европе аналогичные документы принимаются традиционно с запаздыванием по отношению к США, тем не менее аналогичные правила вступили в силу с 1 января 2000 года (EOBD — European On Board Diagnostic).

Предприятия автосервиса выигрывают от применения стандарта OBD-II, т. к. процесс диагностики электронных систем автомобиля стандартизируется и можно один и тот же сканер без специальных адаптеров использовать для тестирования

автомобилей всех марок (продаваемых в США начиная с 1996 года). Выполнение стандарта OBD-II обеспечивает:

- стандартный диагностический разъем;
- стандартное размещение диагностического разъема;
- стандартный протокол обмена данными между сканером и автомобилем;
- стандартный список кодов неисправностей;
- сохранение в памяти ЭБУ кадра значений параметров при появлении кода ошибки («замороженный» кадр);
- мониторинг бортовыми диагностическими средствами компонентов, отказ которых может привести к увеличению токсичных выбросов в окружающую среду;
- доступ неспециализированных сканеров к кодам ошибок, параметрам, «замороженным» кадрам, тестирующим процедурам и т. д.;
- перечень терминов, сокращений, определений, используемых для элементов электронных систем автомобиля.

Обмен информацией между сканером и автомобилем производится согласно международному стандарту ISO1941 и стандарту SAE J1850. Стандарт J1979 устанавливает список кодов ошибок и рекомендуемую практику программных режимов работы для сканера.

В соответствии с требованиями OBD-II бортовая диагностическая система должна обнаруживать ухудшение работы средств доочистки токсичных веществ в выхлопных газах. Например, индикатор неисправности, в терминологии систем OBD-II лампа Malfunction Indicator Lamp — MIL (аналог прежней Check Engine), включается при увеличении содержания CO или CH в выхлопных газах на выходе каталитического нейтрализатора более чем в 1,5 раза по сравнению с допустимыми значениями. Такие же процедуры применяются и к другому оборудованию, неисправность которого может привести к увеличению загрязнения окружающей среды.

3.7.2. Структура программного обеспечения систем OBD-II

Программное обеспечение ЭБУ двигателя современного автомобиля сложное. Диагностика и самотестирование в системах OBD-II осуществляется подпрограммой Diagnostic Executive, часто называемой просто Executive. Executive с помощью специальных программ — мониторов (emission monitor) контролирует до семи различных систем автомобиля, неисправность в работе которых может привести к увеличению загрязнения окружающей среды. Остальные датчики и исполнительные механизмы, не вошедшие в эти семь систем, контролируются восьмым монитором (comprehensive component monitor — CCM). Executive работает в фоновом режиме и осуществляет постоянный контроль оборудования с помощью упомянутых программ — мониторов без вмешательства человека.

Каждый монитор может осуществить тестирование во время поездки, то есть цикла «ключ зажигания включен — двигатель работает — ключ выключен» при выполнении определенных условий. Критерием может быть время после запуска двигателя, обороты двигателя, скорость автомобиля, положение дроссельной заслонки и т. д. Многие тесты выполняются на прогретом двигателе. Производители по-разному устанавливают это условие, например, для автомобилей Ford это означает, что температура двигателя превышает 70 °C (158°F) и в течение поездки она повысилась не менее чем на 20 °C (36°F)

По различным причинам Executive может задержать выполнение теста:

- отмененные тесты — Executive выполняет некоторые вторичные тесты только если прошли первичные, в противном случае тест не выполняется;
- конфликтующие тесты — иногда одни и те же датчики и компоненты должны быть использованы разными тестами. Executive не допускает этого, задерживая один тест до конца выполнения второго;
- задержанные тесты — тесты и мониторы имеют различный приоритет, Executive задержит тест с более низким приоритетом, пока не выполнит тест с более высоким приоритетом.

В табл. 3.1 приведены условия для выполнения или задержки тестов монитора каталитического нейтрализатора OBD-II совместимых автомобилей Chrysler [12].

Executive осуществляет три вида тестов:

- пассивный тест означает просто наблюдение (мониторинг) за значениями параметров системы или цепи;
- активный тест реализуется, когда система не проходит пассивный тест. Предполагается подача тест-сигнала и регистрация реакции системы на него. Тест-сигнал должен оказывать минимальное воздействие на текущую работу исследуемой системы;
- если не прошли активный и пассивный тесты, Executive выполнит тест, во время которого режимы двигателя и подсистем могут меняться.

Результаты выполнения тестов передаются от мониторов Executive. Коды ошибок обнаруженной неисправности записываются в память ЭБУ и зажигается лампа MIL, если неисправность подтверждается в двух подряд поездках.

Монитор ССМ контролирует входные и выходные сигналы компонентов и подсистем вне деятельности первых семи мониторов. В зависимости от вида цепи ССМ может установить обрыв, замыкание или несоответствие сигнала норме. Проводятся также тесты на «рациональность» для входных и «функциональность» для выходных сигналов, проверяющие соответствие их значений режиму. Например, проверка на рациональность выходного сигнала датчика положения дроссельной заслонки в системе управления впрыском с определением массы воздуха по его объемному расходу предполагает сравнение сигналов с датчиков положения дроссельной заслонки и абсолютного давления во впускном коллекторе. При большем открытии дроссельной заслонки разрежение во впускном коллекторе уменьшается, сигнал с датчика абсолютного давления должен это подтверждать. При нормальной работе сигналы этих двух датчиков соответствуют друг другу, что и проверяется монитором ССМ.

В зависимости от типа ЭБУ монитор ССМ может контролировать следующие устройства:

- датчик массового расхода воздуха;
- датчик температуры охлаждающей жидкости;
- датчик температуры воздуха;
- датчик положения дроссельной заслонки;
- датчик положения коленчатого вала;
- датчик положения распределительного вала;
- бензонасос и т. д.

Обычно Executive включает лампу MIL после обнаружения неисправности в двух подряд поездках.

Посредством первых семи мониторов Executive контролирует подсистемы автомобиля, неисправности в которых могут увеличить количество выбрасываемых в

Таблица 3.1

Разрешающие критерии

- Температура охлаждающей жидкости более 75 °C (170 °F)
- Скорость автомобиля превышает 20 миль в час более чем 2 минуты
- Дроссельная заслонка открыта
- Система управления двигателем работает в режиме с обратной связью
- Обороты двигателя в пределах 1248...1952 для автоматической коробки передач и 1248...2400 — для ручной
- Напряжение на выходе датчика абсолютного давления во впускном коллекторе в пределах 1,5...2,6 В

Критерии отмены

- Наличие кодов ошибок из-за пропусков воспламенения
- Наличие кодов ошибок, установленных монитором датчиков кислорода
- Наличие кодов ошибок из-за неисправности датчика кислорода на входе каталитического нейтрализатора
- Наличие кодов ошибок из-за неисправности датчика кислорода на выходе каталитического нейтрализатора
- Наличие кодов ошибок из-за работы топливной системы на переобогащенной смеси
- Наличие кодов ошибок из-за работы топливной системы на переобедненной смеси
- Система управления двигателем работает в аварийном режиме, имеются коды ошибок из-за датчиков абсолютного давления во впускном коллекторе, положения дроссельной заслонки или температуры охлаждающей жидкости
- Наличие кодов ошибок из-за рациональности сигнала датчика кислорода на входе каталитического нейтрализатора
- Наличие кодов ошибок из-за рациональности сигнала датчика кислорода на выходе каталитического нейтрализатора

Конфликты

- Работает монитор системы рециркуляции выхлопных газов
- Работает монитор системы улавливания паров бензина в баке
- Двигатель заведен менее 60 секунд тому назад
- В предыдущей поездке был получен код ошибки из-за пропуска воспламенения
- В предыдущей поездке монитором датчиков кислорода был получен код ошибки
- В предыдущей поездке был получен код ошибки из-за неисправности нагревателя входного датчика кислорода
- В предыдущей поездке был получен код ошибки из-за неисправности нагревателя выходного датчика кислорода
- В предыдущей поездке был получен код ошибки из-за работы топливной системы с переобедненной смесью
- В предыдущей поездке был получен код ошибки из-за работы топливной системы с переобогащенной смесью

Условие задержки

- Данные, полученные монитором, не записываются до окончания действия монитора датчиков кислорода

окружающую среду токсичных веществ. Эти мониторы способны обнаруживать ухудшение характеристик обслуживаемых подсистем, приводящее к превышению норм на токсичность в 1,5 раза. Мониторы обслуживают:

- каталитический нейтрализатор;
- датчики кислорода;
- пропуски воспламенения;
- топливную систему;
- систему улавливания паров топлива в баке;
- систему рециркуляции выхлопных газов;
- систему подачи воздуха в выпускной коллектор.

3.7.3. Монитор каталитического нейтрализатора

Современные газоанализаторы — это достаточно сложные, громоздкие и дорогостоящие устройства и поэтому на автомобилях не устанавливаются. Для контроля исправности каталитического нейтрализатора на его выходе установлен второй датчик кислорода (см. рис. 2.16). Система управления подачей топлива в двигатель является релейным стабилизатором стехиометрического состава ТВ-смеси, который колеблется около стехиометрического значения с частотой 4...10 Гц, что отслеживается сигналом с входного по отношению к каталитическому нейтрализатору датчика кислорода. Этот сигнал колеблется между уровнями 0,1...0,9 В на частоте 4...10 Гц в соответствии с изменениями концентрации кислорода в выхлопном газе. В исправном нейтрализаторе кислород участвует в химических реакциях, его концентрация в выхлопном газе уменьшается, поэтому в выходном сигнале датчика кислорода на выходе нейтрализатора практически нет колебаний (см. рис. 2.17, поз. 2). Чем более неисправен (отравлен) нейтрализатор, тем более похожи сигналы входного и выходного датчиков. В зависимости от системы монитор каталитического нейтрализатора или просто подсчитывает и сравнивает частоты колебаний этих сигналов, или производит статистическую обработку. Монитор через Executive запишет код ошибки при обнаружении неисправности в трех подряд поездках.

3.7.4. Монитор датчиков кислорода

Монитор проводит различные тесты в зависимости от того, где расположен датчик — на входе или на выходе каталитического нейтрализатора. Для обоих датчиков проверяется исправность цепей нагревателей. Для датчика кислорода на входе нейтрализатора проверяются напряжения по высокому и низкому уровням сигнала и частота переключений. Частота определяется по числу пересечений сигналом с датчика среднего уровня 450 мВ за определенное время; измеренное значение сравнивается с полученным в предыдущем тесте. Кроме того, монитор определяет длительность фронтов сигнала, т. е. переходов «обедненная смесь — обогащенная смесь» и «обогащенная смесь — обедненная смесь». Обычно фронт «обедненная смесь — обогащенная смесь» короче. Монитор определяет также среднее время реакции датчика кислорода на входе нейтрализатора.

Для датчика кислорода на выходе нейтрализатора, сигнал которого почти не флуктуирует, монитор проводит два теста. Для обогащенной смеси монитор следит за тем, чтобы сигнал с выходного датчика кислорода имел фиксированное низкое значение, а при обедненной смеси — фиксированное высокое значение.

Для обоих датчиков кислорода монитор включит лампу MIL и запишет код ошибки при обнаружении неисправности в двух подряд поездках.

3.7.5. Монитор пропусков в системе зажигания

Причиной пропусков могут быть недостаточная компрессия, несоответствующее количество подаваемого в цилиндры топлива, слабая искра и т. д. Пропуски приводят к увеличению количества углеводорода (CH) в выхлопных газах на входе каталитического нейтрализатора, что ускоряет его деградацию и увеличивает содержание токсичных веществ в выхлопе.

При пропуске воспламенения давление в цилиндре во время рабочего хода ниже нормы движение поршня и коленчатого вала замедляется. Именно по этим признакам монитор определяет наличие пропуска. Информация поступает от датчика положения коленчатого вала. Равномерное следование импульсов с выхода датчика положения коленчатого вала (рис. 3.7) нарушается при пропуске, несколько импульсов подряд будут иметь увеличенную длительность. Сравнение выходных сигналов от датчиков положения распределительного и коленчатого валов позволяет идентифицировать цилиндр с пропуском.

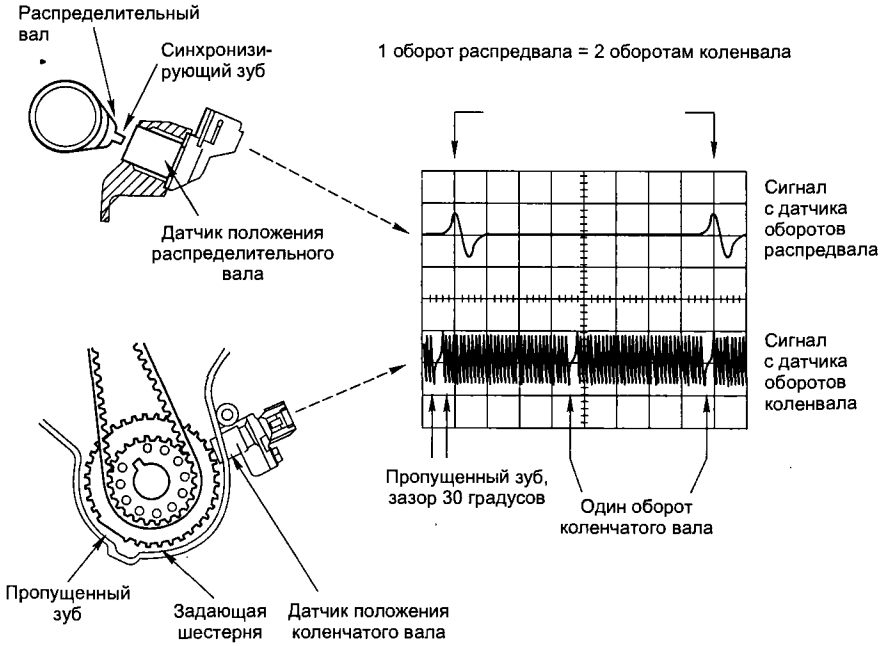


Рис. 3.7. Схема определения пропусков в системе зажигания

Монитор учитывает возможность вибраций на плохих дорогах. Для повышения помехозащищенности организованы программные счетчики пропусков воспламенения для каждого цилиндра в отдельности. В этих счетчиках хранится число пропусков за последние 200 и 1000 оборотов распределительного вала. Каждый раз, когда монитор фиксирует пропуск, Executive опрашивает счетчики, определяя, не отличается ли содержимое проверяемого счетчика от других. Монитор не допускает переполнения счетчиков.

Монитор различает неисправности, когда пропуски воспламенения могут вывести из строя каталитический нейтрализатор и когда нормы на токсичность превышены более чем в 1,5 раза. Executive немедленно запишет в память ЭБУ код ошибки и лампа MIL будет при этом мигать, если в более 15% случаев за время

последних 200 оборотов были зафиксированы пропуски. В терминах OBD-II — это неисправность и код ошибки типа А.

Неисправность типа В и код ошибки устанавливаются, если в двух подряд поездках монитор зафиксировал более 2% пропусков на 1000 оборотов. В этом случае Executive включает лампу MIL постоянно и записывает соответствующие коды ошибок в память ЭБУ.

3.7.6. Монитор топливной системы

ЭБУ в режиме работы с обратной связью осуществляет стабилизацию стехиометрического состава топливной смеси. Это релейная стабилизация, т. е. состав смеси постоянно колеблется между уровнем «богатая смесь — бедная смесь», но в среднем состав поддерживается стехиометрическим. Частота колебаний около 10 Гц.

При релейной стабилизации стехиометрического состава ТВ-смеси ЭБУ постоянно меняет этот состав в пределах ±20%. Это нормально, такие переключения состава ТВ-смеси требуются и для устойчивой работы каталитического нейтрализатора. Колебания состава ТВ-смеси отображаются мгновенными значениями коэффициента коррекции топливоподачи. Эти значения колеблются относительно среднего в интервале ±20% при нормальной работе. При отключении зажигания мгновенные значения коэффициентов коррекции подачи топлива не сохраняются.

За время длительной эксплуатации в двигателе автомобиля накапливаются различные изменения параметров и характеристик, которые компьютер компенсирует, изменяя средние значения коэффициентов топливокоррекции, которые хранятся в памяти ЭБУ. Коэффициент коррекции топливоподачи +21% означает, что ЭБУ подает в двигатель в среднем на 21% больше топлива для поддержания стехиометрического состава смеси, чем требуется по расчету для того же режима (или определено экспериментально для заведомо исправного двигателя). В данном случае причиной может быть, например, утечка разрежения, что приводит к появлению дополнительного воздуха, для компенсации которого ЭБУ вводит больше топлива в цилиндры (на 21% больше).

Таким образом, текущее значение коэффициента топливокоррекции равно сумме среднего и мгновенного значений.

Информация о средних значениях коэффициента топливокоррекции нужна при диагностике, естественно, она входит в число параметров, получаемых от ЭБУ сканером. На устаревших автомобилях значения коэффициентов топливокоррекции нормировались в пределах 0...255 отсчетов или 0...100%. Для контрол-

Рис. 3.8. Шкала коэффициентов топливокоррекции

лера MP7.0H автомобиля ВАЗ средние значения коэффициентов коррекции подачи топлива могут быть в диапазоне ±0,45 [11]. Для систем OBD-II значения нормированы в пределах ±100 (рис. 3.8). Значения из середины диапазона, т. е. 128 отсчетов или 50% (0% для OBD-II) соответствуют оптимальному режиму работы исправного двигателя, где никакой коррекции базовых значений калибровочной диаграммы в осях «обороты — нагрузка двигателя» не производилось.

Монитор топливной системы отслеживает средние и мгновенные значения коэффициентов коррекции топливоподачи. В случае, когда ЭБУ посредством коррекции подачи топлива уже не может компенсировать накапливающиеся неисправности, загорается лампа MIL и заносятся в память соответствующие коды ошибок.

3.7.7. Монитор системы улавливания паров бензина

Монитор контролирует объем паров топлива, поступающий из адсорбера во впускной коллектор, и утечки из этой системы.

Пары топлива поступают из бака (рис. 3.9) в адсорбер с активированным углем объемом около 1 л, где накапливаются и при определенном условии, например при равномерном увеличении скорости движения автомобиля, ЭБУ открывает электромагнитный клапан продувки адсорбера, пары топлива засасываются с воздухом во впускной коллектор и сжигаются в цилиндрах двигателя. Без принятия подобных мер испарение топлива дает до 20% общего количества токсичных веществ, выбрасываемых автомобилем в окружающую среду.

Монитор контролирует объемный расход паров топлива по сигналу датчика давления в бензобаке (рис. 3.9). При этом клапан продувки адсорбера открыт, а

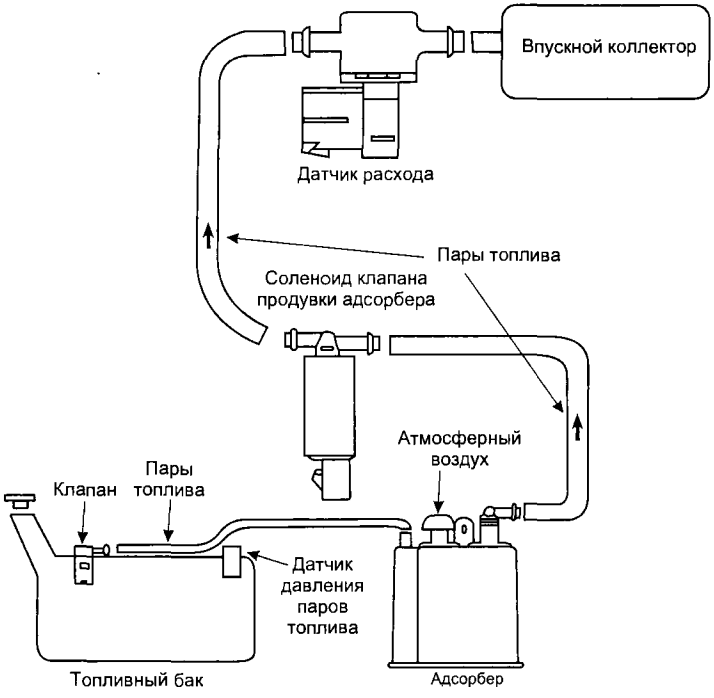


Рис. 3.9. Схема улавливания паров топлива в баке

клапан подвода атмосферного воздуха в адсорбер закрыт. При закрытом клапане продувки адсорбера по показаниям датчика давления паров топлива в баке определяется интенсивность утечки.

Если в двух подряд поездках будут зафиксированы неисправности, Executive включит лампу MIL и запишет коды ошибок.

3.7.8. Монитор системы рециркуляции выхлопных газов

Система рециркуляции выхлопных газов (exhaust gas recirculation — EGR) предназначена для уменьшения содержания окислов азота (NO_x) в выхлопных газах. В присутствии солнечного света NO_x вступают в реакцию с углеводородом, образуя канцерогенный фотохимический смог.

Впервые система EGR была применена на автомобилях Chrysler в 1972 году. Окислы азота возникают при температуре в камере сгорания выше 1370 °C (2500 °F). При некоторых режимах работы двигателя, когда не производится отбор полной мощности, например, при равномерном движении по шоссе, допустимо снизить температуру сгорания рабочей смеси, т. е. пойти на уменьшение мощности. Это достигается введением небольшого количества (6...10%) выхлопных газов из выпускного во впускной коллектор. Выхлопные газы практически не содержат кислорода и поэтому разбавляют ТВ-смесь, не изменяя коэффициент β (соотношения воздух/топливо), но заметно понижают температуру горения.

С 80-х годов EGR стала частью электронной системы управления двигателем.

Монитор EGR контролирует эффективность работы системы рециркуляции выхлопных газов. Во время теста открывается и закрывается клапан EGR и наблюдаются реакции контрольного датчика. Выходной сигнал контрольного датчика сравнивается со значениями из калибровочной таблицы, определяется эффективность системы EGR, при неудовлетворительных результатах монитор запишет в память ЭБУ соответствующие коды ошибок. В качестве контрольного датчика могут быть использованы различные устройства.

На автомобилях Chrysler [12] контролируется изменение выходного напряжения датчика кислорода. При закрывании клапана EGR содержание кислорода в выхлопных газах повышается и, как следствие, напряжение на выходе датчика кислорода уменьшается. Монитор запишет код ошибки, если это напряжение уменьшилось недостаточно.

Ford использует по крайней мере два типа контрольных датчиков в зависимости от модели. В одном варианте применяется терморезистор с отрицательным коэффициентом сопротивления, установленный на входном патрубке EGR. Монитор контролирует температуру выхлопных газов при открытом и закрытом клапане. Для исправной системы напряжение на терморезисторе уменьшится, когда клапан открывается. Если изменение напряжения не соответствует заложенному в таблицу значению, монитор запишет в память ЭБУ код ошибки. В другом варианте в трубе между EGR и впускным коллектором делается вставка с калиброванным отверстием и измеряется дифференциальное давление по обе его стороны. Когда клапан EGR открывается, это давление убывает, что фиксируется монитором посредством датчика дифференциального давления. Когда клапан EGR закрыт, давление по обе стороны вставки должно быть одинаковым.

На автомобилях General Motors в качестве контрольного используется датчик абсолютного давления во впускном трубопроводе, где давление изменяется при открывании клапана EGR.

3.7.9. Монитор инжекции вторичного воздуха (AIR-monitor) в каталитический нейтрализатор

Каталитические нейтрализаторы со вторичной инжекцией воздуха для ускорения их разогрева при пуске двигателя используются не на всех автомобилях, соответственно в программном обеспечении не всех ЭБУ имеются такие мониторы.

Монитор контролирует во время теста исправность клапана и байпасного канала, количество проходящего в нейтрализатор воздуха. Для идентификации проходящего через клапан воздуха большинство производителей используют датчик кислорода на входе нейтрализатора. Разумеется, Executive задерживает выполнение теста монитора AIR, пока не выполнится тест монитора датчиков кислорода. Как и для всех остальных мониторов, Executive включает лампу MIL и записывает коды ошибок в память ЭБУ при обнаружении неисправности в двух поездках подряд.

Глава 4. Функциональные преобразователи в автомобильных системах управления

4.1. Функциональный преобразователь

Функциональный преобразователь это устройство или программа, реализующие зависимость $y = f(x_1, x_2, \ldots x_n)$. Здесь y — выходная величина, x_i — входные величины, $f(\ldots)$ — реализуемая зависимость.

Например, угол опережения зажигания (УОЗ) определяется как функция оборотов двигателя и нагрузки: УОЗ = f(обороты, нагрузка). Функциональное преобразование выполняется механическим устройством (центробежно-вакуумным регулятором) или подпрограммой в современном электронном блоке управления (ЭБУ) двигателя.

Автомобильные системы управления сложные устройства, в которых учитываются значения многих параметров. Многопараметровые математические модели для большинства автомобильных систем управления не разрабатываются. В этих условиях зависимости, имеющиеся между входными и выходными параметрами, реализуемые в автомобильных системах управления, синтезируются на основе инженерного опыта, экспериментальных исследований, полезная информация представляется в виде многомерных калибровочных диаграмм.

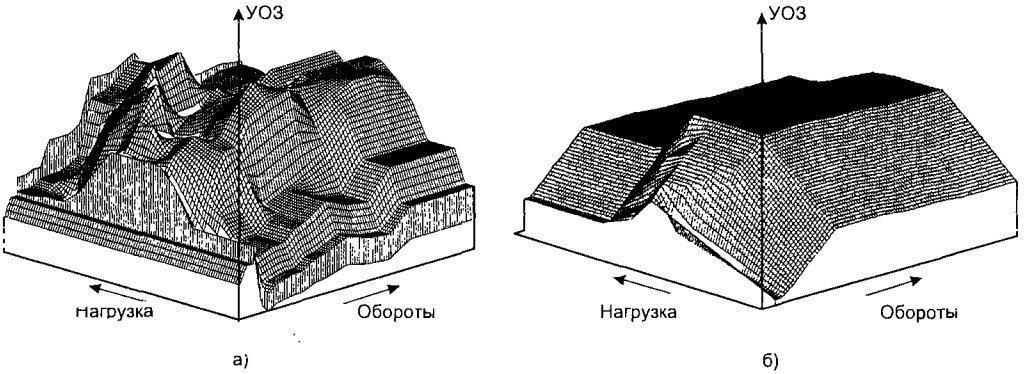


Рис. 4.1. Трехмерные характеристики зажигания:
а — хранящаяся в памяти ЭСАУ; б — реализованная центробежным и вакуумным регуляторами

На рис. 4.1, *а* показана трехмерная калибровочная диаграмма, реализуемая в ЭБУ автомобильного двигателя при определении УОЗ [11].

На рис. 4.1, *б* показана аналогичная зависимость, но дающая меньше информации, реализуемая центробежно-вакуумным автоматом. Такие калибровочные диаграммы называются трехмерными характеристиками зажигания (ТХЗ).

Для управления подачей топлива в ЭБУ современного автомобильного двигателя используется около 50 различных трехмерных калибровочных диаграмм [16]. Помимо ТХЗ применяются калибровочная диаграмма для определения значений коэффициента избытка воздуха, диаграммы с корректирующей информацией по напряжению бортовой сети, температуре двигателя, топлива, воздуха и т. д. [11]. Ведутся разработки по созданию трехмерных характеристик для управления фазами газораспределения поршневого двигателя [3].

4.2. Лингвистические преобразователи

Наряду с применением трехмерных калибровочных и корректирующих диаграмм в автомобильных электронных системах автоматического управления (ЭСАУ) находят применение лингвистические функциональные преобразователи, входными и выходными параметрами для которых являются так называемые лингвистические переменные.

Уточним понятие лингвистической переменной: это переменная, текущими значениями которой являются нечеткие подмножества, выраженные в форме слов или предложений на естественном или искусственном языке. В отличие от классической теории множеств, в которой используются понятия принадлежности или непринадлежности элемента к множеству, теория нечетких множеств допускает различную степень принадлежности, определяемую функцией принадлежности элемента, значения которой изменяются в интервале [0,1]. Границы интервала характеризуют соответственно полную принадлежность к нулю или полную принадлежность к единице элемента нечеткого множества.

В качестве примера рассмотрим систему управления оборотами вентилятора отопителя в салоне автомобиля в зависимости от фактической температуры и заданной потребителем на пульте климат-контроля. Представим температуру в салоне автомобиля как лингвистическую переменную T1 (рис. 4.2).

Тогда входными лингвистическими переменными будут фактическая температура в салоне TI и температура US, задаваемая пользователем на панели климат-контроля.

Значения лингвистических переменных представляются словами естественного языка и называются термами. Считается, что для большинства приложений достаточно иметь 3—7 термов на каждую переменную. Лингвистическую переменную TI (температура в салоне) разумно описать термами ICYCOLD (очень холодно), COLD (холодно), COOL (прохладно), COMF (комфортно), WARM (тепло), HOT (жарко). Лингвистическую переменную US (желаемая температура) опишем термами COLD, COOL, COMF, WARM, HOT.

Для реализации лингвистической переменной необходимо определить точные физические значения ее термов. Пусть, например, переменная TI может принимать любое значение в диапазоне 5...40 °С. Согласно положениям теории нечетких множеств каждому значению температуры из диапазона 5...40 °С может быть поставлено в соответствие некоторое число от нуля до единицы, определяющее степень принадлежности данного физического значения температуры (например, 18 °С) к тому или иному терму лингвистической переменной TI. В нашем случае температуре 18 °С можно задать степень принадлежности к терму COLD, равную 0,4, а к терму COOL — 0,6. Конкретное определение степени принадлежности производится экспертами.

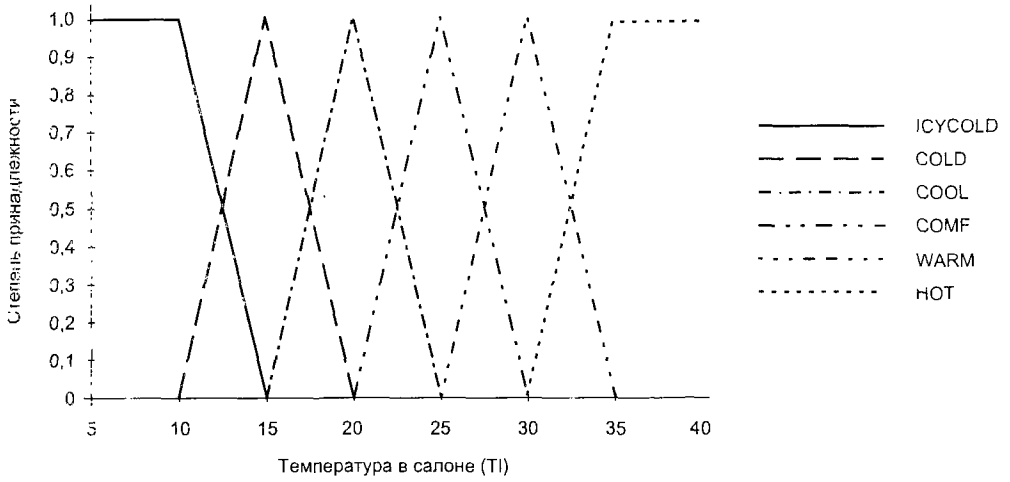


Рис. 4.2. Лингвистическая переменная TI

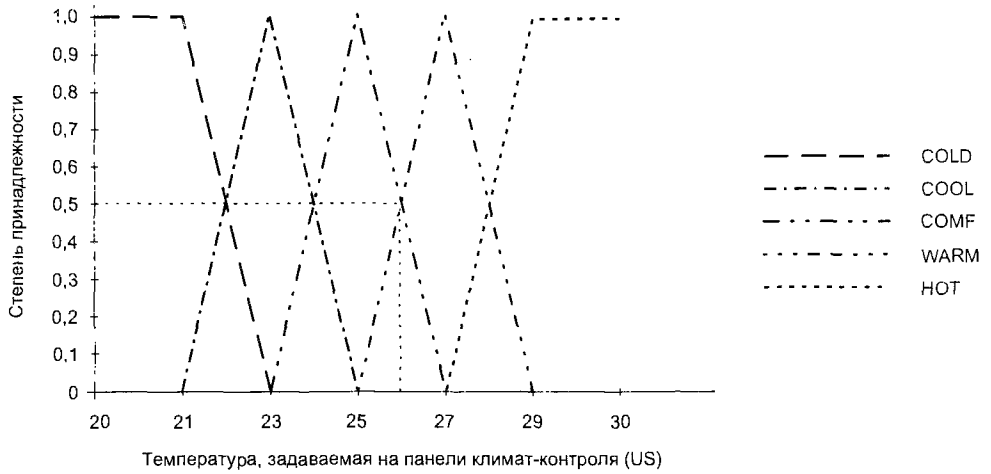


Рис. 4.3. Лингвистическая переменная US

На рис. 4.2 и 4.3 показаны функции (степени) принадлежности для лингвистических переменных TI и US при установке температуры в салоне.

Процедура преобразования значений базовой переменной в нечеткую лингвистическую переменную, характеризующуюся функцией принадлежности, называется фазификацией. Каждому значению лингвистической переменной (холодно, тепло, жарко...) соответствует свой диапазон изменения базовой переменной. Ограничение значения базовой переменной характеризуется функцией принадлежности μ, которая каждому значению базовой переменной ставит в соответствие определенное число из интервала [0—1]. На практике наиболее часто используются треугольные, колоколообразные и трапецеидальные функции принадлежности (рис. 4.4). Отметим, что использование лингвистических переменных

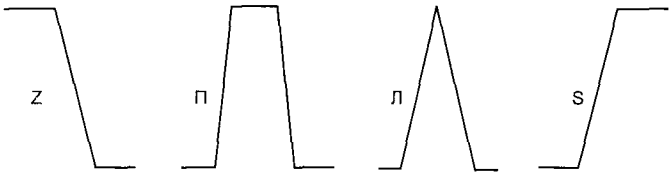


Рис. 4.4. Типовые функции принадлежности: Z-функция, П-функция, Л-функция, S-функция

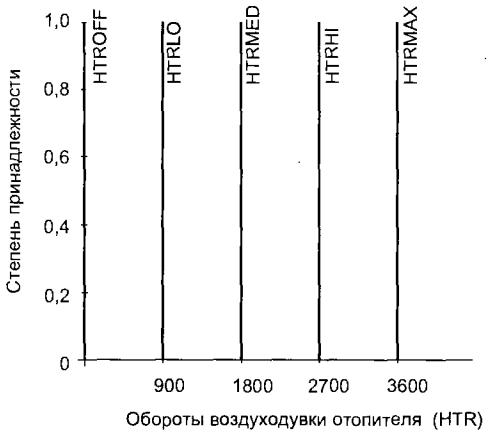


Рис. 4.5. Лингвистическая переменная HTR

означает сжатие данных, т. к. одним значением лингвистической переменной охватывается весь диапазон значений базовой переменной.

Выходная лингвистическая переменная HTR (обороты вентилятора отопителя) реализуется в виде термов HTROFF (отключено), HTRLO (малые обороты), HTRMED (средние), HTRHI (высокие), HTRMAX (максимальные). Для функций принадлежности выходной величины могут быть показаны только максимумы (рис. 4.5).

4.3. Продукционные правила

Для реализации управления задаются (определяются) продукционные правила, связывающие входные и выходные лингвистические переменные. Совокупность таких правил описывает стратегию управления, применяемую в данной задаче. Стратегия должна быть понятной разработчику на интуитивном уровне. Типичное продукционное правило состоит из антецедента (часть IF) и консеквента (часть THEN). Антецедент может содержать более одной посылки. В этом случае они объединяются посредством логических связок OR или AND.

В нашем случае:

IF (TI = ICYCOLD) AND (US = HOT) THEN HTR = HTRMAX

Это одно из продукционных правил, его смысл в том, что если в салоне очень холодно, а уставка переключателя на панели климат-контроля в положении «жар-

ко», вентилятор отопителя должен работать на полную мощность. Продукционные правила — типичные условные операторы в краткой форме (без ELSE). Иногда их удобно задавать таблицей (рис. 4.6). В данном примере использовано 30 продукционных правил.

	ICYCOLD	COLD	COOL	COMF	WARM	HOT
HOT	HTRMAX	HTRMAX	HTRHI	HTRLO	HTRLO	HTROFF
WARM	HTRMAX	HTRHI	HTRMED	HTRLO	HTROFF	HTROFF
COMF	HTRMAX	HTRMED	HTRLO	HTROFF	HTROFF	HTROFF
COOL	HTRHI	HTRLO	HTROFF	HTROFF	HTROFF	HTROFF
COLD	HTRMED	HTROFF	HTROFF	HTROFF	HTROFF	HTROFF

Рис. 4.6. Продукционные правила

Допустим, что температура в салоне 18 °С, а уставка на панели управления климат-контроля 26 °С. Степень принадлежности 18 °С к терму COOL переменной TI составляет 0,6, а к терму COLD — 0,4 (рис. 4.2). Степень принадлежности 26 °С к терму WARM переменной US составляет 0,5, а к терму COMF также 0,5 (рис. 4.3). К другим термам принадлежность нулевая, поэтому, согласно нечеткой логике оказываются задействованными следующие продукционные правила:

IF (TI = COOL) AND (US = WARM) THEN HTR = HTRMED

IF (TI = COOL) AND (US = COMF) THEN HTR = HTRLO

IF (TI = COLD) AND (US = WARM) THEN HTR = HTRHI

IF (TI = COLD) AND (US = COMF) THEN HTR = HTRMED

Теперь необходимо определить степени принадлежности антецедентов правил. Для этого в нечеткой логике существуют два оператора: MIN(...) и MAX(...). Первый вычисляет минимальное значение степени принадлежности, а второй — максимальное значение. Когда применять тот или иной оператор, зависит от того, какой связкой соединены посылки в правиле. Если использована связка AND, применяется оператор MIN(...). Если же посылки объединены связкой OR, необходимо применить оператор MAX(...). Для нашего примера применим оператор MIN(...), так как использована связка AND. Получим следующее:

MIN(0,6, 0,5) = 0,5

MIN(0,6, 0,5) = 0,5

MIN(0,4, 0,5) = 0,4

MIN(0,4, 0,5) = 0,4

Вычисленные значения становятся числовыми значениями степени принадлежности соответствующих консеквентов. Например, из первого продукционного правила следует, что степень принадлежности требуемого числа оборотов вентилятора N к терму HTRMED (1800 оборотов в минуту) лингвистической переменной HTR составляет 0,5. Говорят, получен нечеткий вывод или нечеткое значение

управляющей переменной. Чтобы исполнительное устройство смогло отработать полученную команду, необходим этап управления, на котором избавляются от нечеткости и который называется дефазификацией.

В настоящее время отсутствует систематическая процедура выбора стратегии дефазификации. На практике в системах управления часто используют центроидный метод [18]. В дискретном случае для центроидного метода формула для вычисления четкого значения выходной переменной имеет вид:

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^{n} \mu_C(z_i) z_i}{\sum_{i=1}^{n} \mu_C(z_i)},$$

где z — четкое значение выходной переменной; z_i — значение выходной переменной для i-го терма с единичным значением степени принадлежности; $\mu_C(z_i)$ — степень принадлежности к этому терму, n — число термов.

Для нашего примера в соответствии с рис. 4.5:

$$N = \frac{0{,}5 \cdot 1800 + 0{,}5 \cdot 900 + 0{,}4 \cdot 2700 + 0{,}4 \cdot 1800}{0{,}5 + 0{,}5 + 0{,}4 + 0{,}4} = 1750 \text{ об/мин}.$$

4.4. Применение нечеткой логики управления

Применение нечеткой логики приводит к своеобразному сжатию обрабатываемых данных, не нужно создавать громоздкие многомерные калибровочные таблицы, но объем вычислений возрастает.

Лингвистические функциональные преобразователи с нечеткой логикой широко используются в системах управления для многих автомобильных агрегатов, например, в гидравлических тормозах с системой ABS.

Для эффективного торможения система ABS ограничивает давление тормозной жидкости, предотвращая блокировку колес, удерживая коэффициент скольжения S в оптимальных пределах 0,05...0,2 (рис. 4.7).

Коэффициент скольжения

$$S = \frac{V_a - V_k}{V_a},$$

где V_a — скорость автомобиля, V_k — линейная скорость точки на радиусе колеса.

Системы ABS большинства производителей настроены на компромиссное значение S = 0,1. Но дорожные условия разные и на обледенелой дороге S должно быть равно 0,05, а на сухом асфальте 0,2.

Датчики текущего состояния дорожного покрытия слишком дороги. Переключатель, управляющий системой ABS, для водителя устанавливать бессмысленно. С другой стороны, опытный водитель по реакции автомобиля при нажатии педали тормоза способен идентифицировать состояние покрытия дороги. Это же делает и ЭБУ-ABS по информации от имеющихся датчиков: скорости и ускорения автомобиля, скорости и ускорения колес, давления тормозной жидкости. Информация обрабатывается по алгоритмам нечеткой логики.

Эксперименты показали, что работа системы ABS существенно улучшается уже при введении шести продукционных правил [17].

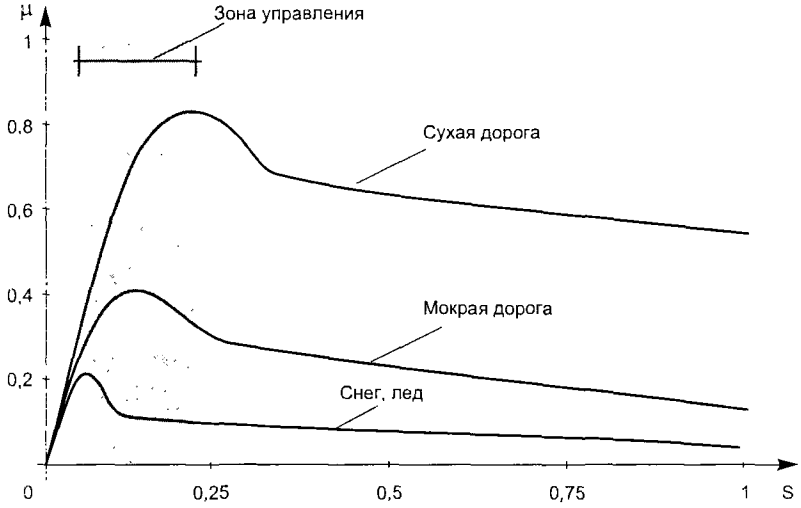


Рис. 4.7. Зависимость силы трения μ от коэффициента скольжения S

Алгоритмы нечеткой логики можно встретить в программном обеспечении электронных систем автомобиля для определения УОЗ, управления подачей топлива, управления дроссельной заслонкой в круиз-контроле, управления автоматической коробкой передач, в зарядных устройствах интеллектуальных аккумуляторов электромобилей.

Автомобиль — сложный объект для управления. Например, система управления динамической стабильностью и курсовой устойчивостью движения на основе нечеткой логики использует 200—600 продукционных правил. Но срабатывание системы значительно ускоряется по сравнению с техническим решением на основе калибровочных диаграмм [17].

Процесс разработки системы управления с нечеткой логикой функционирования включает:

- определение лингвистических переменных, нечетких правил, метода дефазификации;
- отладку и анализ программной модели;
- оптимизацию системы управления на базе персональной ЭВМ с реальным объектом;
- генерацию кода для микроконтроллера реальной системы управления.

Эти этапы обычно выполняются с использованием компьютеризированной системы CAD-fuzzy-TECH (например, версии 5.5).

На первом этапе при помощи программных продуктов, заложенных в fuzzy-TECH, задача формализуется. Здесь необходимо описать используемые лингвистические переменные, их функции принадлежности, описать стратегию управления посредством нечетких правил.

Ниже приводятся окна проекта с описанием лингвистических переменных TI (рис. 4.8), US (рис. 4.9) и HTR (рис. 4.10) для случая с автомобильным отопителем (см. рис. 4.5).

На рис. 4.11 с помощью табличного представления продукционных правил описана стратегия нечеткой логики управления, отвечающая структуре проектируемой системы (рис. 4.12). В некоторых задачах вместо табличной используется матричная форма представления продукционных правил.

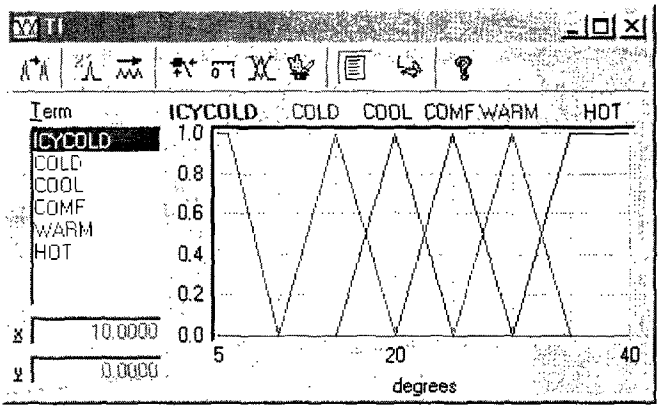


Рис. 4.8. Описание входной лингвистической переменной TI

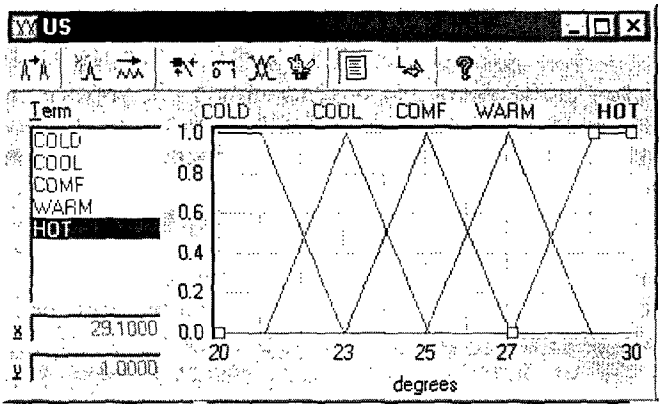


Рис. 4.9. Описание входной лингвистической переменной US

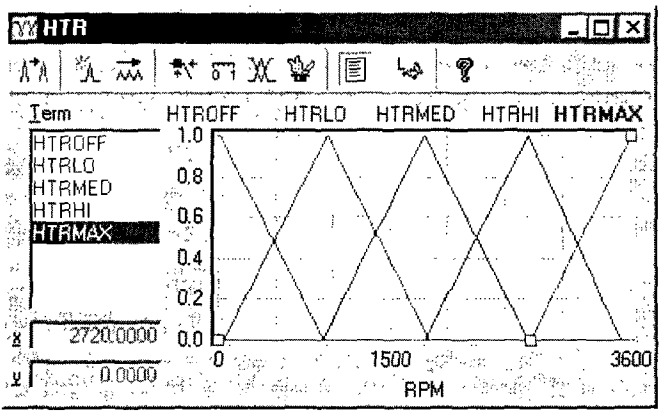


Рис. 4.10. Описание выходной лингвистической переменной HTR

В таблице (рис. 4.11) DoS — это весовой коэффициент соответствующего правила, в данном случае DoS = 1.

Программный пакет fuzzy-TECH позволяет моделировать поведение проектируемой системы. Изменяя значения входных переменных, можно наблюдать соответствующие значения выходных (рис. 4.13).

Spreadsheet Rule Editor - RB1

#	IF TI	US	THEN DoS	HTR
1	ICYCOLD	COLD	1.00	HTRMED
2	ICYCOLD	COOL	1.00	HTRMED
3	ICYCOLD	COMF	1.00	HTRHI
4	ICYCOLD	WARM	1.00	HTRHI
5	ICYCOLD	HOT	1.00	HTRHI
6	COLD	COLD	1.00	HTRMED
7	COLD	COOL	1.00	HTRMED
8	COLD	COMF	1.00	HTRMED
9	COLD	WARM	1.00	HTRHI
10	COLD	HOT	1.00	HTRHI
11	COOL	COLD	1.00	HTRLO
12	COOL	COOL	1.00	HTRMED
13	COOL	COMF	1.00	HTRMED
14	COOL	WARM	1.00	HTRMED
15	COOL	HOT	1.00	HTRHI
16	COMF	COLD	1.00	HTRLO
17	COMF	COOL	1.00	HTRMED
18	COMF	COMF	1.00	HTRMED
19	COMF	WARM	1.00	HTRMED

Рис. 4.11. Табличное задание продукционных правил

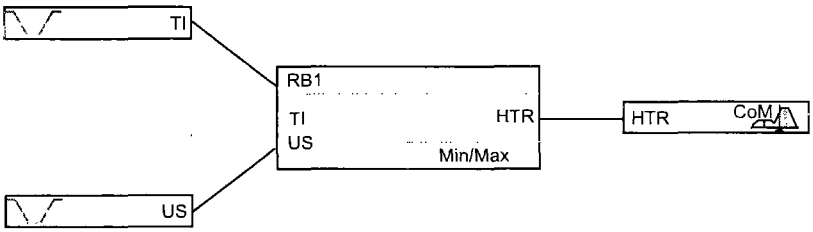


Рис. 4.12. Структура проектируемой системы в окне проекта

Пакет fuzzy-TECH допускает соединение физической линией связи компьютера с разрабатываемой системой управления и реального объекта управления в единый отладочный комплекс. Такой вид отладки позволяет наблюдать поведение системы в реальных условиях и при необходимости вносить изменения в проект.

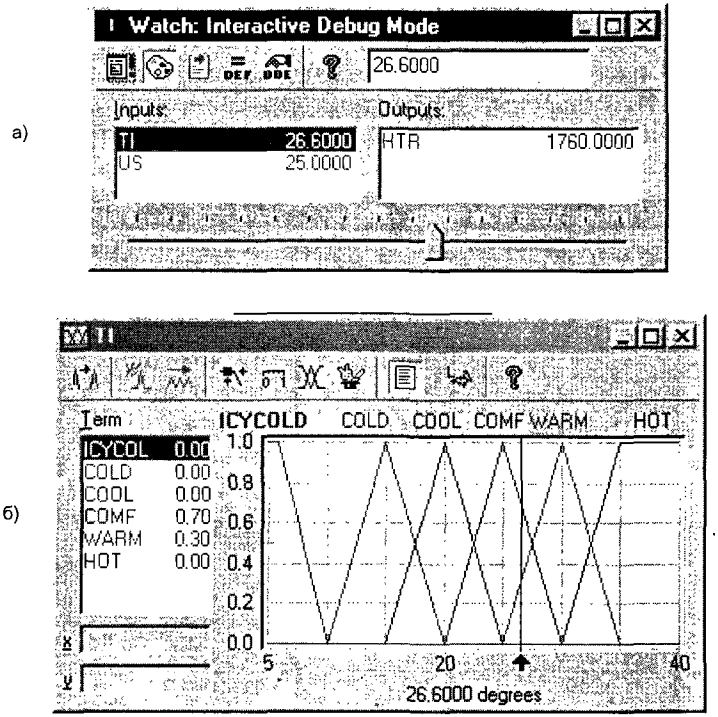


Рис. 4.13. Окно отладки (а) и окно лингвистической переменной TI в режиме отладки (б)

На последнем этапе необходимо получить окончательный вариант программного кода для конкретного микроконтроллера и, если нужно, связать его с основной программой ЭСАУ. Основу программного кода, генерируемого пакетом fuzzy-TECH, составляет программное ядро, аппаратно-ориентированное на конкретный тип процессора. Поставляемое с пакетом fuzzy-TECH MCU-96 программное ядро совместимо с такими типами контроллеров, как 8051..., 80251... и т. д. [5].

Глава 5. Специализированные бортовые системы автомобилей

5.1. Современная информационная система водителя

Автомобильная информационно-диагностическая система является составной частью современного автомобиля и предназначена для сбора, обработки, хранения и отображения информации о режиме движения и техническом состоянии автомобиля, а также окружающих его внешних факторах.

Сегодня система «водитель — автомобиль — дорога — среда» начинает рассматриваться как единое целое. Улучшение движения на перегруженных автомагистралях возможно, если водитель будет иметь оперативную информацию о состоянии дороги, транспортных потоках и о состоянии управляемого автомобиля.

Правительства различных стран финансируют проекты, направленные на увеличение безопасности, эффективности, пропускной способности, уменьшение загрязнения окружающей среды на крупных автомагистралях. Иногда в этой связи говорят о концепции интеллектуальной транспортной системы. В США и Японии такой проект называется ITS (intelligent transportation system — ITS), в Европе — Telematic.

Проекты включают создание инфраструктуры и необходимой бортовой электронной аппаратуры для оптимальной организации движения транспортных средств единым потоком «бампер к бамперу» (platoon), передачи водителям рекомендаций, предупреждений и т. д. Потребуются датчики для определения интенсивности транспортных потоков, компьютеры для обработки больших массивов информации и генерации сообщений, средства связи, автомобильные дисплеи и многое другое.

В некоторых проектах (Telematic) предполагается, что информация, необходимая для функционирования ITS, будет поступать с самих автомобилей, необходимым образом оснащенных телематическими системами.

Что даст реализация программы ITS в будущем, не совсем ясно, но имеющиеся технологии позволяют уже сегодня реализовать современную информационную систему водителя.

На рис. 5.1 приведена блок-схема информационной системы водителя, для конкретного автомобиля реализация может быть иной. В информационную систему входят несколько подсистем, включая навигационную систему, дистанционное управление дверными замками, систему связи «автомобиль — дорога», цифровой аудио- и видеокомплекс, систему передачи срочной информации водителю по радио. На бортовой компьютер поступают также сигналы от компаса, датчика скорости вращения колес, датчика положения руля и других.

Современные информационные системы водителя с их широкими возможностями сейчас все чаще называют телематическими (образовано от слов телекоммуникации и информатика). Телематические системы — это устройства обмена информацией между системами автомобиля, водителем и окружающим миром: бортовой компьютер, навигационная система, средства связи и т. д. Электронные

Рис. 5.1. Блок-схема информационной системы водителя

блоки управления агрегатами автомобиля (двигатель, тормоза с ABS и т. д.) выдают информацию системам телематики по шине данных. Ожидается, что к 2010 году практически все автомобили будут иметь минимальный пакет телематики.

Система дистанционного управления дверными замками автомобиля широко используется уже сегодня. Портативный передатчик, инфракрасный или радио, умещающийся в руке («брелок»), посылает цифровой код приемному устройству на автомобиле. Если код правильный, срабатывает исполнительный механизм и замок открывается. Если система опознает две кодовые посылки как ложные, дистанционное управление замками блокируется, их можно открыть теперь только ключом, при этом блокировка сбрасывается. Такое решение исключает подбор кодов каким-либо электронным устройством с целью угона.

Система связи «автомобиль — дорога» обеспечивает передачу сообщений от дорожных информационных служб автомобилю по радио. Система представляет собой инфраструктуру из приемопередатчиков небольшой мощности на дорогах и средств для генерации сообщений. Локальный приемопередатчик имеет ограниченный набор фиксированных сообщений. Различные сообщения может генерировать стационарный компьютер и передавать их локальным точкам (например, о пробках на данном маршруте). Приемопередатчики информационной системы могут также автоматически получать от проходящих мимо автомобилей сведения с помощью установленных на них транспондеров.

Транспондер — это специальный автоматический приемопередатчик, устанавливаемый на подвижных объектах. В ответ на кодовую посылку транспондер передаст требуемую информацию об объекте, на котором он установлен. В авиации транспондеры используются для автоматической передачи параметров движения самолета наземным службам.

В автомобилях транспондеры используются для дистанционного взимания платы за проезд по шоссе, получения информации о загрузке проходящих грузовиков

и т. п. Имеется возможность дистанционно получать и передавать информацию от бортовой диагностической системы сервисным предприятиям. В случае обнаружения отклонений, водитель предупреждается соответствующим текстом на дисплее или прочтением этого текста компьютером.

Цифровой аудио-видео комплекс — CD-проигрыватель, радиоприемник — имеет в основном развлекательное назначение.

Система передачи сообщений по радио использует дополнительный канал в УКВ-диапазоне, что требует специального приемника. По радиоканалу передается различная предупредительная информация (оползни, гололед). Имеется возможность передачи корректирующей информации для данной местности к сигналам от спутниковой глобальной позиционирующей системы. Это позволяет увеличить точность определения координат автомобиля с ±100 метров до ±5 метров.

Технологии для организации такой информационной системы существуют уже сегодня. Требуется создание необходимой и экономически оправданной инфраструктуры, а также системы генерации сообщений.

5.1.1. Системы распознавания голоса и преобразования текста в речь

Во время движения автомобиля пользоваться сотовым телефоном или компьютером затруднительно и опасно, т. к. это отвлекает внимание водителя от дороги, особенно при напряженном движении в черте города.

Существует программное обеспечение, позволяющее распознавать речь человека. Водитель говорит в микрофон, а компьютер выполняет несложные команды. До недавнего времени подобные системы могли распознавать один-два голоса после специального обучения компьютера.

Сегодня разработчики предлагают все больше программ для распознавания голоса и чтения текста, например, программа ViaVoice фирмы IBM. Фирма модернизировала ее под сложные условия автомобильного салона (высокий уровень шума). Программа хорошо понимает голоса различных людей. ViaVoice позволяет водителю давать голосом команды многим автомобильным системам и получать ответ в виде синтезированной речи. Допустимы, например, такие команды: запереть двери, включить CD-проигрыватель, настроиться на такую-то радиостанцию, запросить направление движения или сведения о дорогах от Web-сервера или иных источников, зачитать поступившую электронную почту, запросить спортивные или биржевые новости и прочесть их, связаться по телефону с таким-то номером и т. д.

В концептуальном автомобиле Buick Bengal (General Motors) используется программное обеспечение фирмы Visteon. Программа распознает 118 команд на шести языках, включая местные акценты, в условиях открытого или закрытого салона. Водитель, не выпуская из рук руля и не отрывая глаз от дороги, голосом может подать различные команды, начиная от управления режимом CD-проигрывателя или кондиционера и кончая изменением скорости движения автомобиля. Технология управления голосом позволит отказаться от многих кнопок и индикаторов на приборной панели.

5.1.2. Бортовой компьютер

Бортовой компьютер (иногда называемый маршрутным или путевым процессором) выдает водителю различную информацию, необходимую на маршруте, о состоянии автомобиля, управляет средствами связи автомобиля с внешним миром,

навигационной системой и т. д. Обычно бортовой компьютер выдает информацию на цифровой дисплей, управляется с пульта управления на приборном щитке автомобиля. На рис. 5.2 показан пульт управления с жидкокристаллическим дисплеем для одного из типов бортовых компьютеров. Начинают применяться и более удобные цветные графические сенсорные дисплеи с программируемыми виртуальными органами управления (рис. 5.3).

Выпускаются портативные коммуникаторы и органайзеры, которые можно подключать к шине данных автомобиля. Соответствующее программное обеспече-

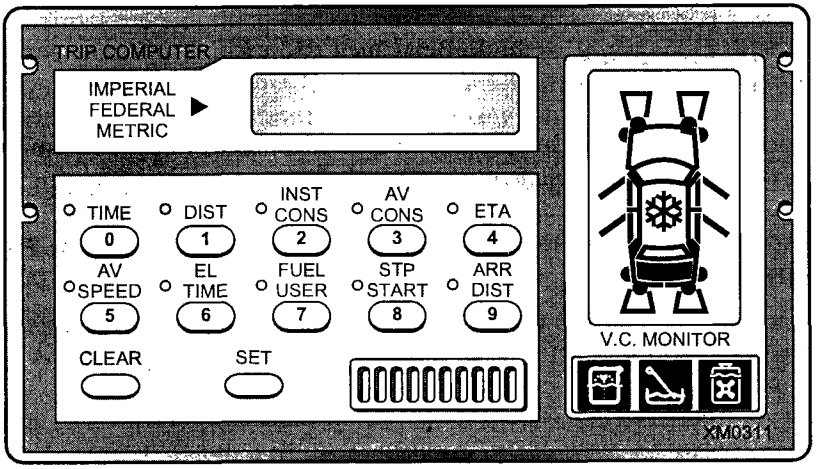


Рис. 5.2. Пульт управления бортового компьютера с жидкокристаллическим дисплеем

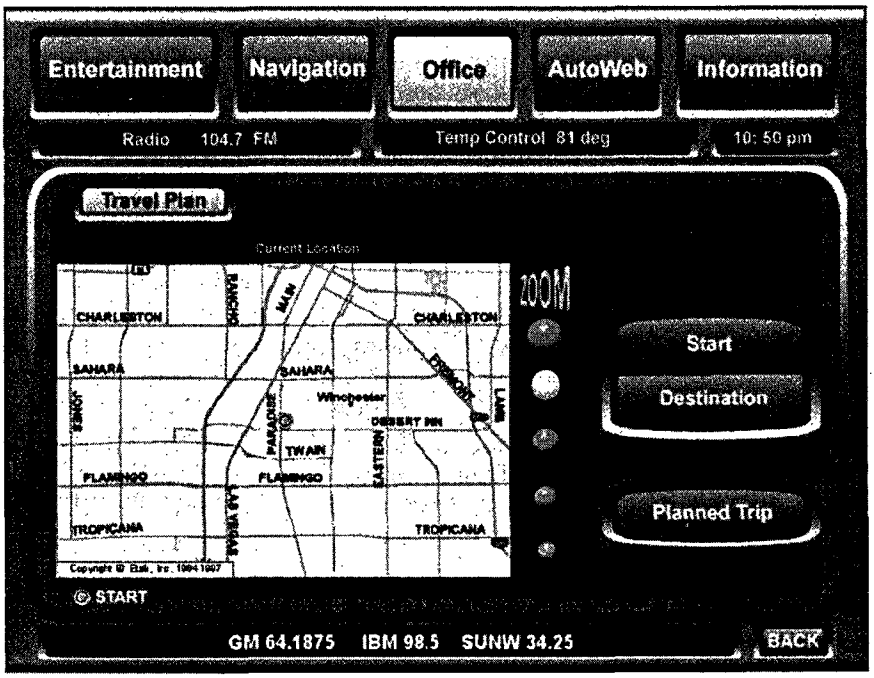


Рис. 5.3. Сенсорный дисплей. Выведено окно навигационной системы

ние делает их частью автомобильной информационной системы. Все услуги связи, реализуемые в стационарном офисе, сегодня доступны и для автомобилей: факсимильная связь, автоответчик, модем для компьютера и т. д.

Компьютер в автомобиле может быть подключен к сети Internet. Электронная почта (e-mail) становится доступной для водителя. При подключении через спутниковую антенну (direct PC) обеспечивается высокая скорость передачи данных. Автомобиль превращается в офис на колесах.

Бортовой компьютер определяет точное время и дату, расход топлива по сумме длительностей открытого состояния форсунок, скорость и пройденное расстояние.

На дисплей обычно выводится следующая информация:

- время, день недели и дата;
- средняя скорость на маршруте;
- время в пути;
- средний расход топлива на маршруте;
- мгновенный расход топлива;
- расход топлива на маршруте;
- расстояние, которое можно пройти на оставшемся запасе топлива.

Если при выезде на маршрут водитель с клавиатуры ввел расстояние до пункта назначения, бортовой компьютер будет выдавать информацию об ожидаемом времени прибытия в пункт назначения и расстоянии, оставшемся до пункта назначения.

5.1.3. Информация о состоянии бортовых систем автомобиля

Бортовой компьютер автоматически осуществляет контроль за состоянием систем автомобиля и выдает полученную информацию на жидкокристаллический дисплей, например так, как показано на рис. 5.2. Информация представляется в удобном графическом виде, при необходимости привлечь внимание водителя издается звуковой сигнал или включается синтезатор речи.

Какие именно контролирующие функции реализует бортовой компьютер, зависит от модели и производителя автомобиля, но, как минимум, имеются следующие возможности:

- индикация неисправности сигналов торможения;
- индикация неисправности осветительных приборов;
- индикация открытого состояния двери или крышки багажника;
- индикация низкой температуры окружающего воздуха;
- индикация низкого уровня охлаждающей жидкости в двигателе;
- индикация низкого уровня масла в картере;
- индикация низкого уровня омывающей жидкости в бачке омывателя стекла;
- индикация чрезмерного износа тормозных накладок.

Дисплей на рис. 5.2 показывает, что в автомобиле открыты четыре двери, включены фары, температура забортного воздуха низкая (символ «снежинка» на крыше).

Контроль за состоянием электрических цепей осветительных приборов осуществляется, например, путем измерения электрического тока в проводах, подключенных к соответствующим лампам. Ток измеряется обычно двумя методами:

- в цепь питания лампы последовательно включается низкоомный резистор, сигнал с которого усиливается и подается на компаратор. При обрыве цепи ток исчезает, что приводит к низкому уровню сигнала на выходе компара-

тора и появлению соответствующей предупредительной информации на индикаторе или дисплее;

- в цепи питания лампы последовательно включается обмотка геркона или иного токового реле.

Температура окружающего (забортного) воздуха измеряется термистором с отрицательным температурным коэффициентом. Он размещается в закрытых местах, вдали от источников тепла, обычно за передним бампером. При уменьшении температуры сопротивление термистора увеличивается и после прохождения уровня +4 °С на дисплее появляется предупреждение о возможном оледенении дороги.

Контроль за уровнем эксплуатационных жидкостей (масла, тормозной, охлаждающей и омывающей жидкостей) осуществляется с помощью датчиков на основе геркона и плавающего кольцевого магнита. Геркон помещают в герметичный цилиндр, по которому перемещается пластиковый поплавок с кольцевым постоянным магнитом.

При нормальном уровне эксплуатационной жидкости поплавок фиксируется в верхнем положении стопором, магнит замыкает контакты геркона. При понижении уровня жидкости ниже критического поплавок опускается, контакты геркона размыкаются, на дисплее появляется соответствующее предупреждение.

Уровень масла в двигателе компьютер измеряет за несколько секунд до пуска двигателя, т. к. уровень масла в картере работающего двигателя ниже контрольной метки и колеблется на поворотах и при торможении, что может приводить к генерации ложных сообщений компьютером.

Состояние электрических цепей автомобиля постоянно контролируется ЭБУ. Для того чтобы можно было различить закрытое и открытое состояние геркона от неисправностей в цепи датчика, в его цепь вводятся дополнительные резисторы.

Датчики износа тормозных накладок бывают двух типов: размыкающие и замыкающие контролируемую цепь. В размыкающем датчике провод, заложенный в накладку на заданную глубину, соответствующую максимально допустимому износу, при наступлении последнего перетирается и размыкает контролируемую цепь. Замыкающий датчик при наступлении предельного износа замыкает контролируемую цепь через тормозной диск или барабан на массу. Недостатком замыкающего датчика является ненадежность контакта, который образуется только в момент применения тормозов.

5.2. Бортовые средства отображения информации

Основной задачей любого индикатора является представление информации с заданной точностью и в удобном для водителя виде. Большинство автомобильных индикаторов должны оперативно выдавать информацию, требования к точности при этом относительно невысокие. Аналоговые индикаторы представляют информацию в форме, более удобной для быстрого считывания водителем. Например, если стрелка указателя температуры охлаждающей жидкости находится в районе середины шкалы, водителю достаточно одного взгляда на указатель, чтобы понять, что температура двигателя находится в пределах нормы. Точность в данном случае не важна. Отсчет 98 °С на цифровом указателе температуры не так просто интерпретировать, нужно еще успеть сообразить, много это

или мало. Этот пример наглядно показывает, почему на автомобилях, несмотря на наличие контроллеров и цифровой обработки информации для управления различными системами, информация водителю чаще представляется в аналоговой форме.

На рис. 5.4 показаны аналоговый и цифровой индикаторы одной и той же информации (скорости движения автомобиля).

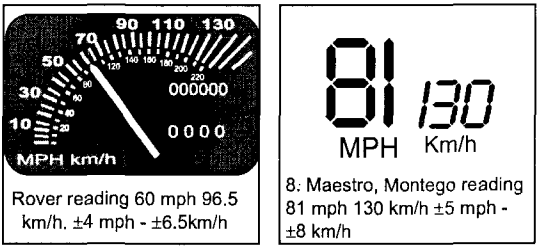


Рис. 5.4. Аналоговый и цифровой индикаторы

Цифровые и графические индикаторы (дисплеи) используются на автомобиле для решения, например, таких задач:

- выдача картографической информации в навигационных системах;
- дисплей бортового компьютера;
- часы;
- дисплей магнитолы и т. д.

Эти дисплеи могут иметь различную конструкцию. Для управления отдельными сегментами и частями дисплеев применяется мультиплексная система передачи информации.

5.2.1. Стрелочные индикаторы

Неэлектрический параметр на борту автомобиля (скорость, температура, давление и т. д.) преобразуется соответствующим датчиком в электрический сигнал. Этот сигнал фильтруется, подвергается необходимым преобразованиям и подается в виде электрического тока или напряжения на аналоговый (стрелочный) индикатор.

Амперметр электромагнитной системы (рис. 5.5) состоит из основания **4**, постоянного магнита **3**, латунной шины **1**, якоря **5** и стрелки **2**. При разомкнутой цепи якорь со стрелкой под действием магнитного поля постоянного магнита удерживается в среднем положении на нулевом делении. При прохождении тока через латунную шину создается магнитное поле, под действием которого намагниченный якорь со стрелкой поворачивается в ту или другую сторону в зависимости от направления тока и на угол в соответствии с измеряемым значением параметра.

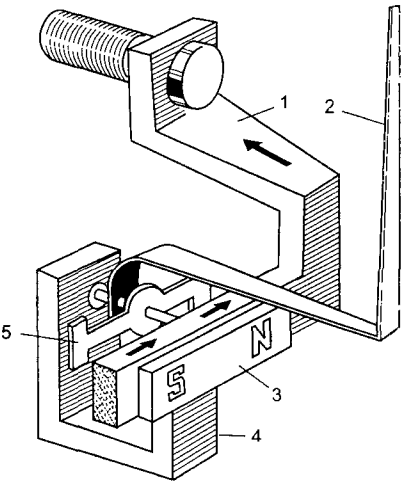


Рис. 5.5. Стрелочный индикатор электромагнитной системы

5.2.2. Цифровые индикаторы (дисплеи)

Цифровая система индикации работает во многом так же, как описанная выше аналоговая. Сигналы с датчиков поступают на ЭБУ панели приборов в аналоговой или цифровой форме. В ЭБУ производится необходимая обработка полученной информации, затем она передается на индикаторы, в качестве которых могут быть использованы: светодиоды, жидкокристаллические дисплеи, электронно-лучевые трубки.

5.2.3. Индикаторы на светодиодах

Диод, выполненный из фосфида арсенида галлия (GaAsP), при протекании электрического тока в прямом направлении создает электромагнитное излучение в световом диапазоне. Это так называемые светодиоды, излучающие зеленый, желтый или красный свет в зависимости от технологического процесса при производстве. Светодиоды широко используются как индикаторы в электронном оборудовании и в цифровых дисплеях. Они безотказно работают длительное время (более 50000 часов) и потребляют маленький ток.

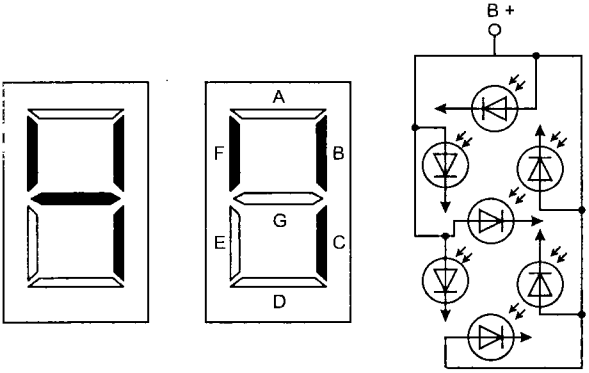


Рис. 5.6. Светодиодные индикаторы

В настоящее время имеется тенденция замены автомобильных светодиодных индикаторов на жидкокристаллические, которые подсвечиваются для облегчения чтения.

Индикатор (дисплей) автомобиля обычно состоит из группы светодиодов (матрицы), которая организована для выдачи информации в определенной форме. Могут использоваться отдельные светодиоды, семисегментные индикаторы или сложные шкалы спидометров (рис. 5.6).

5.2.4. Жидкокристаллические дисплеи

Молекулярная структура жидких кристаллов и их оптические свойства могут быть изменены приложением механического усилия, электрического или магнитного поля, давления, температуры. Жидкие кристаллы рассеивают свет, падающий на них. Жидкие кристаллы применяются в индикаторах калькуляторов, часов, автомобильных дисплеях, дисплеях портативных компьютеров, телеэкранах, мультимедиа проекторах и т. д.

Рассмотрим принцип действия индикатора на жидких кристаллах (рис. 5.7). Пусть кристалл не возбужден, дисплей пропускает только поляризованный свет, который, проходя через первый поляризатор, попадает в кристалл и поворачивается им на угол 90°. На выходе кристалла установлен второй поляризатор под углом 90° к первому. Свет проходит через второй поляризатор, отражается зеркалом и возвращается через второй поляризатор, кристалл, первый поляризатор. В невозбужденном жидком кристалле свет просто отражается.

Если на жидкий кристалл подано напряжение порядка 10 В с частотой 50 Гц, его молекулы становятся неупорядоченными и свет, проходя через жидкий крис-

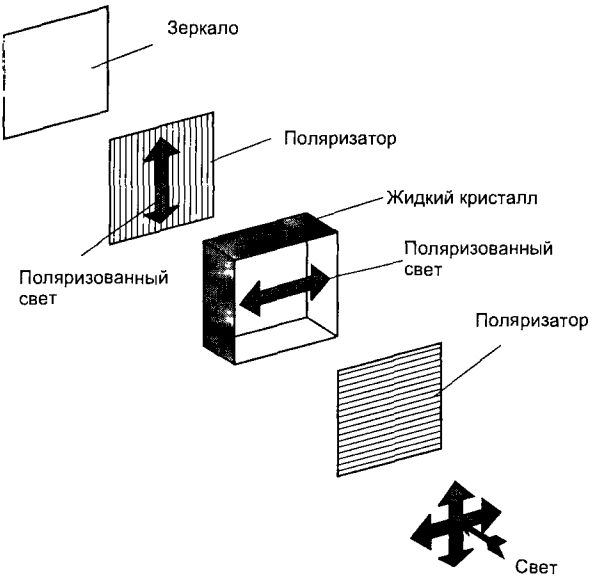


Рис. 5.7. Принцип работы жидкого кристалла

талл, не будет поворачиваться на 90°. Это значит, что свет, пройдя первый поляризатор, не пройдет второй и не отразится. На дисплее при этом будет виден темный сегмент. Размеры сегментов определяются назначением дисплея, например, для дисплея компьютера или телеэкрана сегмент принимает форму и размеры пикселя.

Жидкокристаллические дисплеи потребляют небольшую мощность, но нуждаются во внешних источниках освещения. Иногда вместо зеркала в жидкокристаллических дисплеях используется фоновый источник света.

5.2.5. Вакуумные флуоресцентные индикаторы

Схематически устройство таких индикаторов показано на рис. 5.8. Катод нагревается до температуры нескольких сотен градусов и излучает электроны, поток которых к аноду управляется сеткой. Анод образован сегментами, которые покры-

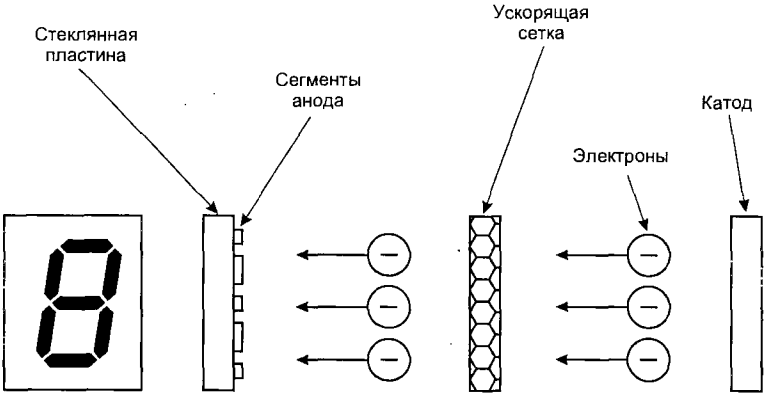


Рис. 5.8. Вакуумный флуоресцентный индикатор

ты флуоресцентным материалом и на которые подаются управляющие электрические сигналы. При подаче сигнала на сегмент он начинает светиться.

Вся конструкция собрана в стеклянной колбе, из которой откачан воздух для создания вакуума. Потенциометром в цепи сетки меняют яркость свечения индикатора. Индикатор в зависимости от применяемого флуоресцентного вещества светится желто-зеленым или сине-зеленым светом

Достоинством вакуумных флуоресцентных индикаторов является высокая яркость свечения, недостаток — хрупкость стеклянной колбы.

5.2.6. Электронно-лучевые трубки

Эти дисплеи так и не нашли широкого применения на автомобилях. Их основные недостатки:

- неудобство монтажа на приборной панели из-за длинной катодной трубки;
- требуется время для разогрева;
- изображение теряет яркость при освещении солнечным светом и т. д.

На некоторых моделях автомобилей (например, Buick Riviera, 1986 г.) электронно-лучевые трубки все-таки устанавливали. Сегодня там, где требуется выдача графической информации, например в навигационных системах, применяются цветные жидкокристаллические дисплеи.

5.3. Приборные панели

Водитель получает информацию о режиме движения и техническом состоянии автомобиля с помощью контрольно-измерительных приборов и индикаторов, размещенных на панели приборов.

Панель приборов современного легкового автомобиля содержит 3—6 стрелочных приборов и 5—7 световых индикаторов, размещение которых основывается на следующих принципах:

- в центре панели группируются средства отображения информации, связанные с обеспечением безопасности дорожного движения;
- размещение приборов и индикаторов тем ближе к центру панели, чем выше частота обращения к ним водителя;
- группировка в единые блоки функционально связанных приборов и индикаторов.

Развитие и внедрение автомобильной электроники дало возможность конструкторам и дизайнерам создать электронную панель приборов, в которой вместо привычных электромеханических приборов устанавливаются электронные информационные устройства и индикаторы. Электронные индикаторы, кроме функций, выполняемых электромеханическими приборами, способны предоставлять водителю информацию в цифровой, графической и текстовой формах. С помощью электронных устройств возможны синтез человеческой речи, индикация показателей, для определения которых требуются сложные вычисления, анализ целесообразности передачи информации водителю.

Электромеханические приборы, как правило, предназначены для отображения только одного параметра, так как при использовании нескольких шкал ухудшается возможность считывания показаний. Кроме того, они имеют значительные габаритные размеры, что делает сложным их размещение на панели приборов.

Электронные индикаторы при меньших размерах могут информировать о значениях не одного, а нескольких параметров, передавать разнообразные сообщения и поэтому позволяют резко увеличить информативность приборной панели при тех же габаритах.

Необходимо также отметить, что электронные информационные устройства предоставляют водителю более достоверные данные. Это связано как с повышением точности приборов, так и с цифровым представлением информации.

Проблема оптимальной компоновки приборов на панели в автомобиле постоянно изучается. Важным моментом здесь является время, затрачиваемое водителем на то, чтобы отвести взгляд от дороги, найти на панели нужный прибор и получить от него информацию. На рис. 5.9 показана типичная панель приборов современного автомобиля. Она компактна, все находится в поле зрения водителя. Качество дизайна приборной панели учитывается потребителем при покупке автомобиля.

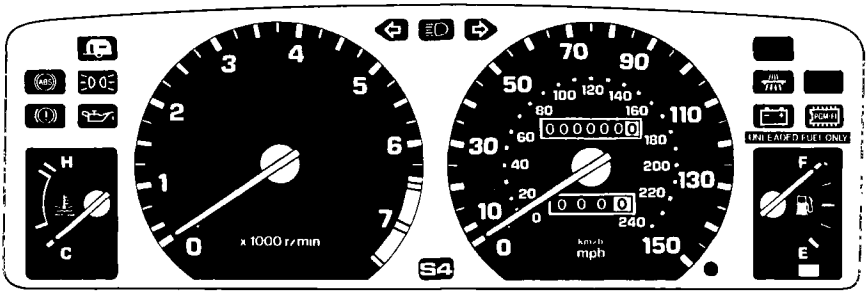


Рис. 5.9. Приборная панель современного автомобиля

Следует отметить, что информация с цифровых дисплеев плохо усваивается водителями.

Появились и все чаще используются электронные аналоговые дисплеи, но они увеличивают цену автомобиля на 200...400 долларов.

На рис. 5.10 показана типовая блок-схема современной цифровой автомобильной системы отображения информации. Обработка сигнала и логические функции возложены на ЭБУ. Стандартные датчики подключены к ЭБУ, который управляет необходимыми устройствами отображения информации и дисплеем. ЭБУ допускает конфигурирование системы под конкретную модель автомобиля.

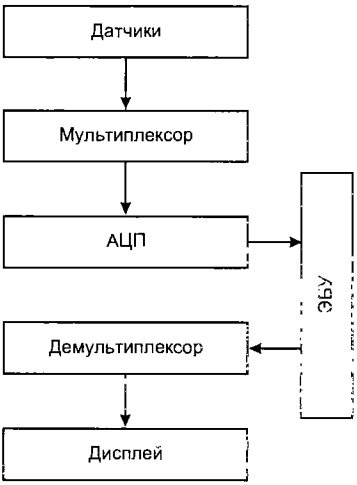


Рис. 5.10. Блок-схема цифровой системы отображения информации

▶ Рассмотрим некоторые из выполняемых функций.

1. Когда сопротивление резистивного датчика уровня топлива в баке примет определенное значение, загорится индикатор низкого уровня топлива.

2. При заданном значении сопротивления термистора загорится индикатор перегрева двигателя.

3. Обычно нет необходимости информировать водителя о каждом градусе изменения температуры в системах автомобиля, постоянные флуктуации в показаниях приборов замедляют усвоение информации. ЭБУ разбивает диапазон изменения входного сигнала термодатчика на 4—6 поддиапазонов. Например, если сопротивление термистора меняется в пределах 240...200 Ом, ЭБУ выдает на дисплей одно стабильное значение температуры (нормальное), если сопротивление термистора вышло из этого диапазона, ЭБУ выводит на отсчетное устройство следующее значение температуры из соответствующего поддиапазона изменения сопротивлений.

4. Предупреждающие индикаторы (такие как индикатор давления масла) делаются мигающими для привлечения внимания водителя.

5. Предупреждающие индикаторы о необходимости техобслуживания и техосмотра (особенно это характерно для автомобилей BMW). Индикаторы загораются после определенного пробега или через определенное время, которое сокращается, если двигатель работал на высоких оборотах и с перегревом.

6. Индикатор нештатной работы генератора. ЭБУ обнаруживает несоответствие уровня вырабатываемого напряжения или проскальзывание приводного ремня. Проскальзывание определяется путем сравнения частот сигнала зажигания и напряжения с одной из фаз генератора.

▸ В качестве примера рассмотрим работу системы при поступлении сигналов о высокой температуре охлаждающей жидкости и низком уровне топлива в бензобаке. На рис. 5.11 показана блок-схема системы для этого случая. АЦП подключается через мультиплексный коммутатор поочередно к датчикам температуры и уровня топлива. Сигнал подвергается аналого-цифровому преобразованию и поступает в ЭБУ. Допустим, эти сигналы имеют значения 180 Ом (температура охладителя около 105 °С) и 200 Ом (осталось 10 литров топлива в баке). Эти значения присваиваются соответствующим переменным «temp_input» и «fuel_input» и сравниваются с константами «temp_high» и «fuel_low», храня-

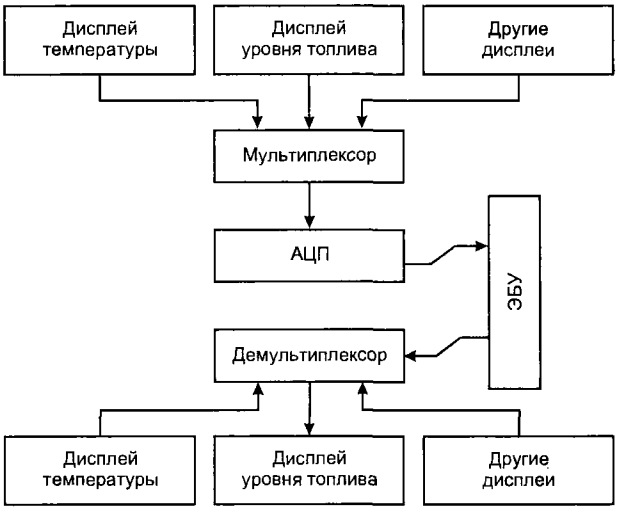


Рис. 5.11. Блок-схема цифровой системы отображения информации для случая высокой температуры охлаждающей жидкости и низкого уровня топлива в бензобаке

щимися в памяти ЭБУ. Сравнение реализуется по следующему упрощенному алгоритму:

IF temp_input temp_high THEN temp_high_lamp = ON

IF fuel_inputfuel_low THEN fuel_low_lamp = ON

При выполнении условия загорается соответствующий индикатор.

5.4. Отображение информации на лобовом стекле

При пользовании автомобильными приборами и дисплеями всегда существует следующая проблема: с одной стороны, водитель должен как можно реже отводить взгляд от дороги в целях безопасности, с другой — если на приборы вообще не смотреть, можно пропустить предупреждающую информацию, например, о низком давлении масла и т. п. Имеются способы решения этой проблемы, такие как подача звуковых сигналов, размещение приборов всегда в поле зрения, но наиболее совершенным методом на сегодня считается отображение информации на лобовом стекле (head up display или HUD). Первоначально эта технология была использована в авиации, когда конструкторы столкнулись с необходимостью размещения до 100 предупреждающих индикаторов в кабине истребителя. Принцип отображения информации на лобовом стекле проиллюстрирован на рис. 5.12. Изображение с проектора (электронно-лучевая трубка, жидкокристаллическая матрица) проецируется на ветровое стекло, являющееся после специальной обработки полупрозрачным зеркалом. Водитель видит дорогу через это «стекло-зеркало» при включенном или выключенном проекторе. Яркость проецируемого изображения автоматически подстраивается под наружное освещение.

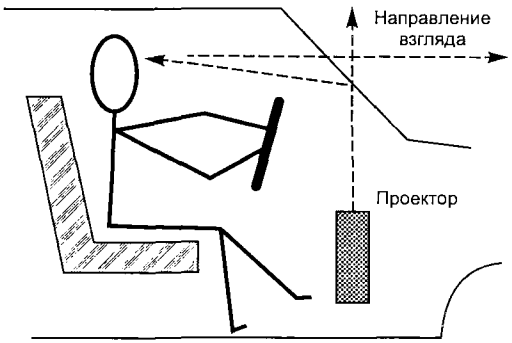


Рис. 5.12. Отображение информации на лобовом стекле

На рис. 5.13 показана система HUD в работе. К сожалению, требуется индивидуальная подборка передних стекол, иначе возникает двоение и изображение на ветровом стекле получается нечетким. На некоторых серийных автомобилях HUD применяется с 1988 года.

Какую именно информацию и когда выводить на лобовое стекло, решает бортовой компьютер в зависимости от ситуации. Например, спидометр имеет смысл проецировать постоянно, а индикатор низкого давления топлива, только если это событие произойдет.

Современные системы HUD выводят информацию прямо перед водителем. В качестве дисплеев предупреждающей информации можно также использовать жидкокристаллические зеркала заднего вида, автоматически меняющие коэффициент отражения при освещении их в темное время фарами идущего сзади автомобиля.

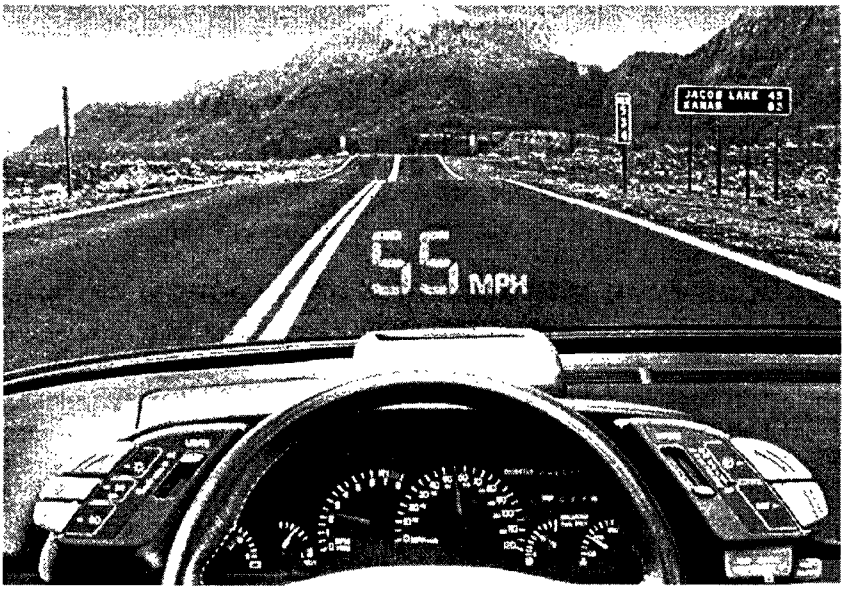


Рис. 5.13. Вид через ветровое стекло автомобиля с HUD

General Motors выпустила систему, облегчающую водителю ориентирование на местности на основе HUD и синтезатора речи. Синтезатор голосом выдает подсказку типа «повернуть налево на следующем перекрестке», а на ветровом стекле схематично представляется эта часть пути с указывающей стрелкой. Система может также выдавать предупреждения типа «до поворота 0,3 мили» или «впереди дорожные работы», она не отличается от аналогичных разработок других фирм, но применение HUD делает ее более удобной.

Разрабатываются методы, позволяющие определять, куда именно направлен взгляд водителя в каждый момент времени, и проецировать необходимую информацию с помощью HUD именно в эту точку на ветровом стекле. Метод предполагает использование портативной видеокамеры и лазера. Луч лазера отражается от роговой оболочки глаза водителя, что позволяет точно определить, куда именно смотрит водитель. Вероятно, детектор движения взгляда водителя будет использован для определения самочувствия водителя, не дремлет ли он. При обнаружении отклонений будет подан сигнал тревоги, звуковой или световой.

5.5. Перспективные средства отображения информации

При продолжающейся компьютеризации всех автомобильных систем все больше функций становятся доступными. Уже сегодня имеется возможность регулировать поток информации водителю, т. е. на один и тот же дисплей выводить различные данные, необходимые водителю именно в это время. Какая именно информация в данной ситуации нужна водителю, определяет программное обеспечение компьютера, но водитель может вызывать нужные ему блоки данных на дисплей и самостоятельно. Например, если температура охлаждающей жидкости находится в норме, нет необходимости выводить показания на дисплей, если только водитель

сам не захочет этого сделать. Если на дисплей выведено расстояние, которое может пройти автомобиль с имеющимся запасом топлива, незачем показывать количество топлива в баке и т. д.

Компьютер может при необходимости прервать нормальный процесс вывода информации и сгенерировать на дисплей предупреждающее сообщение типа: «топлива осталось только на 50 км пробега» или «упало давление в левой задней шине».

Применение программ синтезаторов речи позволяет делать такие сообщения голосом, причем водитель при конфигурации системы может установить желаемые параметры голоса: мужской или женский, высокий или низкий и т. д. Для привлечения внимания водителя используются и более простые звуковые сигналы.

Голографическое изображение является трехмерным представлением реального объекта, при этом используются лазерные излучатели — проекторы и подходящий экран. В настоящее время проводятся исследования и разработка аппаратуры с целью повысить безопасность езды в темное время суток. Один из вариантов таков: информация снимается с инфракрасных видеокамер, обрабатывается, голографическое изображение проецируется на лобовое стекло перед водителем. За счет использования этого своеобразного прибора ночного видения управление автомобилем в темное время суток упрощается.

Но, как оказалось, электроника в автомобиле не только помогает, но и мешает. Исследования, проведенные в группе водителей возрастной категории старше 60 лет, показали, что пользование электронной картой сильно отвлекает водителя от дороги. Реакция пожилого водителя, который во время движения вынужден отвлекаться на телематику, снижается на 30...100 процентов по сравнению с его 18—30-летними коллегами.

5.6. Навигационные системы автомобиля

Первые навигационные системы применялись только для индикации расчетного времени прибытия в пункт назначения и расстояния до него и использовали датчики азимута и скорости вращения колес. Позднее начали использоваться базы данных с картографической информацией, появилась возможность определять текущие координаты автомобиля на карте местности, для чего известны несколько методов.

Механические прототипы навигационных систем появились в США в 1910 году, когда автомобили начали производиться в больших количествах, а дороги еще не были размечены. Например, в навигационной системе Chadwick Road Guide металлический диск с отверстиями вращался синхронно с пройденным путем. Отверстия отмечали перекрестки на маршруте. К дорожкам на диске пружинами прижимались специальные молоточки. При попадании молоточка в отверстие устройство издавало звонок, и специальный рычажок с кодированным символом указывал водителю, какое необходимо выполнить действие.

Точность и надежность таких навигационных систем были низкими, их перестали использовать после стандартизации дорожных знаков в 20-х годах и введения разметки дорог.

В 60-х годах автомобильные компании вновь начали проявлять интерес к навигационным системам. В 1987 году Toyota начала их устанавливать на серийные модели как опцию. В 1994 году в США, Европе, Японии уже было продано более 500000 автомобильных навигационных систем.

5.6.1. Функции, структура и составные компоненты навигационной системы

На рис. 5.14 показана структура навигационной системы. Система может осуществлять навигационное счисление, определять положение автомобиля на карте местности по конфигурации пройденного пути, определять абсолютные координаты с помощью спутниковой системы GPS (глобальная позиционирующая система или GPS — Global Positioning System). С помощью навигационного счисления определяют относительное положение автомобиля и направление движения по информации, полученной с датчиков скорости вращения колес и азимута.

Конфигурация участка пройденного пути, полученная с помощью навигационного счисления, сравнивается с конфигурацией дорог, нанесенных на карту. Определив дорогу, по которой движется автомобиль, система находит и его текущие координаты. Более точное определение координат автомобиля на карте производится с помощью GPS по широте и долготе. Считается, что для практических целей достаточно знать координаты автомобиля с точностью до размера половины квартала, т. е. ±100 метров.

Автомобильная навигационная система должна иметь в своем составе датчики пройденного пути и направления движения.

Датчик пройденного пути — это та или иная конструкция электронного одометра, информация в который поступает с датчиков скорости вращения колес ABS. Одометрам присущ ряд систематических погрешностей, которые необходимо корректировать. К ним относятся:

1. Разница в диаметрах новой и изношенной покрышки дает погрешность в определении пройденной дистанции до 3%.

2. За счет увеличения диаметра покрышки от центробежной силы на каждые 40 км/час скорости автомобиля погрешность в определении пройденной дистанции увеличивается на 0,1...0,7%.

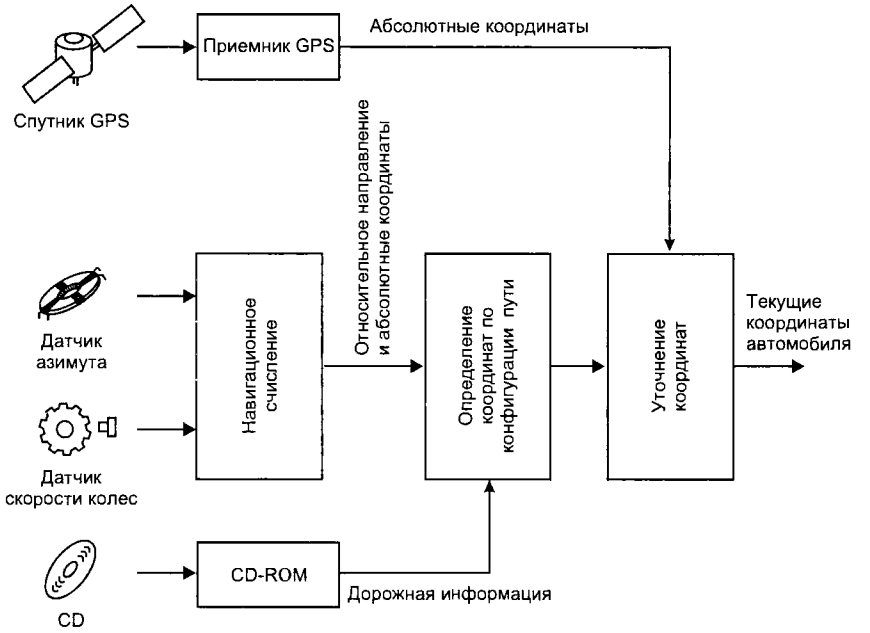


Рис. 5.14. Структура навигационной системы

3. Изменение давления в шинах на 689 кПа (10 psi) увеличивает погрешность на 0,25...1,1%.

Для определения направления движения автомобиля обычно используются датчик азимута, датчики скорости вращения колес, гироскопы.

5.6.2. Датчик азимута (компас)

Датчик азимута использует магнитное поле Земли и представляет собой кольцевой сердечник из ферромагнетика, на который намотаны обмотка возбуждения и перпендикулярно друг другу две выходные обмотки (рис. 5.15).

К обмотке возбуждения приложено синусоидальное напряжение. При отсутствии внешнего магнитного поля в выходных обмотках наводится ЭДС взаимоиндукции, также синусоидальная, с нулевым средним значением. При наличии постоянного внешнего магнитного поля напряженностью H (магнитное поле Земли) происходит искажение синусоидальной формы магнитного потока в сердечнике за счет наложения постоянной составляющей и напряжений выходных обмоток (рис. 5.16).

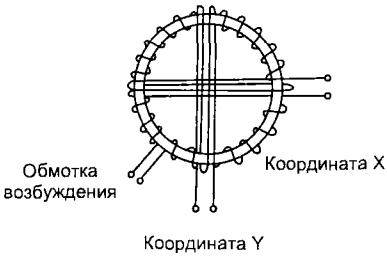


Рис. 5.15. Геомагнитный датчик азимута

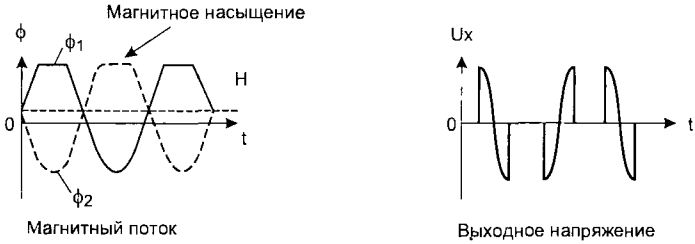


Рис. 5.16. Электромагнитные процессы в геомагнитном датчике азимута в присутствии внешнего магнитного поля H

Если внешнее магнитное поле направлено под углом θ к обмотке X, то средние значения напряжений в выходных обмотках определятся так:

$$V_x = kH\cos\theta,$$

$$V_y = kH\sin\theta,$$

где k — коэффициент пропорциональности. Отсюда $\theta = \mathrm{arctg}(V_y/V_x)$, т. е. направление движения автомобиля определено.

Современные датчики азимута выпускаются в интегральном исполнении.

5.6.3. Датчик скорости вращения колес

Используются датчики скорости вращения передних колес, применяемые и для ABS. Угол поворота автомобиля определяется по разности путей, проходимых при повороте левым и правым колесом. Когда автомобиль поворачивается на угол θ радиан с радиусом поворота R, пути, пройденные левым и правым колесами, описывают дуги с общим центром (рис. 5.17). Пути, пройденные левым и правым

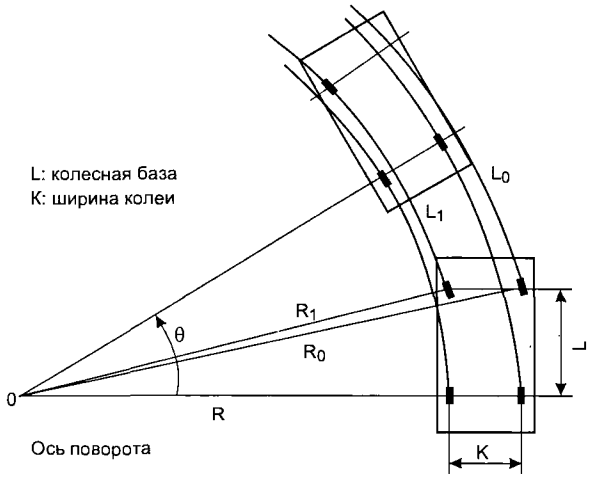


Рис. 5.17. Пути, проходимые правым и левым колесом при повороте

передними колесами, различны и составляют: $L_1 = R_1\theta$ и $L_0 = R_0\theta$. Радиусы этих дуг имеют общий центр и определяются как:

$$R_1 = \sqrt{R^2 + L^2}, \qquad R_0 = \sqrt{(R + K)^2 + L^2},$$

где L — колесная база, а K — ширина колеи.

Введем P — отношение между протяженностями путей колес на повороте:

$$R_0 = L_0/L_1 = \frac{\sqrt{(R + K)^2 + L^2}}{\sqrt{R^2 + L^2}}.$$

Преобразуем это уравнение:

$$R = \frac{K + \sqrt{K^2 - (P^2 + 1)[(P^2 - 1)L^2 - K^2]}}{P^2 - 1}.$$

Колесная база L и ширина колеи K известны для данного автомобиля, пути правого и левого колес замеряют с помощью датчиков скорости вращения колес. Тогда угол поворота θ вычисляется по формуле: $\theta = L_1/R_1 = L_1/\sqrt{R^2 + L^2}$. Сложив все поворотные углы, можно определить и угол поворота автомобиля для заданного пути от стартовой точки: $\theta_n = \sum_{i=1}^{n} \theta_i$.

5.6.4. Гироскоп

При использовании гироскопа определяется угловая скорость автомобиля на повороте и интегрируется для определения угла поворота. В навигационных системах используются различные типы гироскопов, здесь рассматривается применение газового гироскопа.

Устройство работает следующим образом. Насос создает поток гелия с заданной скоростью истечения и направляет его через сопло на две нагретые проволочки датчика. Угловая скорость автомобиля определяется по изменению сопротивлений проволочек датчика. Когда поток гелия выходит из сопла насоса, он постепенно

расширяется. Распределение скоростей в потоке газа по сечению возле проволочек показано на рис. 5.18.

Когда автомобиль движется прямо, распределение скоростей симметрично относительно проволочек, они охлаждаются одинаково и на выходе мостовой схемы, частью которой являются проволочки, нулевое напряжение (рис. 5.19). При повороте возникает сила Кориолиса, смещающая газовый поток, проволочки охлаждаются неравномерно, их сопротивления электрическому току различны, на выходе мостовой схемы появляется напряжение, пропорциональное угловой скорости автомобиля на повороте.

Рис. 5.18. Распределение скоростей в потоке газа

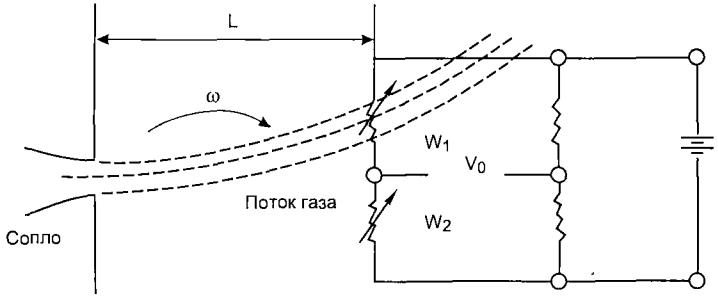


Рис. 5.19. Измерительная схема

5.7. Навигационное счисление

Навигационное счисление — это метод определения координат движущегося объекта (автомобиля, самолета, судна и т. д.) по отношению к стартовой точке. Используется сумма векторов пройденных расстояний, информация о направлениях поступает с датчика азимута или датчика скорости вращения колес. На рис. 5.20 показано применение навигационного счисления к определению координат объекта (автомобиля).

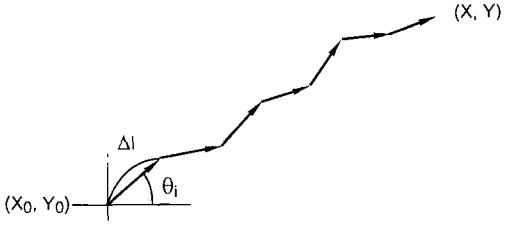


Рис. 5.20. Определение координат автомобиля методом навигационного счисления

Расстояние от стартовой точки (X_0, Y_0) определяется по следующей системе уравнений:

$$X_n = X_0 + \sum_{i=1}^{n} \Delta l \sin \theta_i, \qquad Y_n = Y_0 + \sum_{i=1}^{n} \Delta l \sin \theta_i,$$

где ось X обозначает направление «восток — запад», а Y — «север — юг».

Таким образом, текущие координаты автомобиля могут быть определены, если известно положение стартовой точки на карте.

Направление движения автомобиля обычно определяется по геомагнитному датчику азимута (компасу). Корпус автомобиля выполнен из металла и других магнитных материалов и способен намагничиваться внешними полями (например, в магнитном поле, создаваемом электродвигателями электровоза на железнодорожном переезде и т. д.). В этом случае возникает систематическая погрешность в определении направления движения автомобиля. Паразитное магнитное поле компенсируется дополнительными магнитами вблизи компаса.

Магнитное поле также искажается в тоннелях, на металлических мостах, при движении вдоль автопоездов. Применение датчиков скорости вращения колес наряду с компасом часто решает эту проблему. Датчики скорости вращения колес не чувствительны к таким искажениям, на практике датчики азимута и скорости вращения колес дополняют друг друга при определении направления движения автомобиля.

Навигационное счисление дает низкую точность определения текущих координат объекта. Для автомобиля приходится корректировать координаты, определенные методом навигационного счисления каждые 10...15 км. К счастью, автомобили обычно передвигаются по дорогам, которые нанесены на карту.

5.8. Электронные карты

В некоторых навигационных системах картографическая информация хранится централизованно и передается на автомобиль по радиоканалу, но в большинстве случаев навигационная система предполагает наличие необходимой базы данных на борту автомобиля.

CD-ROM используется для хранения картографической и дорожной информации с целью сравнения конфигураций дорог и пройденного пути, поиска оптимального маршрута, вывода карты местности на дисплей. Значительная емкость CD (до 600 Мб) позволяет это делать.

Картографическая информация или электронные карты существуют в двух основных форматах: матричном и векторном.

В матричном формате каждому элементу карты (пикселю) соответствуют свои значения декартовых координат X—Y. Матричные карты требуют много места в памяти компьютера или на носителе информации и неудобны для математических операций при прокладке и слежении за маршрутом.

В векторном формате дороги, улицы представляются последовательностями отрезков прямых, описанных аналитически, пересечения — узлами (рис. 5.21). Узлы идентифицируют координатами — долготой и широтой. Если дорога (улица) не прямая, в точке излома также помещается узел. Таким образом, дороги (улицы) любой конфигурации аппроксимируются набором векторов и узлов.

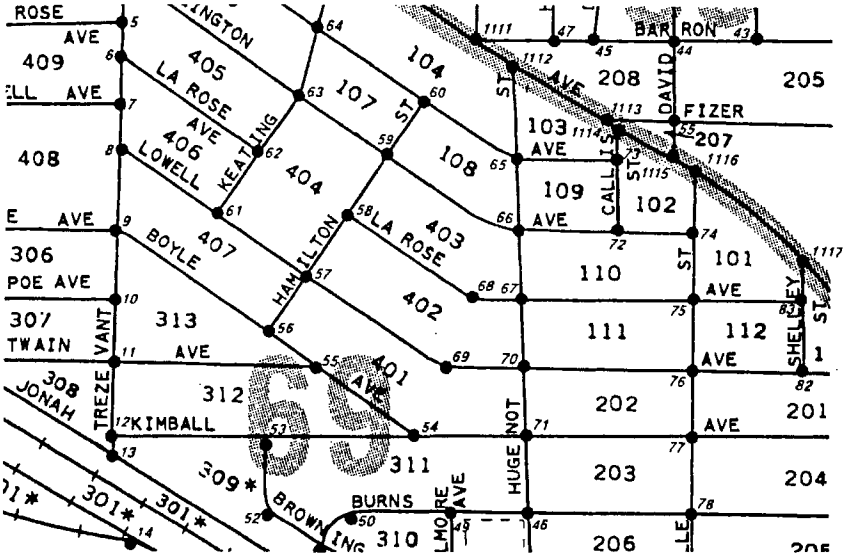


Рис. 5.21. Улицы и узлы на векторной карте

Имеющиеся карты или изображения местности, полученные с самолетов и спутников, сканируются. Затем специальное программное обеспечение трансформирует изображение сначала в матричный, а затем в векторный формат.

Электронная карта несет такую информацию, как номера дорог, названия улиц, номера домов между перекрестками, одностороннее или двухстороннее движение на улице, названия отелей, ресторанов и т. д.

5.8.1. Ориентирование на карте местности по конфигурации пройденного пути

Этот метод позволяет определить или уточнить текущие координаты автомобиля сравнением конфигурации пройденного пути (его участка), полученного навигационным счислением с конфигурацией дороги, по которой движется автомобиль. На рис. 5.22 показано, как сравниваются и корректируются пути, полученные навигационным счислением с картой.

Сначала навигационная система определяет, какие из близлежащих дорог могут соответствовать координатам авто-

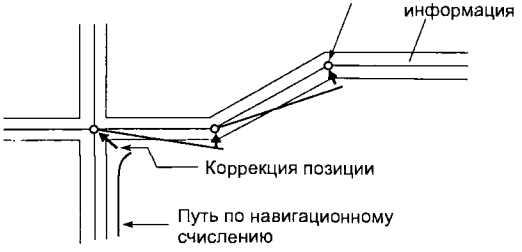


Рис. 5.22. Корректировка пути

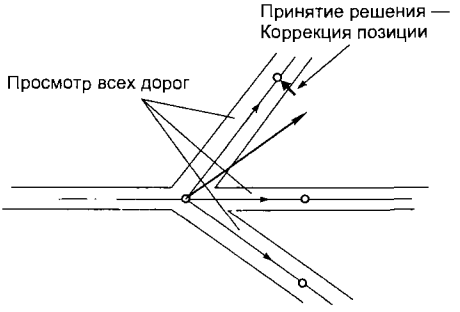


Рис. 5.23. Выбор пути на пересечении дорог

мобиля, определенным навигационным счислением. Затем делается сравнение, как показано на рис. 5.22. Выбирается наиболее подходящая дорога и корректируются координаты автомобиля по карте. Когда автомобиль достигает перекрестка, выбор дороги определяется направлением движения (рис. 5.23). Если дороги на перекрестке выглядят примерно одинаково, как на рис. 5.23, навигационный компьютер прослеживает их по карте вперед и определяет коэффициент корреляции для каждой из дорог по отношению к требуемому маршруту. Выбирается дорога с наибольшим коэффициентом корреляции.

5.8.2. Выбор оптимального маршрута

Кроме определения текущих координат автомобиля, навигационная система также может выдавать информацию, облегчающую выбор оптимального пути следования к месту назначения. Для этого навигационный компьютер рассматривает дорожную сеть между исходным пунктом и пунктом назначения и выбирает кратчайший маршрут. Примером метода определения кратчайшего пути по карте является алгоритм Дейкстра (Dijkstra algorithm).

В алгоритме Дейкстра производится определение всех пересечений дорог от стартовой точки и вычисляются кратчайшие пути до каждой точки пересечения. Например, если имеется дорожная сеть, как на рис. 5.24, *а*, поиск пересечений начнется от начальной точки A, как показано на рис. 5.24, *б*. Сначала будут рассмотрены пересечения B и C. Расстояния от точки A до каждого из пересечений указаны внутри кружочков. Затем рассматриваются пересечения E и F, соединяющиеся с точкой C, для этих пересечений указано расстояние от стартовой точки A (рис. 5.24, *б* (2)). В-третьих, рассматриваются пересечения D и E, соединенные с точкой B, на рис. 5.24, *б* (3) указаны расстояния от стартовой точки A до D и E. При этом расстояние до точки E указано через точку C, т. к. оно меньше, чем через D (было бы 8). Точка D связана с точкой E, и маршрут через E оказывается короче, это отражено на рис. 5.24, *б* (4). Кратчайшим путем до D оказывается маршрут A-C-E-D. Таким образом для дорожной сети можно определить кратчайший маршрут до любого из пересечений (жирные линии на рис. 5.24, *б* (6)).

Использование этого алгоритма позволяет определить кратчайший маршрут к месту назначения. Располагая современной навигационной системой, водитель может не опасаться сбиться с пути.

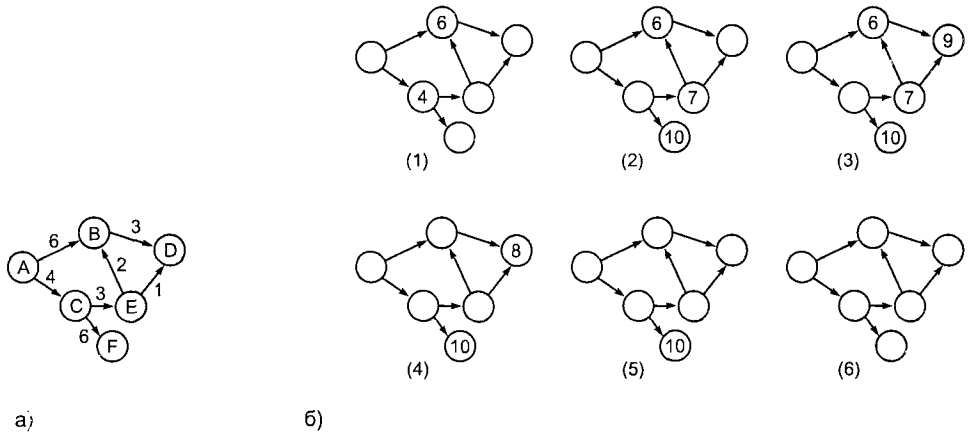


Рис. 5.24. Алгоритм Дейкстра

Навигационная информация сообщается водителю различными способами: от указания символом положения на карте местности до команд голосом через синтезатор речи о необходимости повернуть налево или направо.

5.9. Спутниковая позиционирующая система GPS

Система GPS (рис. 5.25) может использоваться для определения абсолютных координат автомобиля. Она состоит из 18 основных и 3 запасных спутников на околоземных орбитах (радиус 20183 км, период обращения 12 часов), запущенных министерством обороны США в период с 1980 по 1992 год (программа NAVSTAR), и предназначена поставлять информацию об абсолютных координатах различным объектам: морским судам, самолетам, ракетам, воинским подразделениям, автомобилям и т. д. На спутниках установлены атомные часы, периодически на Землю посылаются сигналы с информацией о системном времени и параметрах орбиты на частоте 1,57542 ГГц.

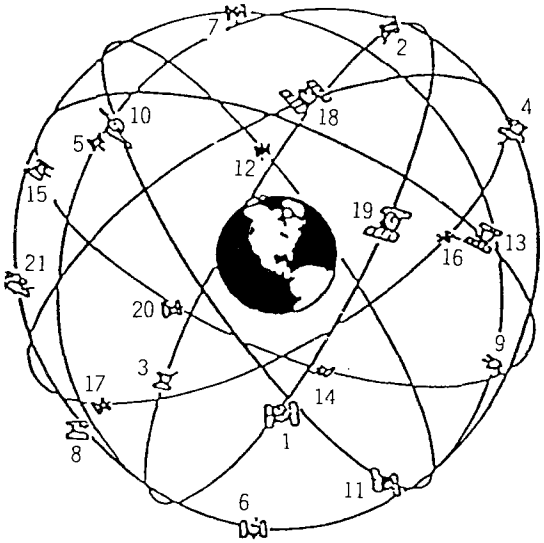


Рис. 5.25. Спутниковая система NAVSTAR

Пользователи обслуживаются системой GPS по двум категориям: точное определение координат (Precise Position Service — PPS) — для военных и стандартная точность определения координат (Standard Position Service — SPS) — для остальных категорий пользователей, в том числе и для автомобильной навигации. Теоретически достижима точность определения координат с ошибкой до 100 м, на практике координаты определяются с большей точностью — до 30 метров.

Координаты приемника (X, Y, Z) и спутника (Ui, Vi, Wi) связаны соотношением:

$$Pi = \sqrt{(X - Ui)^2 + (Y - Vi)^2 + (Z - Wi)^2} + R.$$

Здесь Pi — расстояние между спутником и приемником, R — временная ошибка, возникающая из-за невозможности точно синхронизировать атомные часы

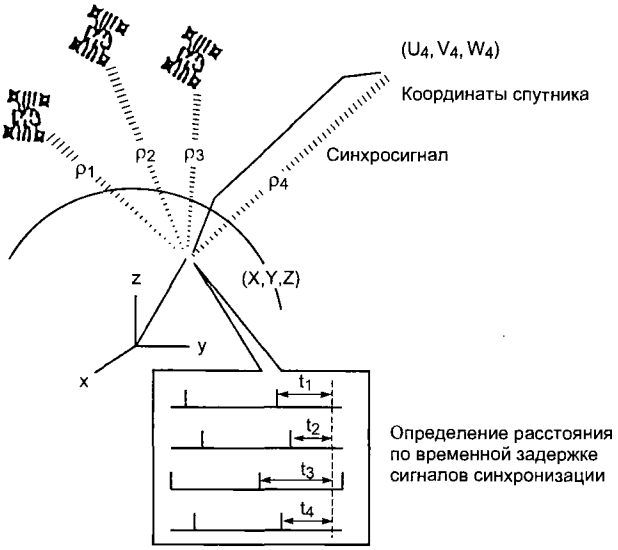


Рис. 5.26. Определение координат с помощью GPS

спутника и кварцевый генератор приемника. Таким образом при известных координатах (Ui, Vi, Wi) четырех спутников (рис. 5.26) и расстоянии от спутников до приемника Pi из решения четырехмерного нелинейного уравнения определяются координаты приемника (X, Y, Z).

Координаты спутника определяются по решению уравнения Кеплера, для чего и передается информация о системном времени.

Расстояние Pi между спутником и приемником определяется по времени задержки t_i прихода синхронизирующего сигнала со спутника (скорость распространения радиоволн — постоянная величина).

Полагают, что навигация с помощью GPS является наиболее перспективной, но есть и недостатки:

1. При первом обращении начальные координаты определяются относительно долго — 2...3 минуты. В дальнейшем информация обновляется гораздо быстрее, в течение нескольких секунд.

2. Система работает в условиях прямой видимости с 4 спутниками. Горы и высокие здания могут служить препятствием.

5.10. Примеры автомобильных навигационных систем

В середине 80-х годов была выпущена первая автомобильная навигационная система Etak Navigator, производимая серийно. В ней использовались электронные векторные карты дорог на дисках емкостью 3,5 Мб, навигационное счисление, алгоритм ориентирования на карте по конфигурации пройденного пути, дисплей. В качестве датчиков использовались дифференциальный одометр и компас.

Система Travepilot (второе поколение системы Navigator) была выпущена совместно Etak Inc. и Bosch GmbH в 1989 году. Картографическая информация хранилась на CD-ROM, его емкость позволяет иметь на одном диске карты не-

скольких стран. Интерфейс Travepilot стал своеобразным стандартом для последующих моделей автомобильных навигационных систем. Положение и направление движения автомобиля по отношению к карте изображалось стрелкой в центре нижней части дисплея. При движении автомобиля меняется ориентация карты на дисплее, и водителю легче увязывать то, что он видит через ветровое стекло с картой.

В правой части карты указан масштаб. Он может быть от 1/8 мили для просмотра деталей улиц до 30 миль, когда видны только крупные дороги. Во время парковки водитель, используя программируемые кнопки, мог вводить и получать от Travepilot различную информацию. Например, можно ввести данные о цели поездки в виде названия улицы, номера дома и т. д. Travepilot выделяет такую цель мерцающими звездочками на дисплее, указывает расстояние до цели и направление на нее от текущего положения автомобиля в верхней строке дисплея. Если задан номер дома, выделяется участок улицы, где он находится.

Подменю позволяют водителю производить вручную корректировку положения автомобиля на карте. Это происходит не чаще 1 раза на 1000 миль пути из-за ошибок в картах и алгоритма определения положения автомобиля по конфигурации пройденного пути и т. д.

Travepilot был выполнен на процессоре V50, имел 0,5 Мб DRAM, 64 Кб EPROM, 8 Кб неотключаемой памяти для хранения информации о текущем положении автомобиля, порт RS-232 и свободные слоты для подключения к другим устройствам, например рации. В системах Travepilot на 400 пожарных автомобилях и скорой помощи Лос-Анджелеса диспетчеры по рации вводили экипажам координаты пунктов назначения.

Прототипы навигационной системы Zexel NavMate испытывались еще в 1990 году. Ориентирование производилось по пройденному пути, по навигационному счислению и электронным картам. В 1994 году в NavMate встроили приемник GPS. Комбинированное использование навигационного счисления, электронной карты, ориентирования по конфигурации пройденного пути обеспечивают точность определения позиции автомобиля ±30 м (только GPS дает точность ±10 м).

Система NavMate под другими названиями (TetraStar, NeverLost, GuideStar) выпускалась различными производителями (GM, Ford, Siemens Automotive) и устанавливалась в качестве опции как на автомобили от производителя, так и в автопарках фирм, предоставляющих автомобили в аренду (Avis Rent A Car, Hertz).

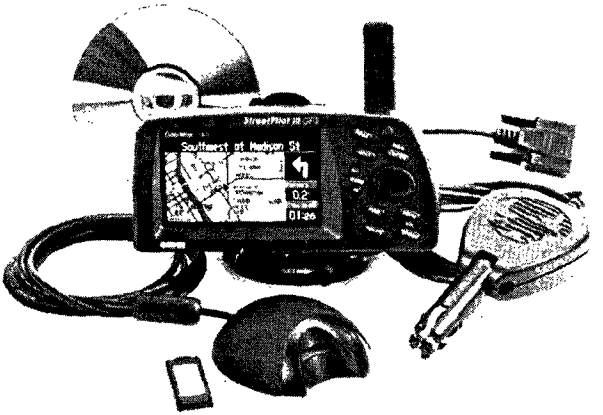
Картографическая информация (по США) для NavMate хранится на девяти PC-картах и включает сведения о дорогах, улицах, номерах домов, интересных местах, магазинах, больницах и т. д.

Цель поездки задается как адрес на улице, перекресток, объект интереса. Может быть введено условие для прокладки маршрута, например, исключение скоростных трасс. Информация водителю выдается на 4-дюймовый цветной жидкокристаллический дисплей в виде карты и указывающих стрелок. Имеется подсказка голосом при приближении к повороту.

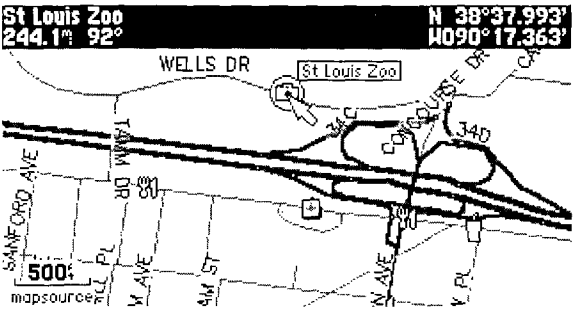
В 1998 году Zexel выпустил модернизированный вариант NavMate. Картографическая информация хранится на трех CD-ROM, пользователь может вносить нужные ему объекты в персональную адресную книгу.

Фирма Nissan Motor Co разработала навигационную систему Nissan Birdview с дружественным интерфейсом. В режиме по умолчанию на мониторе изображена местность, какой она видится наблюдателю, расположенному на высоте 300 м над автомобилем и с расстояния 400 м позади него. Водитель видит местность около и

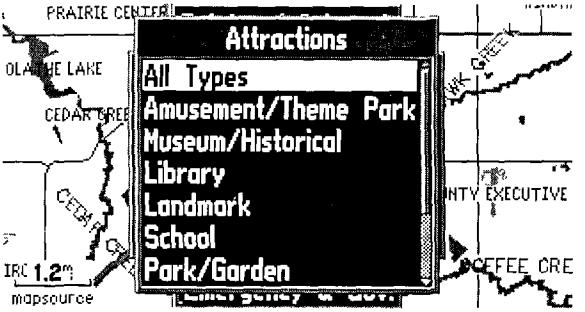
а)



б)



в)



г)

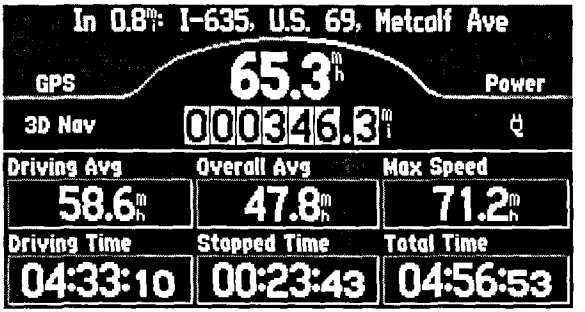


Рис. 5.27. Автомобильная навигационная система Garmin StreetPilot III: а — общий вид системы Garmin StreetPilot III; б — дисплей в навигационном режиме; в — режим выбора пункта назначения; г — дисплей в режиме маршрутного компьютера

перед автомобилем с высоты птичьего полета (отсюда и Birdview) под углом 26° к горизонту, что оптимально для человека. Ширина переднего плана 500 м, задний план на горизонте находится примерно в 7 км и имеет ширину 12 км. Возможен просмотр изображения с высоты 600, 1200, 2400 и 4800 метров.

На монитор может быть выведено изображение местности и в обычном двумерном формате.

На рынке имеются относительно недорогие (менее 900 долларов) спутниковые автомобильные навигационные системы, например, Garmin StreetPilot III, которые можно устанавливать в любом автомобиле на панели под лобовым стеклом.

Система Garmin StreetPilot III (рис. 5.27) имеет цветной дисплей размером 8,6 × 4,5 см разрешением 305 × 160 пикселей, подсказки водителю делаются голосом, картографическая информация хранится на CD-ROM, погрешность определения координат менее 15 м. Устройство подключается к автомобильной бортсети 12 В или питается автономно от батареек. Естественно, приемник системы эффективно работает только в условиях прямой видимости достаточного количества спутников.

Garmin StreetPilot III может работать и как маршрутный компьютер.

5.11. Системы охранной сигнализации и противоугонные устройства

Автомобили время от времени угоняют, причем треть из них обычно так никогда и не находят. Примерно 25% от общего числа преступлений так или иначе связаны с автомобилями. Большую часть случаев составляют кражи автомагнитол и оставленных в салоне вещей, угоны автомобилей подростками. В последнем случае из-за неопытности водителей нередко возникают дорожно-транспортные происшествия. Таким образом, системы охранной сигнализации и противоугонные устройства, предотвращающие несанкционированный доступ в салон автомобиля, нужны не только для борьбы с воровством, но и для обеспечения дорожной безопасности.

Большинство угонщиков автомобилей — низкоквалифицированные подростки, поэтому даже простейшие средства сигнализации, как показывает статистика, значительно уменьшают риск угона.

С другой стороны, никакие средства защиты не остановят квалифицированных специалистов-угонщиков, если они почему-либо решили угнать именно этот автомобиль. Эффективным оказывается применение скрытых радиомаяков, по которым полиция обнаруживает угнанный автомобиль примерно в 93% случаев.

5.11.1. Электронные противоугонные системы

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

Противоугонные системы реализуют защиту автомобиля условно на трех уровнях:

1. Защита по периметру. Система периметрической защиты использует микровыключатели для контроля за открывающимися панелями автомобиля (двери, капот, багажник). При попытке несанкционированного открытия панели включаются звуковой и световой сигналы. Иногда система дополняется датчиками, способными обнаруживать движения тела.

2. Защита 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 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 включают иммобилизатор и защиту по объему. Обычно противоугонная система включается и выключается ключом замка двери или с дистанционного пульта, управляющего также и центральным замком. Запарковав автомобиль, водитель запирает двери и включает противоугонное устройство нажатием кнопки на дистанционном пульте управления (брелоке). 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 секунд звуковые и световые сигналы прекращаются, чтобы не разрядить чрезмерно аккумулятор, иммобилизатор остается включенным до тех пор, пока владелец автомобиля не выключит его дверным ключом или с дистанционного пульта управления.

5.11.2. Дистанционное управление противоугонными устройствами

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 брелоке или самом ключе. Для миниатюризации применяются многослойные печатные платы и бескорпусные микросхемы. Питание осуществляется от миниатюрных батареек, как для наручных часов.

Передатчики выполняются на базе специализированных микросхем, например HCS200, HCS201 (Microchip), или недорогих 8-разрядных микроконтроллеров, например MC68HC05K3 (Motorola). Второй вариант дороже, но есть 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 посылкой соответствующего цифрового кода. Код передается последовательно, используется инфракрасное излучение или радиосигнал в УКВ-диапазоне. Системы, использующие инфракрасное излучение, имеют малый радиус действия, требуют точного наведения луча передатчика, но не создают электромагнитных помех. УКВ-системы имеют больший радиус действия, но сигнал может быть перехвачен и декодирован угонщиками с помощью соответствующей электронной аппаратуры. УКВ-излучатели могут быть источниками электромагнитных помех, поэтому их параметры регламентируются соответствующими законодательствами. В большинстве европейских стран передатчики автомобильных противоугонных систем работают на частоте 433,9 МГц, во Франции — 224 МГц, в Австрии и Италии — 315 МГц, Великобритании — 418 МГц.

Передача сигналов кодовой информации в автомобильных противоугонных системах производится как правило в одном направлении из соображений удешевления оборудования. Брелоки и электромеханические ключи приемников не имеют, хотя двунаправленные сигналы значительно усложнили бы взлом противоугонных систем.

Для повышения секретности линий связи многие противоугонные системы используют набор кодов, т. е. при каждом нажатии кнопки передатчика посылается свой код из набора. Программное обеспечение приемника синхронизирует его работу с передатчиком, т. е. приемник ожидает смену кода. Обычно осуществляется циклический перебор кодов из заданного набора (например, из 25 различных кодов). Если приемник и передатчик вышли из синхронизации (например, водитель случайно нажал кнопку передатчика вдали от автомобиля), дистанционное управление работать не будет, но система автоматически синхронизируется при отпирании двери ключом.

5.11.3. Характеристики противоугонных систем с дистанционным управлением

1. *Электропитание.* Передатчик питается от малогабаритной литиевой батарейки (например, CR2032 емкостью 210 мА·час). Элемент должен работать без замены не менее 5 лет при среднем числе передач в сутки 50 и температуре 25 °С. Это обеспечивает удобство эксплуатации и сохранность уплотнителей в брелоке. Электронная схема брелока не используется более 99% времени. Большое значение

имеет ток потребления в режиме ожидания, который не должен превышать 100 нА. В активном режиме после нажатия кнопки контроллер потребляет 2...3 мА без включения передатчика и 10...12 мА с работающим передатчиком.

Приемник получает энергию из бортовой электросети автомобиля или автономного источника. В режиме ожидания ток потребления менее 1 мА.

2. *Быстродействие.* Время от нажатия кнопки на брелоке до распознавания кода в приемнике около 300 мс, с учетом выполнения команды — 1 с.

3. *Размеры и стоимость.* Передатчик должен быть малогабаритным, чтобы размещаться в корпусе брелока или обычного механического ключа. Люди иногда теряют ключи и брелоки, в том числе и от противоугонных систем. Замена утерянного брелока не должна стоить дорого.

5.11.4. Работа противоугонной системы с дистанционным управлением

На рис. 5.28 и 5.29 схематично изображены алгоритмы работы передатчика и приемника. При нажатии кнопки брелока (передатчик) его микросхема из режима ожидания переходит в рабочий режим. Запускается 16-разрядный синхронизирующий счетчик. Генератор динамического кода вырабатывает по определенному алгоритму динамический код (28—32 бит) в функции от значения секретного ключа (статический код) и состояния синхронизирующего счетчика. Динамический код, заводской номер брелока и код нажатой клавиши образуют управляющее слово длиною 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 ППЗУ приемника, принятая информация идентифицируется по номеру брелока и обрабатывается. Запускается синхронизирующий счетчик приемника и вырабатывается динамический код в генераторе приемника. Если динамические коды приемника и передатчика совпадают, производится выполнение переданной команды.

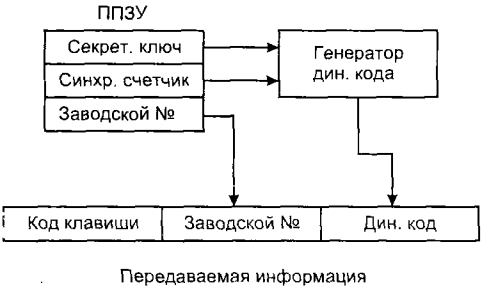


Рис. 5.28. Алгоритм работы передатчика

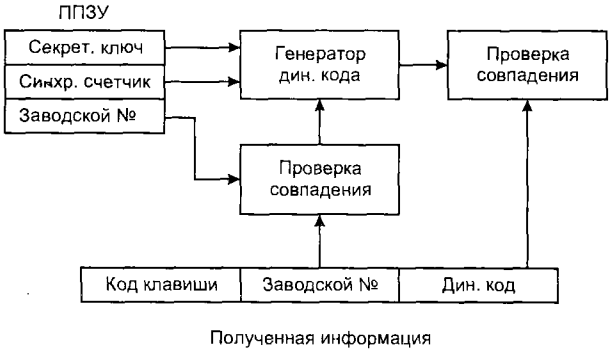


Рис. 5.29. Алгоритм работы приемника

Заводской номер передатчика и секретный ключ — статические коды. Генератор динамического кода, тактируемый от 16-разрядного синхронизирующего счетчика, вырабатывает 65535 различных значений кода, меняющихся в каждой посылке, повторяющихся циклически. Если пользоваться брелоком 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. Для автомобильных приложений считается удовлетворительным, если время T_s взлома системы методом сканирования (перебора возможных комбинаций) превышает 32 суток. В таком случае

$$T_s = \frac{1}{D} C(T_t + T_d),$$

где D — число зарегистрированных брелоков, C — число значений секретного ключа, T_t — время активации системы, T_d — время, на которое отключается система, получив неверный динамический код и распознав попытку взлома.

5.11.5. Виды взлома и защита от них

Возможные варианты взлома системы дистанционного управления:

1. Воспроизведение ранее записанного кода.
2. Воспроизведение ранее записанного кода с использованием сканеров или грабберов.
3. Криптоанализ.
4. Взлом во время обслуживания.

Ранние системы дистанционного управления передавали фиксированный код или меняющийся код из небольшого фиксированного набора. Угонщик с портативным компьютером и приемопередатчиком (граббер) записывал сигнал с брелока автовладельца, затем воспроизводил его в нужный момент, отключая сигнализацию. При сканировании передатчик угонщика периодически посылает кодовые комбинации из небольшого набора, пока противоугонная система не будет отключена совпавшим кодом.

Применение динамического кода, т. е. увеличение числа возможных кодовых комбинаций в посылке сделало использование сканирования невозможным. С другой стороны, появились интеллектуальные грабберы, взламывающие противоугонные системы с динамическим кодом и односторонней передачей информации, работающие следующим образом. Первая посылка с брелока записывается граббером с одновременной генерацией помехи, блокирующей приемник. Не получив подтверждения о включении противоугонной системы, владелец вторично нажимает кнопку брелока. Граббер записывает вторую посылку, блокирует ее прием приемником, затем посылает первую посылку. Противоугонная система включается. В нужное время угонщик ее отключит записанной граббером второй посылкой. Возможным методом борьбы против этого алгоритма работы граббера является использование двунаправленной передачи информации в системе дистанционного управления. Но эта борьба бесконечна.

Криптоаналитик по записям нескольких реализаций динамического кода, полученных граббером, может определить алгоритм работы генератора и секретный ключ, чтобы потом по N-й посылке вычислить (N + 1) – ю.

В современных противоугонных системах часто применяют специализированные микросхемы фирмы Microchip, реализующие алгоритм генерации псевдослу-

чайной последовательности (динамического кода) Keeloq с длиной ключа 64 бита. Имеются оценки среднего времени для аппаратного вскрытия грубой силой (перебором комбинаций) в зависимости от затрат на взламывающее оборудование и длины ключа (табл. 5.1).

Таблица 5.1

Стоимость оборудования	Длина ключа в битах		
	56	64	80
100000$	35 часов	1 год	70000 лет
1000000$	3,5 часа	37 дней	7000 лет
10000000$	21 минут	4 дня	700 лет

Для взлома противоугонной системы нужно иметь специализированное оборудование или суперЭВМ типа Cray, т. к. операционные системы обычных компьютеров не приспособлены для обработки длинных кодовых слов. Криптоанализ обойдется неразумно дорого.

В автосервисе угонщики могут попытаться зарегистрировать свой брелок в приемнике автомобиля. Далее можно записать с помощью граббера команду ресинхронизации с зарегистрированного брелока, чтобы воспроизвести ее позднее при угоне.

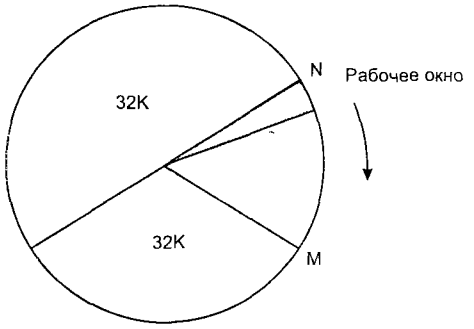


Рис. 5.30. Алгоритм синхронизации

Следовательно, программное обеспечение приемника должно информировать владельца о подключении еще одного передатчика. Для нормальной работы системы дистанционного управления содержимое 16-разрядных синхронизирующих счетчиков приемника и передатчика должны совпадать и инкрементироваться с каждым нажатием кнопки брелка. На практике возможны случайные нажатия кнопок брелока (ребенок поиграл), ведущие к рассинхронизации, что должно корректироваться. Рисунок 5.30 поясняет алгоритм синхронизации в противоугонных системах.

Код в синхронизирующем счетчике циклически изменяется с каждым нажатием кнопки брелока, пробегая последовательно значения 0, 1, ...N, N+1, ..., $2^{16} - 1$, 0, 1, ... Пусть текущее состояние счетчика приемника N. Приемник воспримет как разрешенные динамические коды, соответствующие состояниям синхронизирующего счетчика от N до $(N + \Delta)$, где Δ — ширина рабочего окна, обычно $\Delta = 16$. В пределах рабочего окна ресинхронизация производится одной посылкой незаметно для владельца. 32K состояний счетчика до N являются запрещенными, 32K состояний счетчика после N являются разрешенными. Рабочее окно и обе зоны циклически перемещаются при инкрементации счетчика.

Если с брелока поступает динамический код, соответствующий состоянию синхронизирующего счетчика M вне рабочей зоны, но в разрешенной зоне, приемник

запоминает М и ждет следующей посылки. Если в следующей посылке передается код, соответствующий (М + 1), производится ресинхронизация счетчика приемника, рабочее окно смещается в новое положение, посланная команда выполняется.

Получив код из запрещенной зоны, приемник на какое-то время отключается, чтобы воспрепятствовать сканированию.

После записи двойной посылки для ресинхронизации угонщик должен 32К раз нажать кнопку брелока, чтобы посланный с граббера код оказался опять в разрешенной зоне. Кроме того, приемник запоминает несколько последних попыток ресинхронизации (обычно 4) и не позволяет использовать записанные кодовые комбинации повторно.

Большинство противоугонных систем поддерживают режим Valet, когда для обслуживания автомобиля система отключается и нет необходимости передавать брелоки посторонним лицам.

5.11.6. Шифраторы и дешифраторы динамического кода Keeloq

Эти микросхемы фирмы Microchip используются в большинстве современных автомобильных противоугонных систем.

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.

Хотя в криптографии считается, что безопасность алгоритма должна базироваться на длине ключа, а не на секретности алгоритма, никто не спешит публиковать свои алгоритмы. Так поступает и Microchip, но можно сделать некоторые логические предположения.

Последовательности сдвигающих регистров, генерирующие псевдослучайный сигнал, давно используются в криптографии, исследованиях динамики систем автоматики. Их математическая теория хорошо разработана, они легко реализуются, применялись в криптографии еще до появления электроники.

На рис. 5.31 показана блок-схема генератора псевдослучайной последовательности. Если не интересоваться математической стороной вопроса, то это сдвигающий регистр с обратными связями.

Выходы n-разрядного сдвигающего регистра подключены к блоку обратной связи. Содержимое регистра сдвигается вправо. Бит a_n заменяется на a_{n-1} и т. д. В первый разряд записывается значение, определяемое функцией обратной связи. Выходной сигнал снимается с одного из разрядов и имеет период до $(2^n - 1)$. В блоке обратной связи чаще всего используется операция суммирования по модулю два (исключающее ИЛИ). Например, генератор на рис. 5.32 выдает последовательность ...111101011001000..., проходя последовательно состояния ...1111, 1110, 1101, 1010, 0101, 1011, 0110, 1100, 1001, 0010, 0100, 1000, 0001, 0011, 0111.

Имеются таблицы, в которых указаны разряды регистров определенной разрядности, участвующие в формировании сигнала обратной связи, чтобы выходная последовательность имела максимальный возможный период $(2^n - 1)$. Например, 8-4-1, 9-5-4-3-1, 64-2-1 и т. д. Отвод обязательно делается от крайних разрядов. Выходные сигналы таких генераторов называют М-последовательностями.

Шифры на основе М-последовательностей в чистом виде относительно легко раскрываются, т. к. имеются алгоритмы, позволяющие определять структуру гене-

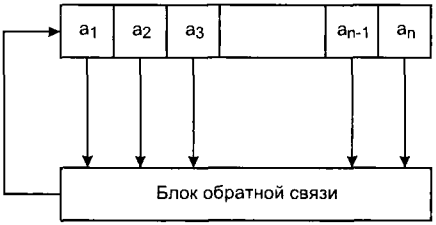


Рис. 5.31. Генератор М-последовательности

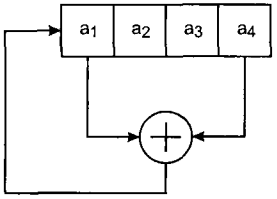


Рис. 5.32. Четырехразрядный генератор

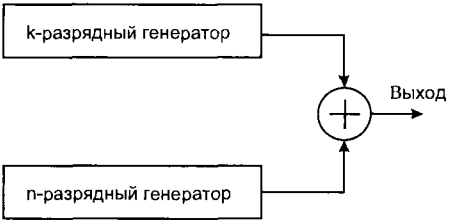


Рис. 5.33. Генератор Геффа

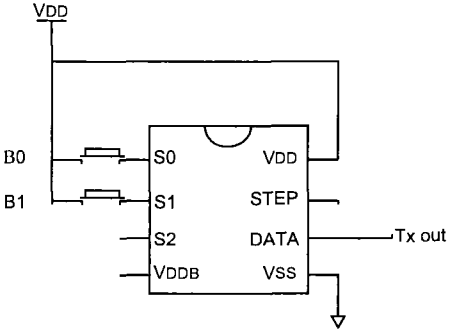


Рис. 5.34. Шифратор HCS201

ратора по наблюдаемому выходному сигналу. Для преодоления этого недостатка генераторы потока ключей усложняют.

Например, на рис. 5.33 показан один из таких вариантов — генератор Геффа.

Оба генератора тактируются синхронно, их выходные сигналы подаются на схему исключающего ИЛИ. Результирующий сигнал — М-последовательность с периодом $(2^{n+k} - 1)$. Пространством ключей будет множество (n + k) разрядных начальных состояний регистров.

В алгоритме Keeloq передаются не 64-разрядные слова состояния регистра, а 32-разрядные блоки, цельная выходная последовательность длиною больше 2n бит здесь недоступна.

Шифраторы HCS200, HCS201 и дешифраторы HCS515 Microchip — типичные специализированные микросхемы для использования в системах дистанционного управления, в частности в автомобильных противоугонных системах.

Шифраторы (например, HCS201) очень компактны (рис. 5.34), и для изготовления на их базе брелоков требуются микросхема передатчика и минимум внешних компонентов.

При нажатии любой из кнопок передается динамический код и статус нажатой кнопки, приемник выполняет соответствующую этой кнопке команду. При одновременном нажатии всех кнопок передается вместо динамического кода 32-разрядное слово (seed) для генерации в приемнике секретного ключа. Это один из вариантов реализации процедуры регистрации брелока в приемнике.

Перед использованием в шифратор с помощью программатора заносится инициализирующая информация. Для защиты от взлома эта информация может быть считана из ППЗУ только непосредственно после записи. Потом она недоступна для чтения. Записываются:

- 28- или 32-разрядный номер брелока для его идентификации в системе;

- 64-разрядный секретный ключ — начальное состояние генератора псевдослучайной последовательности. Ключ может быть сформирован изготовителем противоугонной системы самостоятельно. Может быть использован алгоритм генерации ключей, предлагаемый фирмой Microchip, тогда будет применяться стандартная процедура регистрации брелоков в приемнике. Входной информацией для алгоритма являются номер брелока и 64-битовый секретный код, который изготовитель помещает в приемник. В другом варианте это номер брелока и 32-битовое число из ППЗУ брелока (seed);
- 12 разрядное дискриминационное слово. Произвольный статический код, рекомендуется использовать младшие разряды номера брелока;
- 32-разрядное секретное слово (seed), которое передается в одном из режимов регистрации, для генерации в приемнике секретного ключа.

На рис. 5.28 схематично показано слово, передаваемое брелоком приемнику. Здесь динамический код — это зашифрованный шифром Keeloq 32-разрядный блок, включающий: статус клавиши — 4 бита, дискриминационное слово — 12 бит, состояние синхронизирующего счетчика — 16 бит.

В ППЗУ приемника хранятся дискриминационное слово, секретный ключ и состояние синхронизирующего счетчика. При совпадении дискриминационных слов приемника и передатчика делается вывод о состоятельности дешифрования и команда выполняется.

Несовпадение значений означает рассинхронизацию, т. е. для шифрования и дешифрования использовались не синхронные последовательности из пространства ключей. Приемник начинает процедуру ресинхронизации, т. е. начинает инкрементировать синхронизирующий счетчик и дешифровать сообщение с помощью соответствующих состояниям сихросчетчика и секретному ключу последовательностей, пока дискриминационное слово не дешифруется правильно. Далее реализуется алгоритм синхронизации (рис. 5.30).

В приемник записывают 64-битовое секретное слово производителя, которое применяется при генерации секретного ключа, и дискриминационное значение или указание, что в качестве такового используется 12 младших разрядов номера брелока.

При регистрации брелока приемник включается в режим «обучения». При первом нажатии кнопки брелока его номер записывается в память приемника на свободное место. По этому номеру и 64-битовому секретному коду генерируется секретный ключ, такой же, как в брелоке. Начинается дешифрация сообщения для определения состояния синхронизирующего счетчика передатчика, полученное значение запоминается. Кнопка брелока нажимается повторно, проверяются значения дискриминационного слова и синхросчетчика. При успешном завершении процедуры брелок регистрируется.

Производители противоугонных систем разработали и иные процедуры регистрации.

5.11.7. Иммобилизатор с транспондером

Противоугонные системы постоянно совершенствуются, одним из вариантов является электронный иммобилизатор с микротранспондером в ключе зажигания. Замок зажигания срабатывает, если код, полученный специальным приемником от транспондера, совпадает с заданным. Транспондер потребляет электромагнитную энергию, излучаемую приемником на частоте 60...150 кГц, и не требует дополнительного источника питания.

На рис. 5.35 схематично показана противоугонная система, выпущенная фирмой Philips и применяемая на автомобилях многих моделей, включая BMW, GM и

Volkswagen. Транспондер состоит из сложной микросхемы, называемой программируемым идентификатором (Programmable Identification Tag — PIT), которая подключена к источнику питания, состоящему из принимающей катушки и конденсатора. Когда ключ зажигания оказывается на расстоянии примерно 5 см от замка, возникает электромагнитная связь между катушкой транспондера и приемником. Получаемой энергии оказывается достаточно для работы микросхемы PIT, которая передает кодовое слово на приемник, модулируя ток, проходящий через катушку на ключе. Если код, полученный от транспондера, соответствует коду, хранящемуся в памяти приемника, ЭБУ двигателя получает разрешение выполнить запуск двигателя. После успешного запуска двигателя приемник посылает в транспондер новую кодовую комбинацию, именно она будет использоваться при следующем запуске двигателя. Таким образом достигается высокий уровень защищенности противоугонной системы.

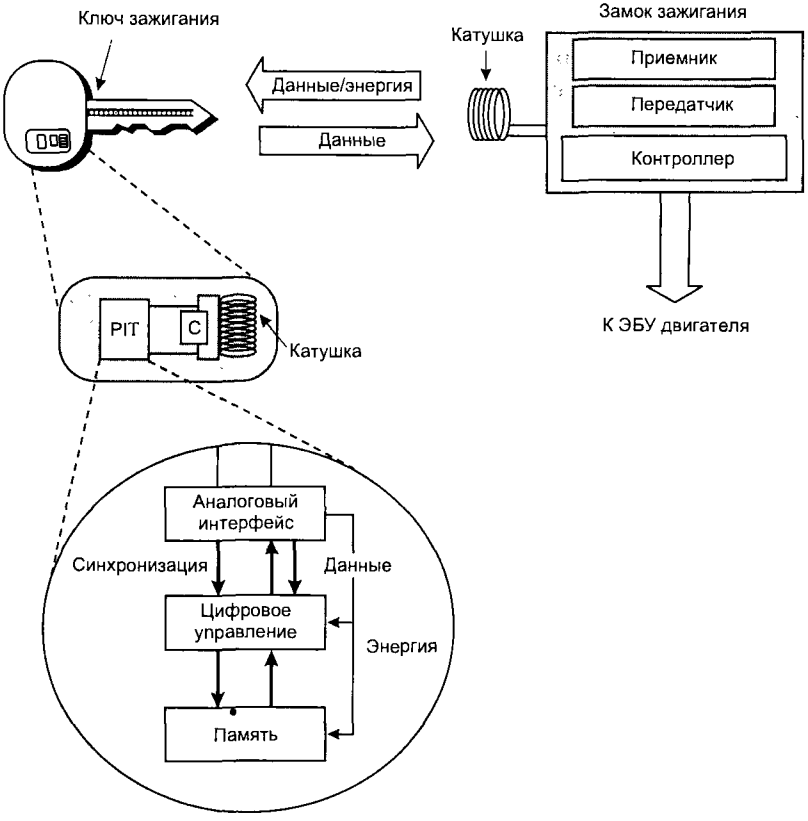


Рис. 5.35. Иммобилизатор с транспондером

В некоторых системах транспондер работает на расстоянии 1...1,5 м от приемника. Он размещается в одежде водителя. Если приемник утрачивает связь с транспондером (водителя выбросили из салона), через некоторое время двигатель останавливается.

Интеллектуальные грабберы засекают наличие такого транспондера и способны имитировать его сигнал.

5.11.8. Конфигурация противоугонной системы

На рис. 5.36 показана конфигурация базовой противоугонной системы с периметрической и объемной защитой и с иммобилизатором. Система включает микропроцессорный ЭБУ, управляющий также центральным замком и приводящийся в рабочее состояние сигналом с радиочастотного дистанционного пульта управления после запирания дверей автомобиля.

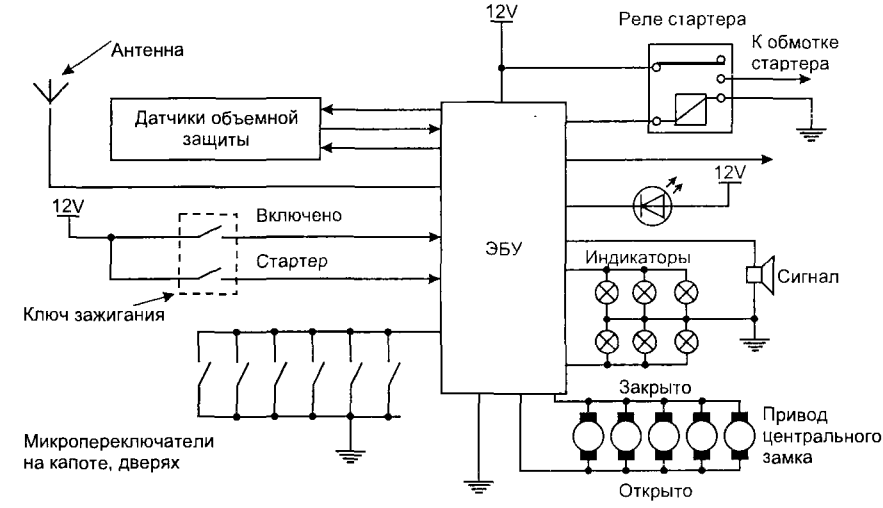


Рис. 5.36. Блок-схема базовой противоугонной системы

Как только противоугонная система включена, она может реагировать на следующие действия:

- открывание капота, дверей или багажника;
- попытка отпереть дверной замок;
- попытка включить замок зажигания;
- попытка включить стартер;
- перемещение, движение в салоне автомобиля (объемная защита).

Когда противоугонная система зафиксирует попытку несанкционированного доступа к автомобилю, на 30 секунд включается звуковой сигнал и подсветка фарами, иммобилизатор вносит разрывы в цепи управления запуском и запрещает пользование калибровочными диаграммами электронного зажигания и впрыска топлива, после чего работа двигателя становится невозможной.

Для выключения противоугонной системы и отпирания дверей с дистанционного пульта должен быть послан соответствующий код.

5.11.9. Дополнительные датчики

Многие противоугонные системы имеют дополнительные датчики и больше возможностей, чем описанная выше базовая система.

1. *Радиоприемник и ящик для перчаток.* Здесь могут быть установлены микропереключатели, включающие охранную сигнализацию при открывании ящика для перчаток, включении, демонтаже радиоприемника.

2. *Датчики, фиксирующие разбивание стекла.* Эти датчики включают охранную сигнализацию, если угонщик попытается проникнуть в салон автомобиля, разбив

заднее или боковые стекла. Переднее ветровое стекло (триплексное) обычно не оснащается датчиками, так как считается достаточно прочным. В основном используются два типа датчиков:

а) проволочная петля. На стекле размещается петля из тонкого провода. Постоянно контролируется целостность этой электрической цепи. При разбивании стекла электрическая цепь нарушается и включается охранная сигнализация. Этот способ хорош для неподвижных стекол, например, для заднего стекла, где уже имеется электрический контур обогревателя;

б) магнитные датчики используются для подвижных боковых стекол. На нижнем крае стекла (в корпусе двери) закрепляют небольшой постоянный магнит. Когда стекло поднято, магнит находится близко от геркона, размещенного в корпусе двери, и своим магнитным полем замыкает контакты геркона, образуя замкнутый сигнальный контур. Если стекло разбито, его фрагменты проваливаются вместе с магнитом на дно корпуса двери, геркон размыкает контакты, включается охранная сигнализация.

3. *Датчик наклона.* Включает охранную сигнализацию, если наклон автомобиля будет отличаться от того, при котором он был запаркован. Это может произойти при попытке поднять автомобиль подъемным краном или буксировать. Один из типов датчиков предусматривает контроль за величиной электрической емкости конденсатора, образованного двумя металлическими пластинами, разделенными жидким диэлектриком. Если датчик наклонен, пластины по-иному омываются жидкостью и емкость меняется. ЭБУ противоугонного устройства замеряет емкость конденсатора и запоминает ее при включении, затем постоянно ее контролирует. При изменении емкости конденсатора (машину подняли краном) включается сигнал тревоги. По специальной команде ЭБУ противоугонного устройства сигнал с датчика наклона можно заблокировать, что позволяет перевозить автомобиль на пароме, по железной дороге без ложного срабатывания противоугонной системы.

4. *Датчик положения автомобиля.* Передвижение автомобиля вперед или назад фиксируется, что вызывает срабатывание противоугонной системы (например, при попытке толкать или буксировать автомобиль). Несанкционированное перемещение автомобиля обычно определяется подсчетом импульсов от датчика спидометра. Если за заданное время получено число импульсов больше определенного, автомобиль считается движущимся и включается сигнализация.

Глава 6. Автомобильные мультиплексные системы передачи информации

6.1. Понятие об автомобильных мультиплексных системах

За последние 20 лет значительно возросла сложность автомобильной электропроводки. Сегодня разработка и изготовление автомобильного жгута проводов является проблемой из-за его размеров и веса. В современном автомобиле может быть более 1200 отдельных проводов. Например, жгут, идущий к двери водителя, содержит 50 проводов; жгут, подходящий к приборному щитку — около 100 проводов. Помимо увеличения размеров и веса, большое число проводов и соединителей ухудшает надежность.

По стоимости автомобильный жгут проводов занимает четвертое место после кузова, двигателя и трансмиссии.

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

- автотронное управление двигателем;
- автотронные антиблокировочные системы;
- автотронное управление коробкой передач;
- автотронное 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 использовать один компьютер для управления всеми автомобильными системами. Но сегодня и в ближайшем будущем это экономически нецелесообразно. Начинает претворяться в жизнь другое техническое решение, когда контроллеры отдельных электронных блоков управления (ЭБУ) связываются друг с другом коммуникационной шиной для обмена данными. Датчики и исполнительные механизмы, подключенные к этой шине через специальные согласующие устройства, становятся доступными для всех ЭБУ. Это есть не что иное как локальная вычислительная 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. На рис. 6.1 показана традиционная схема электропроводки и мультиплексная система.

Мультиплексные системы значительно отличаются от обычных. Укажем на некоторые отличия, очевидные из рис. 6.1.

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

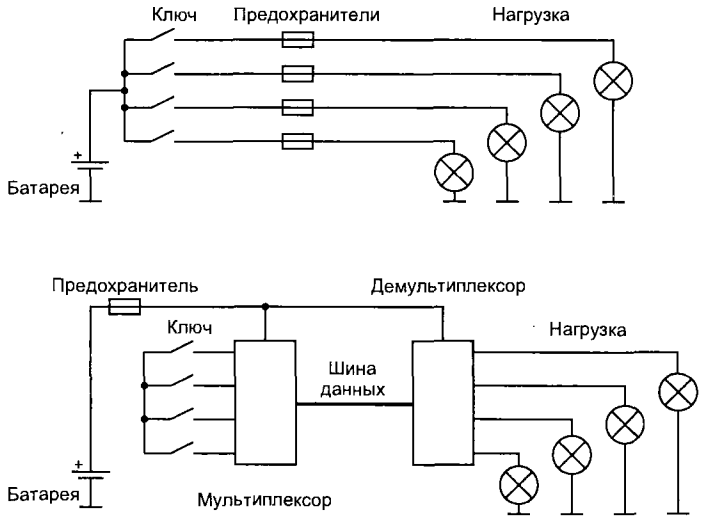


Рис. 6.1. Обычное и мультиплексное подключение нагрузок

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.

По схеме на рис. 6.1 может быть реализовано электропитание корпусных потребителей: освещение, стеклоподъемники, омыватели и т. д. Электропроводка упрощается за счет приема и передачи различных сигналов между узлами по одной и той же шине (проводу). При обычной схеме проводки для реализации каждой функции требуется отдельный проводник. Через узлы осуществляется доступ к сети. Узел, как правило, содержит микропроцессор, подключенный к коммутационной шине, и электронные цепи, управляющие работой датчиков и исполнительных механизмов, подключенных к узлу. Коммуникационная шина на современном автомобиле чаще всего представляет собой витую пару проводов, хотя возможны и другие варианты (см. 6.2.3). На рис. 6.2 в общем виде показана муль-

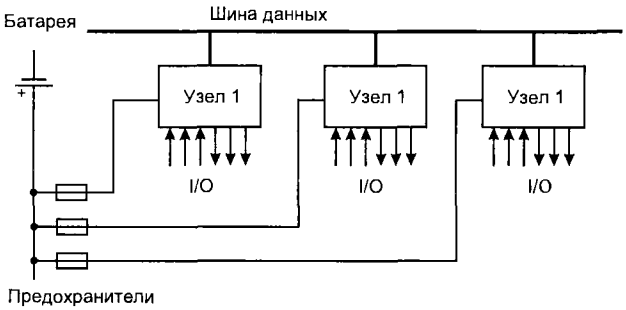


Рис. 6.2. Структура мультиплексной системы

типлексная система. К входам узлов могут подключаться любые датчики, к выходам исполнительные устройства. Примеры входной информации: температура, ток, напряжение, положение переключателей и т. д. Примеры исполнительных устройств и механизмов: дисплеи, электроклапаны, электродвигатели и т. п.

SAE (Society of Automotive Engineers — международное общество автомобильных инженеров) делит мультиплексные автомобильные системы на три класса:

1. Класс А. Мультиплексные системы, в которых автомобильная электропроводка упрощается за счет использования коммуникационной шины. По этой шине между узлами передаются сигналы, которые проходят по раздельным проводам в автомобиле с обычной электропроводкой. Узлы, являющиеся частью мультиплексной системы, при обычной электропроводке отсутствуют.

2. Класс В. В мультиплексной системе между узлами передаются информационные данные (обычно значения параметров), чем достигается устранение избыточности датчиков и иных элементов по сравнению с обычной схемой электропроводки. В этом случае узлы существуют и в обычной системе, в виде несвязанных элементов.

3. Класс С. Мультиплексная система с высокой скоростью обмена данными, осуществляющая управление в реальном времени, например, двигателем, антиблокировочной системой и т. д.

Системы класса А используются для включения/выключения различных нагрузок (например, для управления элементами двери салона), скорость передачи по шине не более 10 Кбит/сек.

В системах класса В осуществляется обмен информацией между подсистемами, когда требуется скорость передачи данных 100...250 Кбит/сек. В настоящее время системы класса В используются на автомобиле чаще других. Обмен данными в системах класса В соответствует требованиям стандарта J1850 (10...40 Кбит/сек, США, Япония) или протоколу VAN (vehicle area network — автомобильная локальная сеть), 125 кбит/сек, поддерживаемому французскими фирмами Renault и Peugeot. Задачи систем класса В можно решить, применив шину CAN (controller area network — локальная сеть контроллеров), но на сегодняшний день пока это экономически нецелесообразно.

В системах класса С осуществляется распределенное управление в реальном масштабе времени, скорость обмена данными около 1 Мбит/сек. Шина CAN является стандартом для мультиплексных систем класса С. Крупнейшие производители автомобильного электронного оборудования (Bosch, Delco) и комплектующих (Intel, Motorola) поддерживают CAN.

6.2. Локальные вычислительные сети

6.2.1. Эталонные модели взаимодействия систем

Для определения задач, поставленных перед сложной технической системой, а также для выделения главных характеристик и параметров, которыми она должна обладать, создаются общие модели таких систем. Общая модель вычислительной сети определяет характеристики сети в целом и характеристики и функции входящих в нее основных компонентов.

Многообразие вариантов вычислительных сетей и сетевых программных продуктов поставило проблему объединения сетей различных архитектур. Для ее ре-

Уровень	
7	Прикладной
6	Представительный
5	Сеансовый
4	Транспортный
3	Сетевой
2	Канальный
1	Физический

Рис. 6.3. Эталонная модель архитектуры открытых систем

шения была разработана эталонная модель архитектуры открытых систем (рис. 6.3).

Открытая система — это система, взаимодействующая с другими системами в соответствии с принятыми стандартами.

Эталонная модель архитектуры открытых систем является моделью взаимодействия открытых систем (моделью ВОС) и служит базой для производителей при разработке совместимого сетевого оборудования. Эта модель не является неким физическим телом, отдельные элементы которого можно осязать. Эталонная модель представляет собой самые общие рекомендации для построения стандартов совместимых сетевых программных продуктов. Эти рекомендации должны быть реализованы как в аппаратуре, так и в программных средствах вычислительных сетей.

В настоящее время модель взаимодействия открытых систем (модель ВОС) является наиболее популярной сетевой архитектурной моделью. Модель рассматривает общие функции, а не специальные решения, поэтому не все реальные сети абсолютно точно ей соответствуют. Модель взаимодействия открытых систем состоит из семи уровней (рис. 6.3).

7-й уровень — прикладной — обеспечивает поддержку прикладных процессов конечных пользователей. Этот уровень определяет круг прикладных задач, реализуемых в данной вычислительной сети.

6-й уровень — представительный — определяет синтаксис данных в модели, т. е. представление данных. Он гарантирует представление информации в кодах и форматах, принятых в данной системе. В некоторых системах этот уровень может быть объединен с прикладным.

5-й уровень — сеансовый — реализует установление и поддержку сеанса связи между двумя абонентами через коммуникационную сеть. Он позволяет производить обмен информацией в режиме, определенном прикладной программой, или предоставляет возможность выбора режима обмена. Сеансовый уровень поддерживает и завершает сеанс связи.

Три верхних уровня объединяются под общим названием — процесс или прикладной процесс. Эти уровни определяют функциональные особенности вычислительной сети как прикладной системы.

4-й уровень — транспортный — обеспечивает интерфейс между процессами и сетью. Он устанавливает логические каналы между процессами и обеспечивает передачу по этим каналам информационных пакетов, которыми обмениваются процессы. Пакет — группа байтов, передаваемых абонентами сети друг другу. Логические каналы, устанавливаемые транспортным уровнем, называются транспортными каналами.

3-й уровень — сетевой — определяет интерфейс оконечного оборудования пользователя с сетью коммутации пакетов. Он также отвечает за маршрутизацию пакетов в коммуникационной сети и за связь между сетями — реализует межсетевое взаимодействие.

2-й уровень — канальный — реализует процесс передачи информации по информационному каналу. Информационный канал — логический канал, он уста-

навливается между двумя ЭВМ, соединенными физическим каналом. Канальный уровень обеспечивает управление потоком данных в виде кадров, в которые упаковываются информационные пакеты, обнаруживает ошибки передачи и реализует алгоритм восстановления информации в случае обнаружения сбоев или потерь данных. Кадр имеет структуру: информация об источнике данных, информация о приемнике, тип кадра, данные, контрольная информация.

1-й уровень — физический — выполняет все необходимые процедуры в канале связи. Его основная задача — управление аппаратурой передачи данных и подключенным к ней каналом связи.

При передаче информации от прикладного процесса в сеть происходит ее обработка уровнями модели ВОС (рис. 6.4). Смысл этой обработки заключается в том, что каждый уровень добавляет к информации процесса свой заголовок — служебную информацию, которая необходима для адресации сообщений и для некоторых контрольных функций. Канальный уровень кроме заголовка добавляет еще и концевик — контрольную последовательность, которая используется для проверки правильности приема сообщения из коммуникационной сети.

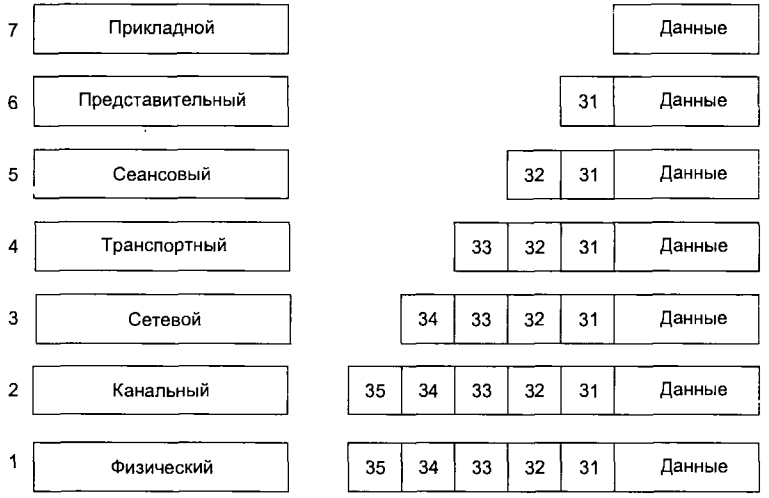


Рис. 6.4. Обработка сообщений уровнями модели ВОС (каждый уровень добавляет свой заголовок — 3)

Физический уровень заголовка не добавляет. Сообщение, обрамленное заголовками и концевиком, уходит в коммуникационную сеть и поступает на абонентские ЭВМ вычислительной сети. Каждая абонентская ЭВМ, принявшая сообщение, дешифрирует адреса и определяет, предназначено ли ей данное сообщение.

При этом в абонентской ЭВМ происходит обратный процесс — чтение и отсечение заголовков уровнями модели ВОС. Каждый уровень реагирует только на свой заголовок. Заголовки верхних уровней нижними уровнями не воспринимаются и не изменяются — они прозрачны для нижних уровней. Так, перемещаясь по уровням модели ВОС, информация, наконец, поступает к процессу (потребителю), которому она была адресована.

В процессе развития и совершенствования любой системы возникает потребность изменять ее отдельные компоненты. Иногда это вызывает необходимость изменять и другие компоненты, что существенно усложняет и затрудняет процесс

модернизации системы. В таком случае проявляются преимущества семиуровневой модели ВОС. Если между уровнями определены однозначно интерфейсы, то изменение одного из уровней не влечет за собой необходимости внесения изменений в другие уровни. Таким образом, существует относительная независимость уровней друг от друга.

Функции, описываемые уровнями модели, должны быть реализованы либо в аппаратуре, либо в виде программ.

Функции физического уровня всегда реализуются в аппаратуре. Это адаптеры, мультиплексоры передачи данных, сетевые платы и т. п.

Функции остальных уровней реализуются в виде программных модулей — драйверов.

6.2.2. Протоколы компьютерных сетей

При обмене информацией в компьютерной сети каждый уровень модели ВОС реагирует на свой заголовок. Иными словами, происходит взаимодействие между одноименными уровнями модели в различных абонентских ЭВМ. Такое взаимодействие должно выполняться по определенным правилам — протоколам.

Протокол — это не программа. Правила и последовательность выполнения действий при обмене информацией, определенные протоколом, должны быть реализованы в программе. Обычно функции протоколов различных уровней реализуются в драйверах для различных вычислительных сетей.

В соответствии с семиуровневой структурой модели ВОС можно говорить о необходимости существования протоколов для каждого уровня.

Концепция открытых систем предусматривает разработку стандартов для протоколов различных уровней. Легче всего поддаются стандартизации протоколы трех нижних уровней модели архитектуры открытых систем, так как они определяют действия и процедуры, характерные для вычислительных сетей любого класса.

Труднее всего стандартизовать протоколы верхних уровней, особенно прикладного, из-за множественности прикладных задач и в ряде случаев их уникальности. Если по типам структур, методам доступа к физической передающей среде, используемым сетевым технологиям и некоторым другим особенностям можно насчитать примерно десяток различных моделей вычислительных сетей, то по их функциональному назначению пределов не существует.

Проще всего представить особенности сетевых протоколов на примере протоколов канального уровня, которые делятся на две основные группы: байт-ориентированные и бит-ориентированные.

Байт-ориентированный протокол обеспечивает передачу сообщения по информационному каналу в виде последовательности байтов. Кроме информационных байтов в канал передаются также управляющие и служебные байты. Такой тип протокола удобен для ЭВМ, так как она ориентирована на обработку данных, представленных в виде двоичных байтов. Для коммуникационной среды байт-ориентированный протокол менее удобен, так как разделение информационного потока в канале на байты требует использования дополнительных сигналов, что в конечном счете снижает пропускную способность канала связи.

Бит-ориентированный протокол предусматривает передачу информации в виде потока битов, не разделяемых на байты. Поэтому для разделения кадров используются специальные последовательности — флаги. В начале кадра ставится флаг открывающий, а в конце — флаг закрывающий.

Бит-ориентированный протокол удобен относительно коммуникационной среды, так как канал связи как раз и ориентирован на передачу последовательности битов. Для ЭВМ он не очень удобен, потому что из поступающей последовательности битов приходится выделять байты для последующей обработки сообщения. Впрочем, учитывая быстродействие ЭВМ, можно считать, что эта операция не окажет существенного влияния на ее производительность.

6.2.3. Физическая передающая среда в ЛВС

Физическая среда обеспечивает перенос информации между абонентами вычислительной сети. Физическая передающая среда в ЛВС может быть представлена следующими типами кабелей: одиночный провод, витая пара проводов, коаксиальный кабель, оптоволоконный кабель.

Однопроводные соединения используются в автомобильных мультиплексных системах со скоростью передачи информации ниже 10 Кбит/с. Помехозащищенность низкая.

Витая пара состоит из двух изолированных проводов, свитых между собой (рис. 6.5). Скручивание проводов уменьшает влияние внешних электромагнитных полей на передаваемые сигналы. Самый простой вариант витой пары — телефонный кабель. Витые пары имеют различные характеристики, определяемые размерами, изоляцией и шагом скручивания. Невысокая стоимость этого вида передающей среды делает ее достаточно популярной для ЛВС.

Основной недостаток витой пары — плохая помехозащищенность и низкая скорость передачи информации — не более 1 Мбит/с. Технологические усовершенствования позволяют повысить скорость передачи и помехозащищенность (экранированная витая пара), но при этом возрастает стоимость этого типа передающей среды. В автомобильных сетях витые пары работают при скоростях обмена не выше 500 Кбит/с.

Проблемы с электромагнитной совместимостью возникают уже при скорости обмена выше 100 Кбит/с. Однопроводные кабели и витые пары удобно подключать к узлам сети.

Коаксиальный кабель (рис. 6.6) по сравнению с витой парой обладает более высокой механической прочностью, помехозащищенностью и обеспечивает скорость передачи информации до 50 Мбит/с. Для промышленного использования выпуска-

Рис. 6.5. Витая пара

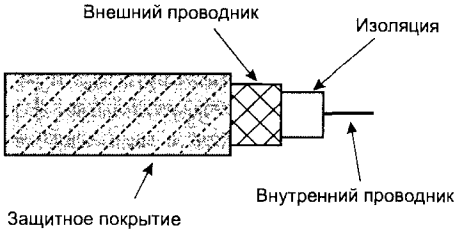


Рис. 6.6. Коаксиальный кабель

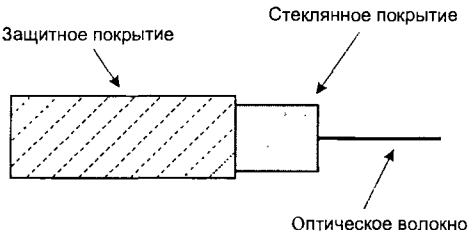


Рис. 6.7. Оптоволоконный кабель

ются два типа коаксиальных кабелей: толстый и тонкий. Толстый кабель более прочен и передает сигналы нужной амплитуды на большее расстояние, чем тонкий. В то же время тонкий кабель значительно дешевле. Коаксиальный кабель также, как и витая пара, является одним из популярных типов передающей среды для ЛВС.

На автомобилях экранированные витые пары или коаксиальный кабель работают при скоростях обмена данными не более 10 Мбит/с, имеют хорошую электромагнитную совместимость, но подключать к узлам их неудобно, нужны специальные Т-образные ответвители.

Оптоволоконный кабель — идеальная передающая среда (рис. 6.7). Он не подвержен действию электромагнитных полей и сам практически не имеет излучения. Последнее свойство позволяет использовать его в сетях, требующих укрытия секретной информации.

Скорость передачи информации по оптоволоконному кабелю более 50 Мбит/с. По сравнению с предыдущими типами передающей среды он имеет более высокую стоимость, менее технологичен в эксплуатации.

6.2.4. Основные топологии ЛВС

Вычислительные машины (контроллеры для автомобиля), входящие в состав ЛВС, могут быть расположены самым случайным образом на объекте, где создается вычислительная сеть. Следует заметить, что для способа обращения к передающей среде и методов управления сетью небезразлично, как расположены абонентские ЭВМ. Поэтому имеет смысл говорить о топологии ЛВС.

Топология ЛВС — это формализованная геометрическая схема соединений узлов сети.

Топологии вычислительных сетей могут быть самыми различными, но для локальных вычислительных сетей типичными являются всего три: кольцевая, шинная, звездообразная.

Иногда для упрощения используют термины — кольцо, шина и звезда. Не следует думать, что рассматриваемые типы топологий представляют собой идеальное кольцо, идеальную прямую или звезду.

Любую компьютерную сеть можно рассматривать как совокупность узлов.

Узел — любое устройство, непосредственно подключенное к передающей среде сети.

Топология формализует схему соединений узлов сети. Так, и эллипс, и замкнутая кривая, и замкнутая ломаная линия относятся к кольцевой топологии, а незамкнутая ломаная линия — к шинной.

Кольцевая топология предусматривает соединение узлов сети в замкнутый контур кабелем передающей среды (рис. 6.8). Выход одного узла сети соединяется со входом другого. Информация по кольцу передается от узла к узлу. Каждый промежуточный узел между передатчиком и приемником ретранслирует посланное сообщение. Принимающий узел распознает и получает только адресованные ему сообщения.

Кольцевая топология является идеальной для сетей, занимающих сравнительно небольшое пространство. В ней отсутствует центральный узел, что повышает надежность сети. Ретрансляция информации позволяет использовать в качестве передающей среды любые типы кабелей.

Последовательный порядок обслуживания узлов такой сети снижает ее быстродействие, а выход из строя одного из узлов нарушает целостность кольца и требует принятия специальных мер для сохранения тракта передачи информации.

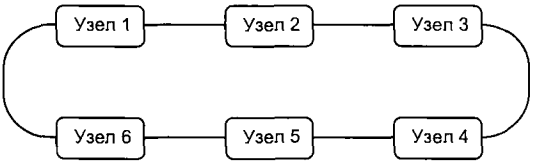


Рис. 6.8. Сеть кольцевой топологии

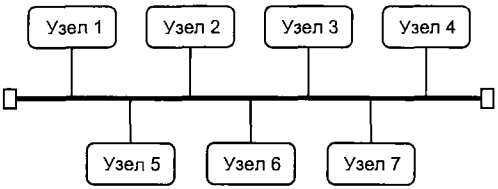


Рис. 6.9. Сеть шинной топологии

Рис. 6.10. Сеть звездообразной топологии

Шинная топология — одна из наиболее простых (рис. 6.9). Данные от передающего узла сети распространяются по шине в обе стороны. Промежуточные узлы не транслируют поступающих сообщений. Информация поступает на все узлы, но принимает сообщение только тот, которому оно адресовано. Порядок обслуживания — параллельный. Это обеспечивает высокое быстродействие ЛВС с шинной топологией. Сеть легко наращивать и конфигурировать, а также адаптировать к различным системам. ЛВС с шинной топологией устойчива к возможным неисправностям отдельных узлов. Такие ЛВС наиболее распространены в настоящее время. Следует отметить, что они имеют малую протяженность и не позволяют использовать различные типы кабеля в пределах одной сети.

Звездообразная топология (рис. 6.10) базируется на концепции центрального узла, к которому подключаются периферийные узлы. Каждый периферийный узел имеет свою отдельную линию связи с центральным узлом. Вся информация передается через центральный узел, который ретранслирует, переключает и маршрутизирует информационные потоки в сети.

Звездообразная топология значительно упрощает взаимодействие узлов ЛВС друг с другом, позволяет использовать более простые сетевые адаптеры. В то же время работоспособность ЛВС со звездообразной топологией целиком зависит от центрального узла.

В реальных вычислительных сетях могут использоваться более сложные топологии, представляющие в некоторых случаях сочетания рассмотренных.

Выбор той или иной топологии определяется областью применения ЛВС, географическим расположением ее узлов и размерностью сети в целом.

6.2.5. Методы доступа к передающей среде

Передающая среда является общим ресурсом для всех узлов ЛВС. Чтобы получить возможность доступа к этому ресурсу из узла сети, необходимы специальные механизмы — методы доступа.

Метод доступа к передающей среде — это метод, обеспечивающий выполнение совокупности правил, по которым узлы сети получают доступ к ресурсу.

Существуют два основных класса методов доступа: детерминированные, недетерминированные.

При детерминированных методах доступа передающая среда распределяется между узлами с помощью специального механизма управления, гарантирующего передачу данных узла в течение некоторого, достаточно малого интервала времени.

Наиболее распространенными детерминированными методами доступа являются метод опроса и метод передачи права. Метод опроса используется преимущественно в сетях звездообразной топологии.

Метод передачи права применяется в сетях с кольцевой топологией. Он основан на передаче по сети специального сообщения — маркера.

Маркер — служебное сообщение определенного формата, в которое абоненты сети могут помещать свои информационные пакеты.

Маркер циркулирует по кольцу, и любой узел, имеющий данные для передачи, помещает их в свободный маркер, устанавливает признак занятости маркера и передает его по кольцу. Узел, которому было адресовано сообщение, принимает его, устанавливает признак подтверждения приема информации и отправляет маркер в кольцо.

Передающий узел, получив подтверждение, освобождает маркер и отправляет его в сеть. Существуют методы доступа, использующие несколько маркеров.

Недетерминированные — случайные методы доступа предусматривают конкуренцию всех узлов сети за право передачи. Возможны одновременные попытки передачи со стороны нескольких узлов, в результате чего возникают коллизии.

Наиболее распространенным недетерминированным методом доступа является множественный метод доступа с контролем несущей частоты и обнаружением коллизий (CSMA/CD). Контроль несущей частоты заключается в том, что узел, желающий передать сообщение, «прослушивает» передающую среду, ожидая ее освобождения. Если среда свободна, узел начинает передачу.

Следует отметить, что топология сети, метод доступа к передающей среде и метод передачи тесным образом связаны друг с другом. Определяющим компонентом является топология сети.

6.2.6. Временное и частотное уплотнение сигналов в мультиплексных системах

По методам уплотнения сигналов локальные вычислительные сети (ЛВС) можно разделить на две большие категории — с временным и частотным уплотнением. Эти два метода уплотнения основаны на разных принципах использования рабочей полосы частот системы.

1. *Временное уплотнение.* На рис. 6.11, *а* показано, что в сетях с временным уплотнением (или с передачей сигнала без модуляции) в любой конкретный момент времени передачу данных через сеть ведет одно устройство, занимая всю полосу частот системы. Такой метод обеспечивает очень высокую скорость передачи в битах в секунду. Для того чтобы дать возможность многим абонентам обращаться к сети, длительность каждой передачи должна ограничиваться заданным интервалом времени. К каждому блоку данных присоединяется адрес того узла, на который должны пересылаться эти данные. Каждый узел постоянно контролирует адреса на шине, чтобы выявить блоки данных, направляемые именно ему. Возможности ЛВС с временным уплотнением сигналов ограничиваются тем, что в конкретный момент времени передавать данные через подобную сеть может только один абонент. На практике общее число абонентов ЛВС зависит от средней

временной протяженности (длины) сообщений и количества сообщений, которые необходимо передать за определенное время.

2. *Частотное уплотнение.* Из рис. 6.11, *б* видно, что в сетях с частотным уплотнением сигналов (или широкополосных сетях) полоса частот разбита на ряд непрерывающихся частотных поддиапазонов. Каждой паре взаимодействующих между собой узлов выделяется один из этих поддиапазонов. Следовательно, в любой момент времени обращаться к сети могут одновременно много абонентов, поскольку они используют разные поддиапазоны частот.

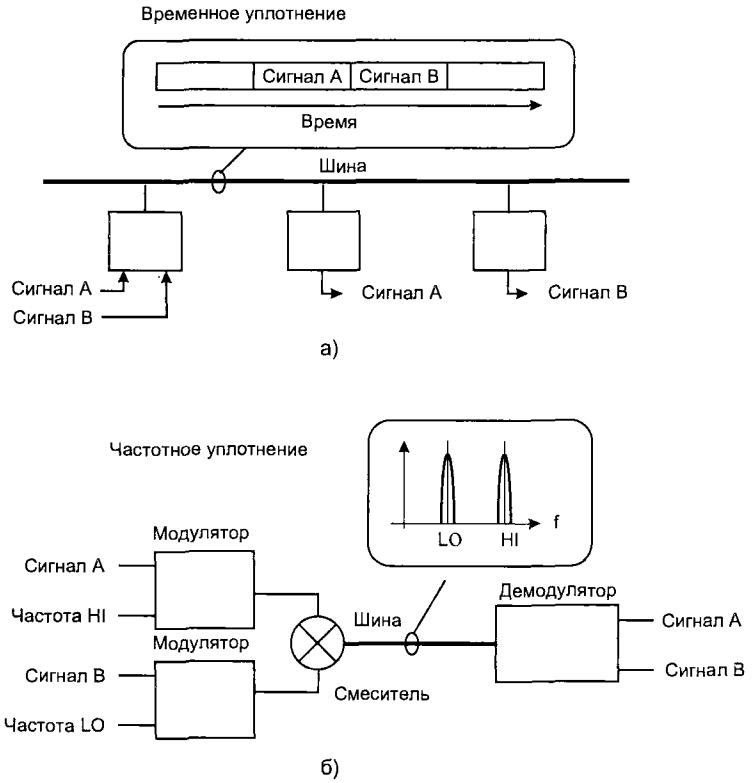


Рис. 6.11. Временное и частотное разделение каналов

Как правило, когда два узла устанавливают между собой связь через широкополосную сеть, им выделяется определенный частотный поддиапазон, поэтому нет необходимости указывать адрес перед блоком данных и накладывать ограничение на длительность передачи.

Преимущество метода частотного уплотнения заключается в том, что в отличие от временного уплотнения он позволяет многим абонентам одновременно обмениваться данными через сеть. Однако на число одновременно обращающихся к сети абонентов также накладывается естественное ограничение. Если в какой-либо момент времени заняты все выделенные поддиапазоны частот, то больше ни один абонент не сможет получить доступ к сети. Таким образом, хотя метод частотного уплотнения обеспечивает более высокое быстродействие сети, при его использовании общее число абонентов может быть меньше, чем при временном уплотнении.

6.3. Примеры автомобильных мультиплексных систем

6.3.1. Класс А

Системы класса А применяются в основном для упрощения и удешевления электрических соединений между устройствами корпусной электроники. Рассмотрим для примера противоугонную систему со структурой, показанной на рис. 6.12.

Противоугонная система приводится в дежурный режим контактом **11**, а выключается — контактами замков дверей пассажира или водителя или багажника. В рабочем состоянии система включает клаксон **10** при срабатывании одного из контактов: **1**, **3**, **4**, **5**, **7**, **8**. Датчики и исполнительные механизмы в этом варианте подключены непосредственно к блоку управления через мультиплексоры одним проводом. Улучшены диагностические возможности системы. Легче изменять

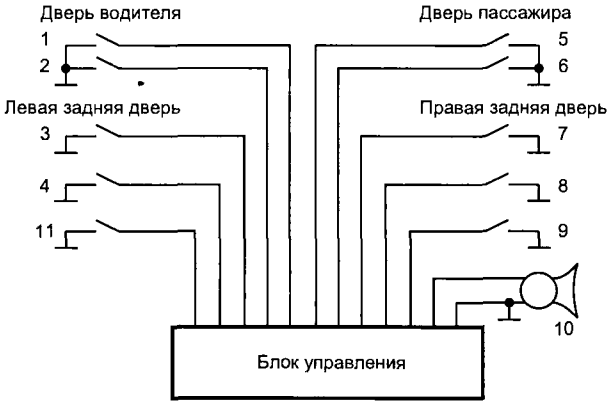


Рис. 6.12. Блок-схема противоугонной системы
1 — контакт двери водителя, 2 — контакт замка двери водителя, 3 — контакт левой задней двери, 4 — контакт на капоте, 5 — контакт двери пассажира, 6 — контакт замка двери пассажира, 7 — контакт правой задней двери, 8 — контакт на крышке багажника, 9 — контакт замка багажника, 10 — клаксон, 11 — контакт на приборной панели

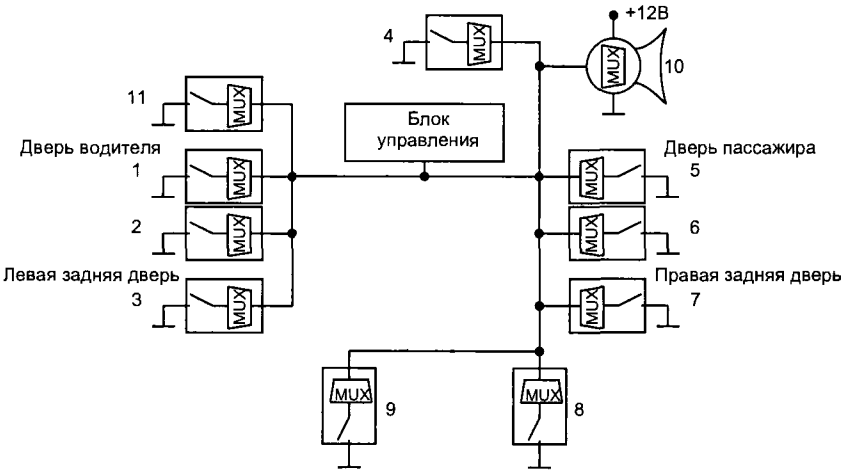


Рис. 6.13. Блок-схема мультиплексной противоугонной системы

конфигурацию противоугонной системы, подключая к одной и той же шине через мультиплексоры дополнительные датчики и исполнительные механизмы. Мультиплексоры — это относительно несложные микроэлектронные устройства, которые содержат до 300 полупроводниковых вентилей. Их интегрируют с датчиками и исполнительными механизмами.

То же устройство может быть реализовано в мультиплексном варианте (рис. 6.13).

6.3.2. Класс В

На рис. 6.14 показана часть типичной информационной системы водителя (ИСВ). Здесь сигналы с датчиков поступают на бортовой компьютер, к шине данных которого подключена комбинация приборов.

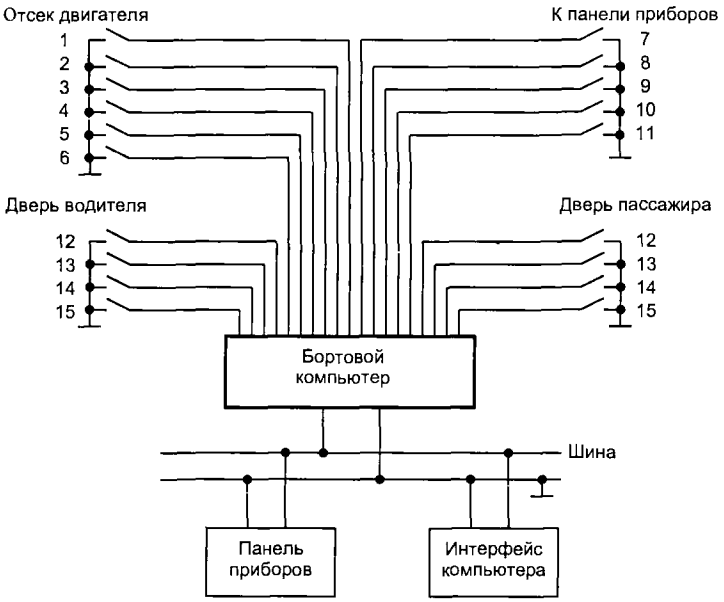


Рис. 6.14. Блок-схема информационной системы водителя

В упрощенном варианте ИСВ число проводов в жгуте не слишком велико, что оправдывает данную схему соединений. Однако, по мере усложнения электронного оборудования автомобиля и увеличения числа функций информационной системы, количество соединительных проводов резко возрастает, усложняется диагностика неисправностей. Возможным решением в таком случае является введение нескольких узлов, соединенных с шиной класса В, к которым подключаются соответствующие датчики. При этом стараются уменьшить размеры жгутов, проходящих через узкие места типа «дверца — корпус». К стоимости проводки добавляется стоимость узлов.

На рис. 6.15 приведена блок-схема ИВС с шиной класса В, на котором цифрами обозначены сигналы датчиков.

Узел моторного отсека желательно интегрировать с ЭБУ двигателя, куда уже подключена часть датчиков. Это удешевляет и упрощает схему, но не всегда возможно, т. к. соединитель на ЭБУ обычно перегружен.

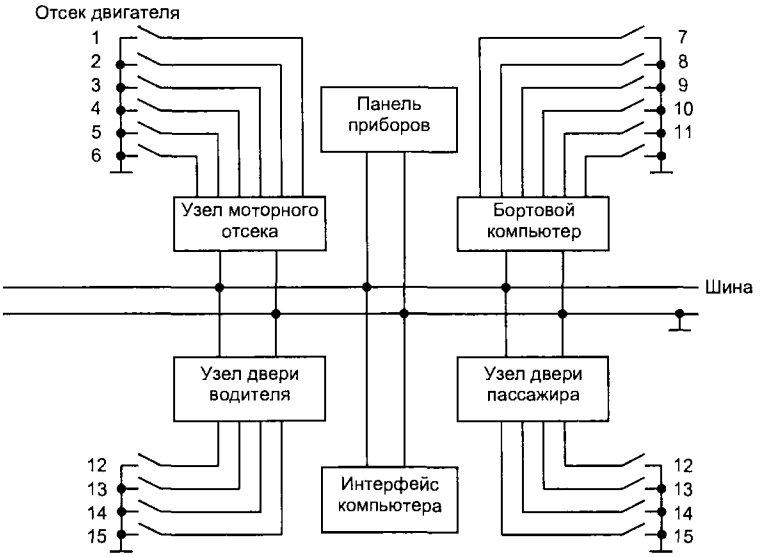


Рис. 6.15. Блок-схема информационной системы водителя с шиной класса В
1 — уровень охладителя, 2 — давление тормозной жидкости, 3 — уровень масла, 4 — масло в коробке передач, 5 — омывающая жидкость, 6 — капот не закрыт, 7 — фары включены, 8 — мало топлива в баке, 9 — стеклоочистители включены, 10 — ключ в замке зажигания, 11 — привязные ремни, 12 — ручка двери, 13 — замок, 14 — дверь закрыта, 15 — дверь не заперта

Узел двери лучше располагать в двери, тогда жгут через промежуток упрощается, желательна также интеграция электронных и механических устройств в двери. Структурная схема электронной части устройств двери показана на рис. 6.16.

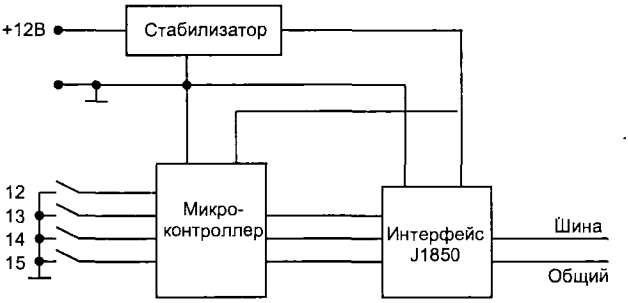


Рис. 6.16. Подключение устройств двери

Общие замечания по применению узлов.

1. Для снижения стоимости узлы выполняются на базе специализированных микросхем.

2. Единая конструкция возможна при использовании микропроцессоров в узлах.

3. Комбинация «обычный датчик — мультиплексный узел» не облегчает диагностику датчиков. Нельзя определить, что именно неисправно — датчик или проводка.

По мере значительного усложнения бортовой автомобильной электроники мультиплексные системы, выполненные по классам А и В, становятся неоптимальными. Лучшим техническим решением является использование гибридной локальной сети, где датчики и исполнительные механизмы через канал класса А подключены к бортовому компьютеру, а приборная панель и интерфейс компьютера (дисплей и органы управления) подключены к компьютеру через канал класса В, мультиплексоры интегрированы в датчики и исполнительные механизмы. Обмен данными проводится по одному проводу, дополнительных узлов нет, улучшена диагностика за счет введения в компоненты электроники.

Такая конфигурация системы позволяет вводить дополнительные датчики и исполнительные устройства. Теперь к бортовому компьютеру на один исполнительный механизм можно подключать 7—14 датчиков.

6.3.3. Класс С

Все большую популярность завоевывает протокол CAN, с применением которого мультиплексные системы класса С могут реализовываться в следующих формах:

1. Через одну и ту же сеть класса С производится обмен данными как для приложений, работающих в реальном времени (управление двигателем, подвеской, передачами), так и для приложений, обслуживающих бортовой компьютер, контроль климата салона, приборную панель. Скорость обмена до 1 Мбит/сек, линия связи — коаксиальный или оптический кабель.

2. Гибридная сеть класса В и С. Производится обмен данными между узлами скоростной сети класса С и относительно медленной сети класса В. Шлюзом обычно бывает контроллер двигателя.

3. Интеграция функций управления в реальном времени в наименьшее число модулей. Например, ЭБУ двигателя может управлять еще и трансмиссией. При такой архитектуре необходимость в дорогостоящих сетях класса С сводится к минимуму.

6.4. Протоколы высоких уровней

Термин «протоколы высоких уровней» обычно относят к уровням 3—7 модели ВОС. На этих уровнях решаются вопросы представления данных, упаковки длинных сообщений, стандартизации приложений и т. д. Когда функции приложения распределены между несколькими электронными блоками управления, необходима максимальная независимость программного обеспечения приложения от локализации функций. Уже сегодня автомобильные средства связи с внешним миром, устройства для развлечения, мультимедиа средства производят обмен пакетами данных между собой (радиоприемник, CD-проигрыватель, сетевой телефон, бортовой компьютер, навигационная система). Эти пакеты значительно превышают размеры кадров данных, которые можно передавать по автомобильной коммуникационной шине. Разборка и сборка пакетов этих данных производится под управлением протоколов высоких уровней.

По этим причинам разработка и стандартизация протоколов высоких уровней важна для будущего автомобильной промышленности.

Протоколы высоких уровней должны обеспечивать:

- надежные и эффективные процедуры обмена длинными последовательностями данных;

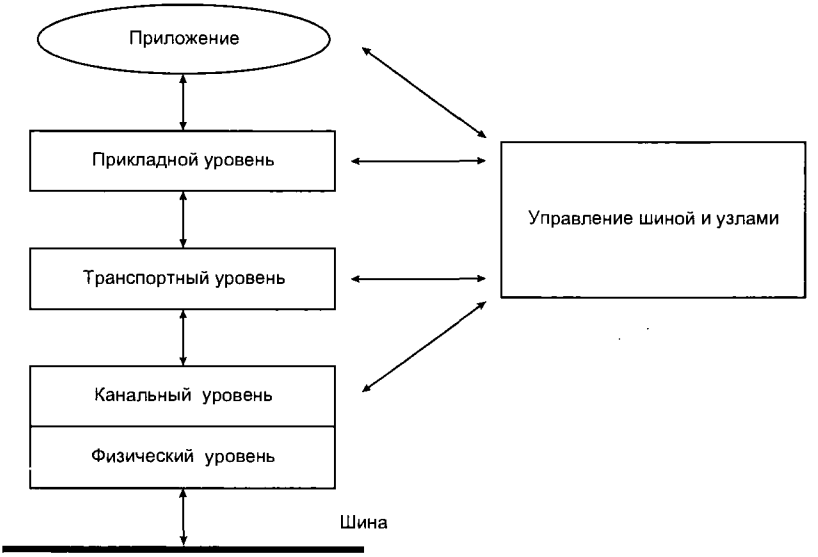


Рис. 6.17. Упрощенная модель ВОС

- независимость программного обеспечения приложений от конфигурации сети и оборудования;
- удобство интерфейса для программиста.

Семиуровневая модель ВОС хорошо подходит для больших компьютеров и сетей, где нет необходимости для коммуникаций в реальном времени. Для автомобилей эта модель упрощается до двух верхних уровней — прикладного и транспортного, как показано на рис. 6.17. Прикладной уровень обеспечивает интерфейс для программиста, решает задачу по получению и посылке данных, необходимых при управлении различными системами автомобиля. На транспортном уровне осуществляется разборка и сборка пакетов. Блок управления сетью и узлами производит контроль сети и узлов, обнаруживает неисправности, активизирует сеть или переводит ее в неактивный режим. Этот блок взаимодействует непосредственно со всеми уровнями сетевой модели и с приложением.

6.4.1. Транспортный уровень

Транспортный уровень должен обеспечивать передачу произвольно длинных сообщений между объектами прикладных уровней.

▶ Если длина сообщения превышает размер кадра, передаваемого по коммуникационной шине, сообщение разделяется на несколько пакетов. Сообщение передается с прикладного уровня на транспортный, где разделяется на сегменты, соответствующие размеру одного кадра. К каждому кадру транспортный уровень добавляет свою управляющую информацию протокола (PCI — protocol control information). Управляющая информация используется транспортным уровнем на принимающей стороне для восстановления исходного сообщения и передачи его принимающему прикладному уровню.

Управляющая информация протокола содержит сведения о числе кадров в исходном сообщении, номере текущего кадра в сообщении, она необходима для обнаружения и исправления ошибок типа пропуска или дублирования кадра.

▶ Управляющая информация протоколов высокого уровня обычно размещается в поле данных кадра низкого уровня (рис. 6.18, *а*). В автомобильных мультиплексных системах иногда управляющая информация протокола размещается в управляющем (арбитражном) поле кадра низкого уровня (рис. 6.18, *б*). Эта технология делает мультиплексную систему более быстродействующей, но увеличивает зависимость от протоколов низкого уровня и применяемой аппаратуры.

а)

Арбитражное поле	Поле данных	
	PCI	Данные

б)

Арбитражное поле		Поле данных	
	PCI	PCI	Данные

Рис. 6.18. Размещение PCI в кадре

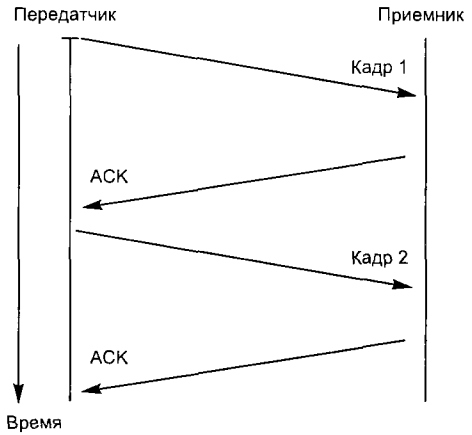


Рис. 6.19. Квитирование каждого кадра

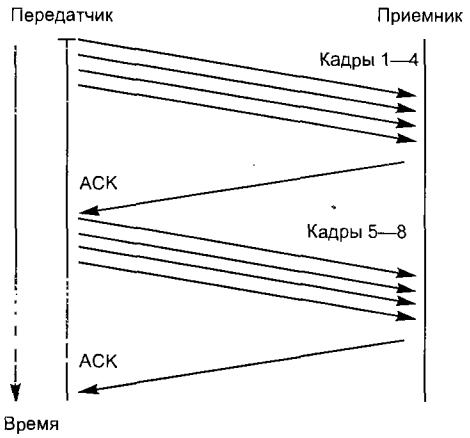


Рис. 6.20. Квитирование блока кадров

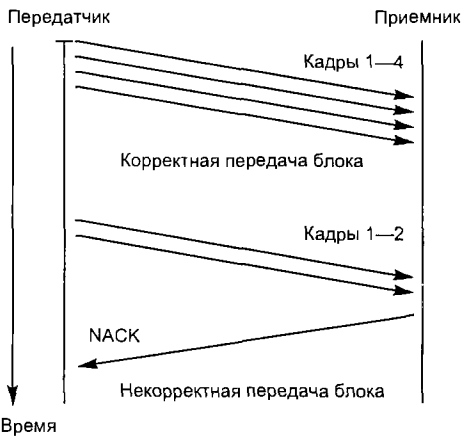


Рис. 6.21. Передача сигнала NACK

▶ Механизм управления потоком сообщений (трафиком) включает использование двух видов подтверждений:

- положительное подтверждение ACK (сокращение от acknowledge);
- отрицательное подтверждение NACK (сокращение от negative acknowledge).

Положительное подтверждение сигнализирует передатчику, что сообщение или кадр были приняты правильно и приемник готов принять следующий кадр. Положительное подтверждение необходимо, когда передатчику не известна скорость приема сообщений приемником. Положительное подтверждение может быть, например, использовано для синхронизации передачи данных между быстродействующей и медленной шиной без буферирования. В этом случае скорость обмена определяется возможностями медленной шины.

В сети могут быть реализованы режимы, когда приемник квитирует (подтверждает) каждый принятый кадр (рис. 6.19) или блок кадров (рис. 6.20), что более эффективно в смысле быстродействия мультиплексной системы.

Отрицательное подтверждение выдается приемником в сеть, когда что-то происходит неправильно. Режим работы с отрицательным подтверждением может увеличить быстродействие сети, так как при отсутствии ошибок число кадров, передаваемых от передатчика к приемнику, а следовательно, и время их передачи уменьшается (рис. 6.21).

На практике могут использоваться различные комбинации механизмов управления передачей данных в сети.

▶ И приемник, и передатчик могут иметь средства для обнаружения и исправления ошибок. Примеры ошибок, которые могут быть выявлены:

- приемник не получил кадр в установленное время;
- приемник получил некорректный кадр, например, не с тем номером;
- приемник не закончил обработку полученного кадра, но готов получить следующий кадр;
- передатчик не получил положительное подтверждение в установленное время.

Когда передающий объект на транспортном уровне обнаруживает ошибку, он может поступить следующим образом:

- повторить передачу кадра;
- повторить передачу всего сообщения;
- прекратить передачу и предоставить дальнейшие действия приложению.

▶ При проектировании транспортного уровня возникает проблема буферизации сообщений. Для получения сколь угодно больших сообщений от прикладного уровня следует иметь сколь угодно большой буфер (оперативную память) на транспортном уровне, что невозможно. На практике размер сообщений разумно ограничивается буферированием, что увеличивает возможности мультиплексной системы работать в реальном времени.

6.4.2. Прикладной уровень

Прикладной уровень является необходимой платформой для создания приложений. Он скрывает детали аппаратуры и сетевой конфигурации. На прикладном уровне создание приложений для мультиплексных и централизованных систем мало чем отличается. Приложение использует данные в пределах прикладного уровня и для него безразлично, локальные это данные или получены по коммуникационной шине.

▸ На прикладном уровне форматируется кадр со следующими данными из приложения:

- имя кадра и его идентификатор;
- место размещения переменных (параметров) в кадре;
- формат представления параметров;
- единица измерения параметра;
- допустимый диапазон значений;
- разрешающая способность;
- формула, преобразующая числовое значение в кадре (N) в значение, имеющее физический смысл (E).

В табл. 6.1 приведен пример кадра:

Таблица 6.1

Имя кадра	Температура
Идентификатор	40hex
Название переменной	Забортная температура
Размещение	Байты 0 и 1
Формат	16-битовый
Единица измерения	°C
Диапазон	–40...+50
Разрешение	0,1
Формула	N = (E + 40) ·10

При декодировании кадра данных требуется определить, допустимо ли полученное значение параметра или нет (например, при неисправности датчика). Это делается или путем добавления в кадр специального поля, фиксирующего достоверность/недостоверность значений параметров, или непосредственным анализом текущих значений параметров на принимающей стороне.

▸ На прикладном уровне определяется, когда сообщение должно быть отправлено или принято. Отправка производится по времени или в результате обработки события. Событием может быть: изменение состояния датчика, значение, вышедшее за заданный предел; запрос от другого узла и т. д. Передача по времени ведется для параметров, которые должны быть доступны всей мультиплексной системе. Такие переменные делят на группы с различной требуемой скоростью обновления и передачи значений.

При приеме сообщений на прикладном уровне сообщение распаковывается в соответствии с принятым форматом кадра, и данные передаются активному приложению.

▸ На прикладном уровне могут быть реализованы несколько моделей взаимодействия между узлами. В модели с общей памятью обмен информацией производится за счет операций записи и чтения. Данные сразу же становятся доступными для всех участвующих процессов. В мультиплексной системе никакой общей памяти физически не существует, она создается программным обеспечением прикладного уровня.

В модели «клиент — сервер» взаимодействие между процессами осуществляется способом, когда какой-либо процесс (сервер) способен выполнять операции по запросу другого процесса (клиента), размещенного в другом узле. Например, при диагностике сканер посылает по сети запрос ЭБУ и получает в ответ значения параметров или коды ошибок.

6.4.3. Управление сетью (диспетчеризация)

Назначение управления (диспетчеризации) сети — поддерживать ее корректную (штатную) работу. При этом должны производиться обработка ошибок, контроль конфигурации сети и правильности ее работы, ограничение доступа и обеспечение сохранности информации в сети. Для автомобильных систем наиболее важными являются обработка ошибок и контроль конфигурации.

От правильности реализации диспетчерских функций зависит способность сети противостоять отказам. Диспетчеризация осуществляется на локальном и сетевом уровнях.

▶ Локальная диспетчеризация осуществляется на уровне узлов. Производится конфигурирование и инициализация узлов, управление уровнями на уровне узла, обнаружение неисправностей и ошибок. Для локального диспетчера нет необходимости посылать какие-либо сообщения по сети. При включении узла локальный диспетчер конфигурирует канальный уровень, например, в микросхеме CAN. После обнаружения неисправности диспетчер пытается перезапустить и реконфигурировать канальный уровень. Перезапуск производится по различным алгоритмам, как показано на рис. 6.22.

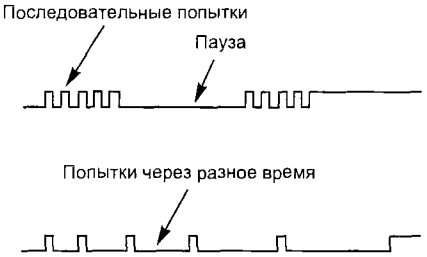


Рис. 6.22. Алгоритмы перезапуска шины CAN

▶ Диспетчеризация на сетевом уровне обеспечивает:

- определение и контроль конфигурации сети;
- включение сети;
- переход от неактивного к активному режиму и обратно.

Диспетчеризация производится централизованно или децентрализованно. При централизованном подходе один узел выполняет функции диспетчера сети. Для повышения надежности системы должен быть предусмотрен механизм передачи диспетчерских функций другому узлу при отказе первого. При централизованном подходе требуется меньше ресурсов, чем при децентрализованном.

При децентрализованном подходе каждый узел снабжен набором диспетчерских функций. Узлы постоянно обмениваются специализированной диспетчерской информацией. Сеть оказывается способной продолжать работу, с меньшими возможностями, даже при отказе нескольких узлов.

▶ Конфигурация сети может изменяться в зависимости от нужд конкретного приложения. В этом случае узлы выполняют разные задачи в зависимости от конфигурации сети. Имеются концепции, когда программное обеспечение для элементов мультиплексной системы с указанием конфигурации загружается с одного из узлов при инициализации сети. Полагают, что это путь к сокращению числа типов ЭБУ.

При выходе из строя одного из узлов теряется информация, поступающая с него. Приложение должно сгенерировать утраченные данные самостоятельно, используя аварийные значения.

6.5. Протоколы низкого уровня (шинные)

Эти протоколы относятся к двум нижним уровням модели ВОС: канальному и физическому (рис. 6.23).

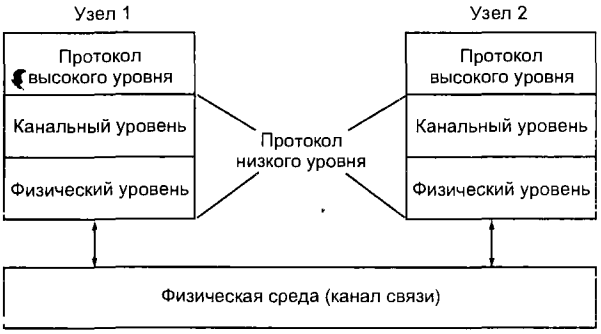


Рис. 6.23. Протокол низкого уровня

На канальном уровне определяются функции, необходимые для надежной и эффективной передачи данных между узлами одной и той же сети. Это адресация, организация кадров, обнаружение ошибок во время обмена данными в сети.

На физическом уровне определяют электрические, механические и прочие физические характеристики интерфейса для подключения узла в сети. Рассматриваются вопросы спецификации шинных соединителей, сетевых адаптеров, кодирования, синхронизации и т. д.

Различные приложения предъявляют разные требования на физическом уровне, при этом основными параметрами при проектировании являются:

- скорость и расстояние передачи данных по шине;
- надежность;
- электромагнитная совместимость;
- соответствие стандартам и рекомендуемой практике;
- шинная топология.

Канал связи (электрические провода или оптические кабели) находится ниже физического уровня и в модель ВОС не входит (рис. 6.23).

Примерами протоколов низкого уровня, разработанных специально для автомобильной промышленности, являются: CAN (controller area network — Bosch, Intel), VAN (vehicle area network — Renault, Peugeot), VNP (vehicle network protocol —

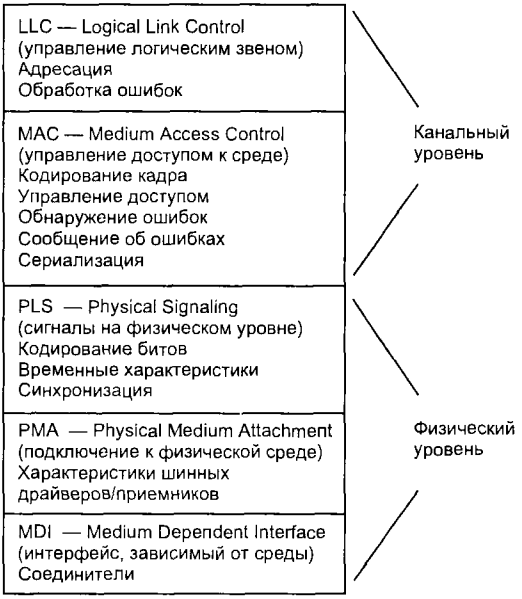


Рис. 6.24. Подробное представление нижних уровней

Ford). В локальных сетях персональных компьютеров часто применяется протокол Ethernet, который в автомобильных системах не используется.

При рассмотрении протоколов низкого уровня канальный и физический уровни модели ВОС дополнительно разделяются на подуровни, что позволяет рассматривать происходящие процессы подробнее (рис. 6.24).

6.5.1. Канал связи

Канал связи физически соединяет узлы, участвующие в обмене данными при передаче сигналов электрическим, оптическим или иным методом. Ниже приводятся примеры реализации каналов связи в порядке возрастания их стоимости:

- одиночный провод;
- два провода;
- витая пара;
- экранированная витая пара;
- коаксиальный кабель;
- оптический кабель;
- инфракрасное излучение;
- радиоканал.

Инфракрасное излучение и радиоканал для передачи данных по шине внутри автомобиля в настоящее время не применяются. Устройства с такими передающими каналами используют для обмена данными между автомобилем и внешней средой, например: дистанционное отпирание замков на дверях, включение охранной сигнализации, получение дорожной информации, предупреждение о столкновении и т. д.

Оптические линии связи также пока не находят применения в автомобильных мультиплексных системах. Оптические кабели, способные эксплуатироваться в температурном режиме, характерном для автомобиля, стоят дорого, кроме того, с

их помощью трудно реализовать сети с шинной топологией (звездообразная или кольцевая топология реализуется проще).

Сегодня в автомобильных мультиплексных системах информация передается, как правило, по проводам.

Однопроводная схема используется при низких скоростях обмена, не более 10...20 Кбит/сек. При более высоких скоростях передачи данных применяются витые пары и экранирование, при этом уменьшается паразитное электромагнитное излучение.

При высоких скоростях обмена и малой мощности сигнала целесообразно применение коаксиального кабеля. При этом важно учитывать удельные электрические характеристики канала связи, такие как: сопротивление (Ом/м), затухание (dB/м), задержку распространения (нс/м), допустимую максимальную длину линии. Учитывается также маршрут прокладки линии связи в автомобиле и максимальная длина отводов к узлам (для шинной топологии).

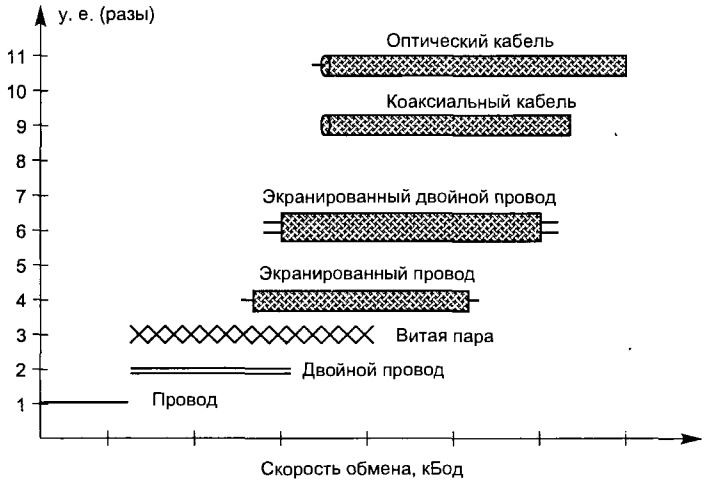


Рис. 6.25. Стоимостные и эксплуатационные характеристики различных линий связи

На рис. 6.25 показано примерное соотношение между стоимостными и эксплуатационными характеристиками различных линий связи.

6.5.2. Подуровни MDI и PMA

В автомобильных мультиплексных системах сигналы передаются на относительно высокой частоте и имеют малую мощность. С учетом этого для соединителей (разъемов) важными параметрами на подуровне MDI являются переходное сопротивление контактов, максимальная частота канализации, возможность подключения экрана. На подуровне PMA физического уровня определяются характеристики шинных драйверов (формирователей) и приемников.

Емкость передающей линии и токоформирующая способность источника сигналов ограничивают длину линии, при которой возможна надежная передача. Так, ТТЛ-формирователь может надежно работать в линии, длина которой не превышает 70 см. Для расширения диапазона передачи используются специализированные интегральные микросхемы — линейные формирователи (драйверы) и линейные приемники (сетевые адаптеры). Эти устройства подключаются к линии.

Выпускаются разные типы формирователей: шинные формирователи RS-232 для однопроводной линии, которые имеют низкую скорость передачи (менее 20 Кбит/сек) и небольшую допустимую длину для линии (менее 15 м); дифференциальные формирователи RS-485, обеспечивающие высокую скорость передачи данных (до 10 Мбит/сек) и длину линии до 1 км.

6.5.3. Сигналы на физическом уровне (подуровень PLS)

На подуровне PLS рассматриваются вопросы представления битов, синхронизации, двоичное кодирование.

Когда компьютеры и терминалы разделены большими расстояниями, является экономически более выгодным ввести временную настройку в сам сигнал, вместо того чтобы использовать отдельный канал синхронизации. То есть мы пришли к понятию так называемого самосинхронизирующего кода. При использовании кодов, не являющихся самосинхронизирующими, возникает проблема, состоящая в том, что синхросигнал и данные могут быть изменены, когда распространяются по отдельным каналам. Синхросигнал ускоряется или замедляется относительно информационного сигнала, что означает, что у приемника возникают трудности с настройкой на прием информационного сигнала, его захватом.

При использовании самосинхронизирующего кода принимающее устройство может периодически проверять себя, чтобы убедиться в том, что оно опрашивает линию точно в тот самый момент, когда некоторый бит поступает в приемник. Это требует (в идеальных условиях), чтобы линия очень часто меняла свое состояние. Самые лучшие синхронизирующие коды — это те, при использовании которых состояние линии часто меняется, поскольку эти изменения состояния (например, перепад напряжения) позволяют приемнику продолжать настраиваться на сигнал.

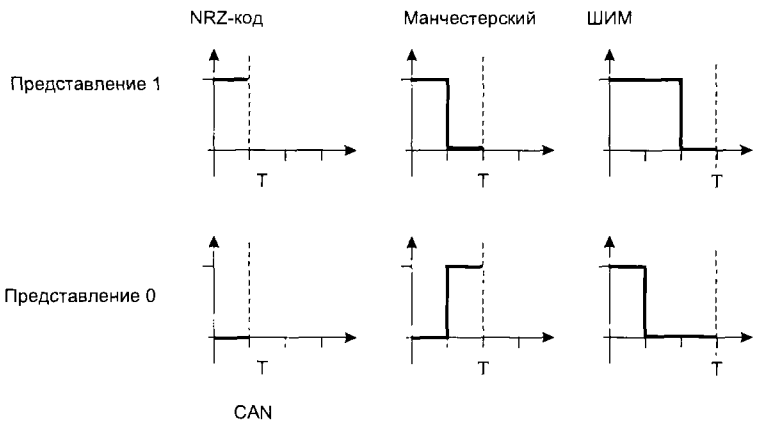


Рис. 6.26. Примеры кодирования бита

Идея заключается в том, чтобы иметь код с регулярными и частыми изменениями (переходами) уровней сигнала в канале. Переходы осуществляют разделение двоичных элементов данных (единиц и нулей) в приемнике, и логические схемы постоянно отслеживают изменения состояния для того, чтобы выделять единицы и нули из потока битов для целей настройки. Стробирование обычно производится приемником с более высокой скоростью, чем скорость изменения данных, для того чтобы более точно определить элементы данных.

На рис. 6.26 показаны способы представления битов в системах кодирования, применяемых в мультиплексных сетях. Здесь T — время для представления одного бита. Заметим, что реальные сигналы не являются такими прямоугольными, с крутыми фронтами, как показано на рис. 6.26.

Для кода без возвращения к нулю (NRZ-код) уровень сигнала остается постоянным для каждой последовательности одноименных битов. В этом случае уровень сигнала остается низким для бита 0 и возрастает до некоторого высокого уровня напряжения для бита 1 (во многих устройствах для 0 и 1 используются противоположные по полярности значения напряжения). Код NRZ широко используется для передачи данных вследствие своей относительной простоты и низкой стоимости. NRZ-код обеспечивает очень эффективное использование полосы частот, поскольку он может представлять бит для каждого бода (изменения сигнала). Однако его недостатком является отсутствие способности самосинхронизации, поскольку длинные серии идущих подряд единиц и нулей не приводят к изменениям состояния сигнала в канале. Вследствие этого может произойти рассогласование (дрейф) таймера приемника по отношению к поступающему сигналу и несвоевременный опрос линии, передатчик и приемник могут фактически утратить взаимную синхронизацию. NRZ-код может быть полярным и биполярным в зависимости от конкретной реализации.

Код с возвращением к нулю (RZ-код) предусматривает, что в представлении каждого бита сигнал меняется по меньшей мере один раз. Поскольку RZ-коды обеспечивают изменение состояния для каждого бита, эти коды обладают очень хорошими свойствами синхронизации. Основной недостаток RZ-кода состоит в том, что он требует двух переходов (изменений) сигнала для каждого бита. Следовательно, RZ-код потребует вдвое большей скорости (в бодах) по сравнению с обычным кодом. В качестве примера RZ-кодов на рисунке 6.26 показаны манчестерский код и широтно-импульсная модуляция.

В автомобильной мультиплексной шине CAN используется NRZ-код.

6.5.4. Управление доступом к среде (подуровень MAC)

Локальные сети обычно являются равноранговыми, то есть статус всех узлов одинаковый, они имеют равные права на доступ в сеть. С другой стороны, только один узел может передавать данные в сеть в любой конкретный момент времени. Необходим механизм для контроля за доступом к шине (среде), который и реализуется на подуровне MAC.

Метод доступа CSMA/CD (Carrier Sense, Multiple Access with Collision Detection) — метод множественного доступа с контролем несущей и обнаружением коллизий.

Если то или иное устройство готово к передаче данных в сеть, оно выдает на шину запрос для проверки того, не передаются ли уже по сети какие-либо данные. Если сеть занята, контроллер ожидает в течение некоторого произвольного интервала времени, прежде чем выполнить еще одну попытку передать данные. Если линия сети все еще занята, контроллер будет ожидать несколько дольше до следующей попытки. Поскольку каждый контроллер в сети ожидает в течение произвольного, случайно выбранного интервала времени, вероятность того, что все устройства примут с шины предназначенные для них сообщения, возрастает.

Для того чтобы исключить столкновения, контроллер, передавая данные, непрерывно контролирует состояние шины. Если контроллер обнаруживает, что на шине уже имеются данные, передаваемые не им, он приходит к заключению, что

столкновение, скорее всего, уже произошло, и приостанавливает передачу. Поскольку и тот контроллер, который передал данные, вызвавшие столкновение, постоянно запрашивает шину, он тоже прекращает передачу. Оба контроллера после этого ожидают в течение произвольного интервала времени, прежде чем попытаться снова передать весь блок данных. Выбранная в случайном порядке длительность периода ожидания повышает вероятность того, что оба контроллера смогут передать данные через сеть без повторного столкновения. Если оно все же происходит, средняя длительность периода ожидания увеличивается.

Метод доступа CSMA/CD-A отличается от CSMA/CD наличием арбитража при коллизиях, что используется в CAN, VAN, VNP и в других автомобильных шинных протоколах.

Каждый пакет данных, передаваемый по сети, снабжается приоритетом. Если несколько узлов одновременно пытаются вести передачу данных, узлы, передающие данные с более низкими приоритетами, обнаружат коллизию и прекратят передачу. Узел, данные с которого имеют наивысший приоритет, продолжит передачу.

Пропускная способность сети с побитным арбитражем при коллизиях теоретически может использоваться на 100%. На практике это недостижимо из-за задержки передачи пакетов данных с низким приоритетом.

Недостатком метода доступа CSMA/CD является прекращение передачи всех сообщений при обнаружении коллизии. Метод CSMA/CD-A позволяет продолжить без остановки передачу наиболее важной информации.

Реализация метода CSMA/CD-A предусматривает, что время задержки для всей линии связи составляет малую часть от времени передачи одного бита информации. Это ограничивает максимальную длину линии для заданной скорости передачи. Например, максимальная длина электрической линии для реализации CAN-протокола со скоростью передачи 1 Мбит/сек не более 40 метров.

Обмен данными в автомобильных мультиплексных системах может производиться по различным протоколам, которые сведены в табл. 6.2.

Таблица 6.2

	A-BUS	CAN	J1567	J1850	J2058	VAN	J2106
Класс SAE		B,C	B	B	A		C
Разработчик	VW	ISO, Bosch	Chrysler	Ford, GM, Chrysler	Chrysler	ISO	GM
Линия связи	Провод	Витая пара, оптическая	Витая пара	Витая пара	Провод	Витая пара	Витая пара, оптическая
Код	NRZ	NRZ + вставка бита	NRZ	ШИМ	NRZ	MAN	NRZ + вставка бита
Доступ к среде	Недетерм.	Недетерм.	Недетерм.	Недетерм.	Детерм.	Недетерм.	Недетерм.
Скорость обмена в секунду	500 кбит	1 Мбит	8 кбит	42 кбит	1 кбит	Определяет пользователь	2 Мбит

Глава 7. Протокол CAN для автомобильных мультиплексных систем

7.1. Предварительные замечания

Протокол CAN был разработан инженерами фирмы R.Bosch GmbH для применения на автомобилях. Протокол соответствует международным стандартам ISO11898 и ISO11519, практически используется несколькими производителями электронного оборудования. Протокол CAN признан автомобильными производителями США и Европы, используется на современных легковых автомобилях, грузовиках, автобусах, сельскохозяйственном транспорте, в морском оборудовании, для автоматизации производства [14].

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

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 и 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.

Контроллеры CAN классифицируются также как полные или 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.

7.2. Архитектура протокола CAN

В стандартах Международной организации стандартизации для протоколов CAN ISO 11898 (высокая скорость обмена) и ISO 11519 (низкая скорость обмена) регламентируется уровневая структура в соответствии со стандартами LAN (локальные сети) ISO8802-2 и 8802-3. Протокол CAN относится к двум нижним уровням модели ВОС, как показано на рис. 7.1.

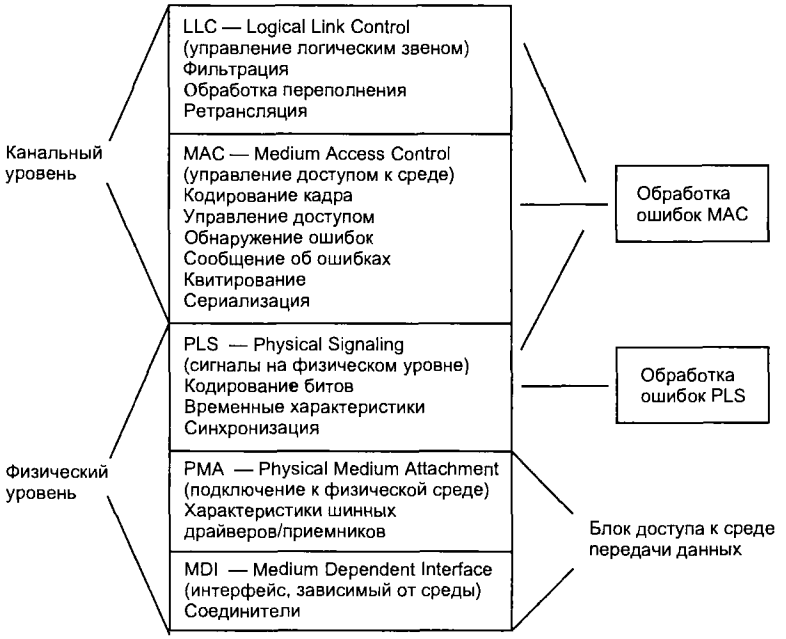


Рис. 7.1. Уровневая архитектура CAN

На физическом уровне определяются электрические характеристики соединителей, шинных адаптеров, двоичное кодирование, синхронизация.

Физический уровень разделен на три подуровня:

- MDI (medium dependent interface) — подуровень интерфейса, зависимого от физического носителя (передающая среда);
- PMA (physical medium attachment) — подуровень подсоединения к физической среде;
- PLS (physical signaling) — сигналы на физическом уровне.

На канальном уровне определяется формат кадра, обнаружение и передача ошибок во время трансляции, автоматическая ретрансляция данных, фильтрация. Канальный уровень разделен на два подуровня:

- MAC (medium access control) — управление доступом к среде;
- LLC (logic link control) — управление логическим каналом.

Физический уровень контролируется функцией супервизора «контроль шины», например, выявляются короткие замыкания или обрывы на линии.

Канальный уровень контролируется функцией супервизора «ограничение распространения последствий неисправности», например, различаются кратковременные сбои и долговременные неисправности.

7.3. Передающая среда и нижние подуровни протокола CAN

Протокол CAN главным образом предназначен для сетей с шинной топологией и электрическими проводами в качестве канала связи (передающей среды). Могут применяться и другие передающие среды, способные поддерживать состояния высокого/низкого уровней, что необходимо для осуществления побитового арбитража.

Международная организация стандартизации определила стандарт ISO 11519-2 для шин CAN со скоростью обмена до 125 Кбит/сек и ISO 11898 для скорости обмена выше 125 Кбит/сек. Эти стандарты различаются только спецификациями нижних подуровней MDI и PMA физического уровня протокола CAN в вопросах подключения к передающей среде (шине).

Подуровни MDI и PMA иногда называют блоком MAU — medium access unit (блоком доступа к среде передачи данных). На рис. 7.2 показано подключение к шине CAN в соответствии с этими стандартами.

Скоростной канал связи образован двухпроводной линией (рис. 7.2, *а*), к обоим концам которой подключены характеристические сопротивления для подавления отражений. Это дифференциальная линия с подавлением синфазных помех. За счет низкого характеристического сопротивления линия имеет хорошую помехоустойчивость, особенно если использована витая пара.

Медленный канал связи также выполнен двухпроводным (рис. 7.2, *б*). Концы линии через сопротивления R = 2,2 кОм подключены к источникам напряжения различной величины. Преимущество такой линии заключается в некоторой информационной избыточности, т. к. данные, по сути, дублируются и передаются независимо по двум проводам. В случае повреждения одного провода сетевые адаптеры могут быть реконфигурированы для работы в однопроводной линии, помехозащищенность при этом ухудшится. За счет паразитной связи между проводами линия более чувствительна к искажениям и не может быть использована для высокоскоростного режима.

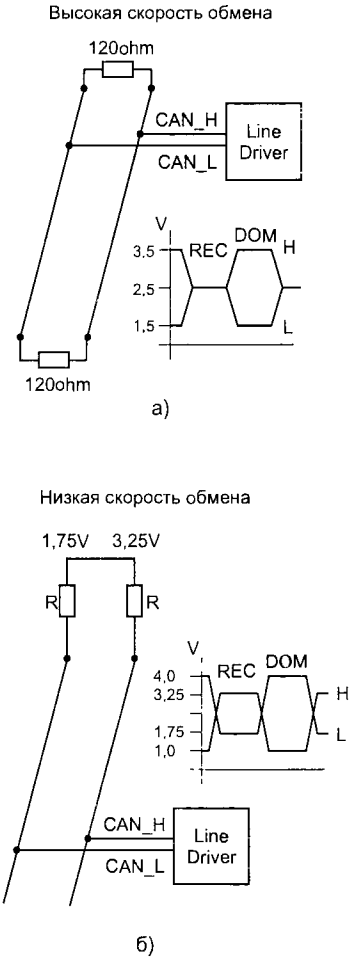


Рис. 7.2. Подключение к шине CAN

► Подуровень PMA (подключение к физической среде) определяет характеристики шинных драйверов и приемников.

При этом линии шины CAN могут находиться в одном из двух состояний: доминирующего уровня (dominant) и недоминирующего уровня (recessive). Если один из узлов устанавливает шину в состояние доминирующего уровня, оно будет установлено, независимо от состояний остальных узлов. Эти состояния

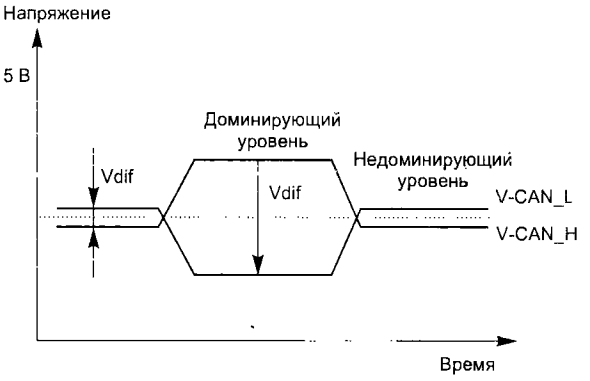


Рис. 7.3. Уровни напряжений в шине CAN

определяются дифференциальным напряжением между проводниками шины, называемыми CAN_H и CAN_L (рис. 7.3). Величина дифференциального напряжения для состояния доминирующего уровня составляет 1,5...3 В, для состояния недоминирующего уровня — -0,5...+0,05 В.

Характеристики шинных драйверов задаются стандартом ISO 11898, где указаны все электрические спецификации. Например, максимальное число подключаемых к шине узлов не должно превышать 30.

На рис. 7.4 схематично показано подключение линейного драйвера к скоростной шине.

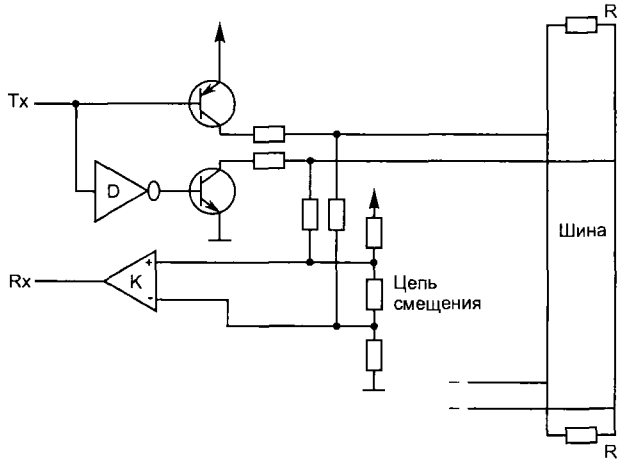


Рис. 7.4. Подключение драйвера к шине

Когда логический уровень сигнала на входе Tx равен «1», оба транзистора в выходном каскаде закрыты и выход драйвера находится в высокоимпедансном состоянии. Шина находится в состоянии недоминирующего уровня, дифференциальное напряжение примерно равно нулю, напряжение смещения около 2,5 В.

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

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

7.4. Подуровень PLS

На подуровне PLS реализуются двоичное кодирование и синхронизация, определяется время передачи бита.

▸ Протокол CAN использует двоичное кодирование (NRZ-код), то есть во время передачи бита не может быть никаких переключений уровня, которые могли бы использоваться для синхронизации (рис. 6.26). Это предъявляет высокие требования к стабильности частоты генераторов (используются кварцевые). Прихо-

дится вводить разделительные сигналы в последовательности одноименных битов для облегчения синхронизации.

▸ Время передачи одного бита схематично представлено на рис. 7.5. В течение этого времени выполняются функции по управлению шиной, такие как синхронизация ЭБУ, компенсация запаздывания в линии, позиционирование момента опроса (стробирование).

Длительность отдельных сегментов в квантах программируется времязадающей логикой адаптеров CAN. Длительность кванта связана с разрешающей способностью подуровня PLS.

Сегмент SYNC_SEG используется для синхронизации различных ЭБУ, подключенных к шине. Изменение уровня сигнала (например, с «0» на «1») предполагается в этом сегменте. Его длительность всегда равна одному кванту.

Сегмент PROP_SEG служит для компенсации временных задержек при распространении сигнала в линии и прохождении его через адаптеры.

Сегменты PHASE_SEG1 и PHASE_SEG2 компенсируют ошибки фазы, они могут быть удлинены или укорочены при ресинхронизации.

Момент опроса — точка времени, когда состояние шины интерпретируется как значение соответствующего бита.

▸ Синхронизация производится в момент перехода шины из состояния недоминирующего уровня в состояние доминирующего уровня. Этот переход всегда

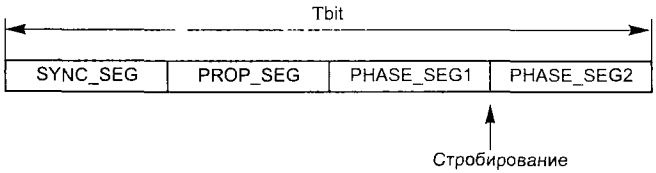


Рис. 7.5. Время передачи бита

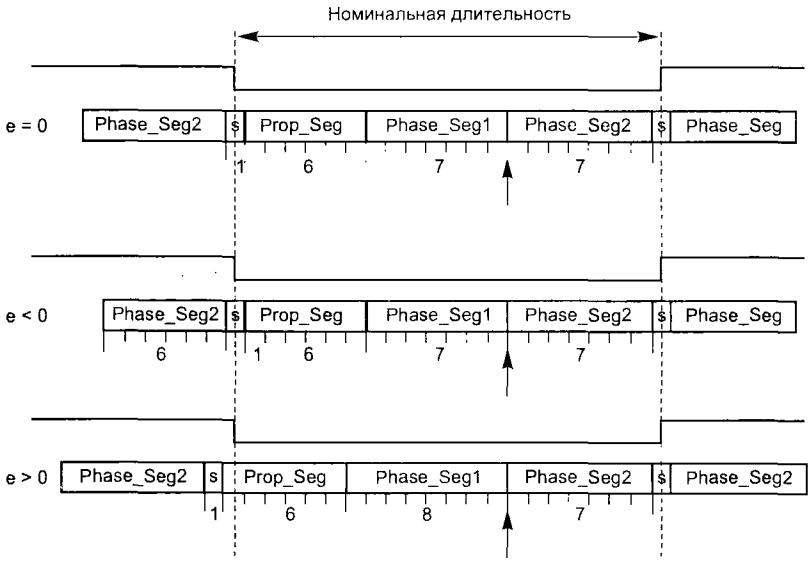


Рис. 7.6. Синхронизация передачи бита

должен совершаться в течение сегмента SYNC_SEG. Для компенсации различных сбоев или задержки в линии используется сокращение длительности сегмента PHASE_SEG2 по отношению к номинальному значению или увеличение длительности сегмента PHASE_SEG1. Изменение длительности сегментов программируется в пределах 1...4 квантов, но не более значения PHASE_SEG1.

На рис. 7.6 номинальные значения длительностей сегментов составляют: PROP_SEG — 6 квантов, PHASE_SEG1 и PHASE_SEG2 по 7 квантов. При нулевой фазовой ошибке (e = 0) фронт сигнала поступает в течение сегмента SYNC_SEG без всякой компенсации длительности.

При отрицательной фазовой ошибке (e < 0), при ее накоплении, фронт сигнала может прийти после стробирования. Для предотвращения этого сокращена длительность сегмента PHASE_SEG2 предыдущего бита с 7 до 6 квантов.

При положительной фазовой ошибке (e > 0) фронт сигнала может пройти до момента стробирования при ее накоплении. Для предотвращения этого увеличена длительность сегмента PHASE_SEG1 с 7 до 8 квантов.

7.5. Подуровень MAC (Управление доступом к среде в CAN)

На подуровне MAC осуществляется упаковка данных в кадры формата CAN с различными управляющими битами, сериализация, добавление разделительных битов, арбитраж, обнаружение ошибок и перегрузки, проверка подтверждений.

Передача информации в сети CAN осуществляется кадрами четырех форматов:

- кадры данных, служат для передачи информации от узла к узлу;
- кадры запроса, для запроса данных одним узлом у другого;
- кадры ошибки, передаются узлом, обнаружившим какую-либо ошибку;
- кадры перегрузки (переполнения), используются передатчиком для приостановки выдачи кадров в сеть.

Между кадрами вводится междукадровое пространство и при передаче кадров используются пять процедур управления:

- вставка дополнительных битов для синхронизации;
- побитовый арбитраж;
- обнаружение ошибок;
- контроль цикличности избыточным кодом;
- сигнализация ошибок.

► Кадр данных служит для передачи сообщений по шине и состоит из семи основных полей (рис. 7.7).

Стандартный формат начинается со стартового бита SOF (start of frame — начало кадра). Далее следует арбитражное поле с 11-битовым идентификатором, затем индикатор запроса. Индикатор показывает, какой это кадр — информационный или кадр запроса. В последнем случае в кадре отсутствует поле данных.

Управляющее поле содержит один бит идентификатора расширения, указывающий, расширенный это формат или стандартный; один бит зарезервирован за будущими возможными расширениями, оставшиеся четыре бита несут информацию о количестве байтов данных в кадре в поле данных.

В поле данных может быть от 0 до 8 байтов (64 бит).

За полем данных следует 15-битовое поле контроля циклически избыточным кодом (CRC), используемое для обнаружения ошибок, и разделитель CRC.

За разделителем CRC следует поле подтверждения ACK и разделитель ACK. Передатчик устанавливает бит ACK в состояние недоминирующего уровня («1»). Этот бит переписывается в состояние доминирующего уровня («0») тем приемником, который принял сообщение правильно. Передающий узел этим извещается, что хотя бы одним узлом его данные приняты. Сообщение подтверждается приемником независимо от того, ему оно адресовано или нет.

1	SOF
11	Идентификатор
1	Индикатор запроса
6	Управляющее поле
0...64	Данные
15	CRC
1	CRC-разделитель
1	Поле ACK
1	Разделитель ACK
7	Конец кадра
3	Межкадровое пространство

Рис. 7.7. Кадр стандартного формата

Поле конца кадра является концом сообщения. Между двумя соседними кадрами обязательно вставляется поле разделителя. Если это последний кадр в сообщении, шина переходит в режим ожидания.

На рис. 7.8 показана начальная часть кадра данных расширенного формата с 29-битовым идентификатором. Биты индикатора запроса и индикатора расширенного формата находятся в состоянии недоминирующего уровня. Это значит, что кадр стандартного формата имеет более высокий приоритет по отношению к кадру расширенного формата при одинаковом содержании первых 11-битов поля идентификатора

1	SOF
11	Идентификатор
1	Дополнительный бит запроса
1	Признак расширения идентификатора
18	Расширение идентификатора
1	Индикатор запроса
6	Управляющее поле
0...64	Данные

Рис. 7.8. Начальная часть кадра данных расширенного формата

▶ Кадр запроса отличается от кадра данных отсутствием поля данных (рис. 7.9). Бит поля запроса находится в состоянии недоминирующего уровня. Кадр запроса используется для запроса данных одним узлом от другого. В ответ узел-адресат посылает кадр данных с таким же идентификатором.

▶ Кадр ошибки передается узлом, обнаружившим какую-либо неисправность. Кадр ошибки поступает на все узлы и состоит из двух полей — поля флага ошибки и поля разделителя. Флаг ошибки может быть активным или пассивным. Активный флаг состоит из шести последовательных битов в состоянии доминирующего уровня (рис. 7.10), пассивный — из шести битов недоминирующего уровня. Разделитель ошибок состоит из восьми битов в состоянии недоминирующего уровня.

После обнаружения флага ошибки узлы начинают выдавать на шину биты недоминирующего уровня, формируя разделитель. При обнаружении ошибки кадр ошибки может быть послан поверх других данных.

1	SOF
11	Идентификатор
1, недоминантный	Индикатор запроса
6	Управляющее поле
0...64	Данные
15	CRC
1	CRC-разделитель
1	ACK
1	Разделитель ACK
7	Конец кадра
3	Межкадровое пространство

Рис. 7.9. Кадр запроса

Рис. 7.10. Кадр ошибки

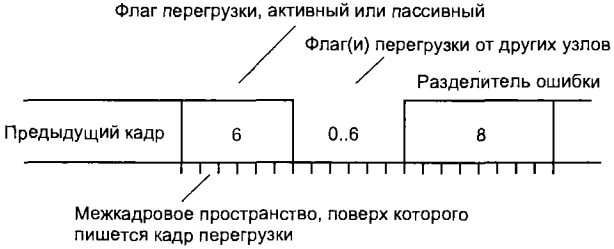


Рис. 7.11. Кадр перегрузки

▸ Кадр перегрузки (переполнения) посылается на шину подуровнями MAC или LLC (см. рис. 7.1) при обнаружении перегрузки или некоторых ошибок. При получении кадра перегрузки узел задерживает передачу очередного кадра данных на шину, давая приемнику время выполнить его задание.

Кадр перегрузки (рис. 7.11) содержит два поля — флаг перегрузки и разделитель. По структуре кадр перегрузки совпадает с кадром ошибки, но отличается временем передачи. Кадр ошибки передается немедленно после ее обнаружения одним из узлов, а кадр перегрузки передается после окончания текущего кадра, игнорируя междукадровое пространство.

Появление кадра ошибки в современных сетях CAN — событие маловероятное. Эта опция сохранена для совместимости с более медленными CAN — контроллерами прежних разработок, например, с пионером — Intel80526.

Более современные контроллеры это Intel: 82527; Philips: SJA1000; Siemens: 81C90; Siemens: 81C91.

▸ На подуровне MAC между окончанием предыдущего и началом последующего кадра обязательно проходит некоторое время, которое называется междукадровым пространством. Перед кадрами ошибок и перегрузки междукадрового

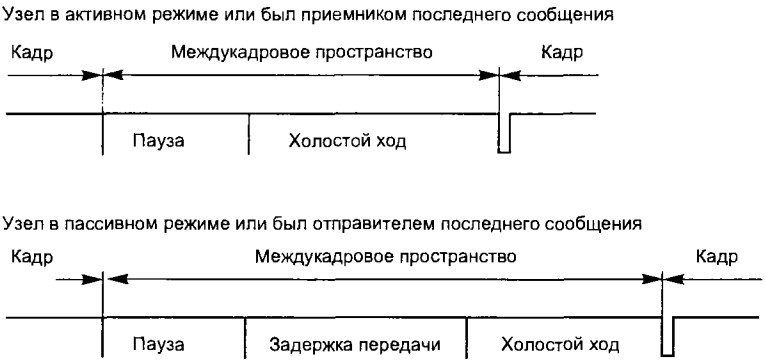


Рис. 7.12. Междукадровое пространство

пространства нет. Пространство между кадрами может содержать поля: «междукадровое пространство», «холостой ход шины», «задержка передачи». Для узлов в активном режиме (рис. 7.12) междукадровое пространство содержит паузу и холостой ход. Если узел находится в пассивном режиме и являлся передатчиком последнего кадра по мультиплексной шине данных, он добавляет 8 бит недоминирующего уровня («задержка передачи») в междукадровое пространство. Если другой узел начнет передачу данных в это время, то узел в режиме пассивной ошибки станет приемником следующего кадра, вместо того чтобы продолжить передачу. В этом случае узел в режиме пассивной ошибки присвоит всем передаваемым им кадрам более низкий приоритет, чем у кадров, передаваемых узлами в режиме активной ошибки.

▸ В протоколе CAN используется NRZ-код (non-return-to-zero). При этом эффективно используется частотная полоса линии связи, но если в последовательности много битов одного значения, возможно нарушение синхронизации. Для предотвращения этого в последовательность, состоящую из 5 и более одинаковых битов, вставляются дополнительные синхронизирующие биты (рис. 7.13). В приемнике эти вспомогательные биты автоматически убираются.

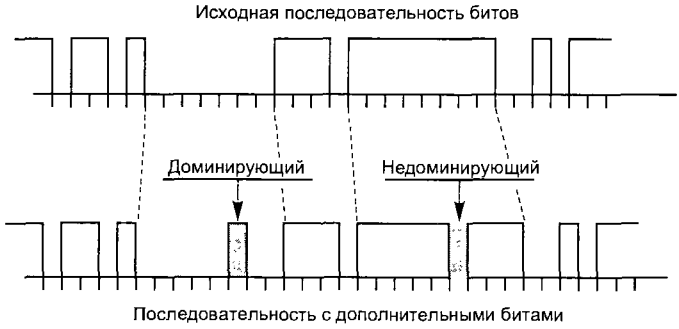


Рис. 7.13. Введение дополнительных битов для синхронизации

Кадр всегда передается начиная со стартового бита (SOF). В пределах поля первыми идут биты, несущие наиболее важную информацию.

▸ Побитовый арбитраж является особенностью протокола CAN.

Мультиплексная система, подчиняющаяся CAN-протоколу, является равноранговой. Любой узел имеет право на доступ к шине, когда она свободна. Признаком этого является обнаружение узлом междукадрового пространства.

Приоритет сообщения определяется 11-битовым идентификатором и следующим за ним битом индикатора запроса. Идентификатор, содержащий меньшее двоичное число, имеет более высокий приоритет. Приоритеты устанавливаются за различными событиями на этапе проектирования и не могут быть изменены динамически. Конфликт при попытке доступа нескольких узлов к шине разрешается побитовым арбитражем идентификаторов кадров, передаваемых конфликтующими узлами.

На рис. 7.14 показаны три узла, пытающиеся одновременно получить доступ к сети CAN. Для первого узла идентификатор 0111111..., для второго — 0100110..., для третьего — 0100111... Первые две цифры в идентификаторах совпадают, все три узла продолжают передавать информацию (в данном случае свои идентификаторы) на шину до прихода третьей цифры, при этом шина будет установлена в доминирую-

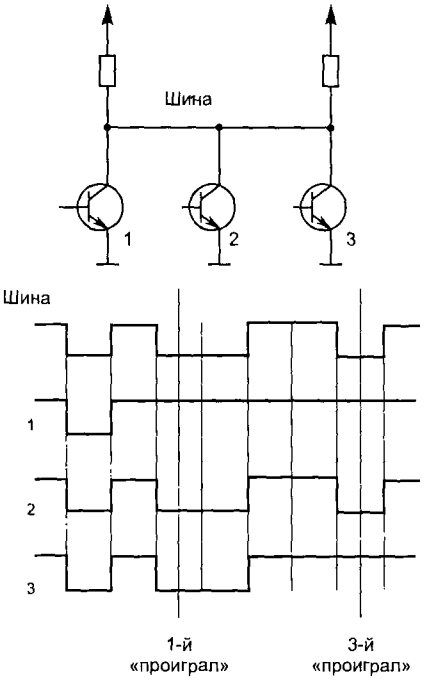


Рис. 7.14. Побитовый арбитраж

щее состояние «0». Далее узел 1 прекратит передачу, так как передаваемая им цифра недоминирующего уровня «1» отличается от нулевого состояния шины. Узлы 2 и 3 продолжат передачу до седьмого бита. В этот момент времени передаваемый узлом 3 бит «1» не совпадает с состоянием шины «0» и узел 3 отключится, передачу продолжит только узел 2.

При таком побитовом арбитраже сохраняется первая часть сообщения и наиболее важная информация с более высоким приоритетом передается без перерыва, «проигравшие» узлы автоматически становятся приемниками для сообщений с более высокими приоритетами. При побитовом арбитраже даже при сильной загрузке коммуникационной шины и невозможности отправить все сообщения в данное время отправляются наиболее важные.

Неразрешимые конфликты могут возникнуть на шине, если в кадрах запроса совпадают идентификаторы, но указано разное число битов в требуемых данных. Для избежания конфликтов в пределах системы эти числа должны быть одинаковыми.

▶ Протокол CAN в отличие от других не использует квитирование сообщений. Вместо этого CAN сигнализирует об обнаруженных ошибках. В протоколе имеется пять способов обнаружения ошибок:

- *контроль циклически избыточным кодом (CRC).* Передатчик добавляет в кадр дополнительные биты в поле CRC, используя образующий полином и содержимое кадра. На принимающей стороне определяется код CRC и сравнивается с переданным. Отсутствие совпадения определяется как ошибка CRC;
- *проверка кадра.* Проверяются форматы полей кадра. Обнаруженные ошибки называются ошибками кадра;
- *определение ошибки ACK.* Приемник, получивший информацию, устанавливает бит ACK в доминантное состояние. Передатчик, не получивший подтверждения в такой форме, уведомляется об ошибке в кадре или отсутствии приемников.

В протоколе CAN имеется две процедуры обнаружения ошибок на битовом уровне:

- *мониторинг шины.* Узел может контролировать собственное сообщение при передаче и может обнаружить несоответствие между тем, что он передает, и тем, что приходит к приемнику. Исключением является посылка недоминантных битов при арбитраже или бита ACK. Это позволяет отличать глобальные ошибки от локальных ошибок передатчика;
- *определение ошибки при вводе дополнительных битов синхронизации.* Ошибка определяется при получении приемником шести одинаковых последовательных битов.

Первые три из перечисленных способов реализуются на уровне сообщения (кадра), два последних — на битовом уровне.

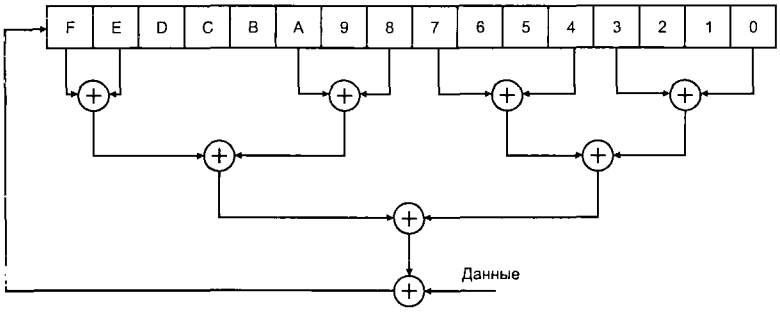


Рис. 7.15. Схема включения регистра

▶ В протоколе CAN применяется контроль циклически избыточным кодом (CRC), для чего используется полином $x^{15} + x^{14} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^4 + x^3 + 1$, генерирующий двоичную псевдослучайную последовательность максимальной длины. Аппаратно или программно организуется сдвигающий 16-разрядный регистр с обратными связями через схемы «исключающее ИЛИ» (сумма по модулю два) в соответствии с коэффициентами образующего полинома (рис. 7.15). Регистры на стороне приемника и передатчика исходно устанавливаются в одинаковые состояния. Через регистр проходят биты сообщения начиная со старших. После этого содержимое регистра становится циклически избыточным кодом (CRC). При отсутствии ошибок коды приемника и передатчика совпадают. При ошибке бит ACK остается недоминантным.

▶ Протокол CAN предусматривает сигнализацию ошибок. Если узел обнаруживает ошибку, используя один из приведенных выше способов, текущая передача сообщений приостанавливается, на шину выдается флаг ошибки. Другие узлы не принимают прерванное сообщение.

При обнаружении ошибки CRC, кадр ошибки начинает передаваться после разделителя CRC. Для других видов ошибок кадр ошибки начинает передаваться со следующего бита после обнаружения ошибки.

После прерывания ошибочного сообщения передатчик пытается его повторить, как только шина освободится.

Неисправные узлы могли бы заблокировать всю шину своими кадрами ошибок, но протокол CAN имеет средства для различения случайных и повторяющихся (постоянных) ошибок, локальных и глобальных. Для этого делается статистическая оценка поведения узла по числу кадров в ошибочных ситуациях и постоянно неисправный узел может быть выключен, чтобы сохранить работоспособность шины в целом. В некоторых системах сигнализация ошибок используется для записи кодов ошибок в память бортовой диагностики.

7.6. Подуровень LLC

7.6.1. Возможности подуровня

Подуровень LLC соответствует верхней части канального уровня модели ВОС. Здесь решаются вопросы независимо от способов доступа к среде, такие как: решение о принятии сообщения узлом, определение состояния перегрузки, повторение передачи и т. д.

▶ Подуровень LLC обеспечивает пользователя интерфейсом CAN возможностью выполнять следующие задания:

- передавать данные без квитирования;
- передавать кадр запроса без квитирования.

Взаимодействие между подуровнем LLC и пользователем осуществляется с применением двух типов кадров: кадра данных LLC и кадра запроса LLC (рис. 7.16).

Рис. 7.16. Форматы кадров подуровня LLC

В поле идентификатора содержится 11 бит. Семь наиболее значимых битов не могут быть одновременно в состоянии «1».

В поле DLC (data length code) содержится 4 бита. Здесь указывается размерность поля данных в байтах. Допустимыми значениями являются 0—8, комбинации цифр 9 и 5 запрещены.

В поле данных может быть до 8 байт, в соответствии со значением DLC.

Кадр запроса идентичен кадру данных, но не содержит поля данных. Поле DLC должно содержать число байтов данных в соответствии с идентификатором.

▶ Решение о принятии сообщения узлом реализуется следующим способом. При необходимости послать сообщение узел передает данные и идентификатор своему шинному драйверу CAN. Здесь сообщение форматируется в кадры и передается на шину драйвером, когда шина свободна или в соответствии с приоритетом информации. Все другие узлы шины становятся приемниками этого сообщения. Каждый узел определяет — ему предназначена эта информация или нет. Если «да», информация принимается, если «нет» — игнорируется. Процедуру такой фильтрации может выполнить и ЭБУ, но для разгрузки ЭБУ в современных протоколах CAN для мультиплексных систем определение назначения сообщения возложено на адаптеры CAN.

▶ Извещение о перегрузке передается в шину CAN, когда внутренние условия приемника требуют задержки перед принятием следующего кадра. Кадр перегрузки инициируется подуровнем LLC.

В результате арбитража передатчик может не передать свое сообщение на шину. Подуровень LLC инициирует ретрансляцию (повторение) данных, пока они не будут отосланы адресату. Доступ передающего узла к шине может быть заблокирован другими сообщениями с более высокими приоритетами. Как должна отрабатываться такая ситуация, решается соответствующим приложением.

7.6.2. Ограничение распространения ошибок

Наиболее важными задачами при ограничении распространения ошибок является:

- различение временных и постоянных отказов;
- отключение неисправных узлов от шины.

Для этого используются счетчики отказов узла, один для режима передачи, другой для приема. При обнаружении ошибки содержимое соответствующего счетчика увеличивается на число в диапазоне 1...8 в зависимости от типа ошибки. После успешной передачи или приема значение в соответствующем счетчике уменьшается на единицу.

Содержимое счетчиков соответствует относительной частоте появления отказов в предыстории. Считается, что узел вышел из строя, если в среднем одно из восьми сообщений передается (принимается) с ошибкой.

Функционирование узлов модифицируется в зависимости от содержимого счетчиков. Узлы могут находиться в одном из трех состояний:

- *состояние активной отработки ошибок (error active).* Это нормальный режим работы узла. При обнаружении отклонений узел выдает на шину кадр активной ошибки;
- *состояние пассивной отработки ошибок (error passive).* Узел переключается в это состояние, когда содержимое одного из счетчиков превысит 127. При обнаружении отклонений узел посылает по шине кадр пассивной ошибки;
- *отключение от шины (bus off).* В этот режим узел попадает, если содержимое счетчика превысило 255. После отключения узел на работу шины уже не влияет. Узлу может быть разрешено вернуться в активное состояние после инициализации от протокола более высокого уровня (Normal_Mode_Request) и прохода по шине 128 последовательностей из 11 недоминантных битов.

▶ В мультиплексных системах с высокой скоростью обмена данными топология шины должна быть максимально приближена к линейной для уменьшения отражений в кабеле. Ответвления от шины до узлов должны быть как можно более короткими.

Для уменьшения стоячих волн точки подключения узлов к шине не должны располагаться на одинаковом расстоянии друг от друга, отводы должны иметь различную длину. Например, согласно стандарту SAE J1939/11, для скорости обмена 250 Кбит/сек максимальная длина отвода может быть 1 метр, минимальное расстояние между точками подключения узлов к шине — 0,1 метра.

▶ Во время эксплуатации могут появиться различные неисправности шины. Некоторые из них показаны на рис. 7.17. Здесь приведено описание этих неисправностей и их последствий.

1. Обрыв линии CAN_H. Сеть разбивается на две, не связанные друг с другом подсети. Обмен данными между узлами различных подсетей невозможен. В пределах одной подсети обмен сохраняется, но с худшим соотношением сигнал/шум.

2. Обрыв линии CAN_L. Аналогично случаю 1.

3. Замыкание линии CAN_H на напряжение источника питания (аккумулятор). Обмен данными обычно невозможен.

4. Замыкание линии CAN_L на массу. Обмен данными сохраняется, так как напряжение в линии остается в допустимых пределах, но с худшим соотношением сигнал/шум и большим паразитным излучением.

5. Замыкание линии на массу. Обмен данными невозможен.

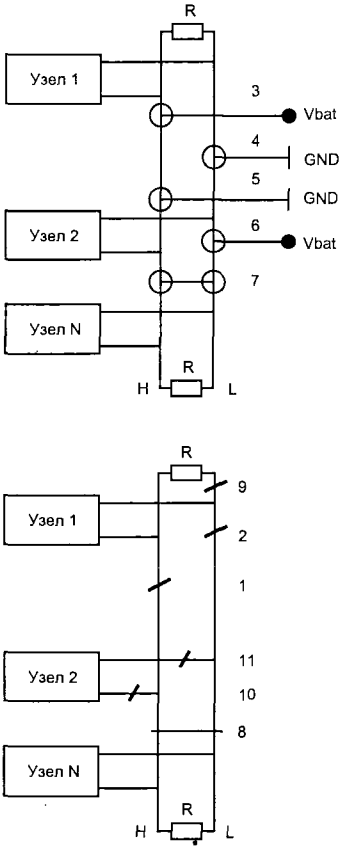


Рис. 7.17. Неисправности шины

6. Замыкание линии CAN_L на напряжение источника питания (аккумулятор). Обмен данными обычно невозможен.

7. Замыкание линий CAN_H и CAN_L между собой. Обмен данными невозможен.

8. Разрыв обеих линий в одном месте. Аналогично случаю 1.

9. Отключение концевого резистора. Обмен данными возможен, но с худшим соотношением сигнал/шум за счет увеличения стоячих волн.

10. Обрыв соединителя от узла до линии CAN_H. Данный узел не может участвовать в работе сети.

11. Обрыв соединителя от узла до CAN_L линии. Данный узел не может участвовать в работе сети.

Из сказанного ясно, что после появления одних неисправностей процесс обмена данными по шине становится невозможным, после появления других — обмен возможен, но с худшим соотношением сигнал/шум.

Здесь не рассмотрено влияние неисправностей на работу шины CAN с низкой скоростью обмена. Эти шины способны сохранять работоспособность после некоторых неисправностей, если шинные драйверы поддерживают однопроводной режим работы. Соотношение сигнал/шум при этом ухудшается.

▶ Для оптимальной работы мультиплексных CAN-систем ЭБУ должны быть защищены от внешних электромагнитных помех, электромагнитное излучение самой шины должно сводиться к минимуму.

Общие требования следующие:

- электрическое поле напряженностью 200 В/м в непосредственной близости от автомобиля не должно вызывать сбоев в работе автомобильных автотронных систем;
- напряжение на передающей автомобильной антенне должно быть менее 1 мкВ в диапазоне частот 20...1000 МГц.

Основной проблемой при использовании мультиплексных систем с высокой скоростью обмена данными является излучение электромагнитных помех за счет того, что шинные драйверы узлов работают в ключевом режиме на высокой частоте. Для уменьшения паразитного излучения используют экранирование кабеля, витые пары, включают последовательно дроссели в отводы к узлам. Имеет значение и маршрут прокладки кабеля шины, он должен проходить подальше от оборудования, чувствительного к электромагнитным помехам, ближе к заземленным объектам.

Иногда в мультиплексных системах уменьшают скорость нарастания фронтов сигналов. Это приводит к некоторому уменьшению паразитного электромагнитного излучения. С другой стороны, уменьшение крутизны фронтов вызывает потерю скорости передачи, уровень сигнала на шине более продолжительно будет находиться в неопределенном состоянии между 0 и 1, что может дать, наоборот, увеличение уровня излучаемых шумов. Для скоростных мультиплексных систем уменьшение крутизны фронтов вряд ли целесообразно.

▶ К надежности мультиплексных систем в автомобиле предъявляются высокие требования, автомобиль является источником повышенной опасности и должен работать надежно в течение всего срока эксплуатации.

Современные мультиплексные системы таким требованиям соответствуют. Например, шина CAN, работающая со скоростью передачи 1 Мбит/сек при средней загрузке шины 50%, средней длине сообщения 80 бит, за полный срок эксплуатации 4000 часов пропустит 9×10^{10} сообщений. Статистическая оценка для числа неопознанных неправильных сообщений за время эксплуатации составит менее 10^{-2}.

Глава 8. Система управления курсовой устойчивостью автомобиля

8.1. Предварительные сведения

Управление движением автомобиля на извилистой дороге с уклонами и подъемами, например на горном серпантине, является исключительно трудной и опасной работой для среднестатистического водителя. Задача управления еще более осложняется при изменении погодных условий, при дожде, снегопаде и особенно на обледенелом шоссе. Движение по горным дорогам в таких случаях запрещается.

Однако и на высококлассных равнинных автомагистралях бывают достаточно крутые повороты и гололед, что при практически неограниченной скорости движения часто приводит к дорожно-транспортным происшествиям (ДТП).

Причиной всех подобных аварий является практически неконтролируемое падение сцепления колесных шин автомобиля с дорожным покрытием, которое (сцепление) еще более ослабевает при появлении продольного или бокового скольжения, т. е. неуправляемого юза колес.

При движении юзом автомобиль плохо поддается управлению и вывести его из такого состояния на большой скорости может не каждый водитель. Вина за случившееся в таком случае ДТП всегда возлагается на водителя. Так, по статистическим данным американской дорожной полиции, которые мало расходятся с данными ГИБДД, около 95% всех ДТП, имеющих место на равнинных скоростных дорогах во время дождя, пурги, гололеда, происходят по вине водителей, в результате совершенных ими ошибок в управлении.

Ряд американских, немецких и японских исследователей не согласны с такой трактовкой причин ДТП. Так, Käppler [26] и Brown [27] провели более тщательную обработку полицейской информации о ДТП и указали, что только в 19% всех случаев виноваты неопытность, невнимательность или беспечность водителя; 31% ДТП приходится на «тупость» (несовершенство) автомобиля, когда даже мастеровитый водитель не в состоянии справиться с автомобилем и предотвратить аварию; оставшиеся 50% ДТП имели место из-за резкого, неожиданного для водителя изменения дорожной ситуации (например, масляное пятно или лед на дорожном покрытии), когда водитель просто не успевал среагировать.

По данным Rompe и др. [28], которые исследовали действия водителей при резком изменении дорожной ситуации еще до совершения ими аварии, только в 50% случаев водители пытались предотвратить ДТП. Edwards и др. [29] уточняют, что действия водителей по предотвращению столкновений имеют место в 52%, а по предотвращению съезда с автомагистрали за ограждение или по предотвращению опрокидывания автомобиля в 64% случаев.

Отсюда ясно, что почти всегда в половине состоявшихся ДТП виноваты не беспечность или невнимательность водителя, а его природная инерционность восприятия, приводящая к запаздыванию реакции при необходимости выполнения мгновенного действия в современных условиях движения.

В некоторых странах национальные правила дорожного движения несколько могут отличаться от международных, но в любом случае водителю рекомендуется выбирать скорость движения автомобиля с учетом реальной дорожной ситуации таким образом, чтобы предотвратить ДТП.

Förster [30] указывает на то, что это не всегда возможно, т. к. водитель не обладает способностью мгновенно воспринимать неожиданно появляющееся скольжение между колесами и дорогой и тем более понятия не имеет, что такое боковая устойчивость автомобиля и как ее в таком случае реализовать. Таким образом, если предел нормального устойчивого сцепления колес с дорогой нарушен, то возникший на повороте боковой увод автомобиля юзом застанет водителя врасплох. Ясно, что при этом действия водителя по предотвращению ДТП значительно запаздывают и не являются адекватными. Возникает потеря управляемости, что часто приводит к паническим реакциям обычных водителей и неизбежно и, надо полагать, без вины водителя заканчивается ДТП. Отсюда Förster делает вывод, что человек, как инерционное звено в системе «автомобиль — водитель — дорога», должен быть освобожден от необходимости выполнения мгновенных (быстрее 0,1 с) действий и за него такие действия должна выполнять бортовая электронная автоматика, подчиненная обычному человеческому восприятию и реальной ситуации движения.

Как это сделать? Среди водителей высокого класса, профессиональных водителей-испытателей и автогонщиков хорошо известно, что безаварийное управление автомобилем на большой скорости и на скользкой дороге возможно, если умело (своевременно и быстро) воздействовать на рулевое управление, педаль тормоза и педаль газа. Это позволяет удерживать динамический момент разворота автомобиля вокруг вертикальной оси в равновесии с инерциальным моментом бокового увода и тем самым обеспечивать устойчивое курсовое направление движения автомобиля боковым юзом.

Однако требовать такого умения вождения от среднестатистического водителя нельзя и рациональнее переложить задачу управления в критической ситуации движения на бортовую аппаратуру автоматического управления.

Исследованиями Fuchs [31] показано, что электронная автоматика вновь разрабатываемых моделей автомобилей, которые будут обязательно оснащаться системой курсовой устойчивости, должна отвечать следующим требованиям:

- при нарушении штатных (обычных) условий движения, когда сцепление колесных шин автомобиля с дорогой приближается к своему физическому пределу, автомобиль не должен вести себя непредсказуемо, динамика его движения не должна изменяться резко, не должны иметь место заносы, резкие развороты, съезды с дороги или опрокидывание;
- даже на скользких или обледенелых дорогах отклонения от заданного водителем направления движения должны оставаться минимальными (в пределах обеспечения безопасности);
- степень загруженности автомобиля в пределах предписанной нормы не должна оказывать влияния на устойчивость его движения;
- боковой ветер, неубранное от незначительных песчаных или снежных наносов состояние автомагистрали не должны сильно влиять на движение автомобиля;
- параметры и характеристики автомобиля, ответственные за безопасность движения, должны оставаться в оптимальных нормах для субъективного восприятия водителем.

Чтобы выполнить перечисленные требования, обеспечивающие устойчивость движения автомобиля, был проведен ряд теоретических и экспериментальных исследований. В первую очередь пересмотру подверглись возможности уже серийно выпускаемых системы антиблокировки тормозов (ABS) и системы регулирования крутящего момента двигателя (ASR). Дополнительно к ним была разработана система управления активной подвеской (ABR), позволяющая регулировать дорожный просвет.

Van Zanter и др. [32] исследовали распределение скольжения колес в процессе полного торможения при движении автомобиля на поворотах. Ставилось условие обеспечить минимальное отклонение от требуемого направления движения при получении минимального тормозного пути. Использовалась совместная работа систем ABS и ASR. Теоретически было доказано и экспериментально подтверждено, что для получения оптимального текущего мгновенного значения угла бокового увода колеса, которое подвергается управляемому торможению, не обязательно оптимизировать его тормозное скольжение, как это делается в системе ABS. Напротив, для достижения максимально возможной тормозной силы при движении автомобиля на поворотах значения тормозного скольжения должны оставаться больше оптимальных для ABS. При этом инерционные силы бокового увода автомобиля ограничиваются действием системы ASR и не превышают сил трения колесных шин о дорогу. Это исключает возможность срыва колес в боковой юз.

Помимо систем ABS и ASR в систему управления динамикой движения автомобиля немецкими инженерами Heeß и др. [33] было предложено включить систему управления активной подвеской (ACR) и систему контроля рулевого управления (APS). Так четырьмя ранее разработанными системами (ABS, ASR, ACR, APS) был образован единый комплекс автоматического управления курсовой устойчивостью движения автомобиля в чрезвычайных ситуациях. Этот комплекс получил название «система VDC» (от нем. «Vehicle Dynamics Control»).

VDC — это система активной безопасности автомобиля, которая постоянно контролирует действия водителя и в чрезвычайных ситуациях, например при резких поворотах на скользкой дороге, автоматически включается в процесс управления и предотвращает возможность возникновения боковых уводов (заносов) автомобиля. При этом система VDC, подобно профессиональному автогонщику, адаптирует крутящий тяговый момент двигателя (посредством системы ASR) и тормозные усилия на колесах (посредством системы ABS) под заданное рулем (посредством системы APS) направление движения. Система активной подвески (ACR) удерживает автомобиль от бокового наклонения.

Для реализации такого способа автоматического управления курсовой устойчивостью в компонентный состав системы VDC включается гироскопическое устройство, которое является датчиком сигнала отклонения направления движения от продольной оси автомобиля. Гироскоп — это своего рода вестибулярный аппарат системы VDC, реагирующий на малейшие флуктуации направления движения.

Однако следует заметить, что система VDC не является системой беспилотного управления, а лишь дополняет действия водителя, оставляя за ним ответственность за выбор направления движения на дороге, не вмешиваясь в его управляющие манипуляции до тех пор, пока движение автомобиля протекает штатно (без юза колес и без заноса автомобиля) [34].

С 1995 года система VDC вышла из стадии экспериментальных исследований и стала устанавливаться на эксклюзивных легковых автомобилях.

8.2. Концепция и вариационные параметры системы VDC

В штатных условиях движения траектория перемещения автомобиля по дорожному полотну задается управляющими манипуляциями водителя. Эти манипуляции, с помощью соответствующих датчиков, преобразуются в электрические сигналы угла поворота рулевого колеса, крутящего момента двигателя (по углу поворота оси дроссельной заслонки) и давления жидкости в тормозной системе.

Однако этих сигналов для автоматической стабилизации устойчивости движения в критических ситуациях недостаточно и дополнительно требуется информация о таких непрерывно изменяющихся величинах, как угол бокового увода передних колес (α), угол бокового сноса автомобиля (β), боковое скольжение (S) колес относительно дорожного покрытия и его направление (угол γ), коэффициент (μ) сцепления колес с дорогой. Все эти величины являются входными вариационными параметрами системы VDC и значительно влияют на траекторию движения автомобиля, как только под колесами появляется юз.

На рис. 8.1 показано, какую траекторию будет описывать автомобиль, заходящий на скорости 80 км/час в крутой поворот при одном и том же неизменном положении руля, на постоянном газе без торможения, но при различных состояниях дорожного покрытия. Кривая «А» соответствует траектории поворота автомобиля с радиусом 40 м на сухом асфальте, когда боковое скольжение колес относительно дорожного покрытия не имеет места ($\mu \geq 0{,}95$). Фактическое направление движения соответствует направлению, выбранному водителем посредством соответствующего поворота рулевого колеса. Кривая «В» отображает траекторию движения автомобиля при повороте на мокрой дороге сразу после дождя, когда асфальтное покрытие особенно скользкое ($\mu \leq 0{,}65$). Появляющееся боковое скольжение пе-

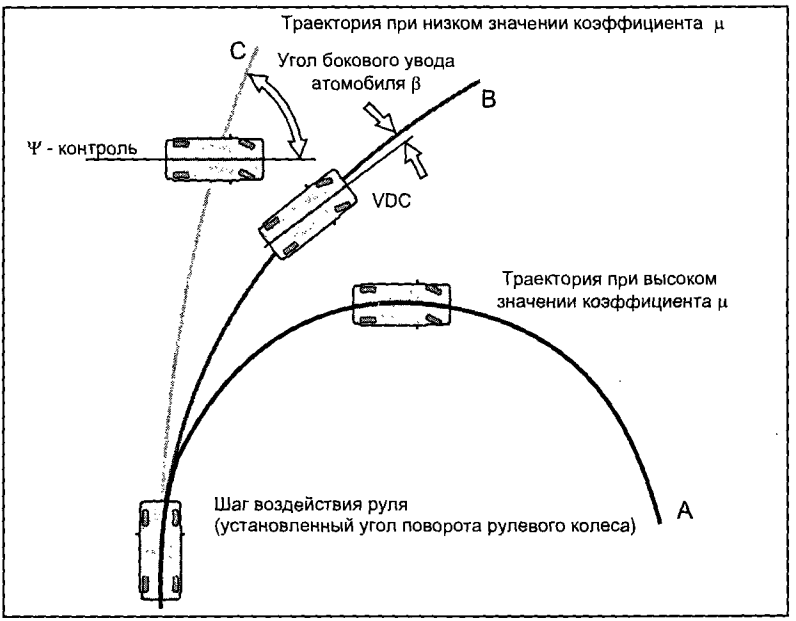


Рис. 8.1. Зависимость траектории движения автомобиля от состояния полотна дорожного покрытия.

редних колес приводит к боковому сносу автомобиля от заданного рулем направления движения, и радиус поворота зависит не только от положения руля, но и от силы бокового увода. На зимней дороге при гололеде ($\mu \leq 0{,}15$) боковой снос автомобиля на повороте может стать настолько большим, что потеряется контроль над управлением и автомобиль независимо от действий водителя перейдет в перемещение по автодороге боковым юзом (кривая «С» на рис. 8.1) или, более того, может начать вращаться вокруг вертикальной оси.

Из рассмотрения траекторий, показанных на рис. 8.1, очевидно, что при повороте автомобиля на скользкой дороге угол бокового увода (сноса) автомобиля должен быть ограничен значением, при котором коэффициент сцепления μ колес с дорогой не становится меньше критического для данных состояний эластичности протектора колесных шин и дорожного покрытия. Одним из способов повышения коэффициента сцепления μ является применение в зимнее время более жесткой шипованной колесной резины.

На рис. 8.2, *а* приведена векторная диаграмма сил, приложенных к переднему колесу во время движения автомобиля на повороте, которая отображает физическую картину потери устойчивости при появлении юза под колесами.

На рис. 8.2, *б* показаны точки приложения векторных сил и момента разворота вокруг вертикальной оси, а также линейные координаты a, b, c, d этих точек относительно центра масс в системе координат x, y, z.

Угол α бокового увода колеса возникает под воздействием боковой силы F_s, когда эластичная шина деформируется в боковом направлении, в результате чего вектор скорости V автомобиля отклоняется от плоскости вращения колеса [22].

Увеличение боковой силы F_s является главной причиной увеличения угла α. Отношение F_s/α называется коэффициентом сопротивления уводу.

$K_y = F_s/\alpha$ (Н/град). Если угол α достигает значений 12...20°, то боковая сила F_s на сухом асфальте становится равной силе F_τ сцепления шины колеса с дорогой ($F_s = F_\tau$) и увод колеса переходит в его боковое скольжение (юз).

При воздействии на колесо продольной тяговой силы F_L или тормозной силы $F_в$ коэффициент сопротивления уводу (K_y) снижается. Если колесо наклоняется по вертикали, в сторону действия боковой силы, то угол увода колеса увеличивается, при обратном направлении силы F_s угол α уменьшается.

Если при повороте передние колеса вращаются свободно (без бокового юза и без торможения), то $F_в = 0$ и $\lambda = 0$, а результирующая сила $F_R = F_{s0}$.

Когда под передними колесами появляется юз, угол λ, определяющий направление скольжения, возрастает и, в зависимости от изменения коэффициента скольжения S в пределах $0 \leq S \leq 1$, меняет свою величину от 0° до 90°. При этом за счет юза начинает увеличиваться сила $F_в$ торможения колеса (без срабатывания тормозной системы), а боковая сила F_s в соответствии с векторной диаграммой (рис. 8.2, *а*) уменьшается.

Изменение направления скольжения (угол λ) при боковом юзе приводит к вращению результирующей силы F_R вокруг вертикальной оси поворота колеса, что вызывает перераспределение сил F_L, $F_в$, F_s и образование момента M вращения кузова автомобиля относительно центра масс под воздействием скольжения данного колеса. Ясно, что при боковом скольжении S, близком к единице ($S \cong 1$), боковой увод автомобиля превышает критическое значение и автомобиль становится неуправляемым.

Суммарный момент M_E вращения кузова вокруг вертикальной оси равен сумме моментов от каждого колеса в отдельности: $M_E = M_1 + M_2 + M_3 + M_4$.

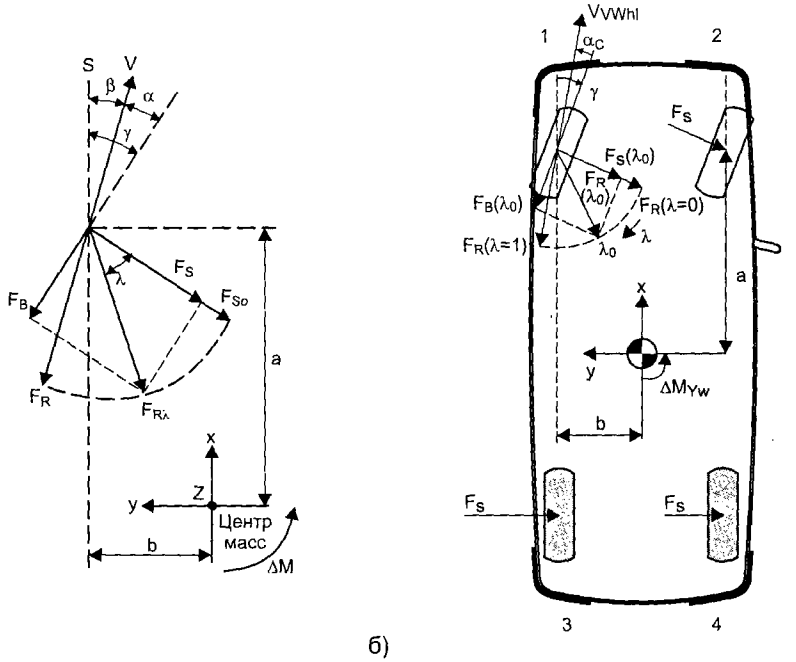


Рис. 8.2. Силы, действующие на колеса автомобиля во время поворота

V — вектор скорости движения автомобиля; S — продольная ось автомобиля; γ — угол поворота колеса относительно оси S; α — угол бокового увода колеса от фактического направления движения (от вектора V); β = (γ - α) — угол бокового увода автомобиля («угол рыскания»); F_S — боковая сила действующая на ось колеса; F_B — тормозная сила колеса при его скольжении по дороге; F_R — результирующая сила бокового увода колеса, равная векторной сумме тормозной (F_B) и боковой (F_S) сил. ($F_R = F_S + F_B$); λ — угол между осью колеса и направлением его скольжения

Управляя тяговыми силами F_D ведущих колес ($F_{D3} + F_{D4}$) и тормозными силами F_B всех четырех колес (F_{B1}, F_{B2}, F_{B3}, F_{B4}), возможно добиться такого состояния движения автомобиля на поворотах или на скользкой дороге, при котором $M_E \ll M_K$. M_K — критическое значение суммарного момента M_E, при котором углы бокового увода центров переднего и заднего мостов появляются не под воздействием бокового юза, а в результате эластичного прогиба шин всех четырех колес. В таком случае колеса не срываются в юз и автомобиль остается управляемым. (Согласно ОСТ 37.001.05186, управляемость автомобиля — это его способность точно следовать повороту передних колес [22].) Функции автоматического управления подтормаживанием и тяговой силой колес при повороте автомобиля на большой скорости или при движении по скользкой дороге выполняет система управления курсовой устойчивостью (система VDC).

8.3. Функциональная блок-схема системы VDC

Ранее, на рис. 1.1, была показана система VDC как составная часть системы «дорога — водитель — автомобиль». Функциональная блок-схема системы VDC, отвечающая решению фундаментальной задачи управления курсовой устойчиво-

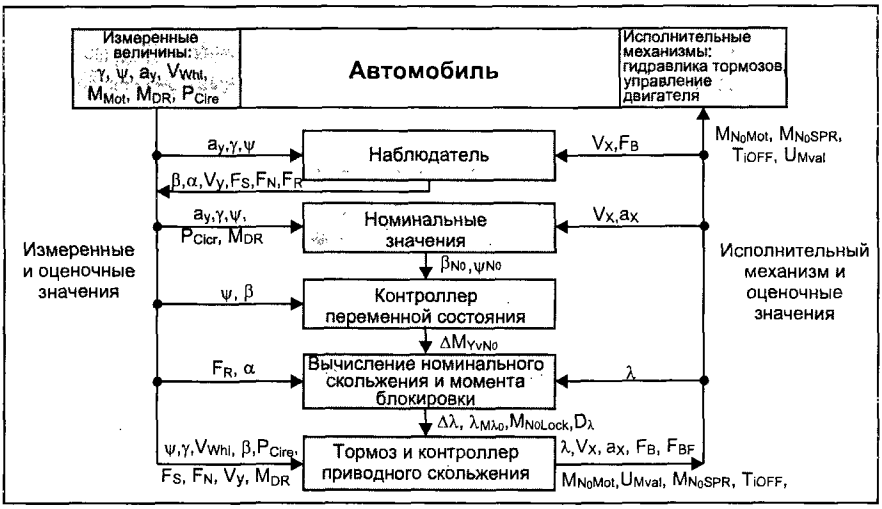


Рис. 8.3. Функциональная блок-схема системы VDC

стью автомобиля, показана на рис. 8.3. Такая схема описывает функциональную взаимосвязь параметров системы VDC и порядок их обработки.

Во-первых, по входным параметрам (воздействиям водителя на органы управления), которые с помощью датчика угла поворота рулевого колеса, датчика дроссельной заслонки и датчика давления в тормозной системе преобразуются в электрические сигналы, определяется номинальное (штатное) поведение автомобиля, описанное номинальными значениями регулируемых переменных. Это наиболее важная и наиболее сложная задача для контроллера системы VDC, так как поведение автомобиля зависит не только от воздействий водителя, но и от неизвестных воздействий окружающей среды, например, от трения между колесами и дорогой, от температуры воздуха и т. д. Кроме того, значения регулируемых переменных должны быть выбраны такими, чтобы поведение автомобиля в критических ситуациях было подобным движению в нормальных условиях.

Во-вторых, по полученным значениям от датчиков скорости колес, датчика рыскания и датчика боковых ускорений определяется фактическое поведение автомобиля, соответствующее фактическим значениям регулируемых переменных. Далее вычисляется и используется разность между номинальными и фактическими значениями переменных величин как набор управляющих сигналов в контроллере системы VDC.

Для реализации задачи управления боковым уводом каждого колеса в отдельности, т. е. при выполнении основной функции системы VDC, необходимо, чтобы тормозное давление на каждом колесе могло модулироваться независимо от водителя и как этого требует заложенная в память ЭБУ—VDC программа управления. Отсюда очевидно важное различие между системами ABC и VDC. Для системы ABC колесо является объектом управления скоростью его вращения, чтобы предотвратить блокировку и сохранить скольжение колеса малым (в пределах допустимой нормы). При этом предотвращается возможность появления и некоторого воздействия поперечной силы. Для системы VDC автомобиль является объектом управления с целью стабилизации движения в критических ситуациях, когда пробуксовкой колес можно и нужно управлять, чтобы получить требуемые поперечные и продольные силы воздействия на движущийся автомобиль.

В критической ситуации, когда автомобиль начинает срываться в движение боковым юзом, ширина полосы скольжения между передними и задними колесами больше ширины автомобиля. Это позволяет выбрать каскадную структуру системы управления, в которой внутренний контур управления с обратной связью управляет пробуксовкой колес, а внешний — движением автомобиля. Такая структура системы управления показана на рис. 8.4.

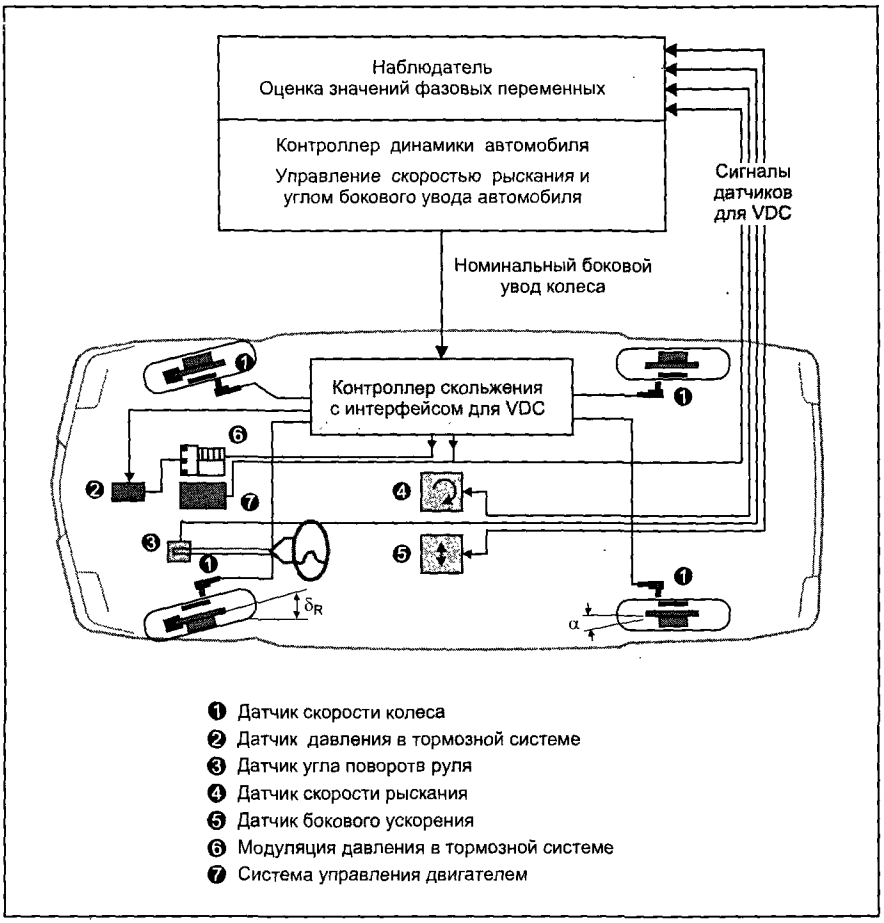


Рис. 8.4. Каскадная структура системы VDC с двумя контурами обратной связи

Во внешнем контуре управления с обратной связью происходит коррекция номинальных значений скольжения колес под требуемое для нештатных условий движения. При этом контроллер скольжения получает сигналы управления от контроллера динамики автомобиля в виде разностных величин между номинальными и фактическими параметрами движения, а также от датчиков автомобиля. Во внутреннем контуре формируются сигналы управления для исполнительных механизмов, с помощью которых корректируется боковой увод колес до номинальных значений скольжения. Наблюдатель используется для того, чтобы оценить фактическое значение угла бокового увода автомобиля и других неизмеряемых величин, например, сил воздействия на колеса, направленных по

нормали. Как и в системе ABC, алгоритм управления запрограммирован и хранится в ПЗУ—VDC. Когда система VDC активирована, контроллер скольжения реализует выборку данных из памяти, сравнивает их с текущими значениями, вырабатывает корректирующие сигналы и передает их на исполнительные устройства.

Система управления двигателем реализована как внутренний контур управления с обратной связью. Номинальные значения сигналов, передающиеся к системе управления двигателем по шине CAN-интерфейса, определяют пределы регулирования крутящего момента.

8.4. Техническая реализация системы VDC

8.4.1. Основные компоненты

На рис. 8.5 показаны основные компоненты системы VDC.

Датчик скорости рыскания, акселерометр бокового ускорения, датчик угла поворота рулевого колеса и электронный блок управления устанавливаются в салоне или багажнике автомобиля. При разработке системы VDC были использованы составные компоненты ранее освоенных систем ABC и ASR, такие как гидроустройства, нагнетательные насосы, датчики скорости колес, акселерометр боковых ускорений, блок автоматического управления дроссельной заслонкой, электронный блок управления. Поэтому опытно-конструкторские разработки системы VDC были сведены к минимуму и ее стоимость оказалась приемлемой для установки на эксклюзивные автомобили.

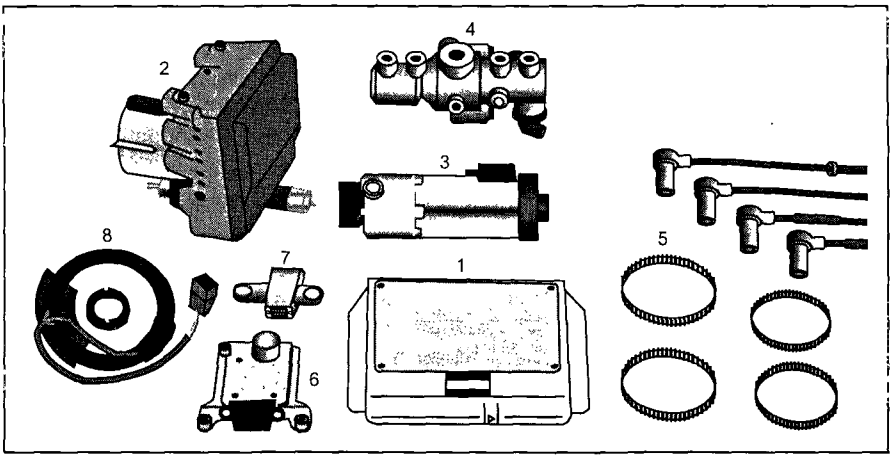


Рис. 8.5. Основные компоненты системы VDC

1 — электронный блок управления; 2 — гидравлический блок; 3 — гидронагнетательный насос с электроприводом; 4 — дифференциальный гидроусилитель с датчиком давления; 5 — колесные датчики; 6 — гироскопический датчик скорости рыскания; 7 — акселерометр бокового ускорения; 8 — датчик угла поворота руля

На рис. 8.6. показано расположение компонентов системы VDC на автомобиле Mercedes.

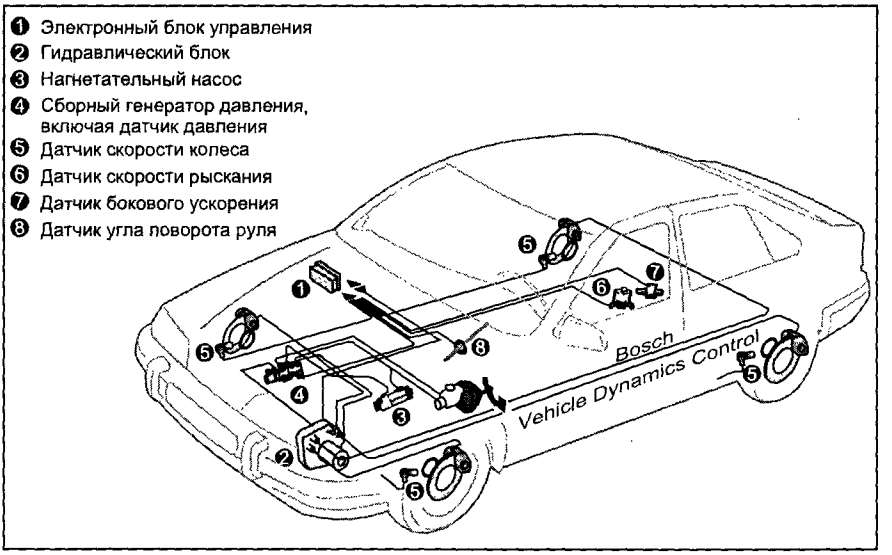


Рис. 8.6. Расположение компонентов системы VDC на автомобиле

8.4.2. Датчики системы VDC

Технические требования к датчикам системы VDC были получены из анализа результатов многочисленных испытаний автомобиля и проведенных теоретических исследований. Используя полученные результаты, были определены дополнительные требования к безопасной эксплуатации бортовой электронной автоматики управления, которая теперь должна была включать в себя элементы резервирования основных функций системы VDC и обладать соответствующей аналитической избыточностью. Это привело к модернизации уже имеющихся на автомобиле датчиков и к доработке бортовой подсистемы интерфейса.

К датчикам скорости колес никаких специальных требований не предъявлялось. В системе VDC они такие же, как и в системе ABS, — индуктивного типа.

Вновь были разработаны датчик скорости рыскания (yaw-sensor) и датчик поворота руля. Датчик скорости рыскания относится к классу вибрирующих гироскопов. Основной элемент гироскопа — металлический цилиндр, чья оправа колеблется в эллиптических формах. Сигнал гироскопа возникает под воздействием ускорения Кориолиса, которое является следствием вращения цилиндра относительно своей оси и его вибраций, пропорциональных вращательной скорости автомобиля вокруг вертикальной оси и относительно оси цилиндра. Для надежной работы системы VDC очень важно, чтобы слабый выходной сигнал датчика рыскания был достаточно устойчивым, поэтому на выходе датчика устанавливается интегрирующее устройство, исключающее случайные возмущения выходного сигнала.

В датчике угла поворота рулевого колеса используется оптико-электронный преобразователь, выполненный с применением светодиодов и фототранзисторов (см. рис. 2.25 и 2.28). Оптоэлектронные пары соединены с ЭБУ цифровым интерфейсом. Датчик установлен на рулевом колесе и измеряет абсолютный угол его поворота. Для получения высокой точности применяется ступенчатое кодирова-

ние с помощью калиброванного набора фототранзисторов, установленных за светомодулирующим диском. Данная конструкция приводит к исключительно высокой надежности и точности датчика, на который можно полагаться как на эталонный при калибровке других датчиков системы VDC.

Демпфирование амортизаторов в системе управления активной подвеской используется в акселерометре датчика боковых ускорений. Такой датчик вырабатывает электрический сигнал, пропорциональный смещению центра масс, а смещение центра масс пропорционально боковому уводу (сносу) автомобиля. Ошибки при установке датчика и кренность автомобиля приводят к погрешности в показаниях датчика, что компенсируется программой управления, которая заложена в ПЗУ системы VDC.

Датчик давления установлен в тормозном контуре передних колес и предназначен для измерения давления в тормозной системе, которое нагнетается водителем посредством педали тормоза. Основной элемент датчика — микроэлектронный чип, выполненный с применением кремниевой диафрагмы. Выходной сигнал чипа заземлен на корпус датчика. Так как в гидросистеме давление может достигать высоких значений (до 350 бар), то датчик должен иметь высокую конструктивную прочность и надежное крепление.

Как уже отмечалось, при оснащении автомобиля системой VDC потребовалось некоторое усложнение интерфейса бортовой системы. Это связано с тем, что число информационных сигналов и функциональных связей между компонентами системы управления значительно увеличилось, а требования к функциональной надежности автоматики управления еще более возросли.

8.4.3. Гидросистема

Одна из наиболее важных эксплуатационных особенностей автомобильных гидросистем — это надежность их функционирования при низких температурах. Поскольку при температуре ниже –20 °С текучесть тормозной жидкости заметно уменьшается, то это приводит к замедлению скорости жидкостных потоков в тормозной системе, что недопустимо при применении системы VDC. Связано это с тем, что генерирование тормозного момента в холодной гидросистеме значительно замедляется. Приходится применять гидронагнетатель высокого давления с приводом от электродвигателя в каждом тормозном контуре.

На рис. 8.7 показана гидравлическая часть системы VDC, которая устойчиво работает при низких температурах. Компоненты системы, которые функционально связаны между собой, на рис. 8.7 сгруппированы рамками в отдельные блоки.

Блок «А» содержит гидроустройство системы ABS/ASR с двумя гидронасосами рециркуляции (RCP— Recirculation Pumps), замкнутый тормозной контур для передних колес (FA — Front Axle) и такой же контур для задних колес (RA — Rear Axle). Блок «В» содержит дифференциальный гидроусилитель давления (PGA — Pressure Generator Assembly), который включает в себя датчик D давления. Этот датчик измеряет давление P_{circ} тормозной жидкости в тормозном контуре FA (передние колеса). В блок «С» входят главный нагнетательный насос (PCP — Precharge Pump) и элементы его управления. В верхней части (E) рисунка показан главный тормозной цилиндр с усилителем и бачком для тормозной жидкости.

Как только сигнал активного торможения с электронного блока системы ABS передается на контроллер скольжения системы VDC, главный нагнетательный насос PCP высокого давления начинает работать и подает тормозную жидкость из

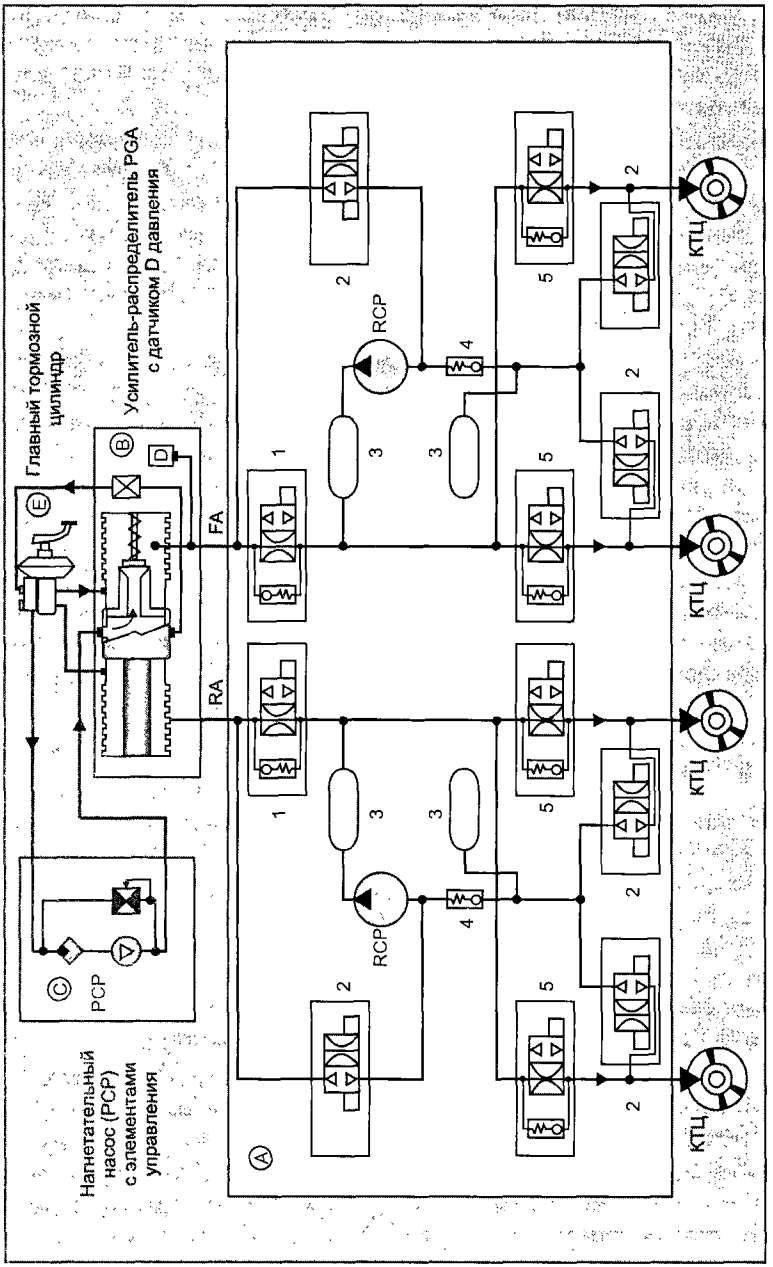


Рис. 8.7. Гидравлическая часть системы VDC

тормозного бачка гидросистемы в центральную камеру дифференциального гидроусилителя PGA.

При этом два плунжера в PGA начинают раздвигаться и нагнетают тормозную жидкость в насосы рециркуляции RCP под заданным давлением, которое формируется пружинными (1 и 4) и электрическими (2) клапанами и поддерживается ресиверами (3). Это приводит к тому, что поток жидкости, идущий от RCP, пода-

ется в рабочие контуры FA и RA под давлением, которое является нормальным для устойчивого функционирования системы VDC при низких температурах. Из соображений функциональной надежности и эксплуатационной безопасности системы VDC главный нагнетательный насос RCP снабжает тормозной жидкостью насосы рециркуляции RCP через буферные камеры дифференциального гидроусилителя PGA.

Электрические гидроклапаны 2 и 5 могут отрабатывать две программы автоматического управления давлением в колесных тормозных цилиндрах (КТЦ) — программу ABS (торможения без блокировки колес) и программу VDC (курсовой устойчивости движения автомобиля избирательным подтормаживанием колес с одновременным регулированием крутящего момента двигателя). Эти программы хранятся в постоянном запоминающем устройстве (в ПЗУ) электронного блока управления.

8.4.4. Электронный блок управления

Электронный блок управления (ЭБУ) содержит стандартную четырехслойную печатную плату с двумя частично резервными микроконтроллерами 83C196KL. Каждый контроллер снабжен блоком постоянной памяти объемом в 48 килобайт. На плате также установлены все запускающие и коммутирующие устройства для включения каналов управления и контрольных ламп, полупроводниковые реле для подачи питания на мощные электропотребители (гидроклапаны и нагнетательные насосы), цепи CAN интерфейса. В связи с увеличением количества управляющих сигналов CAN интерфейс интегрирован в микрочипы контроллеров и обеспечивает управляемый (по заданной программе) обмен информацией между ЭБУ двигателя, ЭБУ ABS, ЭБУ активной подвески и функциональными блоками системы VDC. Связь осуществляется с помощью модифицированной интерфейсной шины.

8.5. Результаты экспериментальных исследований

8.5.1. Испытания автомобиля с системой VDC при резком изменении направления движения

Для оценки эффективности системы VDC проводились модельные и натурные испытания автомобиля во время маневра изменения траектории движения. Сравнивались два однотипных автомобиля, один из которых оборудован системой VDC. Маневр осуществлялся путем резкого поворота рулевого колеса в положительную и отрицательную стороны с шагом 90°. Были приняты следующие начальные условия эксперимента: скорость автомобиля 40 м/с, положение педалей управления тормозом и акселератором во время маневра не изменялось; поверхность дороги однородна (сухой асфальт), коэффициент трения между колесами и дорогой высокий (μ = 1,0).

На рис. 8.8, *а* показаны сравнительные значения наиболее важных переменных величин, анализ которых осуществлялся в процессе моделирования: угол поворота руля (град.), скорость рыскания (град/с), боковое ускорение (м/с^2), угол бокового ухода автомобиля (град.). На рис. 8.8, *б* показана моделируемая траектория движения автомобилей. На рис. 8.8, *в* выделена характерная часть траектории движения

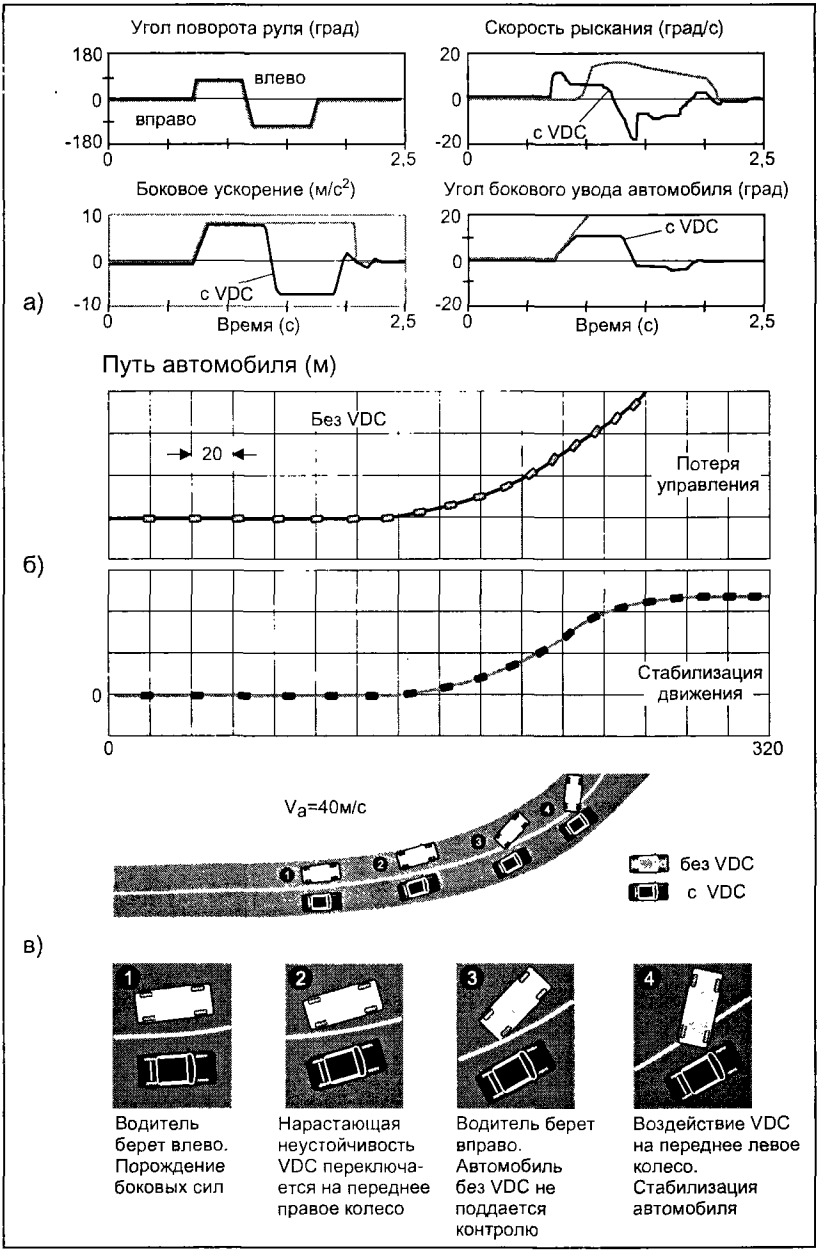


Рис. 8.8. Испытание автомобиля с системой VDC при изменении траектории движения

автомобилей и результирующая сила на каждом колесе в контрольных точках этой траектории.

После первого входного воздействия поворотом рулевого колеса на 90° обычный автомобиль показывает возникающую неустойчивость (на рис. 8.8, *в* поз. 2), которая следует из-за задержки появления боковой силы на задних колесах (по сравнению с передними). На поз. 3 рис. 8.8, *в* угол поворота рулевого колеса из-

меняется в противоположном направлении. Скорость рыскания и угол бокового увода быстро увеличиваются, стабильность автомобиля не восстанавливается, и автомобиль продолжает съезжать с дороги (поз. 4 на рис. 8.8, *в*).

После первого входного воздействия поворотом рулевого колеса автомобиль с системой VDC также проявляет некоторую неустойчивость. Но при этом система VDC формирует тормозной момент, приложенный к первому переднем колесу (рис. 8.8, *с* поз. 2), что приводит к повороту результирующей силы на этом колесе и, как следствие, — к замедлению роста скорости рыскания и угла бокового увода (рис. 8.8, *а*). Автомобиль удерживается от сноса. После второго входного воздействия поворотом рулевого колеса (рис. 8.8, *а*) скорость рыскания изменяет свой знак, а система VDC формирует тормозной момент на левом переднем колесе и автомобиль снова стабилизируется (рис. 8.8, *в* поз. 4).

Моделирование было проведено с использованием блока FASIM (моделирование динамики автомобиля) [46]. Результаты моделирования проверены на испытательном автомобиле.

8.5.2. Торможение при движении автомобиля по гладкому льду

На рис. 8.9 показаны сравнительные характеристики основных параметров движения автомобиля во время полного торможения на гладком льду ($\mu \approx 0{,}15$). Испытательный автомобиль для сравнения был оборудован серийными системами ABS и VDC.

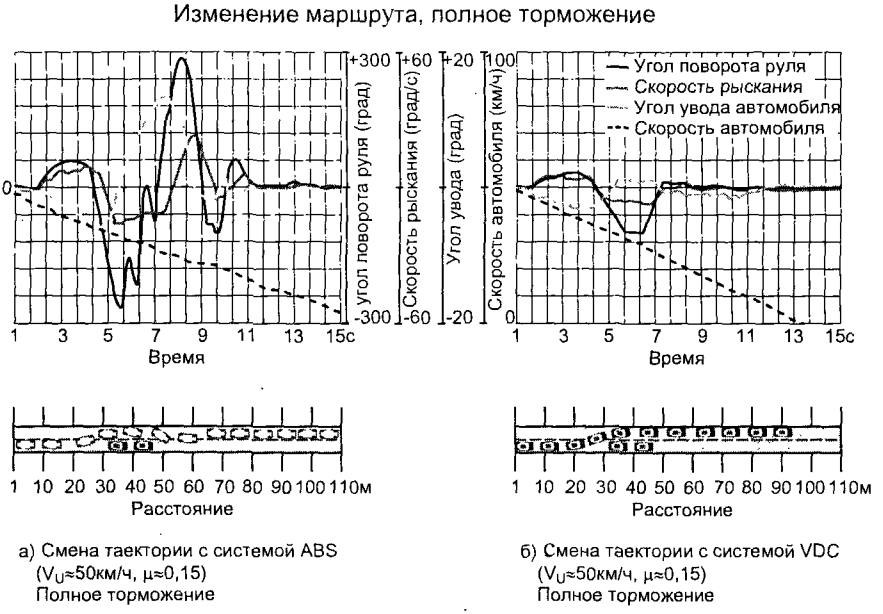


Рис. 8.9. Торможение при движении автомобилей по гладкому льду

На рис. 8.9 слева показаны результаты испытаний с использованием системы ABS, справа — с использованием системы VDC. Маневрирование проводилось при скорости движения автомобиля 50 км/ч с участием водителя в управлении. Результаты испытаний с использованием системы ABS показывают, что скорость рыскания и угол бокового увода автомобиля быстро достигают больших значений

и водитель должен быстро этому противодействовать. После очередного маневра рулем скорость рыскания и угол бокового увода автомобиля снова быстро изменяются и снова возникает необходимость во вмешательстве.

Результаты испытаний с использованием системы VDC показывают (рис. 8.9 справа), что скорость рыскания и угол бокового увода автомобиля при торможении изменяются в малых пределах и немедленно откликаются на маневрирование при управлении движением. В этом случае водитель должен успевать задавать дополнительный небольшой угол поворота рулевого колеса в сторону, противоположную уводу, и автомобиль равномерно останавливается. Важно отметить, что при этом тормозной путь автомобиля с системой VDC меньше, чем того же автомобиля с системой ABS. Это объясняется ограничением угла бокового увода автомобиля, чему соответствует лучшая ABS-регуляция.

8.5.3. Испытание автомобиля при движении по замкнутой траектории с увеличением скорости

На рис. 8.10 показаны сравнительные значения основных переменных величин при движении автомобиля по замкнутой траектории с увеличением скорости. Испытания проводились на автомобиле с системой VDC (рис. 8.10, *а*) и без системы VDC (рис. 8.10, *б*). При этом водитель должен был удерживать автомобиль на трассе. Трасса однородная, коэффициент трения высокий ($\mu = 1{,}0$).

На рис. 8.10 штриховыми линиями показаны расчетные значения угла поворота рулевого колеса и угла увода автомобиля, которые являются предельными зависимостями этих величин от медленно увеличивающейся скорости и соответствующего бокового ускорения.

Из рис. 8.10 видно, что поведение автомобиля с системой VDC и без VDC идентично до величины бокового ускорения 7 м/с^2 и почти совпадает с расчетным.

При значениях бокового ускорения выше 7 м/с^2 начинает быстро расти угол увода автомобиля и угол поворота рулевого колеса. Далее при значениях ускорения 7,5 м/с^2 обычный автомобиль становится неуправляемым.

На автомобиле с системой VDC при значениях бокового ускорения выше 7 м/с^2 включается система VDC, которая, управляя углом поворота дроссельной заслонки, уменьшает скорость автомобиля, а соответственно, и боковое ускорение до 5 м/с^2. При этом угол увода автомобиля и угол поворота рулевого колеса уменьшаются в соответствии с характеристиками на рис. 8.10, *а* и автомобиль остается управляемым.

Таким образом, динамический диапазон функционирования системы VDC лежит в пределах значений бокового ускорения от 7 м/с^2 до 5 м/с^2 (в соответствии с рис. 8.10, *а*).

Возникающие вследствие действия системы VDC незначительные результирующие изменения угла бокового увода автомобиля и его бокового отклонения от трассы легко корректируются действиями водительского управления, что приводит к устойчивому движению автомобиля по замкнутой траектории.

Вышеописанные варианты движения автомобиля потенциально содержат угрозу срыва колес в боковой юз и являются наиболее частыми причинами ДТП для автомобилей, не оборудованных системой VDC. Однако на практике могут иметь место и другие аварийно-опасные варианты движения, например, так называемый «слалом» на заснеженной автомагистрали, когда автомобиль на большой скорости

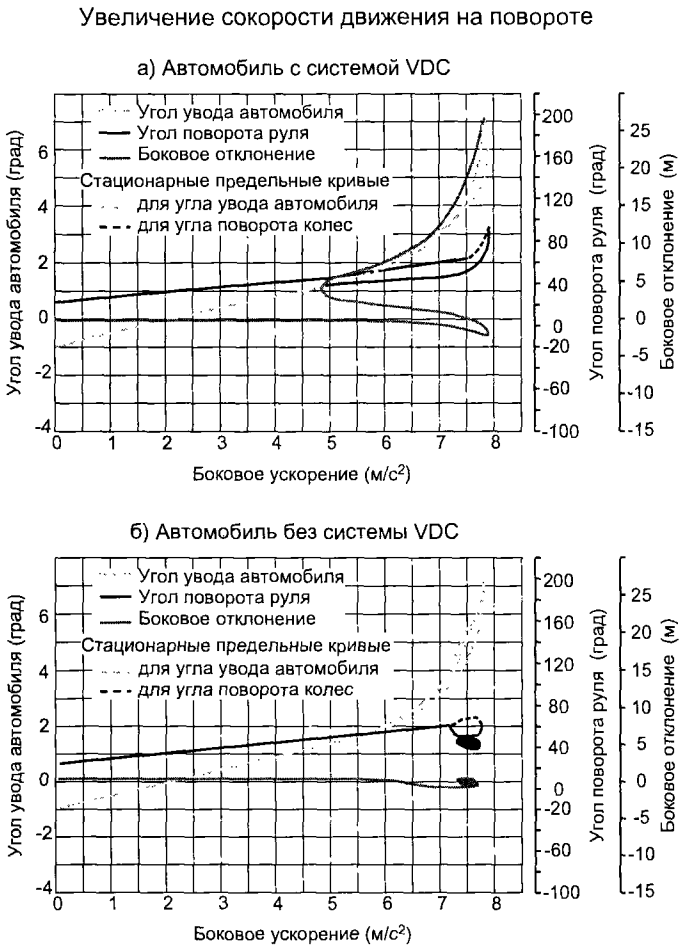


Рис. 8.10. Движение автомобиля по замкнутой траектории с увеличением скорости

заносит из стороны в сторону. Испытания автомобиля с системой VDC при движении слаломом описаны в [35].

8.6. Надежность системы VDC. Поиск неисправностей

Повышенная надежность и бортовая самодиагностика неисправностей как отдельных компонентов, так и всей системы в целом обеспечивают безопасную эксплуатацию системы VDC.

Повышение надежности работы накладывает дополнительные требования на срок службы компонентов, на процесс их производства, на функциональные взаимосвязи между компонентами, на методы диагностирования неисправностей в системе. Многие источники неисправностей должны быть локализованы в процессе работы или уменьшена вероятность того, что неисправности произойдут.

Основные принципы повышения надежности и поиска неисправностей в системе VDC были взяты из программного обеспечения бортовой самодиагностики, внедренного с системы ABS и ASR. Бортовая самодиагностика контролирует все компоненты, которые электрически соединены с ЭБУ. Контролируются электрические соединения, сигналы и их действия. Помимо этого в систему VDC были внедрены новые средства и программное обеспечение. Например, исполнительные гидромеханизмы проверяются путем создания коротких циклов модуляции давления с последующим анализом сигналов от датчика давления. Таким же путем проверяется и исправное функционирование насосов, дифференциального регулятора давления и электромагнитных гидроклапанов.

Датчики контролируются по трем программам.

На первом этапе наиболее важные датчики проверяются с использованием активного теста. Так, правильность показаний датчика давления анализируется в процессе активных тестов для исполнительных механизмов и активного теста торможения. Yaw-датчик (скорости рыскания) проверяется тестом самодиагностики. При этом на чувствительный элемент датчика подается возбуждение, после чего анализируется ответный сигнал. Датчик угла поворота рулевого колеса имеет активную схему самоконтроля. Все ответные сигналы с датчиков поступают в ЭБУ, где постоянно анализируются и на их основе формируется общий сигнал исправности системы VDC.

На втором этапе датчики контролируются по программе постоянного наблюдения, т. е. во время езды автомобиля. При этом используются алгоритмы для определения величины рассогласования сигналов датчика и калибровка сигналов.

На третьем этапе датчики проверяются на разрыв или короткое замыкание соединительных проводов и внутренних соединений, а также регистрируется нарушение формы сигналов (выход за допустимые пределы и искажения).

Все три программы реализуются бортовой системой самодиагностики, которая интегрирована в ЭБУ—VDC. В зависимости от вида неисправности и степени ее влияния на безопасность движения система самодиагностики частично или полностью отключает систему VDC.

В результате внедрения системы VDC реально достигается следующее:

- повышается безопасность водителя и движения автомобиля;
- осуществляется поддержка водителя при управлении автомобилем в критических ситуациях;
- сохраняется заданная водителем траектория движения автомобиля во всех режимах: полное торможение, частичное торможение, движение накатом, ускорение, торможение двигателем;
- поддерживается стабильность движения автомобиля во время критического управления (испуг, паническая реакция);
- улучшается использование сил трения между колесами и дорогой, что уменьшает тормозной путь при повышенной силе тяги.

Ясно, что внедрение системы VDC приводит к уменьшению числа несчастных случаев, содействует безопасности вождения и предотвращает дорожно-транспортные происшествия с тяжелыми последствиями.

Глава 9. Электромагнитный привод газораспределительных клапанов в поршневом двигателе внутреннего сгорания

9.1. Предварительные замечания

В поршневом двигателе внутреннего сгорания (ДВС) все рабочие процессы превращения химической энергии сжигаемого топлива в механическую работу коленчатого вала происходят внутри двигателя за счет возвратно-поступательного движения поршней в цилиндрах. Главным устройством, обеспечивающим штатную работу поршневого ДВС, является его газораспределительный механизм (ГРМ). В ГРМ современных поршневых двигателей используется механический цепной или ременный привод впускных и выпускных клапанов через распределительный вал от коленчатого вала ДВС. Такая кинематическая схема привода исключает возможность гибкого адаптированного управления клапанами, что является главным недостатком механических ГРМ. Разработчикам автомобильных двигателей хорошо известно, что создать поршневой ДВС без распределительного вала — идея исключительно плодотворная, так как с устранением постоянной кинематической связи между клапанами ГРМ и коленчатым валом ДВС появляется возможность автоматического регулирования фаз газораспределения с помощью электромагнитных клапанов, работающих под управлением электронной автоматики. Это, в свою очередь, открывает новые перспективы к дальнейшему совершенствованию автомобильных поршневых двигателей, основной спецификой которых является работа в непрерывно изменяющихся режимах. Однако на пути воплощения такой идеи стоит ряд проблем, основная из которых — разработка конструкции электромагнитного клапана, способного длительно и штатно (нормально) работать в специфических условиях газораспределительного механизма. В направлении создания газораспределительных клапанов ДВС с прямым электромагнитным приводом, в котором силовой электромагнит воздействует непосредственно на стержень клапана, работают многие зарубежные фирмы и ряд российских автозаводов. Но конструкций, пригодных для внедрения в серийное производство, пока нет. Этому есть ряд причин, и главная — это неприемлемо большие габаритные размеры силовых тяговых электромагнитов, громоздкость и шумность срабатывания которых обусловлена необходимостью получения достаточно большой тяговой силы при ограниченном токе потребления. Приходится наматывать большое число витков, чтобы обеспечить катушке электромагнита требуемую намагничивающую силу при малом токе. Но, как известно, это приводит к образованию значительной индуктивности катушки, а значит, к ограничению скорости срабатывания электромагнита. Стремление повысить быстродействие понижением индуктивности за счет уменьшения числа витков приводит к необходимости пропорционального увеличения тока управления электромагнитом и, как следствие, — к излишнему расходу электроэнергии на работу электромагнитного клапана. Разработчики полагают [38—66], что компромисс может быть

найден с применением специальных конструкций магнитопроводных цепей в электромагнитном клапане, созданных на основе новейших высокоэффективных ферромагнитных материалов. Нет сомнения в том, что в ближайшие годы начнут широко внедряться системы электронного управления процессами газораспределения в автомобильных поршневых ДВС с использованием электромагнитных клапанов. На это указывает увеличение числа публикаций, вышедших в последнее время, по электронному управлению клапанами.

В данной главе описаны принципы действия и устройства газораспределительных электромагнитных клапанов, сведения о которых опубликованы в научно-технической и патентной литературе.

9.2. Механические клапаны

Широко известны впускные и выпускные клапаны механического принципа действия, которые открываются толкающими усилиями кулачков распределительного вала, а закрываются под воздействием возвратной запорной пружины [37]. Такие клапаны называются механическими и, помимо возвратной запорной пружины, обязательно содержат в своем составе собственно клапан, состоящий из клапанной головки и клапанного стержня, гнездо с посадочной фаской для клапанной головки и направляющую втулку для клапанного стержня.

Основные преимущества механических клапанов:

- простота конструктивной реализации и компактность газораспределительного механизма (далее ГРМ), выполненного с применением механических клапанов;
- функциональная надежность ГРМ с механическими клапанами;
- минимальный уровень ударных вибраций в ГРМ с механическими клапанами и, как следствие, бесшумность его работы.

Основной недостаток механического клапана — его управление от кулачка распределительного вала, когда распредвал кинематически постоянно (жестко) связан с коленчатым валом двигателя. Такая связь не позволяет создавать поршневые двигатели с программным управлением процессами газораспределения от электронной автоматики, что препятствует дальнейшему их (двигателей) совершенствованию.

9.3. Электромагнитные клапаны

Наиболее перспективным для работы в ГРМ с управлением от электронной автоматики является клапан с непосредственным электромагнитным приводом (рис. 9.1), который (клапан) открывается электромагнитом **8**, **9**, **10** при подаче на него управляющего электрического сигнала, а закрывается возвратной пружиной 1.

Основное преимущество электроклапана — работа в ГРМ без распределительного вала с управлением от электронной автоматики [36].

При подаче постоянного управляющего напряжения на обмотку **9** электромагнита его магнитопровод, состоящий из неподвижного ярма **8** и магнитопроводящей шайбы (подвижного якоря) **10**, смыкается и магнитопроводящая шайба **10** своим ходом «вниз» толкает клапанный стержень **3**, тем самым открывая запор-

ный узел **2**, **4** клапана. После прекращения действия постоянного управляющего напряжения ток в обмотке **9** электромагнита прерывается, магнитное поле в магнитопроводе **8**, **10** исчезает, магнитопроводящая шайба **10** под действием возвратной пружины **1** поднимается «вверх» и запорный узел **2**, **4** электроклапана закрывается.

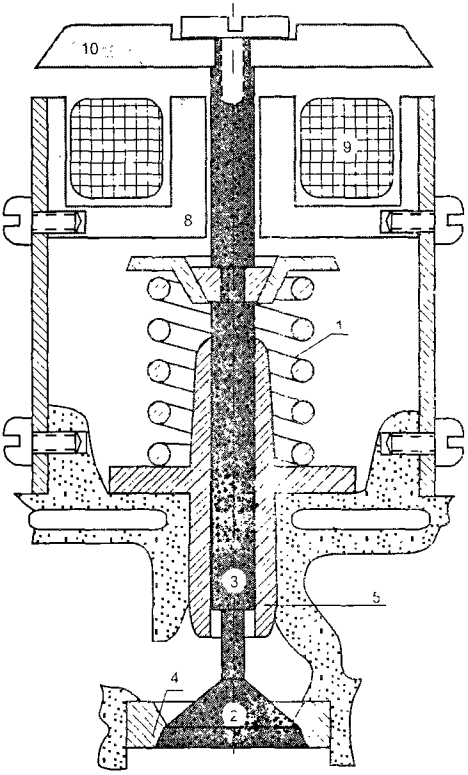


Рис. 9.1. Электромагнитный клапан

Электромагнитный клапан обладает тремя существенными недостатками:

- для преодоления усилия возвратной запорной пружины **1** электромагнит **8**, **9**, **10** должен обладать значительной тяговой силой, что делает его габаритные размеры и индуктивность недопустимо большими, а потребление энергии от бортсети автомобиля — значительным;
- при резком падении величины постоянного управляющего напряжения, например при пуске двигателя в холодное зимнее время, электромагнит **8**, **9**, **10** может не преодолеть возвратного усилия запорной пружины **1** и тогда клапан останется закрытым;
- при открытии и закрытии электроклапана имеют место громкие щелчковые соударения: при открывании — магнитопроводящей шайбы (якоря) **10** об ярмо **8**, при закрывании — клапанной головки **2** о посадочную фаску **4**. Как следствие, работа электроклапана сопровождается значительным шумом.

Устранение указанных недостатков электромагнитного клапана возможно путем уменьшения его габаритных размеров, повышения надежности и понижения шумности срабатывания, а также путем автоматизации управления рабочими процессами с применением электронной автоматики.

9.4. Электромагнитный клапан с пружинным ударным устройством

На рис. 9.2 показано устройство электроклапана ГРМ, выполненного по авторскому свидетельству СССР № 1395844 (Бюл. № 18, 1988 г.).

Основная идея этого изобретения состоит в том, что вышеописанный электроклапан (рис. 9.1), которому на рис. 9.2 соответствуют позиции **1**, **2**, **3**, **6**, **7**, **8**, дополнен пружинным ударным устройством (на рис. 9.2 поз. **4**, **9**, **10**, **11**, **12**). Ударное устройство взводится втяжным электромагнитом **5**, **9**, **10**, **11**, а спускается «на удар» спусковым электромагнитом (на рис. 9.2 поз. **14**, **15**, **16**, **17**, **18**) и возвратной пружиной **12**, ослабленной по сравнению с основной пружиной **8**.

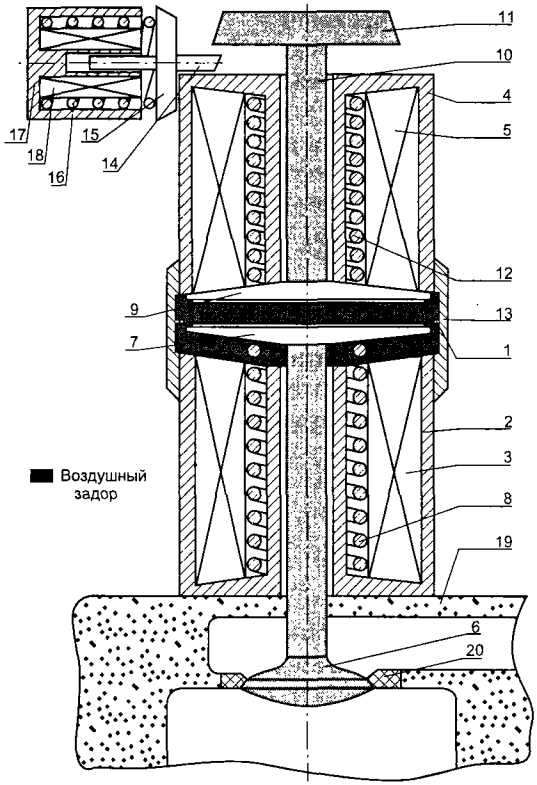


Рис. 9.2. Электромагнитный клапан с пружинным ударным устройством

Управление электромагнитным приводом клапана осуществляется без применения распределительного вала — от электрических сигналов, сформированных в релейно-электронном устройстве управления, что позволяет изменять фазы газораспределения. Когда клапан закрыт, все три электромагнита обесточены и клапанная головка **6** надежно и плотно прижата к посадочной фаске **20** возвратной запорной пружиной **8**. Фиксирующий шток **14**, установленный на якоре **15** спускового электромагнита, находится в зажатом состоянии под головкой **11** якоря пружинного ударного устройства. Когда клапан открывается, электромагниты в определенной последовательности включаются на срабатывание путем подачи импульсов постоянного напряжения на их обмотки от релейно-электронного блока управления. Последовательность срабатывания электромагнитов при открывании клапана следующая. Сначала, с очень коротким опережением, срабатывают втяжной и спусковой электромагниты. Под воздействием втяжного электромагнита головка **11** вместе с якорем **9**, **10** поднимается вверх, а фиксирующий шток **14** под воздействием спускового электромагнита втягивается якорем **15** в катушку **18**, тем самым массивный якорь **9**, **10**, **11** подготавливается для срабатывания «на удар». Далее включается основной открывающий электромагнит и одновременно отпускается (обесточивается) втяжной электромагнит, а спусковой электромагнит остается в состоянии удержания якоря **15** в катушке **18**. В результате такой коммутации открывающий электромагнит напрягает основную возвратную запорную пружину **8** и после ударного (сталкивающего) воздействия со стороны массивного якоря **9**, **10**, **11** (который после обесточива-

ния катушки **5** втяжного электромагнита приводится в мгновенное движение возвратной пружиной **12**) перемещает основной якорь **7** и клапанную головку **6** «вниз» — газораспределительный клапан открывается и удерживается в открытом состоянии, пока открывающий электромагнит находится под током.

При закрывании клапана сначала отпускается (обесточивается) спусковой электромагнит и под действием малой возвратной пружины **16** его якорь **15** выталкивается из катушки **18**, а фиксирующий шток **14** перемещается под головку **11** массивного якоря **9**, **10**, **11**. Далее одновременно обесточиваются (отпускаются) основной открывающий и втяжной электромагниты. Основная возвратная запирающая пружина **8** поднимает якорь **7** и клапанную головку **6** «вверх» — клапан закрывается, а массивный якорь **9**, **10**, **11** обесточенного втяжного электромагнита под действием возвратной пружины **12** несколько опускается «вниз» до упора головки **11** в фиксирующий шток **14**. Последним движением реализуется фиксация пружинного ударного устройства (массивного якоря **9**, **10**, **11** и возвратной пружины **12**) во взведенном состоянии до следующего срабатывания клапана на открывание.

Целью описанного изобретения было снижение потребляемой электрической мощности электромагнитным клапаном, которая достигнута оригинальным способом — ударом по якорю слаботочного и относительно небольшого открывающего электромагнита массивным якорем пружинного ударного устройства.

Однако такой электромеханический клапан не может быть использован в ГРМ автомобильных двигателей, так как значительные шумы, возникающие при его срабатывании от соударений подвижных компонентов, здесь не устранены. Функциональная надежность электромагнитного клапана с пружинным ударным устройством также недостаточно высокая, так как для его устойчивой работы требуется синхронизация удара массивного якоря с началом движения якоря открывающего электромагнита.

Реализовать синхронность двух механических взаимодействий при отсутствии между ними постоянной кинематической связи и при высокой скорости срабатывания практически невозможно.

9.5. Электромагнитный клапан с пружинной амортизацией

Все электромагнитные клапаны значительно стучат во время работы, за счет соударения подвижной и неподвижной частей клапана. Для устранения этого недостатка можно применить пружинную амортизацию.

В качестве примера рассмотрим газораспределительный клапан (ГР-клапан) для поршневого двигателя внутреннего сгорания (ДВС), разработанный и запатентованный западно-германской фирмой Daimler — Benz — AG в 1976 году (Патент ФРГ, № 2630512, класс: F 02D 13/02 от 7.07.1976 г.), устройство которого показано на рис. 9.3.

Такой газораспределительный клапан работает следующим образом. Когда на обмотку **14** открывающего электромагнита (**13**, **14**) подается управляющее напряжение, якорь **5** под действием притяжения к магнитопроводу **13** опускается «вниз» и, сжимая нижнюю пружину **4**, открывает клапан **1**. При этом верхняя амортизирующая пружина **8** способствует открытию клапана, так как до этого она находилась в частично сжатом состоянии. При закрытии клапана управляющее

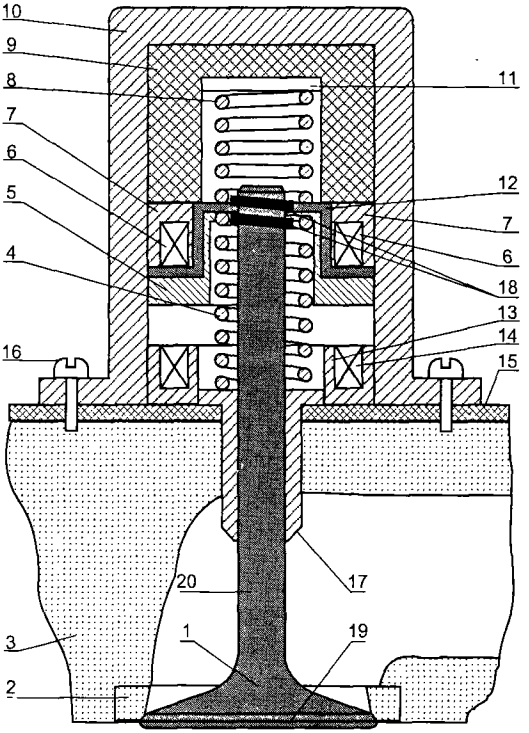


Рис. 9.3. Электромагнитный клапан с пружинной амортизацией
1 — газораспределительный клапан; 2 — клапанная фаска; 3 — головка блока цилиндра; 4 — нижняя амортизирующая пружина; 5 — якорь (подвижная часть) электромагнитного привода; 6 — обмотка закрывающего электромагнита; 7 —магнитопровод закрывающего электромагнита; 8 — верхняя амортизирующая пружина; 9 — шумопоглотитель; 10 — корпус электромагнитов; 11 — регулировочная шайба-прокладка; 12 — несмыкающийся (дистанционный) воздушный зазор; 13 — магнитопровод открывающего электромагнита; 14 — обмотка открывающего электромагнита; 15 — термоизоляционная и шумопоглощающая прокладка; 16 — крепежный болт; 17 — клапанная направляющая втулка; 18 — фиксатор для крепления якоря 5 на стержне 20 клапана 1; 19 — клапанная головка; 20 — клапанный стержень

напряжение подается на обмотку **6** закрывающего электромагнита (**6**, **7**), а с обмотки **14** управляющее напряжение снимается. Якорь **5** отталкивается нижней сжатой амортизирующей пружиной **4** «вверх» и притягивается к магнитопроводу **7** закрывающего электромагнита. При этом клапан **1** закрывается, плотно прижимаясь клапанной головкой **19** к клапанной фаске **2**. Несмыкающийся воздушный зазор **12** устанавливается при сборке клапана с помощью фиксаторов **18** таким образом, чтобы полное смыкание якоря **5** с магнитопроводом **7** не имело места, но чтобы зазор **12** имел предельно малый размер. Этим обеспечивается плотное прижатие клапанной головки к клапанной фаске с помощью закрывающего электромагнита. Пружина **8** при закрытии клапана и пружина **4** при его открытии работают на амортизацию жестких механических соударений. Амортизация происходит благодаря тому, что по мере сжатия пружин их упругость плавно возрастает, чем обеспечивается замедление скорости приближения клапана к краевым опорам в положении «открыто» и «закрыто». Упругость амортизирующих пружин **4** и **8** значительно ослаблена по сравнению с упругостью запорной возвратной пружины

обычного механического клапана. Это позволяет понизить потребление электроэнергии из бортсети автомобиля, затрачиваемой на работу электромагнитного клапана, а также несколько уменьшить его габариты.

Основными недостатками описанного клапана являются три фактора.

1. На амортизацию соударений затрачивается некоторая часть тяговых усилий открывающего (**13**, **14**) и закрывающего (**6**, **7**) электромагнитов, что приводит к понижению коэффициента полезного действия (КПД) и недостаточному уменьшению габаритов электромагнитного привода газораспределительного клапана. Но при этом соударение клапанной головки с клапанной фаской при движении клапана вверх (при закрытии) не устраняется.

2. В обесточенном состоянии обоих электромагнитов амортизирующие пружины **4** и **8**, противодействуя друг другу, устанавливают якорь **5** в промежуточном положении между состояниями «открыто» и «закрыто». На реальном поршневом ДВС, в случае нарушения целостности (или выключения) электрической цепи управления электромагнитным клапаном, это особенно опасно, так как в таком случае может иметь место соударение поршня и клапана. Ясно, что эксплуатационная надежность такого газораспределительного клапана недостаточно высокая.

3. В случае применения вышеописанного клапана в качестве впускного для поршневого ДВС реализовать управление скоростью перемещения с величиной хода клапана не представляется возможным.

Повышение КПД может быть достигнуто путем устранения из конструкции клапана амортизирующих пружин **4** и **8** и их заменой упругими отбойниками, изготовленными из жесткой ударостойкой резины (или другого упругого и ударостойкого материала) и установленными на якоре (подвижной части) электромагнита таким образом, чтобы их соударение с торцами элетромагнитов происходило непосредственно перед смыканием якоря.

В таком случае амортизация достигается не за счет сжатия амортизирующих пружин, а за счет гашения сил соударения в сплющивающихся отбойниках в самом конце движения якоря. Такая амортизация происходит без потери электроэнергии и, как следствие, КПД электромагнитного привода ГР-клапана увеличивается.

Повышение эксплуатационной надежности газораспределительного клапана с электромагнитным приводом может быть достигнуто путем установки на верхний торец клапанного стержня возвратной пружины, упругость которой значительно ослаблена.

9.6. Электромагнитный клапан с демпфирующим устройством

Значительное понижение шума, возникающего при работе электромагнитного клапана, возможно при применении гидравлической, пневматической или электромагнитной амортизации; а в случае использования тяговых электромагнитов – при применении в них соленоидных тяговых катушек, в магнитопроводе которых отсутствуют граничные (краевые) опоры для подвижного якоря.

На рис. 9.4 показано устройство электромагнитного клапана с соленоидным электромагнитом, с традиционной витой возвратной пружиной и с электромагнитным демпфером, который гасит шумы и амортизирует ударные колебания якоря (патент РФ № 2045662, 1992 г.).

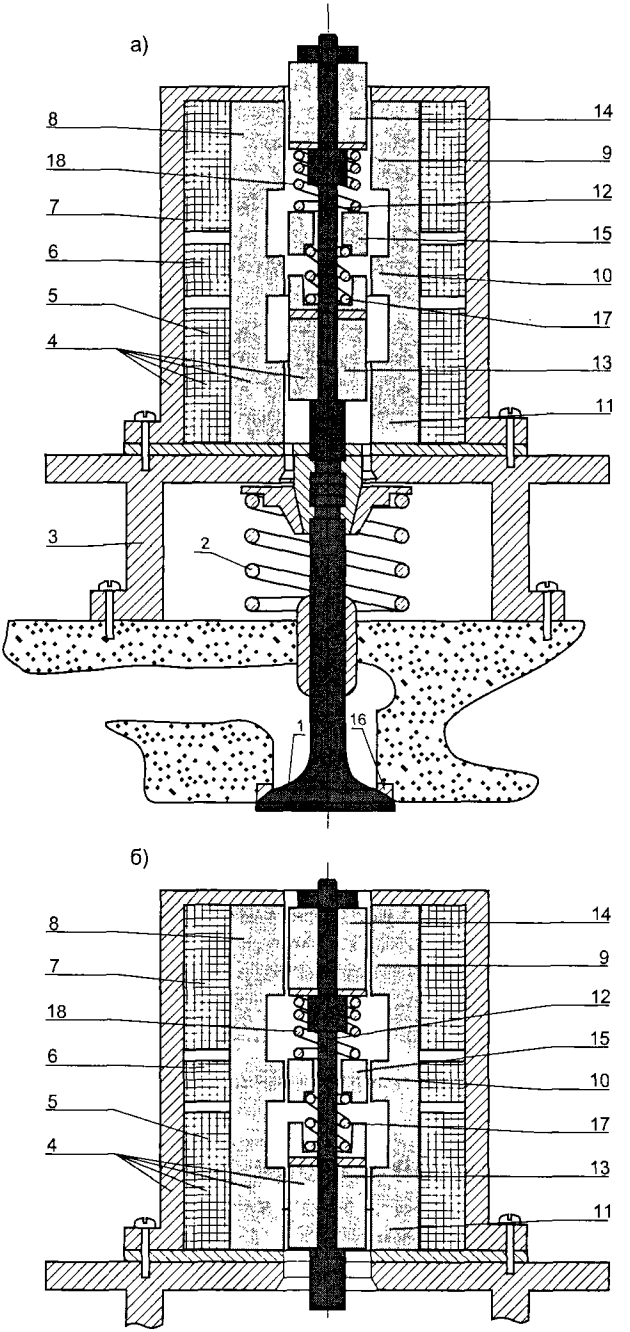


Рис. 9.4. Электромагнитный клапан с демпфирующим устройством

Как видно из чертежа, электромагнитный клапан включает в свой состав обычный газораспределительный клапан **1** механического принципа действия с жесткой возвратной пружиной **2**, над которыми с помощью крепежной стойки **3** установлен электромагнитный привод **4**. Электромагнитный привод клапана состоит

из трехсекционного соленоида **5**, **6**, **7**, вовнутрь которого вставлена труба **8**, выполняющая роль магнитопровода с тремя кольцеобразными полюсами **9**, **10**, **11**. Через трубу **8** соосно с ней пропущен немагнитный стержень **12**, на который установлены два тяговых якоря **13** и **14**, а между ними — один якорь **15**, «плавающий» по стержню **12**. Все три якоря по высоте соответствуют «своим» кольцеобразным полюсам, имеют цилиндрическую форму и выполнены из магнитомягкого материала. Тяговые якоря **13**, **14**, **15** совместно с соленоидом **5**, **6**, **7**, магнитопроводом **8** и кольцеобразными полюсами **9**, **10**, **11** образуют открывающий электромагнит. При подаче импульсов постоянного напряжения (управляющих сигналов от ЭБУ) на секции **5**, **6**, **7** соленоида открывающий электромагнит срабатывает и открывает газораспределительный клапан **1**. При этом элементы открывающего электромагнита занимают положение, показанное на рис. 9.4, *б*, и жесткая возвратная пружина **2** сжимается.

Теперь, чтобы клапан закрылся, достаточно обесточить секции **5** и **7** соленоида, и жесткая возвратная пружина вытолкнет всю подвижную часть электроклапана «вверх», а клапанная головка **1** плотно прижмется к посадочной фаске **16**. Элементы отрывающего электромагнита занимают положение, показанное на рис. 9.4, *а*. Чтобы посадка головки **1** в фаску **16** проходила плавно, без соударений, электромагнитная секция «полюс **10** — плавающий якорь **15**» на время закрывания клапана остается под удерживающим током. Это обеспечивает амортизацию удара головки клапана о посадочную фаску, так как малый соленоидный электромагнит совместно с пружинами **17** и **18** обеспечивают демпфирование движения клапана **1** в конце его хода. При открывании клапана соударений в его подвижных частях не происходит, так как в соленоидном электромагните нет жестких упоров в краевых положениях.

Но и такой электромагнитный клапан не свободен от существенных недостатков.

Во-первых, соленоидный электромагнит всегда имеет большую протяженность магнитопровода и уменьшенную тяговую силу по сравнению со смыкающимися электромагнитами.

Во-вторых, движение ферромагнитного якоря в магнитном поле соленоида всегда сопровождается дрожанием (вибрационными колебаниями) якоря в точках его остановки и изменения направления движения.

В-третьих, и это основной недостаток, с применением соленоида в электромагнитном приводе практически невозможно создать электроуправляемый клапан ГРМ с регулируемым ходом (степенью и скоростью открывания).

9.7. Электромагнитный клапан без возвратной запорной пружины

Известно [36], что для ГРМ автомобильных поршневых двигателей с автоматическим электронным управлением более приемлема конструкция электроклапана, в которой отсутствует возвратная запорная пружина, так как в таком случае тяговая сила открывающего электромагнита может быть значительно понижена, а электромагнит при этом получается малогабаритным и с приемлемым потреблением электроэнергии. Однако при отсутствии запорной пружины возврат клапана в закрытое состояние с обеспечением требуемого механического контактного на-

пряжения между клапанной головкой и посадочной фаской должен выполняться специальным закрывающим электромагнитом [39].

На реализацию идеи создания электромагнитного клапана, надежно работающего без жесткой возвратной запорной пружины с управлением от электронной автоматики, направлены поиски специалистов многих западных автомобилестроительных фирм и отечественных изобретателей.

На рис. 9.5 показан газораспределительный клапан, который работает без возвратной пружины, но с двумя электромагнитами, первый из которых (см. поз. 6) открывающий, а второй (см. поз. 8) закрывающий.

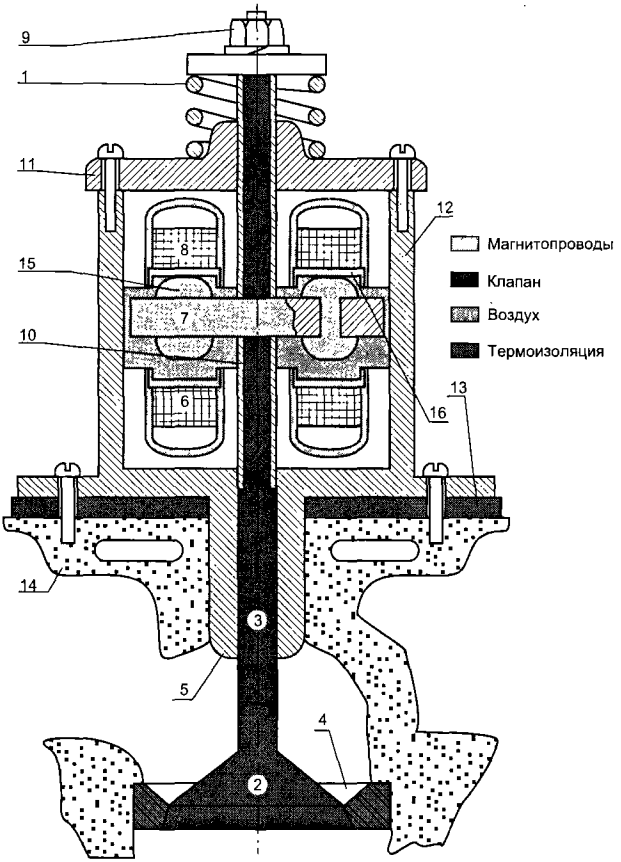


Рис. 9.5. Электромагнитный клапан без возвратной запорной пружины

Как видно из чертежа, электромагнитный клапан содержит якорь **7**, общий для обоих электромагнитов. Якорь **7** жестко закреплен на клапанном стержне **3** с помощью натяжной гайки **9** с контршайбой и зажимных трубок **10**, выполненных из немагнитного материала. Электромагниты **6** и **8** зафиксированы в немагнитной гильзе **12**, которая с помощью винтов через термоизоляционную прокладку **13** приворачивается к головке **14** блока цилиндров. Гильза **12** в нижней части имеет направляющую втулку **5** для клапанного стержня **3**, а в верхней части — немагнитную крышку **11** с направляющей втулкой. Крышка **11** привернута к гильзе **12** винтами.

Электромагнитный клапан без жесткой возвратной пружины и с управлением от электронной автоматики работает следующим образом.

Когда оба электромагнита обесточены, то пружина **1**, которая рассчитана только на преодоление массы подвижной части клапана, поднимает ее «вверх» и неплотно закрывает клапан. Пружина **1** обеспечивает клапану верхнее (прикрытое) положение при выключенном зажигании двигателя. При включении зажигания, еще до пуска двигателя, каждый электромагнитный клапан в газораспределительном механизме занимает рабочее положение (предписанное программой управления клапанами, заложенной в блоке памяти), которое задается клапану его электромагнитами. При подаче импульса постоянного напряжения от электронного коммутатора клапанов (ЭКК) на обмотку первого открывающего электромагнита 6 ферромагнитный якорь **7** опускается «вниз» и открывает клапан. Клапан остается в устойчиво открытом состоянии до тех пор, пока электромагнит **6** включен (находится под током), а электромагнит **8** обесточен. Для закрытия клапана электромагнит **6** (открывающий) обесточивается, а на электромагнит **8** (закрывающий) подается импульс постоянного напряжения (управляющий сигнал от ЭКК). При этом якорь **7** поднимается электромагнитом **8** «вверх» и клапанная головка **2** с требуемым усилием прижимается к посадочной фаске **4** — клапан закрывается и остается в таком состоянии до очередного срабатывания открывающего электромагнита **6**.

Для предотвращения жестких соударений якоря **7** о выступающее ярмо электромагнита **6** при открывании клапана (или о ярмо электромагнита **8** при закрытии) на якоре **7** установлено не менее трех отбойников **15** из жесткой ударостойкой резины. При приближении якоря **7** к любому из двух краевых положений отбойники прижимаются к ограничительной шайбе **16** и несколько сплющиваются, благодаря чему происходит торможение якоря **7** перед его окончательным смыканием с ярмом электромагнита **6** или **8**. При обесточивании электромагнита резиновые отбойники работают на отталкивание якоря от ярма, чем способствуют быстрому их размыканию.

Моменты открытия и закрытия электромагнитного клапана формируются в вычислительном устройстве электронной системы автоматического управления поршневым двигателем (ЭСАУ-Д). При этом входными сигналами, по которым адаптируется программа управления клапанами, являются сигналы входных датчиков для ЭСАУ-Д.

Аналогичную конструкцию и подобный принцип действия имеет газораспределительный клапан, показанный на рис. 9.6.

Его принципиальное отличие от вышеописанного ЭМ-клапана с двумя электромагнитами (см. рис. 9.5) состоит в том, что магнитопроводы (ВМП) его открывающего (ЭМО) и закрывающего (ЭМЗ) электромагнитов выполнены витыми из тонкой магнитомягкой ферроленты. Это значительно по-

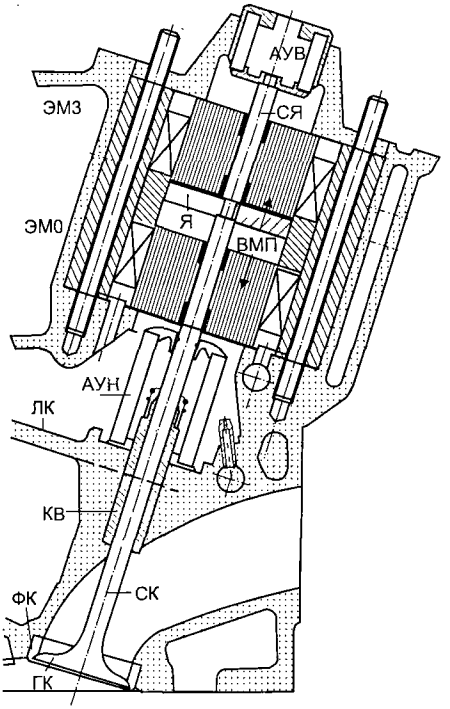


Рис. 9.6. Электромагнитный клапан с двумя электромагнитами

нижает потери в магнитопроводе на перемагничивание при высокой частоте срабатывания газораспределительного клапана.

Оригинально решен вопрос амортизации соударений. Нижнее амортизирующее устройство (АУН) предотвращает резкий удар якоря Я о нижний витой магнитопровод при открытии клапана. При закрытии соударение головки клапана (ГК) о посадочную фаску (ФК) предотвращается верхним амортизирующим устройством (АУВ).

Основных недостатков три:

1. Отсутствие жесткой привязки стержня клапана (СК) к стержню якоря (СЯ).
2. Значительная упругость в нижнем амортизирующем устройстве (АУН), что требуется для поднятия ГР-клапана вверх при закрытии.
3. Сложность наладки ЭМ-клапана на отсутствие соударений.

Электромагнитный клапан без возвратной пружины, с двумя электромагнитами, с устройствами для амортизации соударений и с управлением фаз газораспределения от ЭСАУ-Д хотя и удовлетворяет требованиям по массе, габаритным, энергетическим и частично акустическим показателям, но не обеспечивает регулировку скорости и глубины открывания клапанной головки.

9.8. Магнитоэлектрический клапан с гидравлическим амортизатором

Из приведенного аналитического обзора устройств и принципов действия электроуправляемых клапанов для ГРМ очевидно, что задача разработки и построения таких устройств является крайне сложной и комплексной проблемой конструирования. Но научные и инженерные поиски продолжаются.

В последнее время наметилась тенденция к внедрению в устройство газораспределительного механизма поршневых двигателей электрогидравлических систем управления.

Гидравлика позволяет с любой степенью плавности и точности, как по «жесткой», так и по адаптивной программе управления, достаточно оперативно (быстро) изменять скорость движения рабочего органа путем сброса или нагнетания давления рабочей жидкости в замкнутом объеме под гидравлическим рабочим поршнем.

Нетрудно себе представить, что если подвижный стержень газораспределительного клапана оснастить гидроцилиндром с управляемым давлением, то скорость и степень открывания (глубина хода) клапана станут также управляемыми.

На этом принципе создан ряд разновидностей газораспределительных клапанов с непосредственным гидроприводом [38]. Однако такие клапаны требуют для своей работы громоздкой гидравлической аппаратуры управления и пока не находят применения в ГРМ современных автомобильных двигателей.

Более перспективным является внедрение в конструкцию электроклапана миниатюрных гидравлических устройств, демпфирующих или амортизирующих в нем жесткие соударения и позволяющих управлять скоростью срабатывания и глубиной открывания электроклапана.

Наиболее рациональна установка гидроамортизатора в электромагнитном клапане без возвратной пружины, но с двумя смыкающимися тяговыми электромагнитами. Конструкция такого магнитного электроклапана приведена на рис. 9.7. Здесь дополнительно к двум тяговым электромагнитам установлены два постоянных магнита, поэтому такой электроклапан называют магнитоэлектрическим.

В магнитоэлектрическом клапане уменьшение габаритных размеров и повышение надежности срабатывания достигаются значительным ослаблением упругости возвратной запорной пружины (или ее устранением), установкой второго закрывающего электромагнита (дополнительно к первому — открывающему) и увеличением тяговых сил обоих электромагнитов двумя постоянными магнитами, установленными в магнитопроводы обоих электромагнитов.

Более эффективное понижение шумности срабатывания клапана (по сравнению с резиновыми и пружинными амортизаторами) и возможность автоматизации управления рабочими процессами достигаются установкой вовнутрь конструкции клапана двустороннего гидравлического амортизатора, наполненного технической жидкостью под давлением, например, моторным маслом от системы смазки бензинового двигателя или моторным топливом от топливного насоса высокого давления дизельного двигателя.

Гидроамортизатор гасит жесткие соударения в клапане и позволяет автоматизировать управление процессами открытия и закрытия путем замедления или ускорения скорости перепускания технической жидкости между внутренними полостями гидроамортизатора.

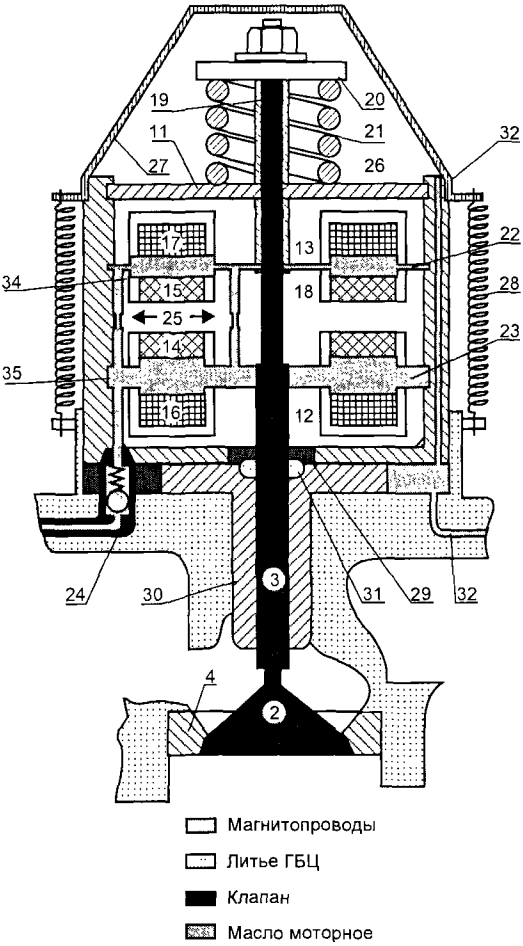


Рис. 9.7. Магнитоэлектрический клапан с гидравлическим амортизатором

Устройство и работа магнитоэлектрического клапана могут быть пояснены с помощью чертежа, показанного на рис. 9.7. Постоянные магниты **14** и **15** делают электромагниты **12** и **13** позиционными. Гидравлический амортизатор **11** — двустороннего действия. Катушки **16** и **17** электромагнитов установлены неподвижно в пазах магнитопроводов электромагнитов **12** и **13**, а постоянные магниты **14** и **15** закреплены в пазах поршня **18** гидроамортизатора **11**. Возможна установка постоянных магнитов в пазах под обмотками электромагнитов. Сам поршень **18** жестко закреплен на клапанном стержне **3** при помощи фиксирующей трубки **19**, прижимной шайбы **20** и затяжной гайки с контргайкой. Значительно ослабленная возвратная пружина **21** зажата между прижимной шайбой **20** и верхней крышкой гидравлического амортизатора **11**.

Цилиндрические полости (верхняя **22** и нижняя **23**) внутри гидроамортизатора наполнены технической жидкостью под давлением, например моторным маслом, поступающим от системы смазки двигателя через подающий канал **24** с редукци-

онным клапаном. Посредством перепускных калиброванных жиклеров **25** верхняя **22** и нижняя **23** полости сообщаются между собой.

Трущиеся участки клапанного стержня **3** и поршня **18** смазываются моторным маслом в цилиндрических полостях **22** и **23**. Когда электроклапан открывается, часть моторного масла из нижней полости **23** выдавливается в виде тонкой пленки по стрежню **3** в полость **29**, находящуюся под днищем корпуса гидроамортизатора **11**. Здесь происходит смазка нижней части клапанного стержня **3** и направляющей втулки **30**.

Для защиты камеры сгорания от излишнего проникновения в нее моторного масла через направляющую втулку **30**, на нее сверху надет клапанный сальник **31**. При закрывании клапана некоторая часть моторного масла аналогичным образом попадает из верхней полости **22** в пружинную полость **26**, где смазывает витки ослабленной возвратной пружины **21**.

Сверху возвратная пружина **21** накрыта герметичной крышкой **27**, которая посредством натяжных пружин **28** надежно фиксирует гидравлический амортизатор **11** в углублении головки **33** блока цилиндров (ГБЦ) и тем самым препятствует возникновению вибраций корпуса гидроамортизатора **11** при работе электромагнитного клапана. Накопившиеся излишки моторного масла в полостях **26** и **29** возвращаются в масляный картер двигателя по сливному каналу **32**. Прямой **24** и обратный **32** каналы проложены внутри тела головки **33** блока цилиндров, благодаря чему наружная поверхность головки защищена от попадания на нее моторного масла и всегда остается сухой.

В такой конструкции магнитоэлектрического клапана пружинная фиксация гидроамортизатора на наружной поверхности ГБЦ способствует поддержанию зазоров в трущихся сочленениях электроклапана в оптимальном для их работы (в неперекошенном) состоянии. Это обеспечивает более плотную посадку клапанной головки **2** в посадочную фаску **4**.

Магнитоэлектрический клапан работает следующим образом.

Когда оба электромагнита (**12** и **13**) обесточены, клапан удерживается либо в закрытом состоянии возвратной пружиной **21** и постоянным магнитом **15**, либо в открытом состоянии — постоянным магнитом **14**. При открытии клапана на его электромагниты **12** и **13** одновременно или по заданной программе управления от электронной автоматики подаются два управляющих сигнала в виде импульсов постоянного напряжения.

Управляющие сигналы имеют такую полярность, при которой постоянный магнит **14** притягивается электромагнитом **12**, а постоянный магнит **15** отталкивается электромагнитом **13**. Под действием возникающих таким образом магнитных взаимодействий клапанный стержень **3** перемещается «вниз» и открывает запорный узел **2**, **4** магнитоэлектрического клапана.

Мгновенному срабатыванию магнитоэлектрического клапана, которое присуще всем устройствам с приводом от электромагнитов, препятствует гидроамортизатор **11**, так как техническая жидкость внутри него умеренно и плавно перепускается через калиброванные жиклеры **25** из нижней полости **23** в верхнюю полость **22**. Когда поршень **18** без жесткого соударения упрется в магнитопровод электромагнита **12**, клапанная головка **2** полностью опустится «вниз» и клапан откроется.

С целью предотвращения соударений поршня **18** и магнитопровода электромагнита **12** между ними установлена эластичная шайба, например, из ударостойкой резины (на чертеже не показана).

Для надежного и достаточно быстрого закрытия магнитоэлектрического клапана усилия ослабленной возвратной пружины **21** недостаточно. Поэтому при закрытии клапана на его электромагниты **12** и **13** подаются управляющие сигналы с полярностью, противоположной для случая открывания. Ясно, что при этом магнитные взаимодействия между электромагнитами и постоянными магнитами также будут противоположными, благодаря чему клапанный стержень **3** переместится «вверх» и прижмет клапанную головку **2** к посадочной фаске **4** — клапан закроется.

Чтобы исключить «щелчки» от соударения поршня **18** с магнитопроводом электромагнита **13**, между верхним краем поршня **18** и фиксирующей трубкой **19** установлена стальная регулировочная шайба-прокладка (на чертеже не показана), которая обеспечивает наличие требуемого зазора.

При закрытии электромагнитного клапана гидравлический амортизатор **11** работает так же, как и при открытии, но действует в противоположном направлении, т. е. техническая жидкость из верхней полости **22** перепускается в нижнюю полость **23**.

Если перепускание технической жидкости между полостями **22** и **23** сделать управляемым, например, с помощью ромбовидных перепускных щелей с плавно изменяющимся проходным сечением при движении поршня **18** (см. рис. 9.7) или с помощью электронно-управляемого вентиля, установленного на цилиндре гидроамортизатора **11** снаружи, но против каждой из внутренних полостей **22** и **23** в точках минимального их объема (поз. **34** и **35** на рис. 9.7 и поз. **15** на рис. 9.8), то этим самым можно обеспечить в первом случае — замедление скорости движения клапанной головки при ее подходе в краевые положения «открыто» и «закрыто», а во втором случае — автоматизацию управления скоростью срабатывания и величиной хода (глубиной открывания) механического клапана.

На рис. 9.8 показано устройство магнитоэлектрического клапана с электронно-управляемым вентилем снаружи гидроамортизатора.

Еще одна разновидность устройства магнитоэлектрического клапана с внутренним гидравлическим амортизатором приведена на рис. 9.9.

Таким образом, автоматизацией управления работой клапанов в газораспределительном механизме с применением гидравлической амортизации и электроуправляемых вентилей достигается наиболее оптимальное (по заданной программе управления от электронной автоматики) регулирование фаз газораспределения с их подстройкой под непрерывно изменяющиеся частоту вращения коленчатого вала и нагрузку поршневого двигателя. Более того, так как современная электронная автоматика управления двигателем (ЭСАУ-Д) позволяет регистрировать параметры окружающей среды и рабочее состояние двигателя (температуру двигателя и всасываемого воздуха, влажность воздуха и его давление в атмосфере, режимы работы двигателя и его управляющих систем — впрыска топлива, электроискрового зажигания, регулировки холостого хода и прочих), то электронное управление клапанами позволяет учитывать и эти факторы при составлении программы для автоматического управления газораспределительным механизмом поршневого двигателя. Управление клапанами становится программным и адаптивным от ЭСАУ-Д под все возможные изменения режимов и условий работы двигателя.

Магнитоэлектрический клапан газораспределительного механизма поршневого двигателя внутреннего сгорания, работающий без распределительного вала и без упругой возвратной пружины, имеющий в своем составе открывающий и закрывающий электромагниты, тяговые силы которых усилены двумя постоянными магнитами, а также гидроамортизатор двустороннего действия, демпфирующий

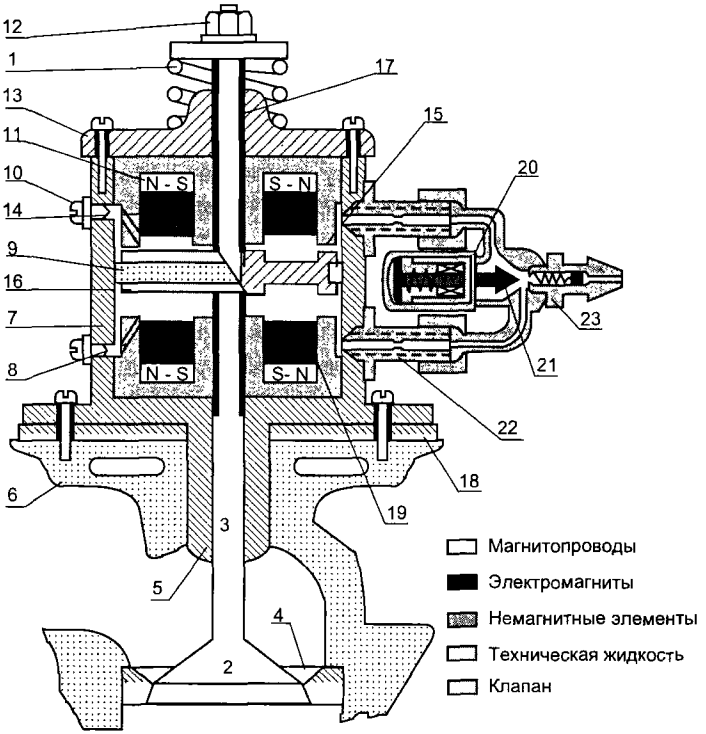


Рис. 9.8. Магнитоэлектрический клапан с управляемым вентилем.
1 — возвратная пружина; 2 — клапанная головка; 3 — клапанный стержень; 4 — клапанная фаска; 5 — направляющая втулка; 6 — головка блока цилиндров (литье); 7 — корпус электромагнитов и гидроамортизатора; 8 — сливной канал; 9 — уплотнительное кольцо гидроамортизатора; 10 — пробка сливного канала 8; 11 — кольцевой постоянный магнит N-S; 12 — затяжная гайка; 13 — крышка корпуса 7; 14 — обмотка закрывающего электромагнита; 15 — несмыкающийся (дистанционный) воздушный зазор; 16 — якорь (подвижная часть) электромагнитного привода, одновременно являющийся поршнем гидроамортизатора;17 — трубка немагнитная, фиксирующая якорь 16 на клапанном стержне 3; 18 — термоизоляционная и шумопоглощающая прокладка; 19 — обмотка открывающего электромагнита; 20 — электрогидравлическое устройство управления; 21 — запорная игла; 22 — перепускной жиклер с калиброванным проходным сечением; 23 — штуцер с пружинным клапаном

соударения и позволяющий с помощью наружного электрогидравлического вентиля управлять от электронной автоматики скоростью и глубиной хода клапана, имеет следующие преимущества:

- габаритные размеры магнитоэлектрического клапана уменьшены, а надежность срабатывания при падении величины управляющего тока повышена, жесткость упругой возвратной пружины значительно ослаблена, а электромагнит, открывающий механический клапан, дополнен вторым закрывающим электромагнитом. Электромагниты открывают механический клапан при одном (прямом), а закрывают при другом (обратном) направлении постоянного (управляющего) тока, для чего в магнитопроводные цепи тяговых электромагнитов установлены два постоянных магнита, делающие электромагниты позиционными и обеспечивающие механическому клапану надежную фиксацию в положениях «открыто» и «закрыто» как при протекании по

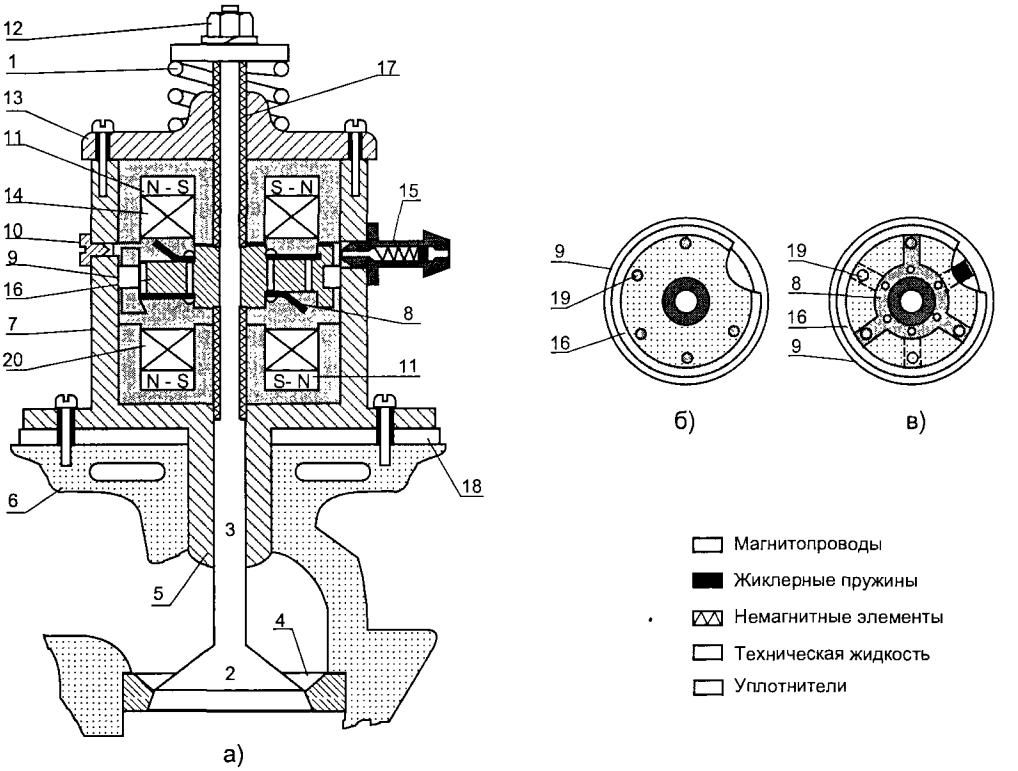


Рис. 9.9. Магнитоэлектрический клапан с внутренним гидроамортизатором. а — конструктивный чертеж клапана; б — жиклерные перепускные отверстия на поршне гидроамортизатора; в — жиклерные пружины на поршне гидроамортизатора; 1 — возвратная пружина; 2 — клапанная головка; 3 — клапанный стержень; 4 — клапанная фаска; 5 — направляющая втулка; 6 — головка блока цилиндров (литье); 7 — корпус электромагнитов и гидроамортизатора; 8 — жиклерные пружины; 9 — уплотнительное кольцо; 10 — пробка сливного отверстия; 11 — кольцевой постоянный магнит N—S; 12 — затяжная гайка; 13 — крышка корпуса 7; 14 — обмотка закрывающего электромагнита; 15 — штуцер с пружинным клапаном; 16 — якорь (подвижная часть) электромагнитного привода, одновременно являющийся поршнем гидроамортизатора; 17 — трубка немагнитная, фиксирующая якорь 16 на клапанном стержне 3; 18 — термоизоляционная и шумопоглощающая прокладка; 19 — жиклерные перепускные отверстия на якоре 16; 20 — обмотка открывающего электромагнита

электромагнитам управляющего постоянного тока, так и в обесточенном состоянии, причем в последнем случае удержание механического клапана реализуется одним из постоянных магнитов в том положении («открыто» или «закрыто»), в котором произошло обесточивание электромагнитов;

- жесткие соударения и шум, возникающие при срабатывании клапана, значительно ослаблены благодаря установке на стержень механического клапана двустороннего гидравлического амортизатора. Амортизатор состоит из поршня с перепускными калиброванными отверстиями (жиклерами), который (поршень) жестко закреплен на стержне механического клапана и цилиндра с двумя полостями (верхней — над поршнем, нижней — под поршнем), наполненными технической жидкостью (например, моторным маслом от системы смазки двигателя или моторным топливом от системы

подачи топлива) под давлением, благодаря чему при перепускании технической жидкости через жиклеры из одной полости гидравлического амортизатора в другую движение стержня механического клапана, а значит, и его (клапана) открытие и закрытие происходят постепенно, без соударений в краевых точках движения;

- калиброванные отверстия (жиклеры) в поршне гидроамортизатора могут иметь разные проходные сечения или могут быть заменены ромбовидными проточными канальцами, нанесенными на внутреннюю сторону стенки цилиндра гидравлического амортизатора, чем обеспечивается постепенное перекрытие проходных сечений проточных канальцев и, как следствие, замедление хода поршня при его приближении к краевым положениям;
- автоматизация управления величиной хода (глубиной открывания) и скоростью перемещения механического клапана могут быть реализованы путем применения электронно-управляемого перепускного вентиля, соединяющего внутренние полости гидравлического амортизатора с системой нагнетания технической жидкости, для чего перепускной вентиль может быть установлен на внешней стороне цилиндра в местах смыкания внутренних полостей (минимального их объема);
- реализуется принудительная смазка трущихся сочленений в электромагнитном клапане и поддерживается рабочее давление во внутренних полостях гидравлического амортизатора путем подачи в одну из полостей технической жидкости под давлением. Жидкость подается по специальному каналу с редукционным клапаном, который открывается при разрежении под (или над) поршнем гидравлического амортизатора, чем восполняются неизбежные потери рабочей жидкости за счет ее выдавливания по стержню клапана через его трущиеся сочленения;
- значительно экономится электроэнергия, затрачиваемая на срабатывание электромагнитной системы клапана, причем открытие и закрытие клапана, при хорошо прогретом двигателе, могут осуществляться одним из двух электромагнитов;
- для повышения надежности срабатывания магнитоэлектрического клапана в условиях чрезвычайно низких температур (менее –30 °С) возможен подогрев корпуса гидроамортизатора от электронагревателя. Перед пуском двигателя стартером это обеспечивает нужную консистенцию технической жидкости в полостях гидравлического амортизатора;
- обеспечена автоматизация управления процессами срабатывания магнитоэлектрического клапана путем изменения величины и формы управляющих сигналов, сформированных в электронном блоке управления клапанами.

Обладая несомненными преимуществами перед всеми видами электромеханических и электромагнитных клапанов, магнитоэлектрический клапан с внутренним гидроамортизатором не свободен от недостатков. Основной из них — это нарушение запрограммированного (штатного) режима работы клапана при пуске сильно охлажденного двигателя (менее –30 °С), когда техническая жидкость начинает загустевать в перепускных устройствах гидроамортизатора. Для устранения этого недостатка в бензиновых двигателях следует применять наиболее жидкие сорта моторного масла, а перед запуском сильно охлажденного двигателя — подогревать магнитоэлектрические клапаны от электроподогревателей.

Проверку готовности разогретого магнитоэлектрического клапана к работе можно возложить на электронную автоматику, которая не будет допускать пуск

двигателя стартером до тех пор, пока от датчика прогрева не поступит разрешающий сигнал. В дизельных двигателях в гидроамортизатор следует закачивать дизельное топливо от топливного насоса высокого давления.

Моменты открытия и закрытия электромагнитного клапана формируются в вычислительном устройстве электронной системы автоматического управления поршневым двигателем (ЭСАУ-Д). При этом входными сигналами, по которым адаптируется программа управления клапанами, являются сигналы входных датчиков ЭСАУ-Д.

Описанные в параграфе 2.8 магнитоэлектрические клапаны являются авторскими разработками и защищены заявками на изобретения Российской Федерации.

9.9. Электромагнитный клапан с пневматическим амортизатором

В настоящее время идут интенсивные разработки электромагнитных клапанов ГРМ с внутренней пневматический амортизацией.

На рис. 9.10 показана конструкция такого клапана, который разработан и запатентован фирмой FEV MT (ФРГ) 31.07.1997 года (DE 197.33.186A1, класс: F01L 9/04, публикация 4.02.1999 г.).

Электромагнитный клапан с пневмоамортизатором управляется с помощью двух электромагнитов — открывающего **7**, **8** и закрывающего **10**, **11**. Электромагниты работают так же, как и в вышеописанном электромагнитном клапане без возвратной запорной пружины.

Спецификой в данном случае является то, что в конструкции электромагнитного клапана отсутствуют витые упругие возвратные пружины. Их функции выполняет симметричный двухкамерный пневмоамортизатор. В двух пневмокамерах — нижней **4** и верхней **12** расположено по одному пневмопоршню **5**, которые жестко закреплены на клапанном стержне **14**. Между пневмокамерами (снаружи клапана) установлен пневморесивер **20**, который сообщается с камерами через пневмоклапаны **18**, приводящиеся в действие с помощью электроприводов **19**. Электроприводы, как и основные электромагниты **7**, **8** и **10**, **11**, управляются от электронной системы автоматического управления двигателем (ЭСАУ-Д) по программе, заложенной в «памяти» ЭСАУ-Д.

Программное управление процессами газораспределения позволяет изменять фазовые параметры клапанов с адаптацией под все возможные изменения условий и режима работы двигателя.

Амортизация механических соударений в электромагнитном клапане реализуется путем управляемого перепускания сжатого воздуха из ресивера **20** в одну из пневмокамер **4** или **12**. Стравленный воздух через сапунные каналы **6** и **17** пополняется путем подкачки ресивера от пневмонасоса (на чертеже не показан) через клапанный штуцер **21**. Для контроля за величиной управляющего давления P в нижней пневмокамере **4** установлен датчик **24**.

Работа двустороннего пневмоамортизатора заключается в следующем. Когда клапан **1** открывается электромагнитом **7**, **8**, нижний пневмоклапан 18 переходит под управление от ЭСАУ-Д (опосредовано через электропривод 19) и, работая в прерывистом режиме, регулирует управляющее давление P (по сигналу датчика **24**) в нижней пневмокамере таким образом, что поршень **5**, а вместе с ним и кла-

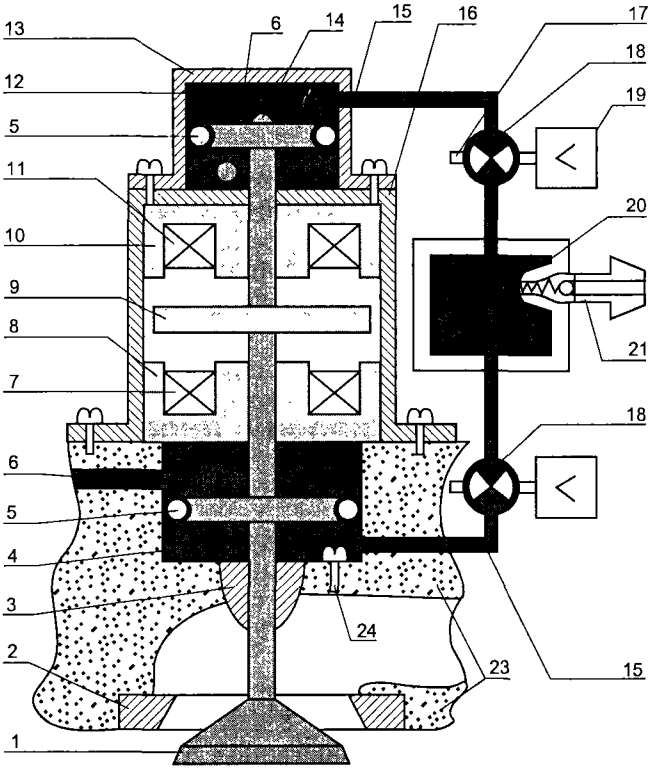


Рис. 9.10. Электромагнитный клапан с пневматическим амортизатором.
1 — газораспределительный клапан; 2 — клапанная фаска; 3 — направляющая втулка; 4 — нижняя пневмокамера; 5 — пневмопоршень с уплотнительным кольцом; 6 — сапунный канал; 7 — обмотка открывающего электромагнита; 8 — магнитопровод открывающего электромагнита; 9 — якорь (подвижная часть) электромагнитного привода; 10 — магнитопровод закрывающего электромагнита; 11 — обмотка закрывающего электромагнита; 12 — верхняя пневмокамера; 13 — корпус верхней пневмокамеры; 14 — клапанный стержень; 15 — пневмонапорный канал; 16 — корпус электромагнитов; 17 — сапун; 18 — пневмоклапан; 19 — электропривод пневмоклапана 18; 20 — пневморесивер; 21 — клапанный штуцер для подачи пневмодавления $P_д$ в ресивер 20; 22 — контакты электрического разъема; 23 — головка блока цилиндра (литье); 24 — датчик управляющего пневмодавления P в нижней пневмокамере

пан **1** опускаются вниз со скоростью, заданной по программе управления. При этом, когда притяжение якоря **9** усиливается, управляющее давление P в нижней пневмокамере **4** становится максимальным и равным давлению $P_д$ в ресивере **20**. В этот момент нижний пневмоклапан **18** открывается, давление $P_д$ стравливается через нижний сапун **17** и происходит плавное, без соударений смыкание якоря **9** с магнитопроводом **8**, клапан **1** полностью открывается. Во время открытия клапана воздух из верхней пневмокамеры **12** стравливается через сапунный канал **6**, а через верхний пневмоклапан **18** и верхний сапун **17** в пневкамеру **12** поступает воздух из атмосферы. При закрытии клапана **1** электромагнитом **10**, **11** пневмоамортизатор работает точно так же, как и при открытии, только в обратном направлении.

Относительным недостатком электромагнитного клапана с пневмоамортизатором является необходимость наличия в его конструкции специального пневмона-

соса и шипящих сапунных каналов. Однако, в случае применения таких газораспределительных клапанов на грузовых автомобилях, оборудованных системой пневматических тормозов, эти недостатки не имеют существенного значения. Фирма FEV MT намерена использовать свою разработку на дизельных двигателях грузовых автомобилей после 2006 года.

9.10. Выводы

1. Основной недостаток механических клапанов с приводом от распределительного вала — их жесткая кинематическая связь с коленчатым валом. Это не позволяет создавать поршневые двигатели с гибким (адаптивным) программным управлением процессами газораспределения от электронной автоматики, что препятствует дальнейшему их (двигателей) совершенствованию.

2. Основное преимущество газораспределительных клапанов с прямым приводом от тяговых электромагнитов — это работа без распределительного вала с управлением от электронной автоматики.

3. За период с конца 50-х годов XX века по настоящее время зарегистрировано более ста патентов на изобретение газораспределительных клапанов с прямым приводом от силовых тяговых электромагнитов. Наиболее активно в этом направлении работают немецкие автомобилестроительные фирмы [38—66].

4. Аналитический обзор известных конструкций электромагнитных клапанов, их описаний в патентной, рекламной и другой научно-технической литературе, указывает на то, что пока нет практически реализованных разработок. Теоретические исследования и методики инженерных расчетов из собраний «KNOW-HOW» не публикуются.

5. Общей конструктивной особенностью подавляющего большинства известных электромагнитных клапанов является применение в них тяговых силовых смыкающихся электромагнитов, основные недостатки которых — громоздкость, инерционность и значительные акустические шумы. Все известные изобретения направлены на устранение этих недостатков.

6. Резкое увеличение числа научно-технических и патентных публикаций в зарубежных источниках за последнее 3—4 года по новейшим разработкам электромагнитных газораспределительных клапанов говорит о скором внедрении таких клапанов в серийные ГРМ автомобильных двигателей внутреннего сгорания.

Глава 10. Электромобили

10.1. Общие сведения

Сегодня большинство автомобильных производителей серийно выпускают небольшие количества электромобилей. Гаражи различных городских служб экспериментируют с широкомасштабной эксплуатацией электромобилей. В крупных городах уже имеются пункты зарядки аккумуляторов электромобилей. Тем не менее сегодня эксплуатация электромобилей экономически неоправданна, она производится более в силу политических, чем экологических соображений. Электромобили стоят значительно дороже аналогичных моделей с двигателями внутреннего сгорания (ДВС).

Несмотря на последние достижения, технология 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) при небольших нагрузках применяет электрическую тягу, при больших — бензиновый 1,5-литровый двигатель внутреннего сгорания или оба двигателя одновременно, аккумуляторная батарея подзаряжается от ДВС. Загрязнение окружающей среды токсичными отходами от гибридных электромобилей по сравнению с автомобилями значительно уменьшено.

Следует отметить, что электромобили появились раньше, чем автомобили с двигателями внутреннего сгорания. Первый электромобиль, приводимый в движение электродвигателем, питаемым от аккумулятора, был создан в 1835 году в США Т. Давенпортом.

Первоначально электромобили были более распространены, чем автомобили с ДВС: электродвигатели проще включались и управлялись, не было необходимости в бензозаправочных станциях, которые в те годы просто не существовали. Быстрое совершенствование ДВС, появление электростартеров сделали электромобили неконкурентоспособными. Однако электромобили еще долго применялись ограниченно местными службами доставки. Например, почта США использовала их в Нью-Йорке многие десятилетия.

Увеличение загрязнения окружающей среды с 1960 года стало критическим фактором, что подтолкнуло автомобилестроителей к разработке электромобилей. Но в это же время активно форсировались работы по значительному уменьшению количества токсичных веществ, поступающих в окружающую среду от автомобилей с ДВС. Основной недостаток электромобилей — относительно короткий пробег до перезарядки, плотность энергии в традиционном топливе для ДВС в 20 раз выше, чем в современных аккумуляторах.

Власти штата Калифорния постановили, что с 1998 года 2% продаваемых новых автомобилей массой до 1700 кг должны быть экологически чистыми и не загрязнять окружающую среду токсичными веществами (zero emission vehicle — ZEV). Процент продаваемых в Калифорнии автомобилей по проекту ZEV планировалось увеличить до 5% в 2001 году и до 10% в 2003 году, на деле эти планы не

были выполнены. Однако аналогичные законодательства будут введены и в других штатах северо-востока. На сегодня единственным коммерчески доступным автомобилем ZEV является электромобиль.

Основной аргумент за использование электромобилей — отсутствие выбросов токсичных веществ в окружающую среду. Загрязнение атмосферы в больших городах автомобильными ДВС достигло критического уровня. Переход на электромобили уменьшит загрязнение окружающей среды автомобилями, но увеличится потребление электроэнергии и загрязнение окружающей среды электростанциями. Если рассматривать загрязнение окружающей среды только от автомобилей и электростанций, то произойдет следующее. В атмосферу практически не будут поступать токсичные вещества (канцерогены) CO, озон, летучие органические соединения. Уровень CO_2 будет понижен вдвое, содержание окислов азота NO_x снизится на 20...25%. Содержание двуокиси серы вырастет. Двуокись серы — продукт сжигания угля на тепловых электростанциях вызывает кислотные дожди. Для уменьшения загрязнения атмосферы при сжигании топлива окислами серы и азота на электростанциях устанавливают специальные фильтры.

Вторым аргументом в пользу применения электромобилей является сокращение потребления нефти. Тепловые электростанции могут потреблять уголь или газ, автомобили с ДВС — только топливо, произведенное из нефти, разведанные запасы которой значительно меньше, чем угля. Например, в США только 4% электроэнергии вырабатывается электростанциями, потребляющими нефтепродукты.

Третий аргумент: большинство электромобилей будут перезаряжаться в непиковые ночные часы. Это позволит рациональнее использовать имеющуюся систему распределения электроэнергии, что приведет к снижению тарифов. Поставщики электроэнергии тарифной политикой поощряют ночную перезарядку. Правительство США рассматривает вопрос о поощрительной частичной компенсации затрат на электроэнергию при покупке электромобилей.

Серьезным недостатком электромобилей в экологическом отношении является загрязнение окружающей среды свинцом. На большинстве электромобилей установлены свинцово-кислотные аккумуляторные батареи. Производство, эксплуатация, утилизация таких батарей неизбежно увеличивает загрязнение окружающей среды свинцом. Модели электромобилей 1998 года в 60 раз больше загрязняют свинцом окружающую среду за пройденный километр, чем автомобиль с ДВС на этилированном бензине. Аккумуляторы на основе никеля еще более токсичны. Загрязнение окружающей среды свинцом сильно уменьшает экологическую привлекательность электромобилей.

Вопреки бытующему мнению о высокой экономичности аккумуляторных электромобилей, анализ показывает, что химическая энергия топлива, сжигаемого на электростанциях, используется для движения транспортного средства всего на 15% и менее. Это происходит из-за потерь электроэнергии в линиях электропередачи, трансформаторах, преобразователях, зарядных устройствах для аккумуляторов и самих аккумуляторах, электромашинах, как в тяговом, так и в генераторном режимах, а также в тормозах при невозможности рекуперации энергии. Для сравнения, дизельный двигатель в оптимальном режиме работы преобразует в механическую энергию около 40% химической энергии топлива. При большом распространении аккумуляторных электромобилей им возможно не будет хватать электроэнергии, вырабатываемой всеми электростанциями мира. Не следует забывать, что суммарная установочная мощность двигателей всех автомобилей намного превышает мощность всех электростанций мира.

Полагают, что при сегодняшнем уровне техники широкое применение электромобилей уменьшит загрязнение атмосферы в крупных городах, при этом ухудшится экологическая ситуация в местах производства электроэнергии и в среднем на планете.

10.2. Эксплуатационные характеристики электромобилей

Основная задача разработчиков электромобилей — создать модель, конкурентоспособную автомобилю с ДВС. В табл. 10.1 приведены характеристики некоторых серийно выпускаемых современных электромобилей.

Большинство электромобилей являются модификациями обычных автомобилей, например, Ford Ranger или ВАЗ1111 выпускаются и с ДВС, и как электромобили.

General Motors EV1 с самого начала проектировался как электромобиль. Модель имеет алюминиевый кузов с композитными внешними панелями. Батарея состоит из 26 12-вольтовых свинцово-кислотных аккумуляторов. Напряжение на зажимах батареи 312 В, запасаемая энергия 16,2 кВт · час, емкость 53 А · час. На аккумуляторную батарею приходится почти половина массы электромобиля. Транзисторный инвертор преобразует постоянное напряжение 312 В в трехфазное переменное с управляемой частотой тока, подаваемое на электродвигатель мощностью 137 л. с. с оборотами 7000...13500 в минуту. Двигатель подключен к передним колесам через односкоростную понижающую коробку передач. Аккумуляторная батарея может быть полностью заряжена за 15 часов от внешнего зарядного устройства, подключаемого через трансформатор к бытовой электросети 110 В/10 А (для США). При торможении производится рекуперация энергии, имеется ABS, гидроусилитель руля, компьютерная система управления климатом салона и т. п.

Эксплуатационные характеристики электромобилей, как правило, хуже, чем у автомобилей с ДВС.

1. Основным ограничением при эксплуатации электромобилей является их малый радиус действия. Средний автомобиль с ДВС и полным баком горючего проходит 750...1100 км, бак может быть заправлен за 5...10 минут. Современный электромобиль проходит до перезарядки менее 180 км, заряд батареи занимает несколько часов.

Малый радиус действия электромобилей объясняется низкой плотностью запасаемой энергии в аккумуляторе. Для кислотно-свинцового аккумулятора этот показатель составляет 30...35 Вт · час/кг, что значительно меньше, чем для стандартного автомобильного топлива — 12000 Вт · час/кг. На практике радиус действия электромобиля зависит от скорости, манеры вождения, климата (температуры), дорожных условий, состояния аккумуляторной батареи. По статистике среднесуточный пробег автомобиля в городе не превышает 50 км, что соответствует возможностям электромобиля.

2. Скорость и ускорение электромобилей меньше, чем у автомобилей с ДВС. Для движения по шоссе это очень важно. Гоночные электромобили на короткое время способны развить скорость более 200 км/час. На серийных электромобилях производители ограничивают скорость до 120 км/час. В основном электромобили отвечают требованиям для вождения в черте города.

Ускорение при трогании с места у электромобилей такое же, как у автомобилей с ДВС. Ускорение у электромобилей на высоких скоростях (более 110 км/час)

Таблица 10.1

Модель	Ford Ranger EV	Toyota RAV4 EV	Chevrolet S 10 EV	GM EV1	Москвич 2141Е1	ВАЗ 1111э
Тип	Пикап	4-местный пассажирский	Пикап	2-местный пассажирский	4-местный пассажирский	4-местный пассажирский
Вес снаряженный	2000 кг	1500 кг	1900 кг	1300 кг	1280 кг	1140 кг
Двигатель	3-фазный, 90 л. с.	Бесконтактный постоянного тока, 45 кВт	3-фазный, 114 л. с.	Переменного тока, 137 л. с.	Коллекторный, постоянного тока, мощность 14 кВт длительно, 48 кВт макс.	Постоянного тока независимого возбуждения, 25 кВт
Аккумулятор	Свинцово-кислотный, 312 В, 23 кВт · час	Никель-металлгидридный, 300 В	Свинцово-кислотный, 312 В, 16,2 кВт · час	Свинцово-кислотный, 312 В, 16,2 кВт · час	Свинцово-кислотный, 108 В, 125 А · час	Никель-кадмиевый щелочной, 135 В, 90 или 120 А · час
Зарядное устройство	Бортовое, без гальванической развязки, 4,16 кВт, время заряда 8 час	Бортовое, без гальванической развязки, 12 кВт, время заряда 6...8 час	Стационарное, с гальванической развязкой, 6,6 кВт, время заряда 2,5 час	Стационарное, с гальванической развязкой, 6,6 кВт, время заряда 3 час	Бортовое, однофазное, сеть 220 В, время заряда 8 час	Бортовое, однофазное, сеть 220 В, время заряда 8 час
Разгон	12,3 сек до 80 км/час	13,3 сек до 80 км/час	10,35 сек до 80 км/час	6,7 сек до 80 км/час	15 сек до 60 км/час	14 сек до 100 км/час
Пробег до подзарядки на скорости:						
96,5 км/час	104,8 км	88 км	62,6 км	143 км	100 км, с грузом 400 кг 80 км	100 км в городском цикле
72,4 км/час	139,8 км	131,5 км	97,2 км	217,6 км		

и движении в гору меньше, чем у автомобилей с ДВС. При движении по шоссе из-за этого могут возникать проблемы с безопасностью.

3. Электромобили тяжелее аналогичных автомобилей с ДВС из-за низкой энергоемкости аккумуляторов.

В электромобилях приходится компенсировать большой вес аккумуляторов применением легких сплавов для кузовных и других компонентов. Электромобиль должен иметь низкое трение качения, малое аэродинамическое сопротивление, эффективные системы отопления/кондиционирования, при этом электромобиль должен отвечать требованиям безопасности при столкновениях и т. д.

4. Как следствие, в электромобиле имеется множество дорогостоящих электронных компонентов и микропроцессорных систем, цена при покупке электромобиля значительно выше, чем у обычного автомобиля с ДВС. Например, электромобиль Toyota RAV4 стоит около $50 тысяч на японском рынке, тогда как обычный автомобильный вариант — только $20 тысяч. Фирма Chrysler Corp. еще в 1993 году выпустила мини-вэн стоимостью $120 тысяч, но за три года удалось продать только 51 машину. Отечественный ВАЗ 1111э (ЭлектроОка) стоит $18 тысяч, в то время как обычная Ока —$3 тысячи.

Но не во всем электромобиль проигрывает автомобилю.

1. Ожидаемые эксплуатационные расходы у электромобиля должны быть ниже, чем у автомобиля с ДВС. Например, небольшой автомобиль с ДВС объемом 1,2 литра и ручной коробкой переключения передач на легком топливе стоимостью 1 доллар проезжает около 50 км. Электромобиль при тарифе на электроэнергию 12 центов за 1 кВт · час (для США) проезжает за 1 доллар 120 км. Этот оптимистический расчет приведен в Американских СМИ.

Действительно, тарифы на электроэнергию в США до 2001 года были относительно низкими: в среднем для населения 8,4 цента за 1 кВт · час, для коммерческих организаций — 7,7 цента; для промышленных предприятий — 4,8 цента. В Калифорнии тариф для населения был выше — 12 центов за 1 кВт час, т. к. местные власти в борьбе за экологию не разрешали строить новые электростанции, предпочитая импортировать электроэнергию из других регионов. Начиная с 2001 года и по настоящее время американские тарифы на электроэнергию увеличились более чем в четыре раза. Эксплуатация электромобилей стала дороже. Но и бензин подорожал в такой же степени. Так что пропорции эксплуатационных затрат не меняются.

2. Двигатель внутреннего сгорания работает при высоких температурах, вибрациях, в химически активной среде, нуждается в жидкостном охлаждении, имеет много подвижных частей. Как следствие, силовой агрегат электромобиля служит намного дольше, чем двигатель внутреннего сгорания, сам электромобиль также значительно долговечнее, чем автомобиль с ДВС. Аккумуляторная батарея — вот единственный проблемный элемент электромобиля, так как нуждается в интенсивном обслуживании и замене каждые 4—5 лет.

10.3. Узлы, агрегаты и системы электромобиля

10.3.1. Классическая схема

Классическая схема электромобиля показана на рис. 10.1, *а*. Схема включает высоковольтную (не ниже 100 вольт) ходовую аккумуляторную батарею ХАКБ, электродвигатель ЭД (либо монотипа, либо колесный — для каждого ведущего ко-

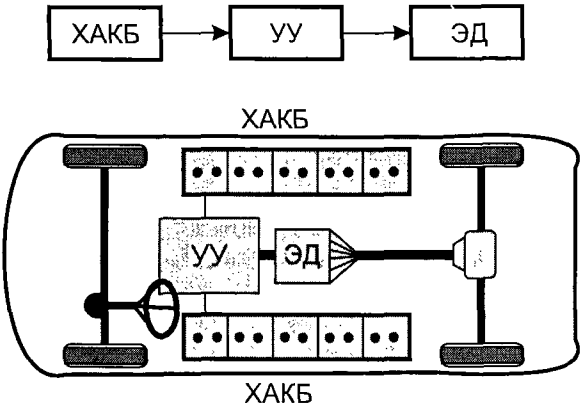


Рис. 10.1, а. Классическая схема электромобиля:
ХАКБ — ходовая аккумуляторная батарея; УУ — электронное устройство управления (контроллер); ЭД — ходовой электродвигатель

леса отдельно) и устройство управления УУ (контроллер), которое управляет энергией ходовой АКБ при ее подаче к электродвигателю ЭД.

Первоначально считалось, что такой электромобиль предельно прост и вся проблема сведется к разработке новых конструкций ходовой АКБ и электродвигателя ЭД. Но в этой трехзвенной модели не менее сложным оказалось создать устройство управления УУ. Кроме того, было совершенно не ясно, от чего и где можно будет подзаряжать ХАКБ. Стали также подвергать критическому анализу главное преимущество электромобилей перед автомобилями — экологическое. Сначала как аксиома было принято предположение, что электромобиль абсолютно чистое транспортное средство, наподобие троллейбуса без проводов. Однако ходовые батареи и станции их обслуживания сами по себе могут стать источниками ядовитого загрязнения окружающей среды. Нетрудно себе представить, что будет с Москвой, когда хотя бы каждый третий из 3 миллионов столичных автомобилей станет электромобилем. В среднем 20 тысяч тонн сернокислотного электролита будут кататься по московским улицам.

К этому надо добавить, что ежедневная подзарядка ХАКБ для одного миллиона электромобилей потребует от Мосэнерго дополнительно электроэнергии еще столько же, сколько оно вырабатывает.

В настоящее время ведется ряд научных разработок в направлении поиска новых химических источников тока (ХИТ). Опробованы на электромобилях и щелочные аккумуляторы, и солнечные батареи, и топливные элементы. Топливные элементы — это одноразовые химические источники тока (ХИТ), которые работают по принципу превращения энергии высокотемпературной химической реакции в электрическую энергию. Обладают малыми габаритами и весом, интенсивной токоотдачей, но непродолжительны в действии. Широко применяются в специальной военной аппаратуре. Для электромобилей могут оказаться перспективными щелочные воздух-алюминиевые топливные элементы, в которых «выгорает» листовой алюминий и в которых можно легко и быстро сменить реагенты. Такой топливный элемент может быть многоразовым. Однако применяемость его в электромобилях ограничена высокой стоимостью катализаторов, входящих в состав воздух-алюминиевых ХИТ, и сложностью реализации многократных остановок химической реакции на непродолжительное время (стояноч-

ный режим электромобиля). Однако с использованием перечисленных источников тока достичь для электромобиля уровня технических показателей автомобиля-прототипа пока не удается.

10.3.2. Компоненты современного электромобиля

Для большинства современных электромобилей кузов, шасси и многие другие механические узлы и агрегаты позаимствованы от серийных автомобилей с ДВС: пикап Ford Ranger EV, ВАЗ 1111э (ЭлектоОка), Toyota RAV4 EV и прочие. Лишь немногие модели с самого начала проектировались как электромобили, например, GM EV1 или Honda EV-plus. Но те и другие имеют примерно одинаковый состав основных функциональных и вспомогательных компонентов, показанных на блок-схеме электромобиля (рис. 10.1).

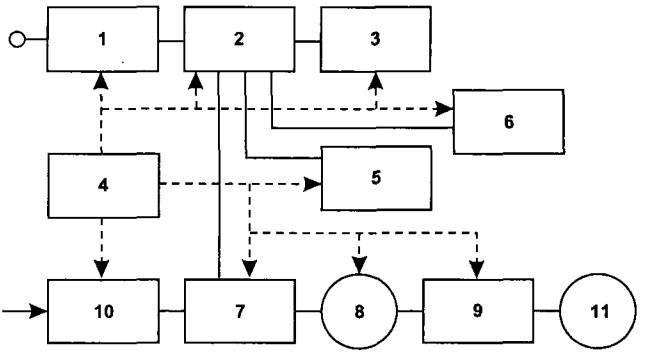


Рис. 10.1, б. Блок-схема современного электромобиля

На рисунке обозначено:

1. Зарядное устройство. Преобразует переменное напряжение внешней сети в постоянное для заряда аккумуляторных батарей, тяговой и вспомогательной.

2. 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.

3. Тяговая аккумуляторная батарея. Обеспечивает энергией двигатель электромобиля.

4. Бортовой компьютер. Контролирует состояние основных функциональных компонентов и бортовых систем электромобиля. При необходимости инициирует средства защиты.

5. Дополнительный источник электроэнергии (обычно вспомогательная аккумуляторная батарея на 12 В). Обеспечивает работу осветительных приборов, панели приборов, стеклоподъемников, стеклоочистителей и т. д.

6. Система климат-контроля салона. Состоит из кондиционера и электрооотопителя.

7. Электронный контроллер электродвигателя. Формирует требуемый вид напряжения питания. Управляет числом оборотов и тяговым моментом на валу по командам водителя или автоматически.

8. Электродвигатель. Приводит в движение колеса электромобиля непосредственно или опосредованно через трансмиссию. Применяются электродвигатели постоянного и переменного тока, а также мотор-колеса.

9. Механическая трансмиссия. Состоит из коробки передач, дифференциала и других механических устройств для обеспечения движения электромобиля.

10. Водительские органы управления электромобилем.

11. Движители (колеса) электромобиля.

10.4. Зарядные и защитные устройства

10.4.1. Зарядные устройства

Батареи электромобилей могут быть заряжены медленно за 8...10 часов ночью, когда городские электрические сети мало загружены, или быстро на специальных зарядных станциях (СЗС) за 15...30 минут током в несколько сотен ампер. Сегодня освоены три технологии заряда аккумуляторных батарей электромобилей:

1. Технология 1-го уровня (стандартный заряд). Аккумулятор заряжается от стандартной бытовой сети (110 В для США) током 6...12 А в течение 15...20 часов. Соединительная розетка должна быть надежно подключена и заземлена.

2. Технология 2-го уровня (быстрый заряд). Аккумулятор заряжается от однофазной бытовой сети током около 30 А за 3...10 часов. Розетки устанавливаются в частных гаражах или на общественных автостоянках. К аналогичной сети подключаются мощные бытовые приборы типа электросушителей или электроплит.

3. Технология 3-го уровня (ускоренный или форсированный заряд). Аккумулятор заряжается от трехфазной сети током 400 А за 15...20 минут. Стандартные зарядные устройства потребляют мощность 160...200 кВт и должны размещаться на специальных зарядных станциях.

Зарядное устройство содержит цепи подключения к сети переменного тока, выпрямитель, регулятор зарядного тока (напряжения), систему управления зарядом (обычно микропроцессорную) для контроля за уровнем заряда, параметрами батареи, отключения при возникновении аварийной ситуации.

Зарядное устройство может размещаться на борту электромобиля. В этом случае бортовой компьютер управляет процессом заряда, а сеть переменного тока подключается к электромобилю. Это характерно для устройств 1-го уровня и устройств 2-го уровня с непосредственным подключением.

Стационарное зарядное устройство монтируется в настенном шкафу или на стенде. Регулируемое постоянное напряжение подается непосредственно на аккумуляторы электромобиля. Это характерно для технологии третьего уровня.

В гибридных системах электромобиль может подключаться к сети переменного тока или к стационарным зарядным устройствам.

При непосредственном подключении зарядное устройство подсоединяется к электромобилю собственным кабелем или кабелем электромобиля с мощным токовым разъемом в металлическом защитном корпусе. Металлический разъем примерно такой же, как для наружных бытовых приборов. Основные требования: высокая степень защиты, способность выдерживать неправильное подключение и вандализм. Любая неисправность разъема определяется системой защиты, отключающей в этом случае напряжение.

При подключении с гальванической развязкой используется магнитная связь между обмотками специального высокоточного трансформатора, первичная обмотка которого размещена на зарядной станции (зарядной колонке), а вторичная — на электромобиле. При передаче энергии расстояние между частями трансформатора обеспечивается минимальным для хорошей индуктивной связи обмоток (рис. 10.2).

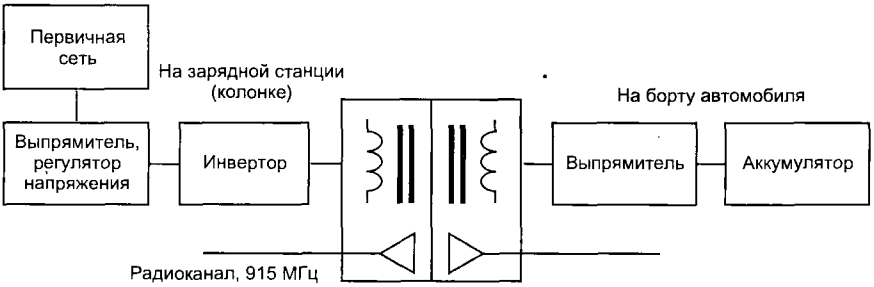


Рис. 10.2. Подключение с гальванической развязкой

В зарядном устройстве напряжение сети переменного тока промышленной частоты 50/60 Гц выпрямляется и фильтруется. Затем постоянное напряжение преобразуется в инверторе в переменное повышенной частоты. Повышение частоты в инверторе до 25...40 кГц позволяет уменьшить массогабариты трансформатора и расход меди в обмотках. Регулирование энергии производится в инверторе или выпрямителе.

Переменное напряжение повышенной частоты выпрямляется уже на борту электромобиля и подается на аккумуляторную батарею для заряда.

Подключение с гальванической развязкой может быть использовано для различных режимов заряда. Например, электромобиль Chevrolet S 10 выпускается с бортовым зарядным устройством мощностью 6,6 кВт с индуктивной развязкой и временем заряда 2,5...3 часа от однофазной сети. Для ускорения заряда используется трехфазная сеть, при этом потребляется мощность 150...160 кВт.

Зарядное устройство обычно контролирует степень заряда аккумуляторной батареи и индицирует время до окончания заряда. Пользователь вставляет терминал стационарного зарядного устройства в специальный приемник на борту электромобиля. По окончании заряда терминал автоматически выталкивается из приемника. Система управляется микропроцессорами с обеих сторон. Служебная связь производится через радиоканал в 915 МГц. Есть конструкции, где электромобиль наезжает на шкаф зарядного устройства таким образом, чтобы первичная (стационарная) обмотка и вторичная (на автомобиле) оказались индуктивно связанными. Основным удобством такой системы является отсутствие гальванической связи электромобиля с электрической сетью, это повышает электробезопасность.

Основным элементом любого бортового зарядного устройства является управляемый выпрямитель, регулирующий напряжение на аккумуляторной батарее при заряде. В простейшем случае это однофазная тиристорная схема с фазным управлением. Трансформатор повышает сетевое напряжение (110 В или 220 В) до требуемого уровня. Как правило, преобразовательная часть зарядного устройства используется также в качестве контроллера для управления тяговым электродвигателем. Кроме тиристоров в качестве коммутирующих элементов используются силовые полевые или биполярные транзисторы.

Зарядные станции обычно хорошо защищены. Микропроцессоры контролируют ток и напряжение заряда. В случае перегрузок по току, замыканий, неисправности заземления и других аварийных ситуаций подача электроэнергии прекращается, пользователь информируется о неисправности.

Общественные зарядные станции являются мощными потребителями электроэнергии. На них для повышения коэффициента мощности применяются специальные корректирующие электронные цепи для компенсации потерь в индуктивных реактивностях преобразовательных каскадов.

10.4.2. Защитные устройства

Аккумуляторы, электрические цепи и бортовые потребители электромобиля должны быть защищены. Замыкание в электропроводке электромобиля ведет к разряду аккумуляторной батареи. Во время неисправности энергия аккумуляторной батареи преобразуется в тепло, провода под большим током могут расплавиться. Замыкание в цепи постоянного тока может привести к возникновению электрической дуги и, как следствие, — к пожару. Генерация тепла и дуговой разряд опасны для жизни человека. В большинстве электромобилей напряжение тяговой аккумуляторной батареи около 300 В. При таком уровне напряжения возможны электротравмы, от которых водитель и пассажиры должны быть защищены даже в сухую погоду.

В электромобилях металлические части корпуса не используются в качестве проводника (массы), вся электропроводка изолирована от корпуса, колесные покрышки (шины) изолируют корпус от дороги. Нарушение изоляции между электрической цепью и корпусом в одной точке не приводит к появлению значительных токов, способных разрядить аккумуляторы. Пробой во второй точке может стать причиной замыкания аккумуляторной батареи и опасен для пользователя. Вероятный сценарий появления коротких замыканий:

- проводящие отложения из аккумуляторов создают первый контакт с корпусом или иными металлическими частями;
- трение проводов о корпус может повредить их изоляцию и будет создан второй контакт, ведущий к короткому замыканию

На рис. 10.3 показаны возможные варианты возникновения замыканий на электромобиле.

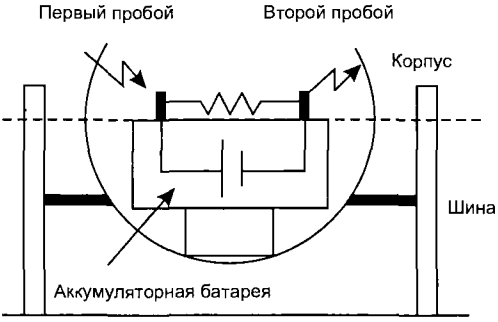


Рис. 10.3. Варианты возникновения замыканий

Очень важно обнаружить первое нарушение изоляции. Для этого используют чувствительные системы измерения токов утечки (менее 0,01 мА), аналогичные тем, что устанавливаются в современных ванных комнатах и душевых.

Второе нарушение изоляции ведет к короткому замыканию, цепь которого должна быть разорвана за несколько миллисекунд для предотвращения разряда аккумулятора. Для этого применяют электромагнитные и электронные быстродействующие контакторы, предохранители.

При эксплуатации электромобилей в тяжелых условиях (снег, грязь, длительный подъем) перегружаются и перегреваются аккумуляторы, тяговый электродвигатель, электропроводка. Перегревание сокращает срок службы этих систем. Электроприводные устройства имеют встроенную полупроводниковую систему защиты от перегрузок, но помимо этого для предотвращения выхода из строя дорогостоящего оборудования используются дополнительные защитные устройства в виде предохранителей и автоматов.

Помимо этого для безопасной эксплуатации электромобилей применяются различные аппаратные или программные блокировки. Например, когда терминал зарядного устройства вставлен в приемник электромобиля, заблокировано включение тягового двигателя. Во время заряда заблокировано включение системы управления климатом салона и т. д.

10.5. Электродвигатели и приводные системы электромобиля

Первоначально электромобили оснащались обычными электродвигателями постоянного или переменного тока. Сегодня на электромобилях используются в основном специальные электродвигатели переменного тока.

К таким электродвигателям предъявляются требования высокой эффективности при постоянстве тяговых характеристик, необходимости в периодическом техобслуживании, способности выдерживать перегрузки и загрязнение.

10.5.1. Двигатели переменного тока

Используются трехфазные асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором. Обороты двигателя регулируются с помощью контроллера изменением частоты питающего напряжения. Такая конструкция практически не требует обслуживания.

КПД электродвигателя зависит от числа оборотов ротора. Например, двигатель мощностью 7 кВт имеет КПД 97% при 6000 об/мин и 82% при 1500 об/мин, максимальное число оборотов — 15000 об/мин. Момент на валу изменяется при коммутации обмоток статора с треугольника на звезду и обратно. При соединении обмоток статора в треугольник двигатель развивает большие обороты, что необходимо при движении по шоссе, при соединении в звезду увеличивается момент на валу — это нужно при ускорении или во время движения на подъем. Переключение обмоток звезда — треугольник аналогично переключению скоростей в коробке передач. Современный трехфазный двигатель электромобиля GM EV1 развивает мощность 137 л. с. в диапазоне 7000...13000 об/мин, имеет момент на валу 150 н · м в диапазоне 0...7000 об/мин.

10.5.2. Электродвигатели постоянного тока

Наряду с трехфазным асинхронным двигателем на современных электромобилях используются электродвигатели постоянного тока с последовательным возбуждением, которые имеют хорошие скоростные и тяговые характеристики. Обороты электродвигателя постоянного тока пропорциональны напряжению питания, что упрощает управление. КПД электродвигателей постоянного тока ниже, чем у двигателей переменного тока, конструкция их сложнее, они нуждаются в регуляр-

ном обслуживании, более чувствительны к перегрузкам, максимальные обороты ниже. На электромобилях с двигателями постоянного тока устанавливают многоскоростные механические коробки передач.

В двигателях постоянного тока, используемых на электромобилях, обмотки возбуждения и ротора включены последовательно. При трогании момент на валу такого двигателя большой, но уменьшается с ростом оборотов. Такая характеристика удовлетворительна для езды по городу, но малопригодна для движения по шоссе. Смена полосы может потребовать движения с ускорением, которого электродвигатель обеспечить не может. Поэтому на некоторых электромобилях используются электродвигатели со смешанным (последовательно-параллельным) включением обмоток возбуждения.

Эффективность двигателей постоянного тока возрастает при замене электрически возбуждаемого статора постоянными магнитами. Дорогостоящие постоянные магниты создают более сильное магнитное поле, чем обмотки статора, двигатели имеют меньшие габариты и массу. Двигатели постоянного тока для электромобилей используются ограниченно и обычно небольшими автосборочными предприятиями.

10.5.3. Бесколлекторные электродвигатели постоянного тока

Такие электродвигатели состоят из ротора на базе постоянных магнитов и трех- или четырехсекционной обмотки на статоре. Электронный коммутатор поочередно возбуждает секции обмотки так, чтобы возникающее магнитное поле постоянно приводило в движение ротор с магнитами. Позиция ротора определяется системой управления с помощью датчика. Преимуществом такого электродвигателя является отсутствие стираемых щеток, искрения в коллекторе, его эффективность и надежность выше, чем у обычных электродвигателей постоянного тока. Недостаток — значительное увеличение стоимости. Бесколлекторные электродвигатели постоянного тока особенно эффективны при езде с высокой постоянной скоростью, поэтому большинство гоночных электромобилей оснащены именно такими двигателями.

Электродвигатели на электромобилях подключены к колесам через механические коробки переключения передач, иногда непосредственно. На рис. 10.4 пока-

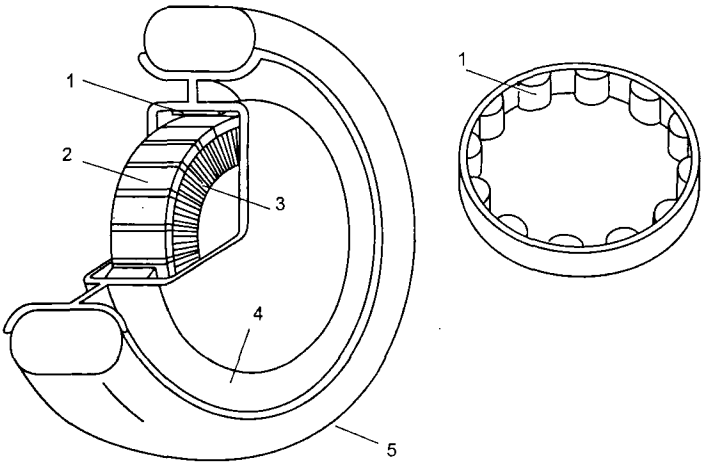


Рис. 10.4. Мотор-колесо на основе бесколлекторного электродвигателя постоянного тока: 1 — ротор с набором постоянных магнитов, 2 — статор, 3 — статорная обмотка, 4 — обод колеса, 5 — шина

зано размещение бесколлекторного тягового электродвигателя постоянного тока непосредственно в колесе, разработка компании Tokyo Electric Power Company. Такую конструкцию называют мотор-колесом. В обод колеса вмонтировано кольцо из постоянных магнитов на основе кобальта — самария. Обмотки возбуждения статора жестко связаны с осью колеса. Экспериментальный автомобиль имел привод всех четырех колес. Отсутствие механической передачи сделало управление двигателями слишком сложным.

Серийная модель Toyota RAV4-EV приводится в движение бесконтактным электродвигателем постоянного тока с напряжением питания 288 В, мощностью 45 кВт в диапазоне 2600...2800 об/мин. Передние колеса ведущие, используется односкоростная коробка передач.

10.5.4. Электроприводные системы

Схемы управления тяговыми электродвигателями регулируют обороты и момент на валу, ограничивают максимальный ток. Используются электроприводы постоянного и переменного тока. По мере появления новых электронных компонентов меняется технология привода, производители электромобилей экспериментируют с различными схемами, добиваясь максимальной эффективности. Основные требования:

- плавное регулирование числа оборотов во всем диапазоне;
- высокий КПД;
- возможность рекуперации при торможении;
- защита от перегрузок и перегрева;
- высокий момент на старте;
- возможность реверса.

В приводах постоянного тока используются традиционные коллекторные электродвигатели с последовательным возбуждением. Обороты регулируются с помощью импульсных преобразователей постоянного напряжения. В бесколлекторных двигателях постоянного тока необходимость в обслуживании значительно уменьшена, они конкурируют с двигателями переменного тока.

Двигатели переменного тока недороги, практически не нуждаются в обслуживании, лучше, чем двигатели постоянного тока, подходят для массового производства. Для их управления нужны сложные трехфазные инверторы, формирующие напряжение переменной частоты. Последние достижения в области силовой электроники удешевляют электропривод переменного тока.

10.5.5. Электропривод постоянного тока

Схема показана на рис. 10.5. Обороты электродвигателя регулируются величиной подаваемого напряжения. Ключи полевые или биполярные, для шунтирования реактивных токов встречно-параллельно транзисторам включены вентили. Ключ VT_1 регулирует среднее значение напряжения на клеммах двигателя, т. е. его обороты. Когда VT_1 замкнут, напряжение $U_{пит}$ аккумуляторной батареи подается на двигатель, когда VT_1 разомкнут, реактивный ток замыкается через вентиль VD_2. Среднее значение напряжения на клеммах двигателя пропорционально коэффициенту скважности (отношение времени замкнутого состояния транзистора VT_1 к периоду) преобразователя напряжения на транзисторе VT_1.

В режиме рекуперативного торможения ключ VT_1 разомкнут. Электродвигатель работает как генератор и подает зарядный ток на аккумулятор через вентиль VD_1.

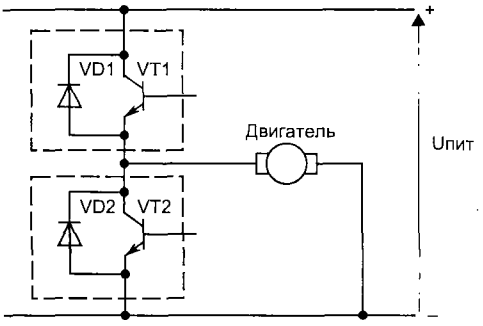


Рис. 10.5. Схема подключения двигателя постоянного тока

Зарядный ток регулируется коэффициентом скважности преобразователя постоянного напряжения на транзисторе VT_2.

10.5.6. Привод бесколлекторных двигателей постоянного тока

Это одно из достижений современной силовой электроники. На роторе электрической машины размещены постоянные магниты, на статоре — обмотки. Для вращения ротора обмотки поочередно подключаются к источнику питания электронным коммутатором. Имеется датчик для определения углового положения ротора. Обмотки статора могут подключаться к шинам питания разной полярности, чем достигается реверс. Коммутирующие транзисторы защищены обратными диодами.

10.5.7. Электропривод переменного тока

Используются трехфазные асинхронные электродвигатели. Для управления оборотами и моментом на валу применяются трехфазные инверторы с регулируемой частотой и широтно-импульсной модуляцией.

На рис. 10.6 показана схема подключения электродвигателя к инвертору. Инвертор состоит из трех параллельных ветвей с двумя последовательными ключами в каждой. Ключи зашунтированы обратными диодами для прохождения реактивного тока. Трехфазное напряжение генерируется последовательной коммутацией ключей. Например, ключи 1, 2, 3 замыкаются одновременно, это подключает фазу «c» к положительной шине аккумулятора, а фазы «a» и «b» — к отрицательной. Одновременное замыкание, например, ключей 1 и 4 недопустимо, так как это закоротит аккумуляторную батарею. Транзисторы включаются со сдвигом 60° по отношению друг к другу. Интервал проводящего состояния для каждого — 180°. Ключи коммутируются в последователь-

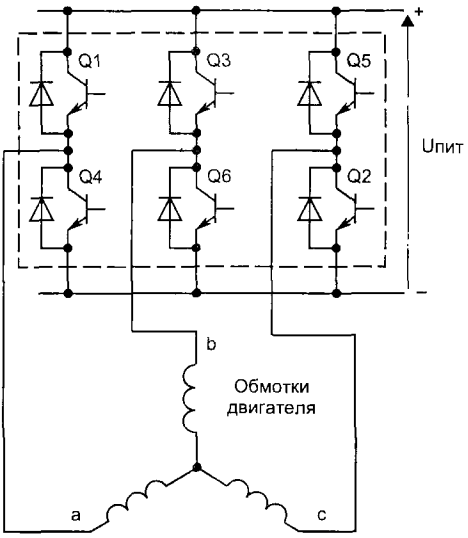


Рис. 10.6. Схема подключения электродвигателя переменного тока к инвертору

ности: 123, 234, 345, 456, 561, 612, 123... При таком алгоритме работы инвертора напряжения на его выходах прямоугольные и регулирование тока двигателя отсутствует.

Для регулирования тока используется широтно-импульсная модуляция. Синусоидальный сигнал на частоте основной гармоники сравнивается с высокочастотным развертывающим сигналом треугольной формы. Каждый ключ во время своего проводящего состояния (в пределах интервала в 180°) открывается несколько раз, когда напряжение развертки превышает напряжение синусоиды. Обмотка двигателя выполняет роль низкочастотного фильтра, и ток в ней становится близким к синусоидальному с регулируемой амплитудой. КПД приводов переменного тока для электромобилей составляет 85...91%, они хорошо работают при движении электромобиля по городу.

10.5.8. Полупроводниковые ключевые устройства

Основным элементом в приводе постоянного или переменного тока является полупроводниковое ключевое устройство. Для электромобилей с двигателями мощностью 40...45 кВт и многоскоростной коробкой переключения передач ключ должен работать при напряжениях до 200 В и токах до 250 А, для односкоростной коробки передач — до 400...600 В и 400...500 А.

Ключевые элементы в электроприводах работают на частотах 10...20 кГц. Повышенная частота коммутации уменьшает шум в звуковом диапазоне, но увеличивает коммутационные потери, излучение электромагнитных помех. Желательно иметь время переключения ключа менее 1 мкс. В качестве ключевых элементов на электромобилях используются различные электронные устройства:

- Тиристоры давно применяются в приводах, выдерживают большие токи и напряжения, имеют относительно низкое напряжение в открытом состоянии. Не отключаются по цепи управления, их отключение на постоянном токе требует наличия сложных дополнительных электрических схем.
- Запираемые тиристоры отключаются по цепи управления, но работают в узком частотном диапазоне 1...5 кГц, напряжение в открытом состоянии больше, чем у обычных тиристоров. Энергия, подаваемая в цепь управления, также больше, что увеличивает потери мощности.
- Биполярные транзисторы работают в широком диапазоне частот, токов и напряжений. Обычно выполняются в виде транзисторных модулей для увеличения коэффициента усиления по току. В приводах современных электромобилей чаще всего используются именно биполярные транзисторы.
- Мощные полевые транзисторы (MOSFET) управляются напряжением, а не током, как биполярные транзисторы или тиристоры, это упрощает цепи управления. Работают в широком диапазоне частот. Недостатки: большое напряжение насыщения и чувствительность к перегреву.
- Биполярные транзисторы с изолированным затвором (БТИЗ — IGBT) — это биполярные транзисторы с полевыми транзисторами в цепи управления. Управляются напряжением. Напряжение насыщения и цена выше, чем у обычных транзисторных модулей. Сочетание широкого диапазона рабочих частот, токов, напряжений с возможностью управления напряжением делает БТИЗ перспективными для применения на электромобилях. Однако стоимость их пока достаточно высокая.
- Тиристоры с цепями управления на полевых транзисторах (MCT — MOS Controlled Thyristor). MCT-тиристор включается и отключается по цепи

управления напряжением. Имеет широкий диапазон частот, токов и напряжений, перспективен для применения на электромобилях.

В табл. 10.2 приведены параметры ключевых устройств, применяемых в электроприводах на электромобилях.

Таблица 10.2

	Биполярные транзисторы	Полевые транзисторы	БТИЗ	МСТ-тиристоры
Рабочий диапазон	1200 В, 800 А	500 В, 50 А	1200 В, 400 А	600 В, 60 А
Чем управляется	Током	Напряжением	Напряжением	Напряжением
Напряжение на открытом ключе, [В]	1,9	3,2	3,2...1,7	1,1
Частота, [кГц]	10	100	20...40	20
Di/dt, [А/мкс]	100	Большое значение	Большое значение	1000
Время включения	1,7 мкс	90 нс	0,9 мкс	1,0 мкс
Время отключения	5 мкс	0,14 мкс	200 нс...1,4 мкс	2,1 мкс

10.5.9. Коробки переключения передач для электромобилей

На электромобилях используются коробки переключения передач (КПП), примерно такие же, как на автомобилях с ДВС. Эффективность привода электромобилей зависит от оборотов. Двигатель переменного тока обычно имеет КПД не менее 80% в диапазоне 2000...12000 об/мин, двигатель постоянного тока с последовательным возбуждением — 70% в диапазоне 2000...5000 об/мин. Бесколлекторный двигатель постоянного тока имеет КПД больше 85% в диапазоне 3000...8000 об/мин.

Большинство конструкций электродвигателей имеют постоянный момент на валу в диапазоне от 0 до 4000...5000 об/мин, при более высоких оборотах момент падает. Это значит, что при скоростях 65...105 км/час электромобиль плохо ускоряется, при движении по шоссе это опасно.

Приведенные примеры показывают, что для эффективной работы электродвигатель должен иметь обороты более 2000...3000 в минуту, с другой стороны, колесо автомобиля на скорости 105 км/час делает только 500 оборотов в минуту. Вот почему, несмотря на электронное управление приводом, большинство электромобилей имеют механические коробки переключения передач с диапазоном передаточных отношений 4:1...8:1.

В электромобилях с КПП используется обычная автомобильная технология, когда ведущие колеса соединяются с валом двигателя через дифференциал и ручную или автоматическую коробку передач. На многих электромобилях, переделанных из обычных автомобилей, вместо ДВС устанавливается электродвигатель, коробка передач не меняется. Тем не менее многоскоростные коробки передач устанавливаются и на конструктивных (не переделанных) электромобилях. Например, электромобиль Fiat Panda Electric с двигателем 9,2 кВт имеет ручную коробку передач с четырьмя передними и одной задней скоростями.

Многоскоростные КПП устанавливаются совместно с электродвигателями постоянного тока с последовательным возбуждением, имеющими удовлетворительный КПД в относительно узком диапазоне оборотов. Коробка переключения передач в этом случае позволяет лучше согласовать характеристики электродвигателя с дорожными условиями.

Односкоростные КПП применяются совместно с электродвигателями, эффективно работающими в широком диапазоне оборотов (например, двигатели переменного тока). В этом случае для согласования характеристик двигателя с дорожными условиями достаточно одной понижающей передачи. На автомобилях, изначально спроектированных как электромобили, применяются именно такие передачи. Например, на модели Ford Ranger EV трехфазный электродвигатель встроен непосредственно в передний ведущий мост. На рис. 10.7 показан бесколлекторный двигатель постоянного тока с максимальным числом оборотов 7500 об/мин, встроенный в ведущий мост, с передаточным отношением 7,5:1.

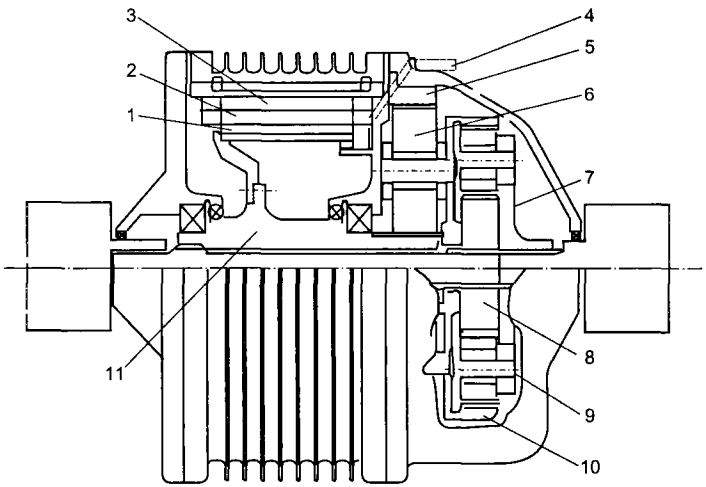


Рис. 10.7. Ведущий мост со встроенным электродвигателем.
1 — постоянный магнит, 2 — статор, 3 — магнитная цепь, 4 — электрические провода, 5 — коронная шестерня, 6 — планетарная передача, 7 — планетарный дифференциал, 8 — выход дифференциала на левое колесо, 9 — выход на правое колесо, 10 — вход дифференциала, 11 — полый вал

10.5.10. Непосредственный привод

В электромобилях желательно подключать колеса непосредственно к электродвигателю без механических передач, что упрощает механическую конструкцию. Но такая схема требует сложных алгоритмов управления и ухудшаются ездовые характеристики электромобиля. Типичный пример реализации привода «мотор-колесо» приведен на рис. 10.4. Характеристики непосредственного привода могут быть улучшены возможностью коммутации обмоток трехфазного двигателя из звезды в треугольник и обратно, а для коллекторного двигателя постоянного тока — переключением обмоток возбуждения, последовательной и независимой.

10.6. Тяговые аккумуляторные батареи

Имеется большое количество типов аккумуляторов, пригодных для применения в тяговых батареях на электромобилях, хотя 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 ограничивают уже много лет 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.

10.6.1. Требования к аккумуляторам электромобилей

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. Имеющиеся сегодня аккумуляторы не соответствуют большинству из этих требований. Необходима разработка аккумулятора, соответствующего если не всем, то наибольшему числу из перечисленных требований.

10.6.2. Характеристики аккумуляторов

В табл. 10.3 приведены характеристики основных типов аккумуляторов, применяемых на электромобилях.

Таблица 10.3

Тип аккумулятора	Удельная мощность [Вт/кг]	Плотность энергии [Вт·час/дм^3]	Удельная энергия [Вт·час/кг]	Число циклов заряд-разряд	Цена [$/кВт·час]
Свинцово-кислотные	35...300	50...90	15...45	300...600	70...400
Железо-никелевые	70...130	60...100	35...60	400...1200	400...500
Никель-кадмиевые	100...200	60...100	30...60	1000...1500	500
Никель-металлгидридные	140...200	100...210	55...80	1000	150...800
Натриево-серные	90...120	75...110	80...120	250...500	300
Никель-хлоридные	150	160	100	500	>1000
Литий-ионные	100	100	150	300	>1000

- Удельная мощность. Измеряется в Вт/кг, показывает, какую мощность способен отдавать аккумулятор при заданном весе. Это показатель способности электромобиля ускоряться и преодолевать подъем.

- Удельная энергия. Измеряется в Вт·час/кг. Это часто применяемая характеристика аккумуляторов. Определяется как энергозапас, т. е. энергия, выделяющаяся при разряде аккумулятора на внешнюю цепь, приходящаяся на единицу веса аккумулятора. Чем выше удельная энергия, тем больше пробег электромобиля до перезаряда при одинаковом весе аккумуляторов.
- Плотность энергии. Измеряется в Вт·час/дм^3, показывает, сколько энергии запасается в аккумуляторе на единицу объема. Применение батарей с высокой плотностью энергии экономит место в электромобиле и уменьшает его вес.
- Число циклов «заряд-разряд» (ресурс). Характеризует долговечность аккумулятора. Цикл определяется как один полный 100-процентный заряд и разряд до 80% емкости.
- Стоимость аккумулятора на один кВт·час запасаемой энергии.

10.6.3. Типы аккумуляторов для тяговых аккумуляторных батарей

▶ Сегодня на электромобилях чаще всего устанавливаются свинцово-кислотные аккумуляторы. Большие усилия затрачиваются проектировщиками и изготовителями на их усовершенствование. Удельные мощность (35...300 Вт/кг) и энергия (15...45 Вт·час/кг) свинцовых аккумуляторов относительно невелики.

▶ Никель-кадмиевые аккумуляторы (Ni-Cd) выпускаются широкой номенклатурой, емкостью от 0,08 А·час до 1000 А·час. Их достоинства: длительный срок эксплуатации, хорошие характеристики при низких температурах, высокая энергоемкость, прочная конструкция, высокая надежность. Недостатки: высокая стоимость и токсичность кадмия. При заряде Ni-Cd-аккумулятор выделяет водород и кислород, приходится предусматривать вентиляцию секций.

▶ Железоникелевые аккумуляторы (Ni-Fe). Срок их эксплуатации гораздо больше, чем у свинцовых, они хорошо выдерживают механические нагрузки. Удельная энергия (35...60 Вт · час/кг) и мощность (70...130 Вт/кг) относительно невелики, стоимость высокая. Во время каждого заряда необходимо доливать воду, эти аккумуляторы выпускаются только обслуживаемыми. Выделение водорода при заряде делает проблематичным применение Ni-Fe-аккумуляторов на электромобилях. Конструкция Ni-Fe-аккумуляторов хорошо отработана, они производятся серийно в основном для железнодорожного транспорта.

▶ Никель-металлгидридные аккумуляторы (Ni-MH). Перспективны для применения на электромобилях. Имеют хорошие удельные показатели и срок службы, но на сегодня дороги.

▶ Натриево-серные аккумуляторы (Na-S). В качестве электрода используется расплавленный натрий при температуре 300 °С. Удельные показатели высокие — 80...120 Вт·час/кг и 90...120 Вт/кг. Достоинством Na-S-технологии является малый саморазряд аккумуляторов (несколько лет). Это важный показатель для электромобилей, от которых требуется обеспечение длительного состояния готовности транспортного средства.

Высокая рабочая температура, химически активные материалы вынуждают применять дорогостоящие защищенные конструкции Na-S-аккумуляторов. Необходимость применения нагревателей и возможность затвердевания натрия во время простоя — важные недостатки Na-S-технологии.

▶ Никель-хлоридные аккумуляторы. Имеют длительный срок эксплуатации, необслуживаемые. Сохраняют работоспособность при выходе из строя части ячеек, но дороги, требуют поддержания температурного режима. Находятся в стадии разработки.

▶ Аккумуляторы на основе лития (литий-ионные, литий-полимерные и т. д.), перспективны для электромобилей, находятся в стадии обсуждения. Основная проблема — отвод тепла при заряде и разряде, а также трудоемкая технология производства.

10.6.4. Перспективные источники энергии для электромобилей

▶ Литий-ионные сульфидные аккумуляторы работают при температурах 400...500 °С. Обеспечивают высокую плотность тока, срок эксплуатации небольшой.

▶ Литий-полимерные аккумуляторы имеют высокую удельную мощность и низкую стоимость. Напряжение на зажимах аккумулятора сильно зависит от степени разряда. Находятся в стадии разработки.

▶ Жидкостные топливные элементы. Их применение вместо аккумуляторов считается перспективным. В топливных элементах химическая энергия топлива преобразуется в электрическую с помощью электрохимического процесса. Жидкий природный газ преобразуется в водород в топливном процессоре. Водород подается в топливные элементы, где и вырабатывается электричество. Химическая энергия топлива используется в топливных элементах со значительно большим КПД, чем в ДВС. Побочными продуктами работы топливных элементов являются вода, небольшие количества CO_2, CO и окислов азота.

▶ Есть варианты, когда вместо газа в топливный процессор подается метанол или автомобиль в качестве топлива транспортирует жидкий водород.

Ведущие автомобилестроительные компании затрачивают большие средства на разработку энергетических установок для электромобилей на основе топливных элементов. Время от времени на выставках демонстрируются работоспособные концептуальные электромобили: DaimlerChrysler NECAR 5, Jeep Commander 2, GM HydroGen 1, Ford Focus FCV, Wolkswagen Bora HyMotion ВАЗ-2131 ТЭ Лада — Антэл и т. д.

Сегодня энергетическая установка на основе топливных элементов обходится примерно в $500 за кВт, т. е. двигатель электромобиля обойдется примерно в $25000, обычный же бензиновый двигатель стоит около $3500.

▶ Инерционные маховики используются как накопители механической энергии. Характеризуются высокой удельной мощностью и низкой удельной энергией.

▶ Конденсаторы сверхбольшой емкости возможно найдут применение на электромобилях в качестве вспомогательных источников электроэнергии с возможностью быстрого заряда и разряда.

Крупнейшие производители автомобилей во всем мире тратят немало усилий на совершенствование аккумуляторов. В табл. 10.4 показано, какой прогресс в росте характеристик аккумуляторов ожидается в ближайшем и отдаленном будущем.

Таблица 10.4

Параметр	Значение в ближайшее время	Значение в отдаленном будущем
Плотность мощности [Вт/дм^3]	250	600
Удельная мощность [Вт/кг]	150...200	400
Плотность энергии [Вт·час/дм^3]	135	300
Удельная энергия [Вт·час/кг]	80...100	200
Ресурс [циклы заряд-разряд]	600	
Стоимость [$/кВт·час]	<150	<100
Рабочий диапазон температур [°С]	–30...+65	–40...+85
Время заряда [час]	<6	3...6
Допустимая степень разряда в % от емкости	75	75
КПД [%]	75	80

10.7. Вспомогательные бортовые системы электромобиля

10.7.1. Система управления электромобилем

В системе управления электромобилем можно выделить четыре основные части: систему управления тяговым электродвигателем, педальные органы управления, ручные органы управления, панель приборов. Во всех подсистемах используются микроконтроллеры. Информация о параметрах, значения которых необходимы для работы систем управления (ток, напряжение, температура, скорость и т. д.) с соответствующих датчиков вводится в микроконтроллеры. Микроконтроллеры реализуют близкий к оптимальному режим управления исполнительными механизмами электромобиля и источниками энергии, принимают меры защиты в аварийных ситуациях, постоянно контролируют состояние аккумуляторной батареи, которое доводится до сведения водителя, равно как и оставшийся пробег до подзаряда.

10.7.2. Электромобильная система климат-контроля

Кондиционер и отопитель потребляют много электроэнергии. Например, на электромобиле Ford Ecostar с тяговым двигателем мощностью 75 кВт отопитель потребляет 5 кВт, кондиционер 6 кВт, а при езде по ровной дороге по городскому циклу тяговый двигатель Ford Ecostar потребляет всего 8 кВт. Пользование кондиционером или отопителем существенно снижают пробег до подзаряда.

Автомобильный кондиционер включается обычно при температуре забортного воздуха выше 35 °С. Внутри салона поддерживается температура не более 27 °С и относительная влажность 50%. Салон должен постоянно вентилироваться из расчета не менее 0,42 м^3 в минуту на пассажира, что еще более нагружает кондицио-

нер. Для уменьшения потерь энергии окна салона при работающем кондиционере должны быть плотно закрыты.

Кондиционеры имеют относительно низкий КПД, их использование существенно уменьшает стандартный пробег электромобиля. Делаются попытки разработать более эффективные системы. В перспективных системах кондиционирования компрессор приводится в действие бесколлекторным двигателем постоянного тока с регулируемым числом оборотов. Компрессор сжимает и нагревает охладитель, охладитель затем испаряется и охлаждается в испарителе, радиатор испарителя охлаждает поступающий в салон воздух. Возможность регулирования оборотов компрессора повышает эффективность кондиционера. Для уменьшения нагрузки на кондиционер необходимы также тонировка остекления кузова в нужном диапазоне оптического спектра, хорошая термоизоляция крыши, охлаждение салона на стоянках маломощным (20 Вт) вентилятором.

На современных электромобилях иногда применяются отопители на жидком топливе. Пробег электромобиля при этом не сокращается, но использование двух видов топлива на одном транспортном средстве нерационально. В качестве источника тепла может быть использована сплит-система. В крайнем случае может быть включен и резистивный нагреватель, но это большой расход электроэнергии.

Эффективность работы тяговых аккумуляторов зависит от температуры. Например, при пониженной температуре емкость аккумуляторной батареи уменьшается. Аккумуляторы электромобилей снабжаются специальными нагревателями для поддержания оптимальной температуры. Например, на электромобиле Chevrolet S10 1997 года выпуска сплит-система поддерживает оптимальную температуру аккумулятора в холодное и жаркое время года.

10.7.3. Низковольтные источники питания

На электромобилях, как и на автомобилях с ДВС, установлено различное электрооборудование с питанием от напряжения 12 В — освещение, стеклоподъемники, аудиотехника, приборы и т. д. Массовое производство этого оборудования хорошо отлажено и нет необходимости его изменять. Для питания низковольтного электрооборудования на электромобилях используются или отдельные 12 В аккумуляторы, подключаемые для заряда через преобразователь постоянного напряжения к высоковольтной тяговой батарее, или электропитание производится от преобразователя постоянного напряжения без буферного 12-вольтового аккумулятора.

10.8. Инфраструктура

Широкое использование электромобилей должно сопровождаться созданием соответствующей инфраструктуры. Здесь еще многое предстоит сделать производителям электромобилей, торговым и сервисным организациям, поставщикам электроэнергии, электрооборудования, разработчикам стандартов.

Массовое использование автомобилей с ДВС привело к созданию разветвленной сети дорог, заправочных станций, системы производства и распределения горюче-смазочных материалов, автосервиса и т. д. Многое из созданного может быть востребовано при эксплуатации электромобилей. Сеть распределения электроэнергии в индустриальных странах достаточно развита, но, вероятно потребуется увеличение ее мощности. Значительное число зарядных станций (колонок) для электро-

мобилей имеется уже сегодня. Например, в Фениксе и его окрестностях (штат Аризона, США). Как правило, электрозаправки установлены возле торговых центров.

10.8.1. Электрические сети

Тяговые аккумуляторные батареи электромобилей могут быть медленно заряжены в гараже владельца в ночное время или быстро на зарядной станции. Метод заряда определяет требования к электрическим сетям.

Тяговые аккумуляторные батареи могут медленно заряжаться в гаражах владельцев от розеток бытовой электросети в непиковое ночное время за 5...10 часов. Такие же розетки с приемниками для монет или кредитных карт при необходимости будут установлены на автостоянках и в общественных гаражах для подзаряда во время парковки. Медленный заряд в ночные непиковые часы только улучшит эффективность использования существующей электрической сети. Дозаряд большого числа электромобилей в дневное время увеличивает нагрузку на электрическую сеть, которую с учетом этого придется усиливать. Естественно, тарифы на электроэнергию в пиковые и непиковые часы будут разными.

Зарядные станции (колонки) для ускоренного заряда имеют мощность 150 кВт, ток заряда 300...400 А. Такие станции являются значительной пиковой нагрузкой для локальной электрической сети. Электросети придется усилить, кроме того, разрабатываются средства для компенсации пиковой нагрузки: аккумуляторы, маховики, устройства на эффекте сверхпроводимости и т. д. Мощные зарядные станции применяются для того, чтобы за 10...30 минут дозарядить батарею, после чего электромобиль должен проходить не менее 110...160 км.

Экспериментальные станции для ускоренного заряда уже размещаются как на шоссе, так и в городах аналогично бензозаправочным.

10.8.2. Высшие гармоники и коэффициент мощности

Зарядные устройства нагружают электросеть высшими гармониками и потребляют реактивную мощность. На рис. 10.8 показана осциллограмма тока в первичной цепи на зарядной станции в Фениксе, полученная в 1994 году при одновременном медленном заряде более 30 электромобилей. Зарядный ток на каждый электромобиль был менее 30 А от сети 240 В. Коэффициент мощности у половины зарядных устройств был хуже 0,86. У 80% зарядных устройств коэффициент гармоник был больше 30%.

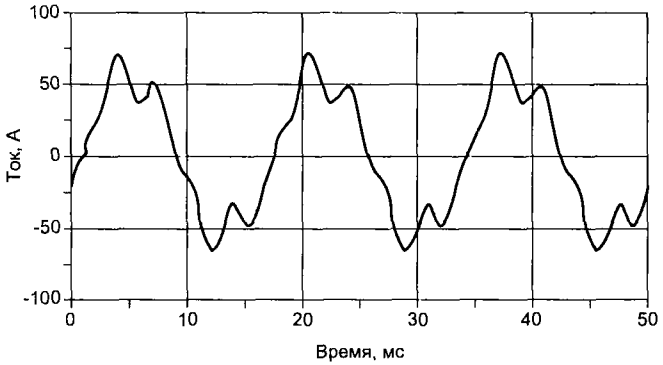


Рис. 10.8. Осциллограмма зарядного тока

Переход от тиристорных выпрямителей к транзисторным высокочастотным преобразователям позволяет увеличить коэффициент мощности и уменьшить коэффициент гармоник.

10.8.3. Электромагнитное излучение

Токи в работающем электромобиле достигают сотен ампер и порождают электромагнитное излучение внутри и вне транспортного средства. Привод постоянного тока излучает постоянное и переменное электромагнитное поле. Привод переменного тока — переменное поле. Частота наиболее мощной первой гармоники излучаемого поля определяется оборотами тягового двигателя, остальные гармоники, вплоть до десятой, также значительны.

Наиболее интенсивные поля возникают при ускорении и рекуперационном торможении. В этот момент в моторном отсеке электромобиля индукция поля достигает 120 мГс. В салоне из-за экранирования корпусом поле практически отсутствует.

При заряде в непосредственной близости зарядного кабеля индукция магнитного поля около 50 мГс, на расстоянии 50 см от электромобиля 20...30 мГс.

10.9. Гибридные электромобили

Гибридные электромобили имеют двигатель внутреннего сгорания, тяговый электродвигатель и аккумуляторную батарею. Гибридные электромобили с ДВС иногда называют бензоэлектромобилями. Во время движения 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

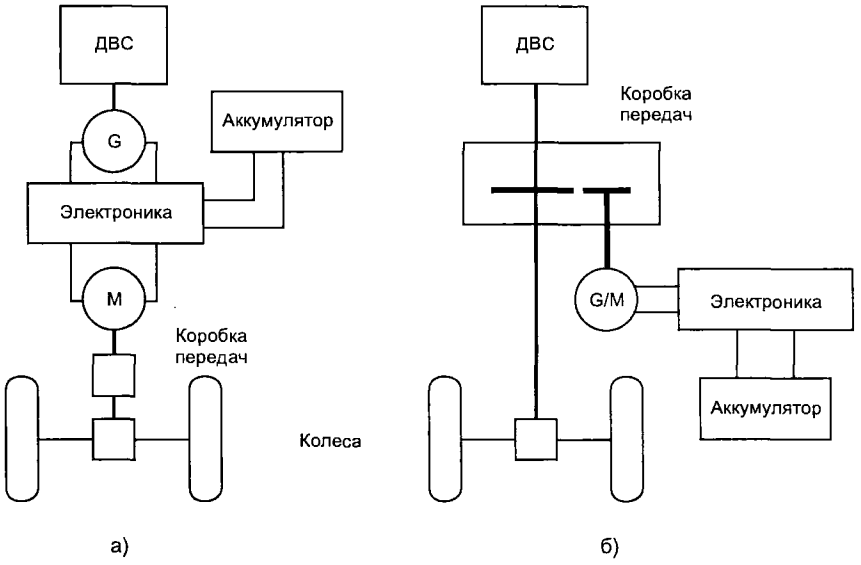


Рис. 10.9. Последовательная (а) и параллельная (б) схемы силовой установки гибридного электромобиля

тяговые аккумуляторы могут подзаряжаться от электрической сети. Известны параллельные, последовательные и смешанные схемы гибридных силовых установок (рис. 10.9).

10.9.1. Последовательная схема

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.

10.9.2. Параллельная схема

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 структура обеспечивает меньший вес, невысокую стоимость, больший КПД по сравнению с аккумуляторными электромобилями.

10.9.3. Смешанная схема

Модель Toyota Prius является первым серийным гибридным электромобилем. С 1997 года их только в Японии было продано более 37000 штук. Это пятиместный седан стоимостью около 20000 долларов. 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. 10.10) обеспечивает движение электромобиля с заданной скоростью в оптимальном режиме. При этом работают или бензиновый двигатель или электродвигатель по отдельности, или их комбинация с различными долями по мощности. Для водителя и пассажиров переключение режимов происходит практически незаметно.

Смешанная структура, реализованная на Toyota Prius, комбинирует 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 для работы электродвигателя. Специальная коробка переключения передач суммирует и распределяет энергию между бензиновым двигателем, электродвигателем, генератором. При торможении энергия рекуперируется, при необходимости резкого торможения используются и обычные гидравлические тормоза. Имеется и антиблокировочная тормозная система.

Бензоэлектромобиль, подобный японскому Toyota Prius, разработан в России. Отечественный завод «Ижмаш» на базе универсального автомобиля ИЖ-21261 создал бензоэлектромобиль с гибридной силовой установкой ДВС + ЭДВ +АКБ

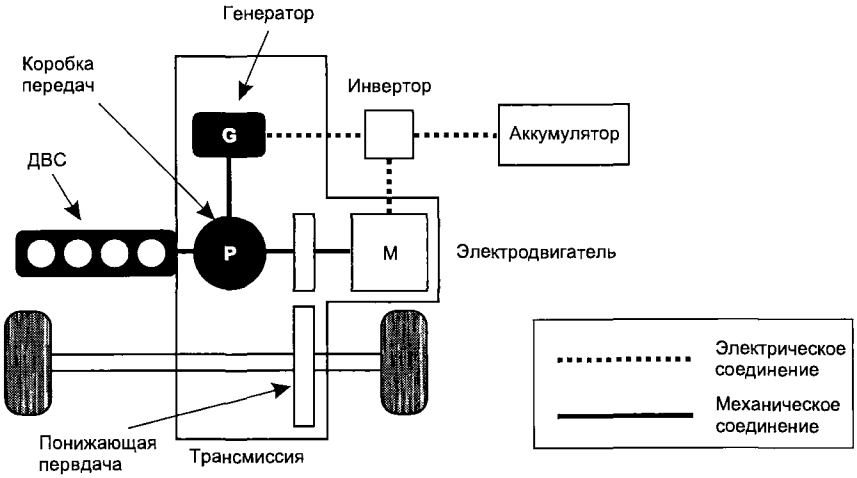


Рис. 10.10. Блок-схема гибридной силовой установки электромобиля Toyota Prius

(8 × 12 В) и с параллельным соединением двигателей через специальный редуктор. Небольшими сериями такой ИЖ-БЭ выпускается с 1998 года.

Недостатки: высокая стоимость (11200 у. е.), малый запас электрохода (12...15 км), возможность попадания агрессивной газовой среды в салон, мизерное багажное отделение, вес больше, чем у прототипа, на 120 кг, небольшая мощность энергоустановки (46 л. с.), низкая приемистость.

Преимущества: уменьшенный расход бензина 3 л/100 км (у прототипа 7,2 л/100 км); возможность эксплуатации в экологически чистых, например, курортных зонах.

Интерес к электромобилям с гибридными силовыми установками непрерывно растет. Ведущие автомобильные фирмы уже начали или начнут в ближайшее время мелкосерийное производство гибридных моделей: Ford Prodigy (Ford Motor), GM Precept (General Motors), Chrysler Citadel и Dodge PowerBox (Daimler Chrysler), Honda Insight (Honda) и др.

Список литературы

1. Акимов С. В., Чижков Ю. П. Электрооборудование автомобилей. Учебник для вузов. — М.: ЗАО КЖИ «За рулем», 2001. — 384 с.

2. Ютт. В. Е. Электрооборудование автомобилей. Учебник для студентов вузов. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Транспорт, 2000. — 320 с.

3. Соснин Д. А. Автотроника. Учеб. пособие. — М.: «Солон-Р», 2001. —373 с.

4. Яковлев В. Ф. Диагностика электронных систем автомобиля. Учеб. пособие. — М.: «СОЛОН-Пресс», 2003. — 272 с.

5. Ronald K. Jurgen Automotive electronics handbook. — McGraw-Hill, Inc., 1999.

6. Integrated silicon pressure sensor manifold absolute pressure sensor on-chip signal conditioned, temperature compensated and calibrated. Motorola technical data, MPX4100A/D. 2000.

7. Сопряжение датчиков и устройств ввода данных с компьютерами IBM PC: Пер. с англ. / Под ред. У. Томпкинса. — М.: Мир, 1992. — 592 с.

8. The A-B-C's of signal conditioning amplifier design for sensor applications. Motorola application note AN1525. 1998.

9. S. R. Ball Analog interfacing top embedded microprocessors. — Newnes, Boston, 2001. — 270 pp.

10. Chowanietz E. Automobile electronics. — Society of Automotive Engineers, Inc., 1995. — 246 pp.

11. Tom Denton. Automobile electrical and electronic systems. 2-nd edition. — Society of Automotive Engineers, Inc., 2000. — 412 pp.

12. Engine performance diagnosis and tune-up. Classroom manual. — Chek-Chart, 1998. — 507 pp.

13. Система управления двигателями ВАЗ-2111 (1,5 л 8 кл) с распределенным впрыском топлива под нормы токсичности ЕВРО-2. (Контроллер МР7.0Н фирмы Bosch.) Руководство по техническому обслуживанию и ремонту. — Издательство «Третий Рим», 1999. — 181 с.

14. Matts Lindgren. Multiplexed vehicle electronics tutorial. — Mecel, 1995. — 123 pp.

15. Росс Твег. Системы впрыска бензина. Устройство, обслуживание, ремонт: Практ. пособ. — М.: Изд. «За рулем», 1996. — 144 с.

16. Fuzzy Air-Fuel Ratio Control of a Small Gasoline Engine. S.H. Lee, Intelligent Systems & Signal Processing Laboratories, Engineering Research Centre, University of Brighton, Moulsecoomb, Brighton, BN2 4GJ, UK, 1999.

17. Fuzzy Logic in Automotive Engineering. Constantin von Altrock. Circuit cellar. Computer application magazine. 1999.

18. Комарцова Л. Г., Максимов А. В. Нейрокомпьютеры: Учебное пособие для вузов. — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. — 320 с.

19. Шнайер Б. «Прикладная криптография: Протоколы, алгоритмы, исходные тексты на языке Си». — М.: Триумф, 2002. — 816 с.

20. Code hopping encoder HCS200. DS40138A. Microchip Technology Inc., 1997.

21. Code hopping encoder HCS201. DS41098A. Microchip Technology Inc., 1997.

22. Code hopping decoder HCS515. DS40183A. Microchip Technology Inc., 1997.

23. Гаврилов Л. П., Соснин Д. А. Расчет и моделирование линейных электрических цепей с применением ПК. Учебное пособие для студентов машиностроительных вузов. — М.: «СОЛОН-Пресс», 2004. — 465 с.

24. Петров В. А. Теория автомобиля. Учебное пособие для студентов вузов. — М.: МГОУ, 1996. — 180 с.

25. Литвинов А. С. Управляемость и устойчивость автомобиля. — М.: Машиностроение, 1971. — 273 с.

26. Käppler W. D., «Beitrag zur Vorhesage von Einschätzungen des Fahrverhaltens», VDI-Fortschitt-Berichte, Rleihe 12, Nr. 198, 1993.

27. Brown G. W., «Analysis of 104 Eastern Iowa Motor Vehicle Casualty accidents». In: Proceedings of the Third Triannial Congress on Medical and Related Aspects of Motor Vehicle Accidents. Ann Arbor, Michigan: Highway Safety Research Institute 1971, pp. 216—218.

28. Rompe K., Heißing B., «Möglichkeiten zur Bewertung der Fahreigenschaften». In: K.Rompe (Editor), «Bewertungsverfahren für die Sicherheit von Personenwagen». Köln: Verlag TÜV Rheiland 1984, pp. 243—265.

29. Edwards M. L., Malone S., «Driver Crash Avoidance Behavior». In: «Driver Performance Data Book». Washington, DC: National Highway Taffic Safety Administration, Final Report DOT HS 807 121, 1987.

30. Förster H. J., «Der Fahrzeugfurer als Bindeglied zwischen Reifen. Fahrwerk und Fahrbahn»,VDI Berichte, Nr. 916, 1991.

31. Fuchs L, «Beitrag zum Verhalten von Fahrer und Fahrzeug bei Kurvenfahrt», VDI-Fortschritt-Berichte, Reihe 12, Nr. 184, 1993.

32. Van Zanten A. T., Krauter A. L, «Optimal Control of the Tractor-Semitrailer Truck», Vehicle System Dynamics, 7 (1978), pp. 203—231.

33. Heeß G., van Zanten A.T., «System approach To Vehicle Dynamics Control». Fisita 1988, Nr. 885107, Detroit, pp. 2.109—2.121.

34. McLettan D. R., Ryan J. P., Browalski E. S., Heinricy J. W., «Increasing the safe Driving Envelope — ABS, Traction Control And Beyond», SAE 92C014.

35. Motoyama S., Uki H., Isoda K., Yuasa H., «Effect of Traction Force Distibution Control Vehicle Dynamics», Proceedings of the AVEC '92 (1992 .9), Japan, Nr. 923080.

36. Соснин Д. А. Клапаны с электромагнитным приводом для газораспределительного механизма поршневого двигателя. — М.: «Ремонт и сервис», № 12, 2001.

37. Луканин В. Н., Морозов К. А., Хачиян А. С. и др. Двигатели внутреннего сгорания. Учебник для вузов в 3 томах. — М.: ВШ, 1995.

38. Forum der Meinungen: Ist der Ventiltrieb der Zukunft voll variabel? In: MTZ 60 (1999) 10.

39. Esch, T.; Hagen, J.; Pischinger, M.; Salber, W.: Möglichkeiten der ottomotorischen Prozeßführung bei Verwendung des elektrome-chanischen Ventiltriebs. In: 7. Aachener Kolloquium Fahrzeug- und Motorentechnik, 1998.

40. Salber, W.: Untersuchungen zur Verbesserung des Kaltstart- und Warmlaufverhaltens von Ottomotoren mit variabler Ventilsteuerung. In: Dissertation, RWTH Aachen, 1998.

41. Pischinger, S.; Salber, W.; Möglichkeiten zur Verbesserung des Kaltstart-, Warmlauf- und Instationarverhaltens mittels variabler Ventilsteuerzeiten. In: 20. Internationales Wiener Motorensymposium, VDI Fortschrittberichte, Reihe.12, Nr. 376, 1999.

42. Baier, K.; Krämer, M.; Kühn, M.; Thom, R. W.: Variable Ventilsteuerungen — ein Weg zur Verbrauchsreduzierung und Drehmomentsteigerung bei Otto Motoren. In: 20. Internationales Wiener Motorensymposium, VDI Fortschrittberichte, Reihe 12, Nr. 376, 1999.

43. Koch, A.; Kramer, W.; Warnecke, V: Die Systemkomponenten eines elektromechanischen Ventiltriebs. In: 20. internationales Wiener Motorensymposium, VDI Fortschrittberichte, Reihe 12, Nr. 376, 1999.

44. Butzmann, S.; Melbert, L; Koch, S.: Sensorless Control of Electromagnetic Actuators for Variable Valve Train. In: SAE 2000-01-1225.

45. Warnecke, V.; Koch, A.; Kramer, W.: Die elektrischen und mechanischen Eigenschaften der Systemkomponenten eines elektromechanischen Ventiltriebs. In: 8. Aachener Kolloquium Fahrzeug- und Motorentechnik. Oktober 1999.

46. Fiaccabrino, C.; Rouge, T.: Smarter Ventiltrieb — Ein Weg zur Minimierung von Leistungsbedarf und Geräuschen durch eine intelligente Regelung eines optimierten Aktuators. In: 8. Aachener Kolloquium Fahrzeug- und Motorentechnik Oktober 1999

47. Cosfeld, R.; Klüting, M.; Grudno, A.: Technologische Ansätze zur Darstellung eines elektrome-chanischen Ventiltriebs. In: 8. Aachener Kolloquium Fahrzeug- und Motorentechnik. Oktober 1999.

48. Niefer, H.; Doll, G.; Luckert, P.: Zylinderabschal tung — Ein anspruchsvolles Konzept zur Ver brauchsreduzierung ohne Einbuße an Fahrspaß oder beim Komfort. In: 8. Aachener Kolloquium Fahrzeug- und Motorentechnik. Oktober 1999.

49. Bonse R.; Quentin K.: Auslegung und Fertigung von Aktuatoren fur elektromechanische Ventiltriebe. In: HDT Essen, Tagung. Nr. H030-03-031-0, Marz 2000.

50. Kilger M.; Warnecke V.; Koch A.; Kramer, W.: Reduktion der Geräuschemissionen eines elektromagnetischen Ventiltriebs durch intelligente Regelungsstrategien. In: HDT Essen, Tagung Nr. H030-03-031-0. Marz 2000.

51. Boulicout, M.; Bizican, L.; Guerin. S.; Morin, L; Roux, L: Adaption of Electromechanical Valve Control on a 21-4 Cylinder Engine. In: HDT Essen, Tagung. Nr. H030-03-031-0, Marz 2000.

52. Klüting, M.; Flierl, R.: Die 3. Generation von Ventiltrieben — neue vollvariable Ventiltriebe zur drosselfreien Laststeuerung. In: HDT Essen, Tagung. Nr. H030-03-031-0, Marz 2000.

53. Rausch. M.: Elektronik fur die elektromagnetische Ventilsteuerung. In: HDT Essen, Tagung. Nr. H030-03-031-0, Marz 2000.

54. Walzer. P.; Kemper, H.; van der Staay. F.: Mecha-tronik als Losung zukunftiger Anforderungen an die Motorentechnik — Beispiel elektromecha-nischer Ventiltrieb. In: 4. ATZ/MTZ Fachkonferenz Automobilentwicklung & Management, Juni 2000.

55. Rouge, T.: Electromagnetic Valve Actuation «SVA». In: Variable Valve Actuation TOPTEC, The State of the Art, SAE Tagung September 2000.

56. Schwaderlapp, M.; Schebitz M., Koch F.W., Salber, W.: Der elektromechanische Ventiltrieb -Mehr als ein Verbrauchskonzept. In: 9. Aachener Kolloquium Fahrzeug- und Motorentechnik, Oktober 2000.

57. Klüting, M; Flierl, R.; Grudo, A.; Luttermann, C: Drosselfreie Laststeuerung mit vollvariablen Ventiltrieben. In: MTZ 60 (1999) 7/8.

58. Rausch, M: Neue Möglichkeiten durch elektromagnetischen Ventiltrieb. In: Auto & Elektronik. 1/2000.

59. Stier, M.: Pneumatische Ventilfedem in der Formel 1. In: MOT, Heft. 17/2000.

60. Hannibal, W.; Meyer, K.: Patentrecherche und Überblick zu variablen Ventilsteuerungen. In: HDT Essen, Tagung Nr. H030-03-031-0, Marz 2000.

61. Pischinger, M.; Salber, W., Kemper H., Baumgarten H., van der Staay, F.: Darstellung der Potentiale des elektromechanischen Ventiltriebs im Fahrzeugbetrieb. In: 8. Aachener Kolloquium Fahrzeug- und Motorentechnik, 1999.

62. Pischinger S., Hagen J., Salber W.: Verbesserung des Betriebsverhaltens eines Ottomotors mit Abgasturboaufladung mittels einer voll variablen Ventilsteuerung. In: 7. Aufladetechnische Konferenz, 2000, Dresden.

63. Pischinger, S.; Salber, W.: Möglichkeiten zur Verbesserung des Kaltstart-, Warmlauf- und Instationarverhaltens mittels variabler Ventil-steuerzeiten. 20. Internationales Wiener Moto-rensymposium. In: VDI Fortschrittberichte, Reihe 12, Nr. 376, 1999.

64. Ernst Gschweitl. Signitikante Verringerung des Verschleißes durch Optimierung des Vtntiltriebes. MTZ.61. 2000, № 1.

65. Wolfgang Salber und die anderen. Der elektromechanische Ventiltrieb — Systembaustein für zukünftige Antriebskoneßte.Teil — 1: MTZ.61.2000, № 12; Teil — 2: MTZ.62.2001, №1.

66. Stefan Pischinger und die anderen. Ladung sbewegung und Gemischbildung bei Ottomotoren mit voll variabler Ventilsteuerung. MTZ.62.2001, № 11.

Содержание

Предисловие 3

Глава 1. Тенденции развития автомобильного бортового электрического и электронного оборудования 4

Глава 2. Датчики новейших автомобильных электронных систем 12

2.1. Предварительные замечания 12
2.2. Датчики давления 16
2.2.1. Датчики барометрического давления и абсолютного давления во впускном коллекторе 17
2.2.2. Датчики давления в жидкостных средах 20
2.2.3. Новые применения датчиков давления 20
2.2.4. Новые конструкции датчиков давления 23
2.3. Датчики температуры и влажности 26
2.3.1. Узлы автомобиля, в которых производится измерение температуры 27
2.3.2. Термисторы 29
2.3.3. Термопары 30
2.3.4. Другие типы датчиков температуры 31
2.3.5. Датчики влажности 31
2.4. Датчики расхода жидкостей и газов 32
2.4.1. Общие сведения 32
2.4.2. Расходомеры и массметры 33
2.4.3. Датчик Кармана 34
2.5. Датчики состава выхлопных газов 35
2.5.1. Циркониевые и титановые датчики концентрации кислорода в выхлопных газах 36
2.5.2. Датчики кислорода для двигателей, работающих на обедненных смесях 37
2.5.3. Влияние различных факторов на характеристики датчиков кислорода 38
2.5.4. Газоанализаторы 39
2.6. Датчики угловых и линейных перемещений и положений 40
2.6.1. Общие сведения 40
2.6.2. Контактные датчики 40
2.6.3. Бесконтактные датчики 42
2.7. Радарные и другие специальные датчики 47
2.7.1. Радарные и ультразвуковые датчики 47
2.7.2. Датчики ускорения (акселерометры) 48
2.7.3. Датчик детонации 51
2.7.4. Датчик содержания метанола в топливе 52
2.7.5. Датчики состояния электрических цепей 52
2.7.6. Интеграция датчиков 53

Глава 3. Электронное управление автомобильным двигателем 54

3.1. Необходимость электронного управления автомобильным двигателем 54
3.1.1. Уменьшение загрязнения окружающей среды выхлопными газами 54
3.1.2. Экология бензиновых двигателей 55
3.1.3. Каталитический газонейтрализатор 55
3.1.4. Угол опережения зажигания 55

3.1.5. Экология дизельных двигателей 55
3.1.6. Уменьшение потребления топлива 56
3.1.7. Диагностика 56
3.2. Функции электронных систем управления бензиновым двигателем 56
3.2.1. Определение необходимого количества топлива 56
3.2.2. Управление по сигналу датчика кислорода 57
3.2.3. Управление углом опережения зажигания 59
3.3. Режимы работы системы управления двигателем 59
3.3.1. Запуск двигателя 59
3.3.2. Прогрев двигателя 60
3.3.3. Работа в переходных режимах 60
3.3.4. Полная нагрузка 61
3.3.5. Работа на холостых оборотах 61
3.4. Системы подачи топлива 61
3.4.1. Классификация систем 62
3.4.2. Карбюратор с электронным управлением 62
3.4.3. Системы с центральным впрыском топлива 64
3.4.4. Системы с распределенным впрыском топлива 65
3.5. Системы электроискрового зажигания 66
3.6. Комплексные системы управления двигателем 68
3.7. Диагностические функции системы управления двигателем 69
3.7.1. Основные сведения о стандарте OBD-II 69
3.7.2. Структура программного обеспечения систем OBD-II 70
3.7.3. Монитор каталитического нейтрализатора 73
3.7.4. Монитор датчиков кислорода 73
3.7.5. Монитор пропусков в системе зажигания 74
3.7.6. Монитор топливной системы 75
3.7.7. Монитор системы улавливания паров бензина 76
3.7.8. Монитор системы рециркуляции выхлопных газов 77
3.7.9. Монитор инжекции вторичного воздуха (AIR-monitor) в каталитический нейтрализатор 78

Глава 4. Функциональные преобразователи в автомобильных системах управления 79

4.1. Функциональный преобразователь 79
4.2. Лингвистические преобразователи 80
4.3. Продукционные правила 82
4.4. Применение нечеткой логики управления 84

Глава 5. Специализированные бортовые системы автомобилей 89

5.1. Современная информационная система водителя 89
5.1.1. Системы распознавания голоса и преобразования текста в речь 91
5.1.2. Бортовой компьютер 91
5.1.3. Информация о состоянии бортовых систем автомобиля 93
5.2. Бортовые средства отображения информации 94
5.2.1. Стрелочные индикаторы 95
5.2.2. Цифровые индикаторы (дисплеи) 96
5.2.3. Индикаторы на светодиодах 96
5.2.4. Жидкокристаллические дисплеи 96
5.2.5. Вакуумные флуоресцентные индикаторы 97
5.2.6. Электронно-лучевые трубки 98
5.3. Приборные панели 98

5.4. Отображение информации на лобовом стекле 101
5.5. Перспективные средства отображения информации 102
5.6. Навигационные системы автомобиля 103
5.6.1. Функции, структура и составные компоненты навигационной системы 104
5.6.2. Датчик азимута (компас) 105
5.6.3. Датчик скорости вращения колес 105
5.6.4. Гироскоп 106
5.7. Навигационное счисление 107
5.8. Электронные карты 108
5.8.1. Ориентирование на карте местности по конфигурации пройденного пути 109
5.8.2. Выбор оптимального маршрута 110
5.9. Спутниковая позиционирующая система GPS 111
5.10. Примеры автомобильных навигационных систем 112
5.11. Системы охранной сигнализации и противоугонные устройства 115
5.11.1. Электронные противоугонные системы 115
5.11.2. Дистанционное управление противоугонными устройствами 117
5.11.3. Характеристики противоугонных систем с дистанционным управлением 117
5.11.4. Работа противоугонной системы с дистанционным управлением 118
5.11.5. Виды взлома и защита от них 119
5.11.6. Шифраторы и дешифраторы динамического кода Keeloq 121
5.11.7. Иммобилизатор с транспондером 123
5.11.8. Конфигурация противоугонной системы 125
5.11.9. Дополнительные датчики 125

Глава 6. Автомобильные мультиплексные системы передачи информации 127

6.1. Понятие об автомобильных мультиплексных системах 127
6.2. Локальные вычислительные сети 129
6.2.1. Эталонные модели взаимодействия систем 129
6.2.2. Протоколы компьютерных сетей 132
6.2.3. Физическая передающая среда в ЛВС 133
6.2.4. Основные топологии ЛВС 134
6.2.5. Методы доступа к передающей среде 135
6.2.6. Временное и частотное уплотнение сигналов в мультиплексных системах 136
6.3. Примеры автомобильных мультиплексных систем 138
6.3.1. Класс А 138
6.3.2. Класс В 139
6.3.3. Класс С 141
6.4. Протоколы высоких уровней 141
6.4.1. Транспортный уровень 142
6.4.2. Прикладной уровень 144
6.4.3. Управление сетью (диспетчеризация) 146
6.5. Протоколы низкого уровня (шинные) 147
6.5.1. Канал связи 148
6.5.2. Подуровни MDI и PMA 149
6.5.3. Сигналы на физическом уровне (подуровень PLS) 150
6.5.4. Управление доступом к среде (подуровень MAC) 151

Глава 7. Протокол CAN для автомобильных мультиплексных систем 153

7.1. Предварительные замечания 153

7.2. Архитектура протокола CAN 153
7.3. Передающая среда и нижние подуровни протокола CAN 154
7.4. Подуровень PLS 156
7.5. Подуровень MAC (Управление доступом к среде в CAN) 158
7.6. Подуровень LLC 163
7.6.1. Возможности подуровня 163
7.6.2. Ограничение распространения ошибок 164

Глава 8. Система управления курсовой устойчивостью автомобиля 167

8.1. Предварительные сведения 167
8.2. Концепция и вариационные параметры системы УРС 170
8.3. Функциональная блок-схема системы VDC 172
8.4. Техническая реализация системы VDC 175
8.4.1. Основные компоненты 175
8.4.2. Датчики системы VDC 176
8.4.3. Гидросистема 177
8.4.4. Электронный блок управления 179
8.5. Результаты экспериментальных исследований 179
8.5.1. Испытания автомобиля с системой VDC при резком изменении направления движения 179
8.5.2. Торможение при движении автомобиля по гладкому льду 181
8.5.3. Испытание автомобиля при движении по замкнутой траектории с увеличением скорости 182
8.6. Надежность системы VDC. Поиск неисправностей 183

Глава 9. Электромагнитный привод газораспределительных клапанов в поршневом двигателе внутреннего сгорания 185

9.1. Предварительные замечания 185
9.2. Механические клапаны 186
9.3. Электромагнитные клапаны 186
9.4. Электромагнитный клапан с пружинным ударным устройством 187
9.5. Электромагнитный клапан с пружинной амортизацией 189
9.6. Электромагнитный клапан с демпфирующим устройством 191
9.7. Электромагнитный клапан без возвратной запорной пружины 193
9.8. Магнитоэлектрический клапан с гидравлическим амортизатором 196
9.9. Электромагнитный клапан с пневматическим амортизатором 203
9.10. Выводы 205

Глава 10. Электромобили 206

10.1. Общие сведения 206
10.2. Эксплуатационные характеристики электромобилей 208
10.3. Узлы, агрегаты и системы электромобиля 210
10.3.1. Классическая схема 210
10.3.2. Компоненты современного электромобиля 212
10.4. Зарядные и защитные устройства 213
10.4.1. Зарядные устройства 213
10.4.2. Защитные устройства 215
10.5. Электродвигатели и приводные системы электромобиля 216
10.5.1. Двигатели переменного тока 216
10.5.2. Электродвигатели постоянного тока 216

10.5.3. Бесколлекторные электродвигатели постоянного тока 217
10.5.4. Электроприводные системы 218
10.5.5. Электропривод постоянного тока 218
10.5.6. Привод бесколлекторных двигателей постоянного тока 219
10.5.7. Электропривод переменного тока 219
10.5.8. Полупроводниковые ключевые устройства 220
10.5.9. Коробки переключения передач для электромобилей 221
10.5.10. Непосредственный привод 222
10.6. Тяговые аккумуляторные батареи 223
10.6.1. Требования к аккумуляторам электромобилей 223
10.6.2. Характеристики аккумуляторов 223
10.6.3. Типы аккумуляторов для тяговых аккумуляторных батарей 224
10.6.4. Перспективные источники энергии для электромобилей 225
10.7. Вспомогательные бортовые системы электромобиля 226
10.7.1. Система управления электромобилем 226
10.7.2. Электромобильная система климат-контроля 226
10.7.3. Низковольтные источники питания 227
10.8. Инфраструктура 227
10.8.1. Электрические сети 228
10.8.2. Высшие гармоники и коэффициент мощности 228
10.8.3. Электромагнитное излучение 229
10.9. Гибридные электромобили 229
10.9.1. Последовательная схема 230
10.9.2. Параллельная схема 230
10.9.3. Смешанная схема 230
Список литературы 232

Серия «Библиотека студента»

Дмитрий Александрович Соснин,
Вадим Фридрихович Яковлев

Новейшие автомобильные электронные системы

Учебное пособие для студентов
машиностроительных вузов

Ответственный за выпуск
В. Митин

Верстка
Н. Бармина

Обложка
Е. Холмский

ООО «СОЛОН-Пресс»
123242, Москва, а/я 20
Телефоны:
(095) 254-44-10, 252-36-96, 252-25-21
E-mail: Solon-Avtor@coba.ru

По вопросам приобретения обращаться:
ООО «Альянс-книга»
Тел.: (095) 258-91-94, 258-91-95
www.abook.ru

ООО «СОЛОН-Пресс»
127051, г. Москва, М. Сухаревская пл., д. 6, стр. 1 (пом. ТАРП ЦАО)
Формат 70×100/16. Объем 15 п. л. Тираж 1500
отпечатано в ООО «Аделия»
142605, Московская обл., г. Орехово-Зуево,
ул. Красноармейская, д. 1
Заказ № 146