

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

О.Л. Коваленко, А.А. Банников, П.А. Пустошный

**КОМПОНЕНТЫ
АВТОМОБИЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ**

Учебное пособие

Архангельск
САФУ
2016

УДК 629.33.064.5

ББК 32.96-04я73

K562

Рассмотрено и рекомендовано к изданию
учебно-методическим советом
Северного (Арктического) федерального университета
имени М. В. Ломоносова

Рецензенты:

Кузьмин Д.В., зав. кафедрой автоматике, робототехники и управления
техническими системами ИЭиТ САФУ, доцент, кандидат технических
наук;

Дыроватых В.А., ведущий инженер-электроник

Коваленко, О.Л.

K562 Компоненты автомобильной электроники: учебное пособие /
О.Л. Коваленко, А.А. Банников, П.А. Пустошный; Сев. (Арктич.)
федер. ун-т им. М. В. Ломоносова. – Архангельск: САФУ, 2016. –
87 с.: ил.

ISBN 978-5-261-01186-6

Рассматриваются различные компоненты автомобильной электроники, назначение, принцип действия различных электронных устройств автомобилей, перспективы применения современных электронных средств для автомобилей.

Предназначено для студентов ИЭиТ по специальностям 190601.65 «Автомобили и автомобильное хозяйство», 190603.65 «Сервис транспортных и технологических машин» и направления подготовки 190500.62 «Эксплуатация транспортных средств» дневной и заочной форм обучения.

УДК 629.33.064.5

ББК 32.96-04я73

ISBN 978-5-261-01186-6

© О.Л. Коваленко, А.А. Банников,
П.А. Пустошный, 2016

© Северный (Арктический)
федеральный университет
имени М. В. Ломоносова, 2016

ВВЕДЕНИЕ

Современный автомобиль – это большая и сложная сеть электронных систем и компонентов. Для того чтобы разобраться в устройстве, структуре, принципе действия электронных компонентов автомобиля необходимо знать основы электроники и микропроцессорной техники.

Электронные системы управления, создаваемые на базе дискретных элементов и интегральных микросхем, выполняющих какую-либо определенную задачу управления, относятся к системам с жесткой логикой, т.е. алгоритм их функционирования определяется схмотехникой системы. У микропроцессорных систем такое ограничение отсутствует, т.е. при одной и той же структуре данные системы могут реализовывать различные алгоритмы управления вследствие соответствующего изменения записи команд в элементах памяти системы. Благодаря этому микропроцессорные системы образуют особый класс электронных систем управления и обладают рядом уникальных возможностей с точки зрения реализации самых сложных задач управления. Таким образом, микропроцессорные системы управления автомобилем являются основой современной автомобильной электроники.

Микропроцессорные системы отличаются большим разнообразием с точки зрения примененных типов устройств и их характеристик. Так, разрядность слова, т.е. число одновременно обрабатываемых разрядов, составляет 4–16 бит, тактовая частота – от одного до нескольких мегагерц, число уровней прерывания 2–8, объем ОЗУ – от 128 байт до нескольких килобайт, объем ПЗУ – несколько килобайт.

Особо перспективным является применение в системах управления агрегатами автомобилей однокристалльных ЭВМ. В состав такой ЭВМ, выполненной в виде одной интегральной схемы, вхо-

дят центральный процессор, генератор тактовых импульсов, ОЗУ, интерфейс ввода-вывода, таймер, ПЗУ. Часто в составе одной серии однокристалльных ЭВМ выпускают модификации с различными вариантами ПЗУ. Основным преимуществом применения однокристалльной ЭВМ является возможность значительного сокращения числа интегральных микросхем, образующих систему управления. Однокристалльная ЭВМ в зависимости от структуры микропроцессорной системы управления может заменить 5–10 корпусов интегральных микросхем, что помимо уменьшения размеров аппаратуры управления обеспечивает и существенное повышение ее надежности в результате сокращения внешних соединений между корпусами микросхем.

По сравнению с электронными системами управления микропроцессорные системы имеют следующие преимущества:

- с их помощью возможна реализация алгоритма управления любой сложности. При этом может быть учтено большое количество внешних параметров (помимо традиционно принимаемых во внимание частот вращения вала двигателя, выходного вала трансмиссии и нагрузки двигателя), таких, например, как производные этих параметров по времени, температурный режим двигателя, температура масла, полная масса автомобиля и т. д. Возникающие при этом трудности связаны лишь с необходимостью введения дополнительных датчиков и преобразователей;

- при необходимости обеспечивается корректирование алгоритма управления как при развитии системы, так и в рамках существующей системы с учетом, например, таких факторов, как изменение характеристик агрегатов вследствие их изнашивания. Следовательно, возможно создание адаптивных систем управления, которые способны изменять свои характеристики в процессе эксплуатации автомобиля с целью обеспечения его наилучших показателей. Для достижения такого эффекта не требуется изменения аппаратурной части системы;

- вследствие реализации широких возможностей микропроцессорных систем создаются комплексные системы управления агрегатами автомобиля (например, двигателем, сцеплением, коробкой передач);

- система управления на базе микропроцессорного комплекта или однокристалльной ЭВМ требует минимального объема настрой-

ки и регулировок, поскольку они необходимы только для таких вспомогательных элементов системы, как ПЧН, ЦАП и АЦП.

Непрерывное совершенствование технологии производства электронных приборов, в том числе элементов микропроцессорных систем управления, обуславливает снижение их стоимости и создает благоприятные предпосылки для расширения их применения. Однако микропроцессорные системы целесообразно использовать в первую очередь для систем управления агрегатами автомобиля со сложными алгоритмами. К таким системам следует отнести антиблокировочные системы управления тормозными механизмами, системы управления гидромеханическими и автоматизированными механическими передачами и, конечно, комплексные системы управления несколькими агрегатами.

Одной из основных проблем создания микропроцессорных систем является разработка и реализация оптимального алгоритма управления. Многие различные микропроцессорные системы отличаются одна от другой в основном составом датчиков и видом алгоритма функционирования, который зависит от целевого назначения системы и сложности решаемых ею задач.

1. ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ АВТОМОБИЛЯ

1.1. Транзисторы

Транзисторы являются основой современной электроники.

Они являются полупроводниковыми элементами, которые пропускают ток при определенных условиях и могут выполнять роль усилителя тока.

Современные логические микросхемы поострены на основе биполярных транзисторов (транзисторно-транзисторная логика (ТТЛ)) или полевых транзисторов с изолированным затвором с каналами различной проводимости (технология построения электронных схем на основе комплементарной структуры металл-оксид-полупроводник (КМОП)).

Если биполярный транзистор управляется током и имеет низкое входное сопротивление, то полевой транзистор обладает большим входным сопротивлением и управляется напряжением.

Отличительной особенностью схем КМОП по сравнению с биполярными технологиями (ТТЛ) является очень малое энергопотребление и более высокое быстродействие, однако при этом они характеризуются более сложным технологическим процессом изготовления и меньшей плотностью упаковки.

подавляющее большинство современных логических микросхем, в том числе процессоров, используют схемотехнику КМОП.

Существуют также биполярные транзисторы с изолированным затвором (БТИЗ) (англ. IGBT от англ. Insulated-gate bipolar transistor) – трехэлектродный силовой электронный прибор, используемый, в основном, как мощный электронный ключ в импульсных источниках питания, инверторах, в системах управления электрическими приводами.

По своей внутренней структуре БТИЗ представляет собой каскадное включение двух электронных ключей: входной ключ на полевом транзисторе управляет мощным оконечным ключом на биполярном транзисторе. Управляющий электрод называется затвором, как у полевого транзистора, два других электрода – эмиттером и коллектором, как у биполярного. Такое составное включение полевого и биполярного транзисторов позволяет сочетать в одном устройстве достоинства обоих типов полупроводниковых приборов.

Выпускаются как отдельные БТИЗ, так и силовые сборки (модули) на их основе, например, для управления цепями трехфазного тока. Инверторы на БТИЗ применяются в частотно-регулируемом приводе электромобилей.

Конструкция полевого транзистора показана на рис. 1.1. Область с p -проводимостью (вентиль) с двух сторон охватывает область с n -проводимостью, образующую канал. Ток проходит вдоль канала от источника к потребителю и управляется напряжением, приложенным между вентилем и источником.

Поле, создаваемое вентилем, управляет сужением канала, по которому течет ток. Транзистор с каналом, имеющим p -проводимость, работает аналогичным образом, но при обратной полярности источника.

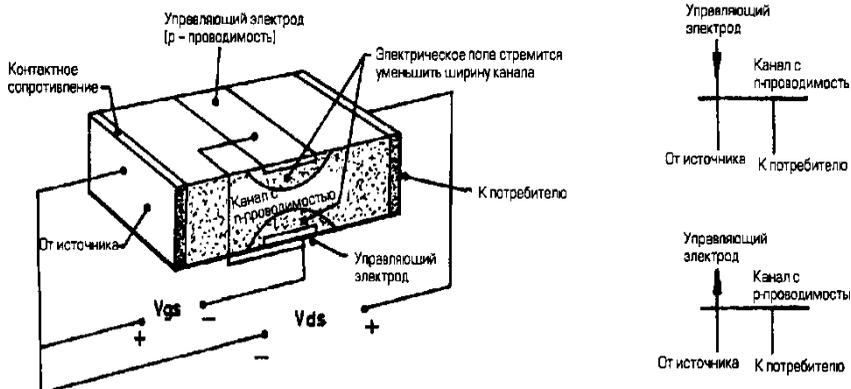


Рис. 1.1. Полевой транзистор

Условное обозначение полевого транзистора представлено на рис. 1.2, а.

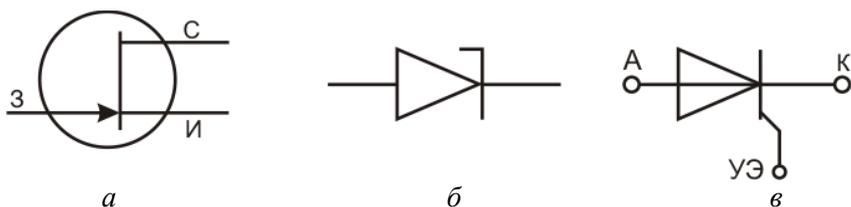


Рис. 1.2. Условные обозначения: а – полевого транзистора; б – стабилитрона; в – тиристора

Дальнейшее развитие полевых транзисторов привело к появлению металл-оксидных транзисторов, в которых вентиль отделен от n - или p -канала слоем изолятора.

Силовые металл-оксидные полевые транзисторы активно вытесняют обычные из автомобильного электрооборудования. На основе такой технологии производятся интегральные микросхемы.

В связи с тем, что металл-оксидные транзисторы управляются напряжением, т.е. требуют для управления ничтожно малой мощности, тепловыделение в них в десять раз ниже, чем в схемах с обычными транзисторами.

Это позволяет включить усилители мощности непосредственно в схему электронного блока управления автомобилем и его систе-

мами, что дает ряд преимуществ, в том числе – сокращение длины управляющих цепей.

Работы в области совершенствования металл-оксидных транзисторов привели к появлению саморегулирующихся силовых устройств. Эти устройства являются промежуточным звеном между электронной системой управления и исполнительным устройством.

Обычно исполнительные устройства представляют собой соленоиды и электродвигатели, управляемые с помощью реле. По сравнению с полупроводниковыми приборами, реле обладают низкой надежностью и не могут давать ответа на запрос об их собственном состоянии, или о состоянии нагрузки.

Идеальное управляющее устройство для автомобиля должно обладать малым сопротивлением «источник-потребитель», быть совместимым с логическими элементами, быть защищенными от перегрузок и давать информацию о своем состоянии. Наконец, выключаться должно только положительное напряжение, обратный провод разрываться не должен.

1.2. Тиристоры

Тиристор – это электронный выключатель. Он либо включен и пропускает достаточно большой ток, либо полностью выключен и тока не пропускает. Но, в отличие от механического выключателя, тиристор не имеет подвижных контактов и может управляться небольшим током, который подводится к управляющему электроду (рис. 1.2, в). Тиристор состоит из четырех слоев полупроводника *p-n-p-n*.

После того, как ток на управляющем электроде открыл тиристор, дальнейшее изменение управляющего тока не оказывает на тиристор никакого воздействия, и он постоянно будет находиться в открытом (проводящем) состоянии. Выключить тиристор можно лишь снизив почти до нуля напряжение анод–катод. Это свойство идеально подходит для управления конденсаторной системой зажигания и ряда других устройств электрооборудования автомобиля.

Если напряжение на аноде положительно по отношению к катоду, то для включения устройства требуется подать на управля-

ющий электрод импульс тока длительностью всего в несколько микросекунд.

В проводящем состоянии тиристор имеет примерно постоянное падение напряжения, примерно в 1 В, независимо от проходящего по нему тока.

Тиристор, пропускающий ток 10 А, требует для своего включения импульс тока силой примерно 60 мА при напряжении 3 В.

Тиристоры с цепями управления на полевых транзисторах (МСТ – MOS Controlled Thyristor) включаются и отключаются по цепи управления напряжением. Имеют широкий диапазон частот, токов и напряжений, перспективны для применения на электромотоциклах.

1.3. Стабилитроны

Стабилитрон, или диод Зенера, используется обычно для ограничения напряжения. Областью его применения являются стабилизаторы и ограничители пиковых значений напряжения.

Условное обозначение стабилитрона представлено на рис. 1.2, б.

При напряжении на диоде ниже некоторого порогового значения он имеет очень высокое сопротивление, так что его цепь можно считать практически разомкнутой. При достижении напряжением порогового значения наступает «пробой» диода и ток в нем лавинообразно возрастает, удерживая питающее напряжение практически на неизменном уровне.

При обычных условиях работы электрооборудования автомобиля источниками питания электронной аппаратуры служат параллельно соединенные генератор и аккумуляторная батарея. Последняя является мощным фильтром для низкочастотных помех и надежно защищает от них электронную аппаратуру. Однако в случае отключения по какой-либо причине аккумуляторной батареи от цепи питания электронной аппаратуры условия ее работы резко ухудшаются в результате появления в цепи питания значительных перенапряжений.

Значительные перенапряжения в цепях питания могут возникнуть не только при внезапном отключении аккумуляторной батареи, но и в тех случаях, когда двигатель работает с отключенной аккумуляторной батареей, а к бортовой сети подключен потреби-

тель электроэнергии с изменяющейся в значительных пределах силой тока нагрузки. Таким потребителем, например, являются приборы аварийной стояночной световой сигнализации, при работе которой происходит периодическое включение и выключение мощных сигнальных ламп, в результате чего сила тока нагрузки генератора практически скачкообразно изменяется на 15–20 А.

Для того чтобы предохранить электронную аппаратуру от воздействия указанных перенапряжений, применяют различные способы защиты. Одним из способов является подключение между положительным полюсом бортовой сети и массой автомобиля мощного стабилитрона с опорным напряжением на 4–6 В больше максимального напряжения бортовой сети. Иногда последовательно с таким стабилитроном включают токоограничивающий резистор с небольшим сопротивлением (около десятых долей ома). При таком подключении стабилитрона в период действия импульсов напряжения через него будут проходить короткие импульсы силы тока с амплитудой около нескольких ампер, а амплитуда импульсов напряжения будет снижаться до значения, равного опорному напряжению стабилитрона.

Еще одним способом защиты является использование токоограничивающих резисторов и стабилитронов для защиты только маломощных элементов аппаратуры управления (с малой силой потребляемого тока) в сочетании с установкой в силовых цепях аппаратуры коммутирующих устройств, имеющих высокое допустимое рабочее напряжение. При таком способе защиты в случае увеличения напряжения в бортовой сети выше заданного предела через токоограничивающий резистор в цепи питания маломощных элементов аппаратуры проходит ток увеличенной силы (вследствие автоматического включения стабилитрона). В результате резко возрастает падение напряжения в указанном токоограничивающем резисторе, что предохраняет маломощную аппаратуру от перенапряжений. Также успешно решается проблема сохранения работоспособности элементов силовой цепи, поскольку в настоящее время промышленность выпускает ряд моделей силовых транзисторов с высоким напряжением в сочетании с низким напряжением насыщения, необходимым для обеспечения высоких показателей электронной аппаратуры.

Стабилитроны также применяются в цифровых системах зажигания двигателей.

1.4. Логические элементы

Любые цифровые микросхемы строятся на основе простейших логических элементов:

«НЕ» – выполняет функцию инвертирования;

«И» – выполняет функцию логического умножения.

«ИЛИ» – выполняет функцию логического суммирования;

Рассмотрим принципы их работы подробнее.

1.4.1. Логический элемент «НЕ»

Простейшим логическим элементом является логический элемент «НЕ» (инвертор), который просто изменяет значение входного сигнала на прямо противоположное значение. Его логическая функция записывается в следующем виде:

$$F(x) = \bar{x},$$

где черта над входным значением и обозначает изменение его на противоположное.

В качестве инвертора можно использовать обычный транзисторный усилитель с транзистором, включенном по схеме с общим эмиттером или истоком. Его схема, выполненная на биполярном п-р-п транзисторе, приведена на рис. 1.3.

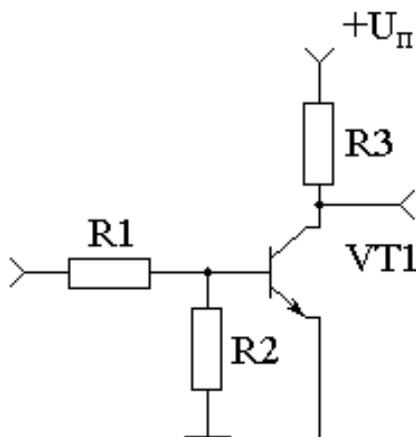


Рис. 1.3. Схема логического элемента «НЕ»

Схемы инверторов могут обладать различным временем распространения сигнала и могут работать на различные виды нагрузки. Они могут быть выполнены одним или на нескольких транзисторах, но, независимо от схемы и ее параметров, они осуществляют одну и ту же функцию. Для того, чтобы особенности включения транзисторов не затеняли выполняемую функцию, были введены специальные обозначения для цифровых микросхем – условно-графические обозначения. Условно-графическое обозначение инвертора приведено на рис. 1.4, *а*.

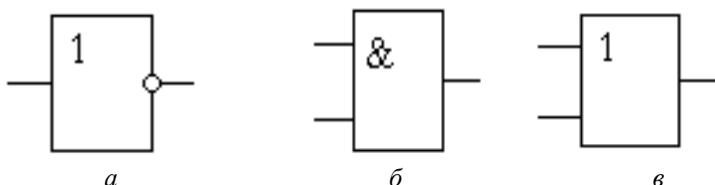


Рис. 1.4. Условно-графическое обозначение: *а* – элемента «НЕ», *б* – элемента «И», *в* – элемента «ИЛИ»

Инверторы присутствуют практически во всех сериях цифровых микросхем. В отечественных микросхемах инверторы обозначаются буквами ЛН. Например, в микросхеме 1533ЛН1 содержится 6 инверторов. В иностранных микросхемах для обозначения типа микросхемы используется цифровое обозначение. В качестве примера микросхемы, содержащей инверторы, можно назвать 74ALS04. В названии микросхемы отражается, что она совместима с ТТЛ микросхемами (74), произведена по технологии улучшенной малопотребляющей шоттки (ALS), содержит инверторы (04). В настоящее время чаще применяются микросхемы поверхностного монтажа, в которых содержится по одному инвертору. В качестве примера можно назвать микросхему SN74LVC1G04. Микросхема произведена фирмой Texas Instruments (SN), совместима с ТТЛ микросхемами (74) произведена по низковольтной КМОП технологии (LVC), содержит только один логический элемент (1G), им является инвертор (04).

1.4.2. Логический элемент «И»

Следующим простейшим логическим элементом является схема, реализующая операцию логического умножения «И» (рис. 1.4, *б*):

$$F(x_1, x_2) = x_1 \wedge x_2,$$

где символ \wedge и обозначает функцию логического умножения. Иногда эта же функция записывается в другом виде:

$$F(x_1, x_2) = x_1 \wedge x_2 = x_1 \cdot x_2 = x_1 \& x_2.$$

В формуле использовано два аргумента. Поэтому элемент, выполняющий эту функцию, имеет два входа. Исходя из формулы активный сигнал на выходе логического элемента «И» появляется только тогда, когда и на входе X и на входе Y будут присутствовать логические единицы.

Проще всего понять, как работает логический элемент «И», при помощи схемы, построенной на идеализированных ключах с электронным управлением, как это показано на рис. 1.5. В этой схеме ток будет протекать только тогда, когда оба ключа будут замкнуты, а значит, единичный уровень на выходе схемы появится только при двух логических единицах на входе.

Условно-графическое изображение схемы, выполняющей логическую функцию «И», на принципиальных схемах приведено на рис. 1.4, б, и с этого момента схемы, выполняющие функцию «И» будут приводиться именно в таком виде. Это изображение не зависит от конкретной принципиальной схемы устройства, реализующей функцию логического умножения.

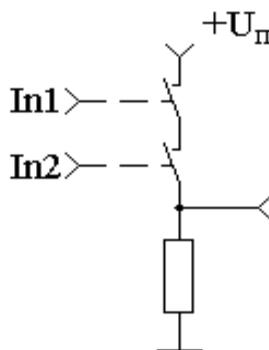


Рис. 1.5. Принципиальная схема логического элемента «И»

1.4.3. Логический элемент «ИЛИ»

Следующим простейшим логическим элементом является схема, реализующая операцию логического сложения «ИЛИ» (рис. 1.4, в):

$$F(x_1, x_2) = x_1 \vee x_2,$$

где символ \vee обозначает функцию логического сложения. Иногда эта же функция записывается в другом виде:

$$F(x_1, x_2) = x_1 \vee x_2 = x_1 + x_2 = x_1 / x_2.$$

В формуле, приведенной выше, использовано два аргумента. Поэтому логический элемент, выполняющий эту функцию, имеет два входа.

Как и в случае, рассмотренном для схемы логического умножения, воспользуемся для реализации схемы «ИЛИ» ключами. На

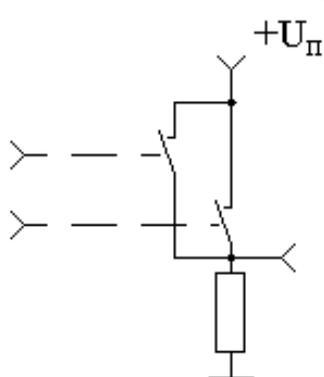


Рис. 1.6. Принципиальная схема логического элемента «ИЛИ»

этот раз соединим ключи параллельно. Схема приведена на рис. 1.6. Как видно из приведенной схемы, уровень логической единицы появится на ее выходе, как только будет замкнут любой из ключей.

Так как функция логического суммирования может быть реализована различными принципиальными схемами, то для обозначения этой функции на принципиальных схемах используется специальный символ «1», как это приведено на рис. 1.4, в.

Логические элементы подразделяются и по типу использованных в них электронных элементов. Наибольшее применение в настоящее время находят следующие логические элементы:

- РТЛ (резисторно-транзисторная логика);
- ДТЛ (диодно-транзисторная логика);
- ТТЛ (транзисторно-транзисторная логика).

На логических элементах реализованы современные компоненты автомобильной электроники, такие как, компараторы, мульти-вибраторы, аналого-цифровые преобразователи, мультиплексоры, дешифраторы и другие компоненты.

1.5. Компараторы

Компаратор сравнивает два напряжения, приложенных к его входам. Одно из напряжений называется опорным – с ним сравнивается второе напряжение. В зависимости от того, какое напряжение больше на выходе компаратора, получается логический «0» или «1».

Таким образом компаратор имеет два входа – один вход для подачи измеряемого напряжения, другой для подачи опорного напряжения. Опорное напряжение обычно является постоянным, в то время как измеряемое напряжение может быть переменным. Для повышения точности сравнения опорное напряжение должно быть сформировано из напряжения стабилизированного источника питания с высоким коэффициентом стабилизации. Основной технической характеристикой компаратора является его быстродействие, выражаемое в задержке появления выходного сигнала при подаче измеряемого и опорного напряжений. Для определения факторов, влияющих на быстродействие компаратора, рассмотрим его возможную внутреннюю структуру (рис. 1.7).

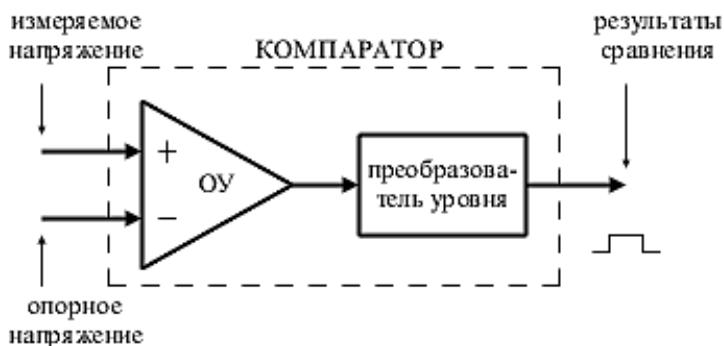


Рис. 1.7. Внутренняя структура компаратора

Основным элементом компаратора по предложенной структуре является операционный усилитель (ОУ) с большим коэффициентом усиления. Коэффициент усиления, в основном, и определяет быстродействие компаратора. Также быстродействие компаратора зависит от характеристики ОУ, определяемой как время нарастания выходного напряжения (измеряется в вольтах на микросекунду). Этот фактор практически полностью зависит от технологического процесса изготовления ОУ и использованных в нем материалов. Каким образом коэффициент усиления ОУ компаратора влияет на быстродействие компаратора? Для этого рассмотрим сначала структуру и работу ОУ (рис. 1.8).

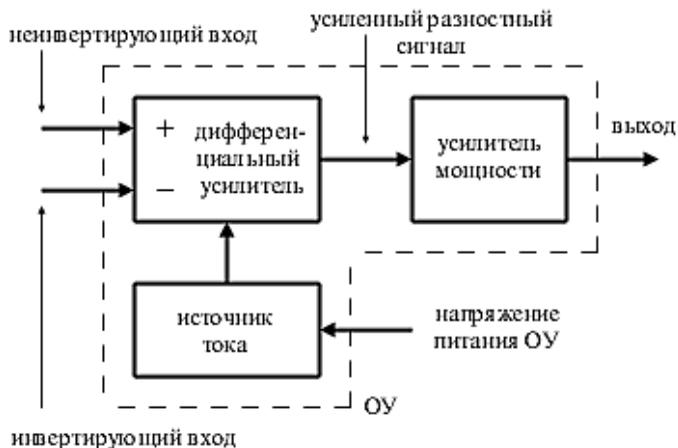


Рис. 1.8. Внутренняя структура операционного усилителя

Как видно из схемы, ОУ состоит из дифференциального усилителя, усилителя мощности и источника тока для дифференциального усилителя. ОУ имеет два входа – инвертирующий и неинвертирующий. Сигналы с этих входов подаются на дифференциальный усилитель (ДУ). ДУ усиливает разностный сигнал, т. е. сигнал, получаемый вычитанием из сигнала на неинвертирующем входе сигнала на инвертирующем входе. Для питания эмиттерных цепей ДУ служит источник тока, который преобразует напряжение питания ОУ в ток постоянного значения (т. е. в идеале при подключении к источнику тока нагрузки с любым активным сопротивлением, ток через нагрузку будет всегда иметь одно и то же значение). Усиленный ДУ разностный сигнал поступает на усилитель мощности, где сигнал усиливается по амплитуде. Также, усилитель мощности согласует выход ОУ с подключенной к ОУ нагрузкой.

Напряжение на выходе ОУ всегда на определенное значение меньше напряжения питания. Например, питание ОУ двуполярное $\pm 15\text{В}$. Тогда напряжение на выходе ОУ никогда не превышает, скажем, $\pm 12\text{В}$. Если теперь разностное напряжение превысит максимальное выходное напряжение ОУ, то усиления разностного напряжения происходить не будет – выходные каскады усилителя мощности войдут в состояние насыщения, и дальнейшее повышение разностного напряжения не приведет к изменению выходного напряжения.

Точность и быстродействие компаратора зависят, главным образом, от коэффициента усиления ОУ. Если рассматривать идеальный ОУ, то его коэффициент усиления равен бесконечности, а компаратор, собранный на таком ОУ, обладает бесконечно высоким быстродействием.

Быстродействие компаратора также ограничивается полосой пропускания его внутренних схем. Так как идеальный прямоугольный импульс (нарастание выходного напряжения ОУ от 0 до максимума за бесконечно малое время) имеет бесконечный спектр, а полоса пропускания внутренних схем компаратора ограничена, фронты прямоугольного импульса сглаживаются, снижая быстродействие компаратора.

Возвращаясь к структуре компаратора, можно отметить, что преобразователь уровня выполняет следующие основные функции:

- игнорирует отрицательное напряжение на выходе ОУ, приравнивая его к 0;
- преобразует максимальное положительное напряжение на выходе ОУ к напряжению логической 1 используемого типа логики;
- обеспечивает на выходе компаратора требуемый коэффициент разветвления по выходу.

В цифровых спидометрах применяются компараторы на основе логических элементов, охваченных обратной связью – Триггер Шмитта (рис. 1.9). По своей сути, Триггер Шмитта – это формирователь прямоугольных импульсов.

Приведенная выше схема компаратора имеет существенный недостаток: любая помеха, наведенная на входную цепь, может вызвать переключение компаратора. Триггер Шмитта обеспечивает более высокую помехоустойчивость системы благодаря наличию положительной обратной связи через резистор R3, которая немного повышает порог включения и немного уменьшает порог выключения компаратора.

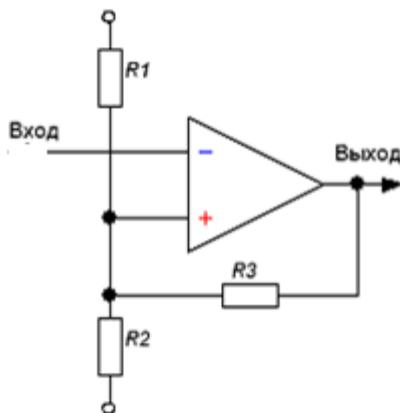


Рис. 1.9. Триггер Шмитта

1.6. Одновибраторы и мультивибраторы

Для работы сложных логических устройств, например аналого-цифровых преобразователей, требуются различные генераторы импульсов. Основными видами таких генераторов являются одновибраторы и мультивибраторы. Одновибратор – это устройство, генерирующее один импульс по положительному или отрицательному перепаду входного сигнала. Главное достоинство одновибраторов, собранных на логических элементах «И-НЕ», «ИЛИ-НЕ», – простота. Стабильность длительности выходного импульса по напряжению питания и температуре окружающей среды у этих устройств невелика. Кроме того, длительность выходных импульсов для разных экземпляров однотипных микросхем будет неодинаковой, поскольку их параметры могут отличаться от среднего значения.

Одновибраторы вырабатывают одиночные импульсы определенной длительности. Рассмотрим схему, приведенную на рис. 1.10.

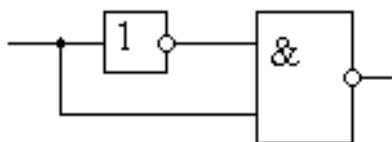


Рис. 1.10. Схема одновибратора (ждущего мультивибратора)

Если бы логические элементы не обладали задержкой, то на выходе такой схемы постоянно присутствовал единичный логический уровень. Однако это не так. Сигнал на выходе инвертора задержан по отношению к его входу. Временные диаграммы сигналов на входе и выходе инвертора, а также на выходе схемы логического элемента «И» приведены на рис. 1.11.

Как видно из этих временных диаграмм, одновибратор, схема которого приведена на рис. 1.10, вырабатывает одиночный импульс по переднему фронту входного сигнала. Длительность импульса на выходе такой схемы будет равна времени задержки инвертора.

Стандартная микросхема под названием «мультивибратор» широко применяется в различных устройствах автомобилей. Например, мультивибраторы применяются в устройствах управления режимом работы стеклоочистителя в качестве регулятора частоты циклов работы, в прерывателях указателей поворота, в цифровых частотомерах в качестве формирователя импульсов.

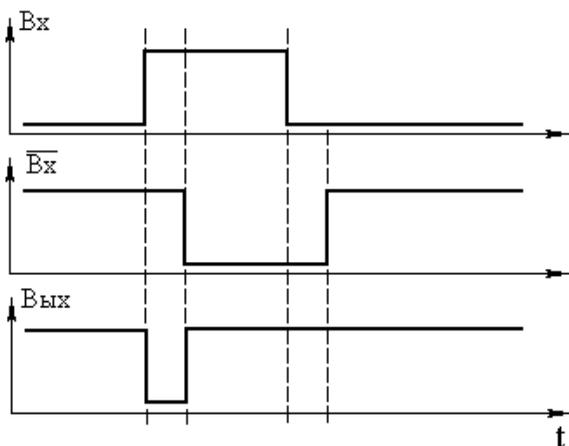


Рис. 1.11. Временные диаграммы одновибратора

Если входы двух схем задержек на основе дифференцирующей RC-цепи и логического элемента замкнуть с выходами друг друга, то получится схема автоколебательного мультивибратора или просто мультивибратора (рис. 1.12), задача которого генерировать последовательность прямоугольных импульсов определенной длительности. В данной схеме можно выделить две схемы задержки: первая – на элементах ЛЭ1, R1 и C1, вторая – на элементах ЛЭ2, R2 и C2. Такая схема относится к классу релаксационных генераторов.

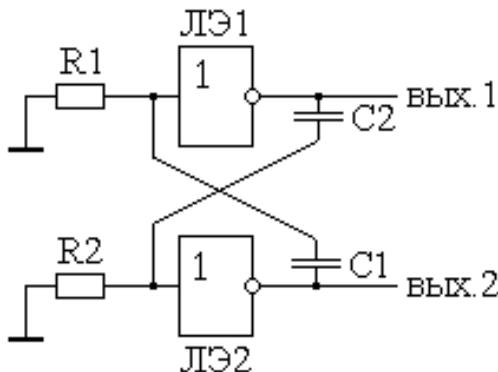


Рис. 1.12. Схема мультивибратора на двух логических элементах (ЛЭ) и дифференцирующих цепях

Особенностью мультивибратора является то, что, хотя каждая из образующих его схем задержек имеет устойчивое состояние, целиком вся схема устойчивого состояния не имеет. Таким образом, логическая единица с выхода одного элемента (ЛЭ1) переключает другой элемент (ЛЭ2) в противоположное состояние. Тот, в свою очередь, меняет на противоположное состояние первого элемента (ЛЭ1) и т.д., т.е. возникает колебательный процесс, незатухающий за счет наличия источника питания и активных элементов ЛЭ1 и ЛЭ2.

1.7. Преобразователь «напряжение–частота»

Преобразователи «напряжение–частота» (ПНЧ) лежат в основе многих цифровых приборов, таких как частотомеры, вольтметры и т.д. Действительно, после преобразования напряжения в частоту следования импульсов нужно сосчитать количество этих импульсов в единицу времени и, умножив на коэффициент преобразования, вывести результат на индикаторы. Существуют специальные схемы ГУН – генераторы, управляемые напряжением, для преобразования напряжение–частота. Рассмотрим один из вариантов реализации преобразователя, показанный на рис. 1.13.

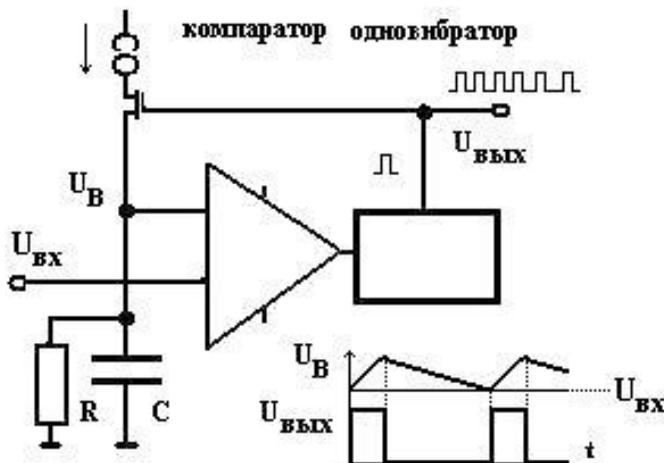


Рис. 1.13. Структурная схема преобразователя «напряжение–частота»

Операционный усилитель в данной схеме выполняет функцию компаратора, который сравнивает входной сигнал с напряжением U_B на конденсаторе C . Если $U_{ВХ} > U_B$, то компаратор запускает одновибратор, который выдает прямоугольный импульс определенной длительности. Этот импульс поступает на ключ, и начинается зарядка конденсатора C от генератора тока (на рисунке – это двойной кружок). После закрытия ключа, конденсатор разряжается через резистор R до напряжения $U_{ВХ}$. Когда напряжение U_B станет меньше входного, компаратор опять запускает одновибратор и на выход поступает импульс. Вышеописанная обратная связь позволяет поддерживать равенство $U_{ВХ} = U_B$, при этом время разряда конденсатора пропорционально входному напряжению. Таким образом, частота следования импульсов на выходе пропорциональна напряжению на входе.

В электронных блоках управления системами автомобиля преобразователь «напряжение–частота» применяется в схемах обработки входных сигналов от датчиков.

1.8. Преобразователь «частота–напряжение»

Преобразователи «частота–напряжение» (ПЧН) являются компонентами электронных устройств автоматического управления двигателем, трансмиссией и другими системами автомобиля (рис. 1.14). Они применяются в схемах обработки входных сигналов от датчиков, например сигнала датчика скорости и положения коленчатого вала двигателя.

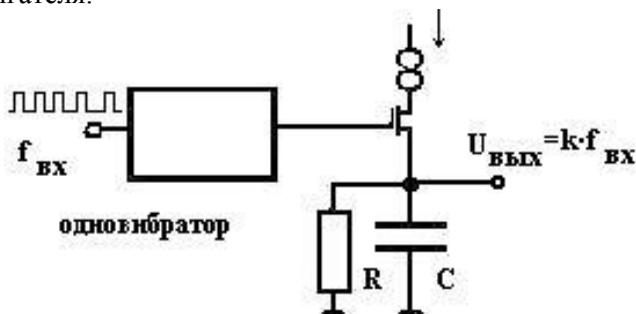


Рис. 1.14. Структурная схема преобразователя «частота–напряжение»

В этом преобразователе частота следования входных импульсов $f_{вх}$ определяет значение напряжения на выходе микросхемы $U_{вых}$. По переднему фронту входного импульса мультивибратор вырабатывает прямоугольный импульс фиксированной длительности, который замыкает ключ. При этом начинается зарядка конденсатора C от генератора постоянного тока. Чем чаще поступают импульсы, тем выше будет потенциал на выходе схемы. Так как между импульсами конденсатор разряжается через резистор, то потенциал на выходе может не только расти, но и падать, следуя за частотой входных импульсов.

1.9. Аналого-цифровые преобразователи

Аналого-цифровые преобразователи (АЦП) служат для преобразования аналогового сигнала в цифровой двоичный код. Они применяются на автомобилях в электронных блоках управления, в датчиках, в сетевых контроллерах и т. д.

Структурная схема АЦП представлена на рис. 1.15.



Рис. 1.15. Структурная схема АЦП

Последовательность работы АЦП поясняется временными диаграммами (рис. 1.16). При подаче на вход АЦП измеряемого

напряжения по сигналу с устройства управления показания счетчика и цифро-отсчетного устройства (ЦОУ) сбрасываются, а генератор линейно-изменяющегося напряжения (ГЛИН) начинает формировать пилообразное напряжение. В это же время на выходе компаратора начинается формироваться импульс. При поступлении этого импульса на временной селектор последний открывается и пропускает на вход счетчика импульсы с генератора счетных импульсов. При достижении равенства напряжения ГЛИН и измеряемого напряжения формирование импульса на выходе компаратора прекращается, схема «И» закрывается, и счет импульсов прекращается. В результате счетчик регистрирует некоторое число импульсов N за интервал времени, а ЦОУ отображает соответствующее ему число. В дальнейшем рассмотренная процедура работы продолжается.

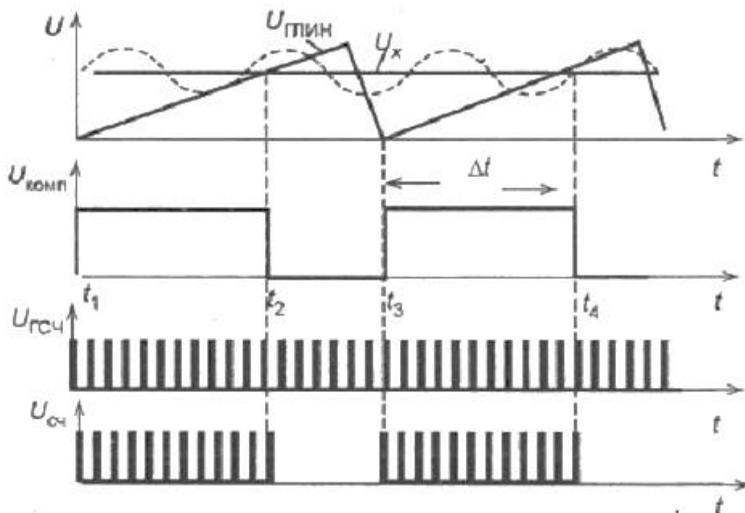


Рис. 1.16. Временные диаграммы работы АЦП

Цифро-аналоговые преобразователи – это устройства в функциональном отношении обратные аналого-цифровым преобразователям.

1.10. Дешифраторы

В состав электронных блоков управления системами автомобиля входят дешифраторы, служащие для декодирования сигналов, поступающих с различных электронных устройств автомобиля.

Дешифраторы – это комбинационные схемы с несколькими входами и выходами, преобразующие код, подаваемый на входы в сигнал на одном из выходов. На одном выходе дешифратора появляется логическая единица, а на остальных – логические нули, когда на входных шинах устанавливается двоичный код определенного числа или символа, то есть дешифратор расшифровывает число в двоичном, троичном или k -ичном коде, представляя его логической единицей на определенном выходе. Число входов дешифратора равно количеству разрядов поступающих двоичных, троичных или k -ичных чисел. Число выходов равно полному количеству различных двоичных, троичных или k -ичных чисел этой разрядности. При числе входов «полного» дешифратора n количество выходов составляет 2^n , иначе дешифратор называется «неполным». В качестве примера «неполного» дешифратора можно привести дешифратор двоично-десятичных чисел. При подаче на вход дешифратора двоично-десятичных чисел параллельного двоичного кода на выходе дешифратора появится сигнал на том выходе, номер которого соответствует десятичному эквиваленту двоичного кода.

Рассмотрим пример построения декодера из двоичного кода в десятичный. Десятичный код обычно отображается одним битом на одну десятичную цифру. В десятичном коде десять цифр, поэтому для отображения одного десятичного разряда требуется десять выходов дешифратора. Сигнал с этих выводов можно подать на десятичный индикатор. В простейшем случае над светодиодом можно просто подписать индицируемую цифру. Таблица истинности такого декодера приведена в табл. 1.1.

Условно-графическое обозначение микросхемы двоично-десятичного дешифратора приведено на рис. 1.17, *a*.

Дешифраторы выпускаются в виде отдельных микросхем или используются в составе других микросхем. В настоящее время десятичные или восьмеричные дешифраторы используются в основном как составная часть других микросхем, таких как мультиплексоры.

Таблица 1.1. Таблица истинности двоично-десятичного дешифратора

| Входы | | | | Выходы | | | | | | | | | |
|-------|---|---|---|--------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 8 | 4 | 2 | 1 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |

Таблица 1.2. Таблица истинности семисегментного дешифратора

| Входы | | | | Выходы | | | | | | |
|-------|---|---|---|--------|---|---|---|---|---|---|
| 8 | 4 | 2 | 1 | a | b | c | d | e | f | g |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |

Ряд дешифраторов имеют двойное назначение и могут быть использованы в качестве дешифраторов, а также демультиплексов.

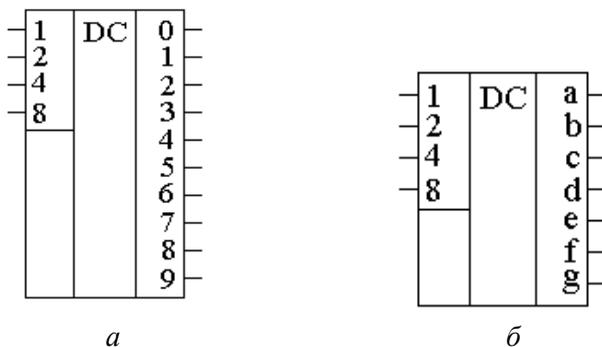


Рис. 1.17. Словно-графическое обозначение: а – двоично-десятичного дешифратора; б – семисегментного дешифратора

Для отображения десятичных и шестнадцатеричных цифр в дисплеях современных автомобилей часто используется семисегментный индикатор. Изображение семисегментного индикатора и название его сегментов приведено на рис. 1.18.

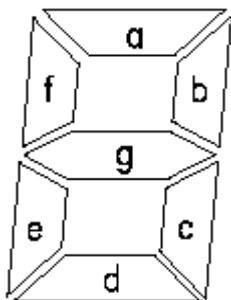


Рис. 1.18. Изображение семисегментного индикатора и название его сегментов

Для изображения цифры 1 на таком индикаторе зажигают сегменты b и c. Точно таким же образом можно получить изображения всех остальных десятичных или шестнадцатеричных цифр. Все комбинации таких изображений получили название семисегментного кода, а устройство для преобразования двоичного кода в семисегментный называется семисегментным дешифратором.

Условно-графическое обозначение микросхемы семисегментного дешифратора приведено на рис. 1.17, б.

Пусть сегменты зажигаются нулевым потенциалом. Тогда таблица истинности семисегментного дешифратора примет вид, приведенный в табл. 1.2. Конкретное значение сигналов на выходе дешифратора зависит от схемы подключения сегментов индикатора к выходу микросхемы. На рис. 1.19 приведена принципиальная схема семисегментного дешифратора.

В настоящее время семисегментные дешифраторы выпускаются в виде отдельных микросхем или используются в виде готовых блоков составе других микросхем.

В качестве примера семисегментных дешифраторов можно назвать такие микросхемы отечественного производства, как К176ИД3. В современных цифровых схемах семисегментные дешифраторы обычно входят в состав больших интегральных схем.

В настоящее время имеется тенденция замены автомобильных светодиодных индикаторов на жидкокристаллические, которые подсвечиваются для облегчения чтения. Жидкокристаллические дисплеи потребляют небольшую мощность, но нуждаются во внешних источниках освещения.

Шифраторы – это устройства, в функциональном отношении противоположные дешифраторам.

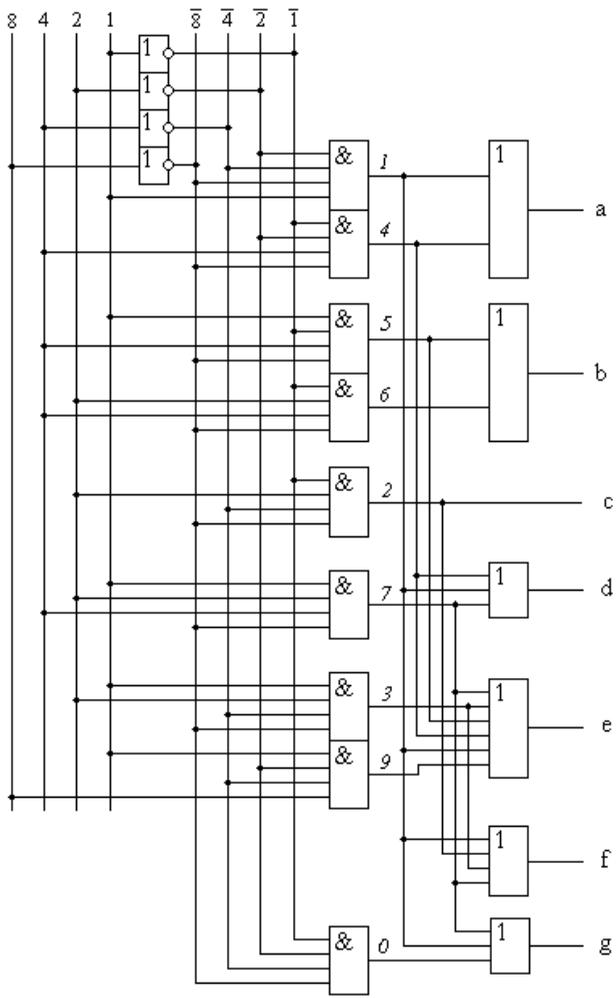


Рис. 1.19. Принципиальная схема семисегментного дешифратора.

1.11. Мультиплексоры

Мультиплексор – это электронное устройство, которое позволяет передать сигнал с одного из нескольких информационных

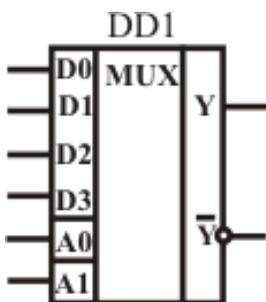


Рис. 1.20. Условное обозначение мультиплексора

входов на выход, при этом выбор желаемого входа осуществляется подачей соответствующей комбинации управляющих сигналов на адресные входы (рис. 1.20) .

На рис. 1.20 входы D0-D3 являются информационными входами; входы A0-A1 – адресными. На адресные входы подается двоичный код, от которого зависит, какой из входов D0-D3 будет подключен к выходу, на рис. 1.20 обозначенному как Y. Для более полного понимания процесса приведем таблицу истинности мультиплексора (табл. 1.3).

Таблица 1.3. Таблица истинности мультиплексора

| A1 | A0 | Y |
|----|----|----|
| 0 | 0 | D0 |
| 0 | 1 | D1 |
| 1 | 0 | D2 |
| 1 | 1 | D3 |

Между числом информационных выходов n и числом адресных входов m действует соотношение:

$$n = 2^m.$$

В качестве управляющей схемы для адресных входов обычно используется дешифратор. В цифровых мультиплексорах логические элементы коммутатора и дешифратора обычно объединяются.

Демльтиплексор – это устройство, противоположное мультиплексору по своей функции.

2. ЭЛЕКТРОННЫЕ БЛОКИ УПРАВЛЕНИЯ

По сути, электронный блок управления «ЭБУ», он же Powertrain Control Module (PCM) – специализированный миникомпьютер (контроллер), в котором установлена программа управления какой-либо системой автомобиля (двигатель, автоматическая коробкой передач, система ABS), а датчики и исполнительные устройства – периферийное оборудование этого компьютера. Электронный блок управления получает и анализирует сигналы датчиков. На основе полученных данных блок управления рассчитывает управляющие команды и выдает их на исполнительные устройства.

В табл. 2.1 приведены марки ЭБУ, применяемых в настоящее время на отечественных автомобилях ВАЗ и ГАЗ.

Таблица 2.1. Электронные блоки управления, применяемые на автомобилях ВАЗ и ГАЗ.

| Марка ЭБУ | Производитель | Процессор | Взаимозаменяемость |
|---------------|-----------------------------|------------------------------|---|
| «Январь 7.2.» | НПП «ИТЭЛМА» НПО «АВТЭЛ» | Siemens Infenion C-509 | Bosch M7.9.7 |
| M7.9.7 | BOSCH | Siemens Infenion B59 759, | «Январь 7.2.» |
| M 7.3 | НПП «ИТЭЛМА» НПО «АВТЭЛ» | SGS Thomson ST10F273 | «Январь 7.2. +» (с некоторыми ограничениями) |
| МИКАС 11 | НПП «ИТЭЛМА» НПО «АВТЭЛ» | SGS-Thomson ST10F273 | – |
| МИКАС 12 | НПП «Элкар» НПП «ИТЭЛМА» | SGS Thomson ST10F273 | – |

Идентификационный номер ЭБУ состоит из нескольких цифр, например:

2111 – 1411020 – 61,

где 2111 – тип двигателя (8-клапанный двигатель, 1,5 литра);

1411020 – соответствие определенным стандартам;

6 – тип впрыска (попарно-параллельный впрыск, лямбда-зонд, Евро-2);

1 – тип ЭБУ («Январь 5.1»).

Идентификатор прошивки ЭБУ (программное обеспечение) указывается на корпусе ЭБУ, например: I203ЕК34, V102CQ09, A317DB04.

Первый знак: буква – это код завода-производителя:

I – Итэлма;

B – Bosch;

A – Автэл.

Второй знак: цифра – модель контроллера:

1 – M7.9.7;

2 – Январь 7.2;

3 – M7.3.

Следующие три знака (цифро-буквенный код) – условное обозначение проекта по внутренней ВАЗовской классификации, (например: 02С – проект 11183 (тип двигателя), Евро III)

Шестой знак: буква – версия программного обеспечения (ПО).

Последние два знака: 2 цифры – номер калибровки.

Расшифровка: B102CQ09 – Bosch, M7.9.7, проект 02С, версия ПО – «Q», номер калибровок 09.

Некоторые электронные блоки управления от разных производителей являются взаимозаменяемыми в случае их перепрограммирования.

В своей работе электронный блок управления двигателем взаимодействует с блоками управления автоматической коробкой передач, системой ABS (VDC), электроусилителя руля, подушками безопасности и др. Взаимодействие осуществляется с помощью мультиплексной электропроводки с использованием протокола CAN или других протоколов.

Электронный блок управления двигателем имеет встроенную систему диагностики. Он может распознавать неполадки в работе системы, предупреждая о них водителя через контрольную лампу «CHECK ENGINE». Кроме того, он хранит в оперативной памяти диагностические коды, указывающие области неисправности, чтобы помочь специалистам в проведении ремонта. Информацию о неполадках в работе системы впрыска можно получить через колодку диагностики, к которой подключается специальный диагностический прибор.

При покупке ЭБУ нужно знать марку автомобиля, год выпуска, объем двигателя и код производителя, обозначенный на блоке.

Многие блоки после подключения требуют дополнительной настройки под параметры данного автомобиля. Для каждого автомобиля этот процесс индивидуален и полностью описан в ин-

струкции по сервисному обслуживанию. Процедура перепрограммирования блоков – чип-тюнинг может быть выполнена только на авторизованных сервис центрах.

Основными причинами выхода из строя ЭБУ являются:

- повышенное напряжение, вызванное, например, коротким замыканием;

- воздействие внешних факторов, таких как вибрация, коррозия, удар, попадание воды, грязи в корпус ЭБУ.

Немало современных ЭБУ, продаваемых на рынках и в магазинах, это бывшие в употреблении блоки, которые были восстановлены на заводе, поскольку восстановление ЭБУ дешевле, чем производство новых.

Электронный блок управления может содержать несколько аналогово-цифровых преобразователей или получать сигналы от датчиков в цифровой форме, если датчики выполнены в интегральном исполнении.

Основным компонентом электронных блоков управления системами автомобиля являются 8-разрядные, 16-разрядные или 32-разрядные микропроцессоры.

Электронные блоки управления имеют несколько типов памяти. Основные из них следующие: оперативное запоминающее устройство (RAM), постоянные запоминающие устройства (ПЗУ) различного типа: ROM, EPROM, EEPROM, Flash-память.

RAM – оперативное запоминающее устройство (ОЗУ). Коды обнаруженных неисправностей автомобиля ЭБУ записывает в оперативную память. Там же хранится оперативная информация, которую микропроцессор ЭБУ использует при расчетах. При отключении аккумуляторной батареи от бортовой сети автомобиля вся информация, хранящаяся в оперативной памяти, будет утеряна.

ROM – память энергонезависимая (то есть информация в памяти сохраняется при отключении питания). В ней хранится программа вычислений и необходимые для расчета данные (параметры двигателя автомобиля, передаточные отношения трансмиссии и другие характеристики). В процессе работы ЭБУ контролирует исправность всех элементов и цепей системы управления двигателем. Обнаружив неисправность, ЭБУ переводит систему управления двигателем на резервный режим работы и включает контрольную лампу неисправности двигателя. Двигатель на автомобиле при

этом сможет продолжить работу (кроме случая неисправности датчика положения коленчатого вала), что позволяет доехать до места ремонта своим ходом.

EPROM – программируемая постоянная память. Она содержит различную калибровочную информацию по автомобилю. Она может быть встроена в микросхему или находиться в отдельном модуле – в запоминающем устройстве калибровок, которое может отсоединяться от блока управления.

Запоминающее устройство калибровок применяется для того, чтобы одну модель блока управления можно было устанавливать на различных моделях автомобилей. Запоминающее устройство калибровок расположено внутри блока управления под крышкой с нижней стороны и содержит информацию о массе автомобиля, двигателе, трансмиссии, главной передаче и некоторые другие данные. Если сам блок управления (без запоминающего устройства) может применяться на различных автомобилях, то запоминающее устройство калибровок специфично для каждой модели автомобиля. Поэтому при замене блока управления, запоминающее устройство калибровок должно соответствовать конкретной модели автомобиля.

EEPROM (Electrically Erasable Programmable Memory – электрически стираемая программируемая память) можно считать новым поколением EPROM памяти. В такой памяти ячейка стирается не ультрафиолетовым светом, а путем электрического соединения плавающего затвора с «землей». Использование EEPROM позволяет стирать и программировать микроконтроллер, не снимая его с платы. Таким способом можно периодически обновлять его программное обеспечение.

Память EEPROM более дорогая, чем EPROM (в два раза дороже EPROM с однократным программированием). EEPROM работает немного медленнее, чем EPROM.

Основное преимущество использования памяти EEPROM заключается в возможности ее многократного перепрограммирования без удаления из платы. Это дает огромный выигрыш на начальных этапах разработки систем на базе микроконтроллеров или в процессе их изучения, когда масса времени уходит на многократный поиск причин неработоспособности системы и выпол-

нение последующих циклов стирания-программирования памяти программ.

Flash-память функционально мало отличается от EEPROM. Основное различие состоит в способе стирания записанной информации. В памяти EEPROM стирание производится отдельно для каждой ячейки, а во Flash-памяти стирание осуществляется целыми блоками. Если необходимо изменить содержимое одной ячейки Flash-памяти, то потребуется перепрограммировать целый блок (или всю микросхему). В микроконтроллерах с памятью EEPROM можно изменять отдельные участки программы без необходимости перепрограммировать все устройство.

Часто указывается, что микроконтроллер имеет Flash-память, хотя на самом деле он содержит EEPROM. В настоящее время между этими типами памяти имеется мало различий, поэтому некоторые производители используют эти термины как эквивалентные.

На рис. 2.1 представлена структурная схема электронного блока управления двигателем. В схему обработки входных сигналов датчиков входят аналого-цифровые преобразователи, преобразователи «частота–напряжение», мультиплексоры, таймер, часы реального времени и т.д. В схему формирователей выходных сигналов входят: цифро-аналоговые преобразователи, дешифраторы, драйверы дисплеев, выходные мощные ключи (усилители команд), де-мультиплексоры и т.д.

Преобразование различных сигналов в требуемый их вид (цифровой код) для последующей обработки центральным процессором (ЦП) выполняют предварительные устройства, к которым можно отнести аналого-цифровые преобразователи (АЦП), преобразователи частоты в напряжение (ПЧН). АЦП применяют для преобразования непрерывного линейного сигнала датчиков температуры, давления, напряжения в цифровой код. Преобразование частот вращения валов в код может происходить как через промежуточный ПЧН с последующим преобразованием напряжения в код, так и путем непосредственного преобразования частоты в код. Сигналы терминального устройства уже, как правило, имеют необходимую для обработки процессором структуру и поэтому дальнейшего преобразования не требуют.

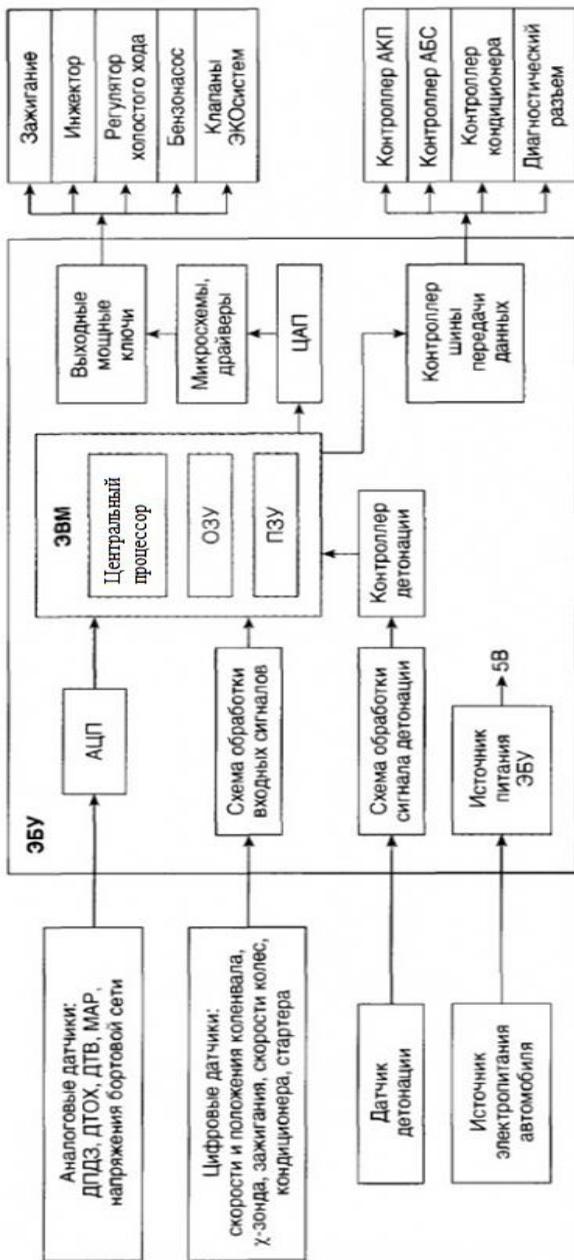


Рис. 2.1. Структурная схема электронного блока управления (ЭБУ) двигателем: ДПДЗ – датчик положения дроссельной заслонки, ДТОХ – датчик температуры охлаждающей жидкости, ДТВ – датчик температуры воздуха, МАР – датчик абсолютного давления

Все сигналы от внешних источников, преобразованные к единому виду, поступают на интерфейс ввода-вывода, который может входить в состав микросхемы процессора или выполняться в виде отдельных элементов. Устройство ввода-вывода обеспечивает совместную работу ЦП и всех других устройств системы, являющихся по отношению к ЦП внешними. Причем в случае большого объема информации таких схем интерфейса может быть несколько.

В зависимости от вырабатываемого ЦП сигнала на шине управления и кода на шине адреса в работу с ним включается то или иное устройство микропроцессорной системы. Например, когда ЦП выдает на шину адреса код, требуемый для активизации соответствующего канала интерфейса, а на шину управления подает сигнал ввода, информация от данного канала интерфейса поступает в ЦП для последующей обработки.

В случае необходимости аналогичным образом осуществляется подача команд на обмен информации между ЦП и другими элементами микропроцессорной системы. При этом для работы с запоминающими устройствами ЦП выдает на адресную шину адрес ячейки памяти, а на шину управления команду «чтение» или «запись».

Работа с внешними устройствами выполняется либо по методу периодического опроса их состояния, либо посредством организации системы прерываний от них.

Для того чтобы центральный процессор оперативно реагировал на различные отклонения двигателя от нормальной работы, в ней используется система прерываний, позволяющая прерывать работу ЦП в любой момент времени для немедленной обработки некоторого поступившего запроса, или постановки его в очередь; после обработки запроса ЦП возвращается к выполнению основной программы.

Для обеспечения работы микропроцессорной системы управления в реальном масштабе времени, т. е. с выдачей необходимых команд в определенные периоды времени, в ее состав вводят таймер, который обычно выполняют в виде отдельной интегральной микросхемы. Получив управляющую команду (управляющее слово), таймер формирует определенную последовательность временных сигналов. К числу таких, например, относятся деление

тактовой частоты, формирование единичных импульсов (режим одновибратора), а также различных комбинаций импульсов. Сигналы от таймера наряду с сигналами от других внешних устройств поступают в ЦП, где в соответствии с заложенными алгоритмами происходят все необходимые преобразования и вычисления и выдается решение. Таким решением может быть, например, номер включаемой передачи, требование выключения сцепления, степень открытия дроссельной заслонки.

Для работы ЦП постоянно требуются дополнительные сведения, различные константы, а также необходимо временное хранение промежуточной информации. Эти данные ЦП получает от запоминающих устройств системы. Для приема, хранения и выдачи всевозможных промежуточных данных, а также сведений о текущем состоянии элементов, т. е. всей той информации, которая изменяется в процессе работы микропроцессорной системы управления, используется оперативное запоминающее устройство (ОЗУ).

Для хранения информации, которая не изменяется при работе микропроцессора, а также записи алгоритма функционирования системы применяются постоянные запоминающие устройства (ПЗУ) различного типа (см. выше).

Для связи между выходами микропроцессора и исполнительными устройствами системы управления используются усилители сигналов или коммутационные элементы (выходные мощные ключи).

3. ТОПЛИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

В качестве альтернативных источников питания для современных автомобилей могут применяться топливные элементы. Основными причинами, сдерживающими их применение на автомобилях, являются их высокая цена и значительные габариты.

Топливный элемент – это электрохимический генератор, обеспечивающий прямое преобразование химической энергии в электрическую. Хотя то же самое происходит в электрических аккумуляторах, топливные элементы имеют два важных отличия:

1) они функционируют до тех пор, пока топливо и окислитель поступают из внешнего источника;

2) химический состав электролита в процессе работы не изменяется, т.е. топливный элемент не нуждается в перезарядке.

Самым простым по своему устройству является топливный элемент с ионообменной мембраной (рис. 3.1). Работает он следующим образом: попадающий в элемент водород разлагается под действием катализатора на электроны и положительно заряженные ионы водорода H^+ . Затем в действие вступает специальная мембрана, исполняющая здесь роль электролита в обычной батарее. В силу своего химического состава она пропускает через себя протоны, но задерживает электроны. Таким образом, скопившиеся на аноде электроны создают избыточный отрицательный заряд, а ионы водорода создают положительный заряд на катоде (напряжение на элементе получается порядка 1В). Для создания большой мощ-

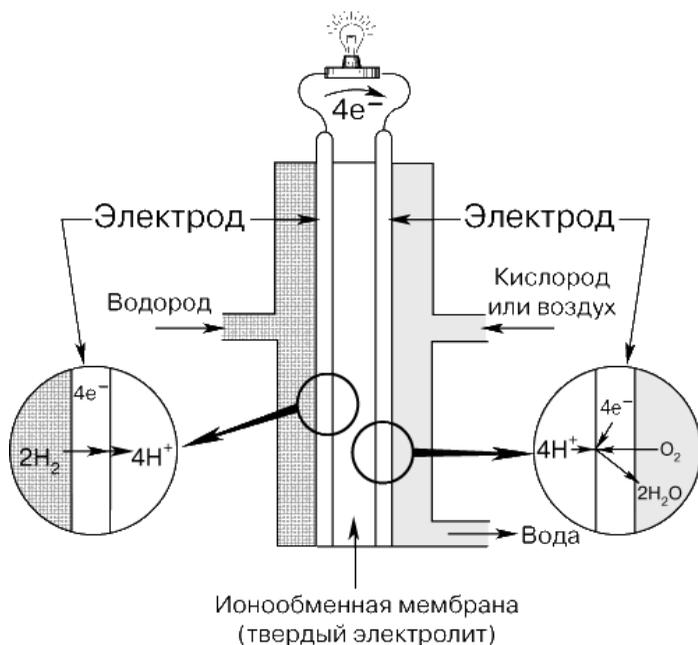


Рис. 3.1. Топливный элемент с ионообменной мембраной

ности, топливный элемент собирают из множества ячеек. Если включить элемент в нагрузку, то электроны потекут через нее к катоду, создавая ток и завершая процесс окисления водорода кислородом. В качестве катализатора в таких топливных элементах как правило применяются микрочастицы платины, нанесенные на углеродное волокно. Благодаря своей структуре такой катализатор хорошо пропускает газ и электричество. Мембрана, как правило, производится из серосодержащего полимера нафiona. Толщина мембраны равна десятым долям миллиметра. При реакции, конечно, выделяется и тепло, но его не так уж много, так что рабочая температура поддерживается в области 40–80 °С.

Имеются и другие типы топливных элементов, в основном, отличающиеся типом применяемого электролита. Почти все они требуют в качестве топлива водород, однако можно применять и жидкое углеводородное топливо. Например, этиловый или метиловый спирт. В этом случае требуется специальное дополнительное устройство – топливный преобразователь, при высокой температуре (для метанола это будет около 240 °С) преобразующий спирты в смесь газообразных H_2 и CO_2 . Но в этом случае уже сложнее думать о портативности – такие устройства хорошо применять в качестве стационарных или автомобильных генераторов, а вот для компактной мобильной техники нужно что-нибудь менее громоздкое.

4. ЧАСТОТНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ (ИНВЕРТОРЫ)

Частотные преобразователи (инверторы) широко применяются в приводах электромобилей.

Силовой трехфазный импульсный инвертор состоит из шести транзисторных ключей. Каждая обмотка электродвигателя подключается через соответствующий ключ к положительному и отрицательному выводам выпрямителя. Инвертор осуществляет преобразование выпрямленного напряжения в трехфазное переменное напряжение нужной частоты и амплитуды, которое прикладывается к обмоткам статора асинхронного электродвигателя.

В выходных каскадах инвертора в качестве ключей используются силовые IGBT-транзисторы. По сравнению с тиристорами они имеют более высокую частоту переключения, что позволяет вырабатывать выходной сигнал синусоидальной формы с минимальными искажениями.

Широтно-импульсное управление характеризуется периодом модуляции, внутри которого обмотка статора электродвигателя подключается поочередно к положительному и отрицательному полюсам выпрямителя.

Длительность этих состояний внутри периода ШИМ модулируется по синусоидальному закону. При высоких (обычно 2–15 кГц) тактовых частотах ШИМ в обмотках электродвигателя, вследствие их фильтрующих свойств, текут синусоидальные токи.

Таким образом, форма кривой выходного напряжения представляет собой высокочастотную двухполярную последовательность прямоугольных импульсов (рис. 4.1). Частота импульсов определяется частотой ШИМ, длительность (ширина) импульсов в течение периода выходной частоты АИН промодулирована по синусоидальному закону. Форма кривой выходного тока (тока в обмотках асинхронного электродвигателя) практически синусоидальна.

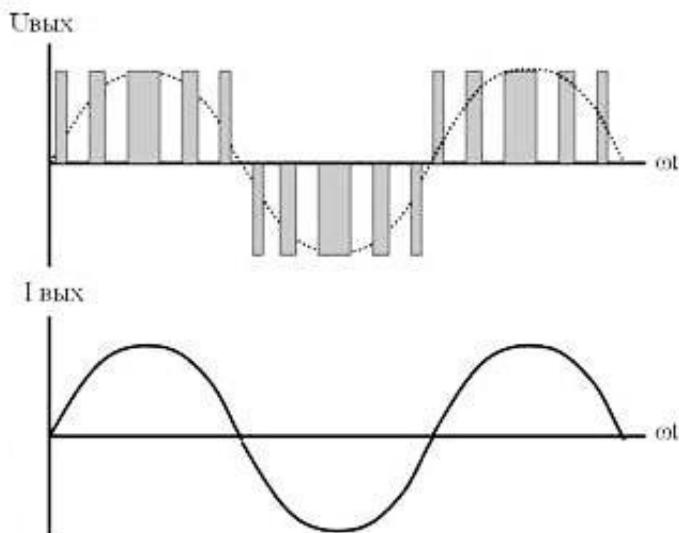


Рис. 4.1. Кривые выходного напряжения и тока

Регулирование выходного напряжения инвертора можно осуществить двумя способами: амплитудным (АР) за счет изменения входного напряжения U_B и широтно-импульсным (ШИМ) за счет изменения программы переключения вентилях V1–V6 при $U_B = \text{const}$.

Второй способ получил распространение в современных преобразователях частоты благодаря развитию современной элементной базы (микропроцессоры, IGBT-транзисторы). При широтно-импульсной модуляции форма токов в обмотках статора асинхронного двигателя получается близкой к синусоидальной благодаря фильтрующим свойствам самих обмоток.

Такое управление позволяет получить высокий КПД преобразователя и эквивалентно аналоговому управлению с помощью частоты и амплитуды напряжения.

Современные инверторы выполняются на основе полностью управляемых силовых полупроводниковых приборов – запираемых GTO – тиристоров, либо биполярных IGBT-транзисторов с изолированным затвором. На рис. 4.2 представлена 3-фазная мостовая схема автономного инвертора на IGBT-транзисторах.

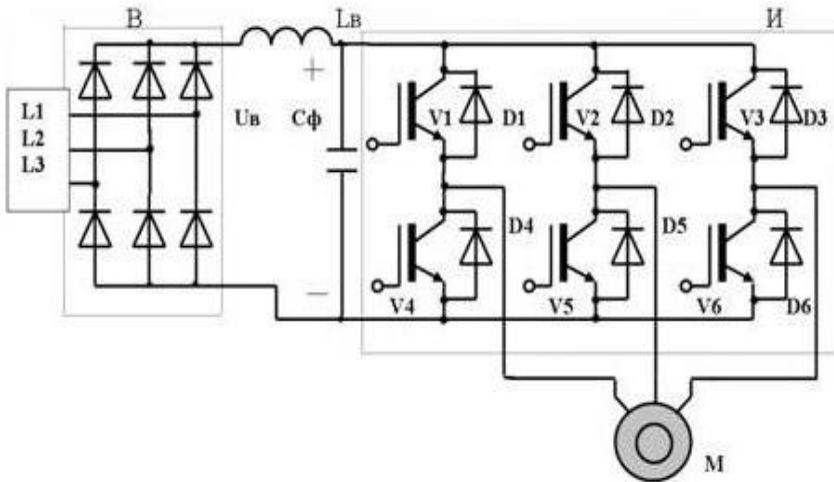


Рис. 4.2. Трехфазная мостовая схема автономного инвертора на IGBT-транзисторах: И – трехфазный мостовой инвертор; В – трехфазный мостовой выпрямитель; Сф – конденсатор фильтра

Она состоит из входного емкостного фильтра C_{ϕ} и шести IGBT-транзисторов V1–V6 с включенными встречно-параллельно диодами обратного тока D1–D6.

За счет поочередного переключения вентилях V1–V6 по алгоритму, заданному системой управления, постоянное входной напряжение $U_{в}$ преобразуется в переменное прямоугольно-импульсное выходное напряжение. Через управляемые ключи V1–V6 протекает активная составляющая тока асинхронного электродвигателя, через диоды D1–D6 – реактивная составляющая тока.

Принцип частотного метода регулирования скорости асинхронного двигателя заключается в том, что, изменяя частоту f_1 питающего напряжения, можно в соответствии с выражением

$$\omega_0 = \frac{2\pi \cdot f_1}{p}$$

при неизменном числе пар полюсов p изменять угловую скорость магнитного поля статора ω_0 .

Этот способ обеспечивает плавное регулирование скорости в широком диапазоне, а механические характеристики обладают высокой жесткостью. Регулирование скорости при этом не сопровождается увеличением скольжения асинхронного двигателя, поэтому потери мощности при регулировании невелики.

Для получения высоких энергетических показателей асинхронного двигателя – коэффициентов мощности, полезного действия, перегрузочной способности – необходимо одновременно с частотой изменять и подводимое напряжение.

5. ДАТЧИКИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ

Сегодня датчики устанавливаются практически во всех системах автомобиля.

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

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

В зависимости от энергетического преобразования (рис. 5.1) датчики (Д) бывают активными (поз. 1), в которых выходной электрический сигнал (ЭС) возникает как следствие входного неэлектрического воздействия (НВ) без приложения сторонней электрической энергии за счет внутреннего физического эффекта (например, фотоэффекта), и пассивными (поз. 2), в которых электрический сигнал (ЭС) есть следствие модуляции внешней электрической энергии (ВЭ) управляющим неэлектрическим воздействием (НВ).

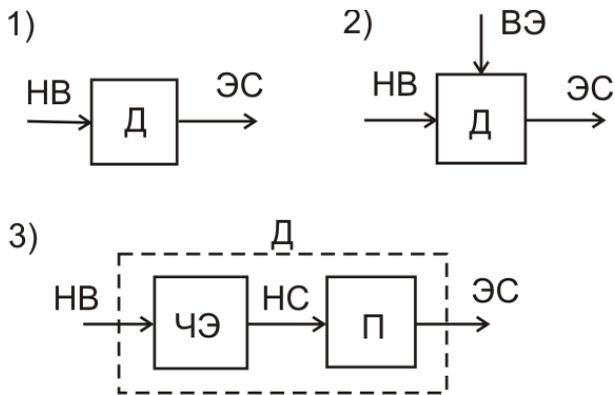


Рис. 5.1. Классификация датчиков по типу энергетического преобразования

Таким образом, любой датчик всегда состоит, как минимум, из двух частей – из чувствительного элемента (ЧЭ), способного воспринимать входное неэлектрическое воздействие (НВ) (перемещение, скорость, температуру, давление и т.д.), и из преобразователя (П) промежуточного неэлектрического сигнала (НС) от чувствительного элемента в выходной электрический сигнал (ЭС) (поз. 3).

По назначению датчики классифицируются по типу управляющего неэлектрического воздействия: датчики крайних положений, датчики угловых и линейных перемещений, датчики частоты вращения и числа оборотов, датчики относительного или фиксиро-

ванного положения, датчики механического воздействия, датчики давления, датчики температуры, датчики влажности, датчики концентрации кислорода, датчик радиации и другие.

Имеется тенденция интеграции автомобильных датчиков и увеличения их возможностей по переработке информации. По степени интеграции датчики условно разделяются на следующие уровни (рис. 5.2):

- 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 коммутационной шине, например CAN, улучшена помехозащищенность, сигнал датчика становится доступным локальной сети контроллеров;
- уровень интеграции 3. Датчики получают интеллектуальные возможности за счет установки в них микропроцессоров. Цифровой сигнал хорошо помехозащищен, имеются возможности программной установки параметров датчиков под конкретную модель автомобиля, расширены диагностические возможности.



Рис. 5.2. Интеграция датчиков: АОС – аналоговая обработка сигнала, АЦП – аналого-цифровой преобразователь, МП – микропроцессор

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.

5.1. Датчики магнитного поля

Широкая область применения таких датчиков требует использования различных свойств магнитного поля для их реализации. В данной работе рассмотрены принципы работы, которые заложены в датчики магнитного поля:

- использующие эффект Виганда;
- магниторезистивные;
- индукционные;
- работающие на эффекте Холла.

5.1.1. Датчики Виганда

Работа датчика базируется на эффекте, открытом американским ученым Вигандом. Суть эффекта Виганда проявляется в следующем. При внесении ферромагнитной проволоки в магнитное поле, в ней происходит самопроизвольное изменение магнитной поляризации. Это явление наблюдается при выполнении двух условий. Первое – проволока должна иметь специальный химический состав (52 % кобальта, 10 % ванадия – викаллой) и двухслойную структуру. Второе – напряженность магнитного поля должна быть выше определенного порогового значения – порога зажигания.

Момент изменения поляризации проволоки можно наблюдать с помощью катушки индуктивности, расположенной рядом с проволокой. Индукционный импульс напряжения на ее выводах при этом достигает нескольких вольт. При изменении направления магнитного поля полярность индуцируемых импульсов изменяется. В настоящее время эффект объясняют различной скоростью переориентации элементарных магнитов в магнитомягкой сердцевине и магнитотвердой оболочке проволоки.

Конструкция датчиков Виганда содержит катушку индуктивности и проволоку Виганда (рис. 5.3). При смене поляризации проволоки катушка, намотанная на нее, фиксирует это изменение.

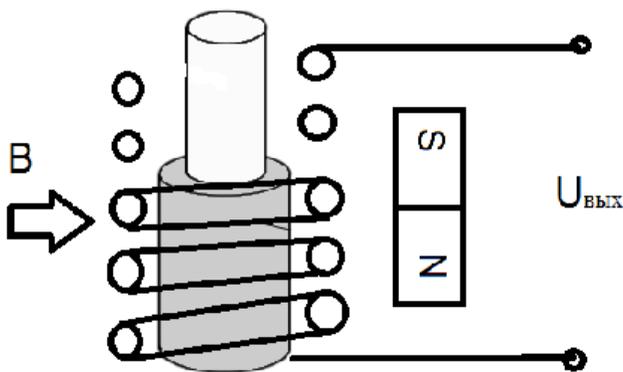


Рис. 5.3. Принцип действия датчика Виганда

Чувствительные элементы Виганда применяются в расходомерах, датчиках скорости, угла поворота и положения. Кроме того, одно из наиболее частых применений этого элемента – системы считывания идентификационных карт. При прикладывании намагниченной карты меняется напряженность поля, на что реагирует датчик Виганда.

К достоинствам датчика Виганда следует отнести независимость от влияния внешних электрических и магнитных полей, широкий температурный диапазон работы ($-80\dots+260\text{ }^{\circ}\text{C}$), работу без источника питания.

5.1.2. Магниторезистивные датчики

Магниторезистивные датчики магнитного поля в качестве чувствительного элемента содержат магниторезистор. Принцип действия датчика заключается в эффекте изменения омического сопротивления материала в зоне действия магнитного поля. Наиболее сильно этот эффект проявляется в полупроводниковых материалах. Изменение их сопротивления может быть на несколько порядков больше, чем у металлов.

Физическая суть эффекта заключается в следующем. При нахождении полупроводникового элемента с протекающим током

в магнитном поле, на электроны действуют силы Лоренца. Эти силы вызывают отклонение движения носителей заряда от прямолинейного, искривляют его и, следовательно, удлиняют. А удлинение пути между выводами полупроводникового элемента равносильно изменению его сопротивления (рис. 5.4).

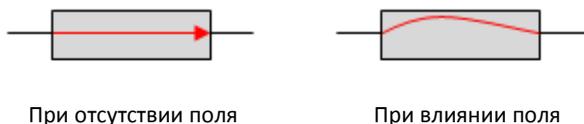


Рис. 5.4. Принцип действия магниторезистивного датчика

В магнитном поле изменение длины «пути следования» электронов обусловлено взаимным положением векторов намагниченности этого поля и поля протекающего тока. При изменении угла между векторами поля и тока пропорционально изменяется и сопротивление. Таким образом, зная величину сопротивления датчика можно судить о количественной характеристике магнитного поля.

Магнитосопротивление сильно зависит от конструкции магниторезистора. Конструктивно датчик магнитного поля представляет магниторезистор, состоящий из подложки с расположенной на ней полупроводниковой полоской. На полоску нанесены выводы.

Для исключения влияния эффекта Холла размеры полупроводниковой полоски выдерживаются в определенных допусках – ширина ее должна быть много больше длины. Но такие датчики обладают малым сопротивлением, поэтому на одной подложке размещают необходимое число полосок и соединяют их последовательно.

С этой же целью часто датчик выполняется в виде диска Корбино. Запитывается датчик путем подключения к выводам, расположенным в центре диска и по его окружности. При отсутствии магнитного поля путь тока прямолинеен и направлен от центра диска к периферии по радиусу. При наличии магнитного поля ЭДС Холла не возникает, так как у диска отсутствуют противоположные грани. Сопротивление же датчика изменяется: под действием сил Лоренца пути тока искривляются.

Датчики этого типа, благодаря высокой чувствительности, могут измерять незначительные изменения состояния магнитного поля и его направление. Они применяются в системах навигации, магнитометрии, распознавания образов и определения положения объектов.

5.1.3. Индукционные датчики

Датчики этого типа относятся к генераторному типу. Конструкции и назначения таких датчиков различны. Они могут использоваться для определения параметров переменных и стационарных магнитных полей. В данном обзоре рассмотрен принцип работы датчика, работающего в постоянном магнитном поле.

Принцип работы индукционных датчиков базируется на способности переменного магнитного поля индуцировать в проводнике электрический ток. При этом ЭДС индукции, появляющаяся в проводнике, пропорциональна скорости изменения магнитного потока через него.

Но в стационарном поле магнитный поток не изменяется. Поэтому для измерения параметров стационарного магнитного поля применяются датчики с катушкой индуктивности, вращающейся с постоянной скоростью. В этом случае магнитный поток будет изменяться с определенной периодичностью. Напряжение на зажимах катушки будет определяться скоростью изменения потока (числом оборотов катушки) и количеством витков катушки.

По известным данным легко вычисляется величина магнитной индукции однородного магнитного поля.

Принцип действия индуктивных датчиков основан на изменении индуктивности обмотки при механических перемещениях элементов магнитной цепи датчика. На рис. 5.5 представлена схема однотактного индуктивного датчика. Датчик состоит из неподвижного сердечника 1, на котором размещена обмотка 2, и подвижного якоря 3. Последовательно с обмоткой включено сопротивление нагрузки $R_{\text{н}}$, с которого снимается выходной сигнал $U_{\text{н}}$. Датчик подключен к источнику переменного тока с частотой f напряжением $U_{\text{пит}}$.

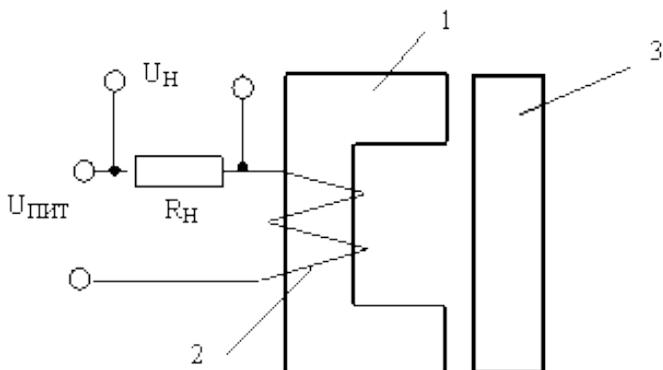


Рис. 5.5. Схема простейшего индуктивного датчика

Датчика состоит из проводника, в качестве которого может выступать катушка индуктивности, расположенная на валу электродвигателя. Съем напряжения с вращающейся катушки осуществляется с помощью щеток. Выходное напряжение на выводах катушки представляет переменное напряжение, величина которого тем больше, чем больше частота вращения катушки индуктивности и чем больше магнитная индукция поля.

Индукционные датчики широко применяются в качестве датчиков скорости и положения коленчатого вала двигателя в антиблокировочных тормозных системах.

5.1.4. Датчики Холла

Датчики магнитного поля на эффекте Холла используют явление взаимодействия перемещающихся электрических зарядов с магнитным полем.

Суть эффекта поясняется на рис. 5.6. Через полупроводниковую пластину протекает ток от внешнего источника.

Пластина находится в магнитном поле, пронизывающем ее в направлении, перпендикулярном движению тока. В магнитном поле под действием силы Лоренца электроны отклоняются от прямолинейного движения. Эта сила сдвигает их в направлении, перпендикулярном направлению магнитного поля и направлению тока.

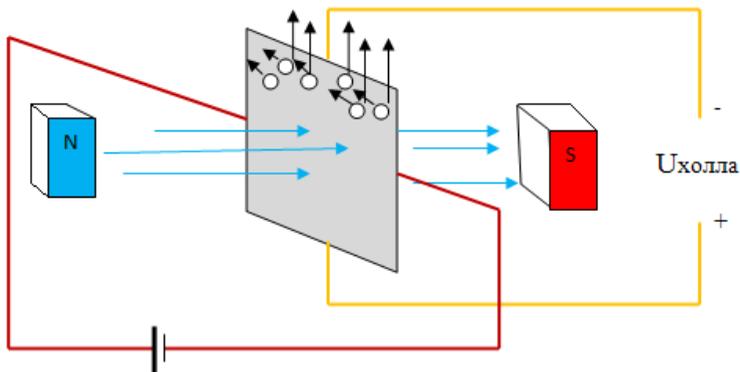


Рис. 5.6. Схема датчика Холла

В данном случае у верхнего края пластины электронов будет больше, чем у нижнего, т.е. возникает разность потенциалов. Эта разность потенциалов и обуславливает появление выходного напряжения – напряжения Холла. Напряжение Холла пропорционально току и индукции магнитного поля. При постоянном значении тока через пластину оно определяется только значением индукции магнитного поля.

Чувствительные элементы для датчиков изготавливаются из тонких полупроводниковых пластинок или пленок. Эти элементы наклеиваются или напыляются на подложки и снабжаются выводами для внешних подключений.

Датчики магнитного поля с такими чувствительными элементами отличаются высокой чувствительностью и линейным выходным сигналом.

Датчики Холла применяются в системах управления двигателями, в системах курсовой устойчивости автомобилей и т. д.

5.2. Акселерометры и гироскопы

За последние несколько лет широкое распространение по всему миру получили датчики, основанные на микроэлектромеханических системах, так называемых МЭМС. Популярность данных устройств обусловлена рядом причин, основными из которых являются простота их использования, относительно низкая цена и

малые габариты. МЭМС-датчики, как правило, оснащаются интегрированной электроникой обработки сигнала и не имеют движущихся частей. Этим обуславливается их высокая надежность и способность обеспечивать стабильные показания в достаточно жестких условиях окружающей среды (перепады температур, удары, влажность, вибрация, электромагнитные и высокочастотные помехи). Совокупность данных преимуществ побуждает производителей систем для различных сфер применения (от авиа- и автомобилестроения до бытовой техники) использовать в своих разработках те или иные МЭМС-сенсоры.

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

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

Данный кремниевый цифровой гироскоп разработан с учетом требований к низкой стоимости изделия и экономичному энергопотреблению для систем навигации и наведения нового поколения. Он способен измерять угловую скорость до $\pm 1,0$ Град/с и имеет два режима вывода: аналоговый сигнал напряжения, линейно-пропорциональный угловой скорости, и цифровой по протоколу SPI (Serial Peripheral Interface).

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

Возможны две основные конфигурации гироскопа, одна из них позволяет датчику измерять угловую скорость по оси, перпендикулярной к плоскости системной платы, другая дает возможность

определять угловую скорость по оси, параллельной плоскости материнской платы. Сочетание в одном устройстве гироскопов обеих конфигураций позволяет получить инерциальную систему, измеряющую угловую скорость по нескольким осям (любые сочетания тангажа, крена и рысканья летательного аппарата).

Как правило, подобные гироскопы выпускаются в герметичных керамических LCC корпусах которые можно устанавливать на системные платы (рис. 5.7). Датчик включает пять основных компонентов:

- кремниевый кольцевой МЭМС-сенсор (MEMS-ring);
- основание из кремния (Pedestal);
- интегральную микросхему гироскопа (ASIC);
- корпус (Package Base);
- крышку (Lid).

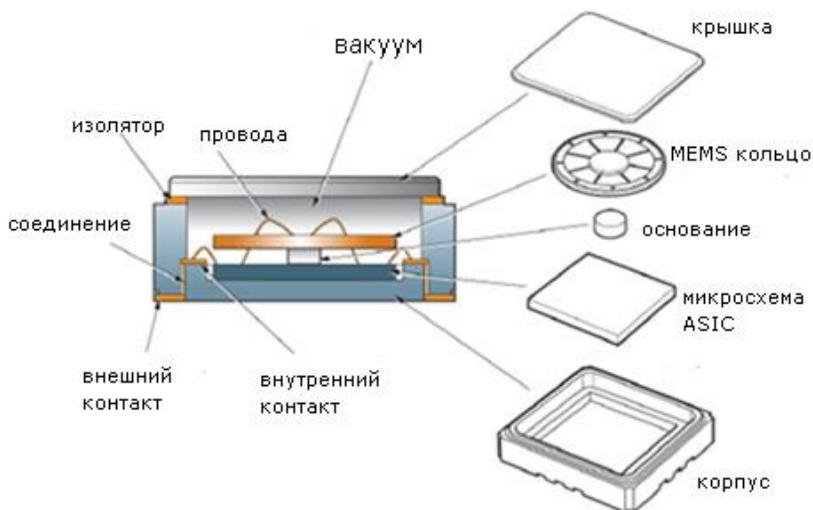


Рис. 5.7. Элементы датчика

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

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

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

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

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

Концентратор в центре кольца сенсора установлен на цилиндрическом кремниевом основании диаметром 1 мм, которое связано с кольцом и ASIC с помощью эпоксидной смолы. Микросхема гироскопа имеет габариты 3×3 мм и изготовлена по технологии 0,35 мкм КМОП. ASIC и МЭМС-сенсор (кольцо) разделены физически, но соединены электрической цепью через золотые проводки. В связи с этим в подобной схеме отсутствуют внутренние каналы, что позволяет уменьшить шумовую нагрузку и получить отличные электромагнитные свойства.

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

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

5.2.2 Принцип действия МЭМС-гироскопа

Описываемые гироскопы обычно являются твердотельными устройствами и не имеют движущихся частей за исключением сенсорного кольца, которое имеет возможность отклоняться. Оно показывает величину и направление угловой скорости за счет ис-

пользования эффекта «силы Кориолиса». Во время вращения гироскопа силы Кориолиса действуют на кремниевое кольцо, являясь причиной радиального движения по периметру кольца.

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

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

На рис. 5.8 продемонстрирована структура кремниевого кольца сенсора, показывающая приводы первичного движения «PD» (одна пара), первичные снимающие преобразователи «PPO» (одна пара) и вторичные снимающие преобразователи «SPO» (две пары).

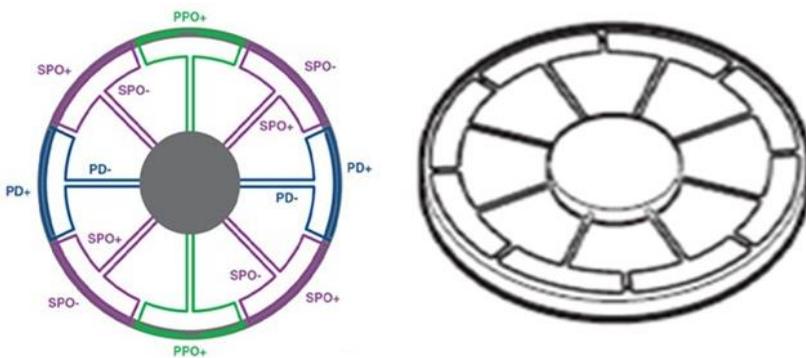


Рис. 5.8. Структура кремниевого кольца сенсора

На рис. 5.9 схематично показано кольцо, при этом спицы, приводы и преобразователи удалены для ясности. В данном случае гироскоп выключен, кольцо круглое.

В момент, когда датчик находится во включенном состоянии, в кольце возбуждается движение вдоль его основных осей за счет приводов первичного движения и первичных снимающих преобразователей, воздействуя в замкнутом контуре на систему контроля ASIC. Круглое кольцо принимает в режиме $\cos 2\theta$ эллиптическую форму и вибрирует с частотой 22 кГц. Это показано на рис. 5.10, на котором гироскоп уже включен, но еще не вращается. На четырех вторичных снимающих узлах, расположенных на периметре кольца под углом 45° по отношению к основным осям, нет радиального движения.

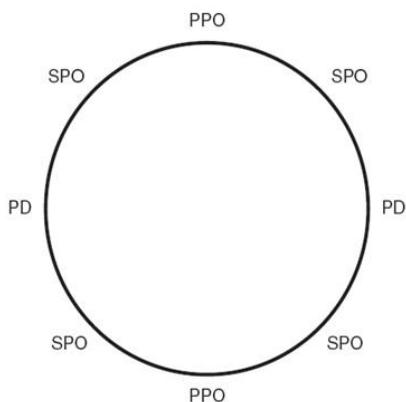


Рис. 5.9. Схема кольца сенсора



Рис. 5.10. Режим вибрации

Если гироскоп подвергается воздействию угловой скорости, то на кольцо действуют силы Кориолиса: по касательной к периметру кольца относительно главных осей (рис. 5.11). Эти силы деформируют кольцо, что вызывает радиальное движение вторичных снимающих преобразователей. Данное движение, определяемое на вторичных снимающих преобразователях, пропорционально прилагаемой угловой скорости. При этом двухполосный сжатый передающий сигнал демодулируется с учетом основного движения. В итоге получается низкочастотный компонент, который пропорционален угловой скорости.

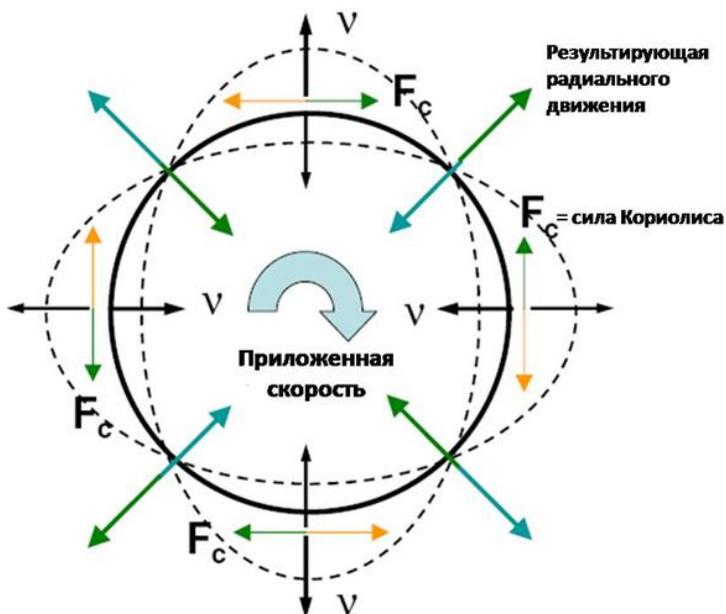


Рис. 5.11. Режимы работы сенсорного кольца при вращающемся гироскопе

Подобные датчики обладают миниатюрными габаритами ($6,5 \times 1,2$ мм) при сверхнизком потреблении энергии (12 мВт). Для них характерен широкий диапазон измерения (до 900 градусов в секунду), сверхмалый вес 0,08 г и высокая стабильность работы. Гироскопы подобной конструкции можно с успехом применять для измерения скоростей вращения объекта по трем осям в транспортных и персональных навигаторах для определения и сохранения параметров движения и определения местоположения; в системах отслеживания по трассе на сельскохозяйственной технике для стабилизации антенн; в промышленной аппаратуре, робототехнике и других сферах. Использование данных датчиков угловой скорости на летательных аппаратах позволяет на порядок уменьшить габариты, вес, энергопотребление приборов и в результате значительно снизить цену навигационной системы в целом. Надежность и точность в управлении широкого спектра самолетов, вертолетов и других летательных аппаратов при этом увеличива-

ется. Таким образом, данный вид гироскопов оптимально подходит для использования в ситуации, когда есть ограничения по габаритам, весу и стоимости изделия.

Таблица 5.1. Технические характеристики гироскопа

| Параметр | Предельный диапазон значений | Типовое значение |
|---|--|---|
| Напряжение питания | 2,7; 3,6 В | 3 В |
| Диапазон измерения | 75; 150; 300; 900 градусов/сек | – |
| Чувствительность (аналоговый выход) | 13,3; 6,7; 3,3; 1,0 мВ/градус · с | – |
| Температурное смещение чувствительности | +/- 3% | +/-1 % |
| Ширина полосы (ослабление -3 дБ) | > 75 Гц – задается пользователем при использовании внешнего конденсатора | Аналоговый выход до 160 Гц Цифровой выход 150 Гц фикс. |
| Рабочая температура | -40...+85 °С -40...+100 °С (при ограниченной работоспособности) | – |
| Температура хранения | -55...+125 °С | – |
| Удары | 3500 g в течение до 500 мкс, 500 g в течение 1 мс, 1 полуволна при включенном гироскопе 100 g 6 мс при включенном гироскопе | – |
| Вибрация | 3,5 g в диапазоне 10 Гц – 5 кГц при включенном гироскопе | – |
| Время включения | 0,5 с | < 0,3 с |
| Вес | В зависимости от модификации от 0,08 до 0,12 г | – |
| Потребляемый ток | 6 мА | 4 мА |

5.2.3. Емкостной трехосевой МЭМС-акселерометр с цифровым выходом

Высокопроизводительный трехосевой емкостной акселерометр (рис. 5.12) изготовлен по специальной технологии 3D-МЭМС.

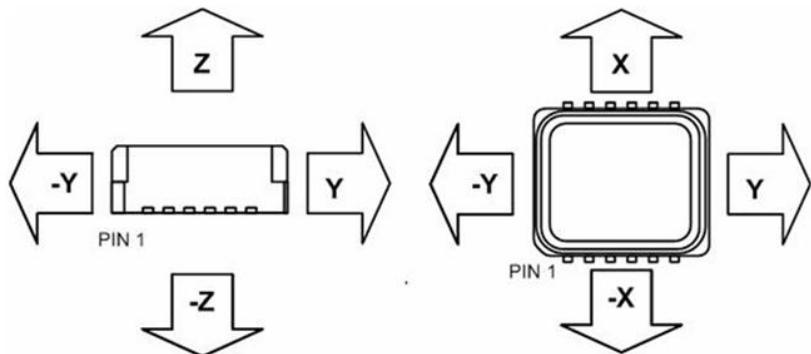


Рис. 36. Оси датчика, по которым проводится измерение ускорения

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

Схематичное расположение ASIC и блока сенсорного элемента в датчиках подобной конструкции показано на рис. 5.13.

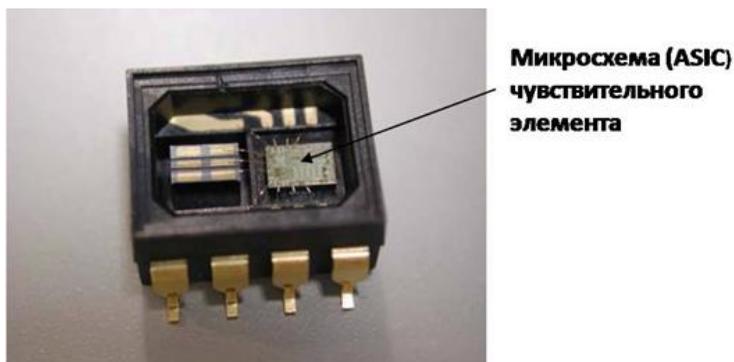


Рис. 5.13. Схематичное расположение ASIC и блока сенсорного элемента в датчиках

Корпус акселерометра изготовлен из пластика, а крышка из металла. В нижней части корпуса по обеим сторонам расположены

плоские свинцовые выводы для поверхностного монтажа на печатную плату (рис. 5.14).



Рис. 5.14. Конструкция корпуса акселерометра

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

Понятие «3D-МЭМС» представляет собой инновационное сочетание технологий для формирования кремния в трехмерные структуры, инкапсуляции и контактирования для легкого монтажа и сборки. В результате это обеспечивает высокую точность сенсора, маленький размер устройства и низкое потребление энергии. Таким образом, усовершенствованный сенсор может быть изготовлен в виде крошечного кусочка кремния, способного измерять ускорение в трех ортогональных направлениях.

Применяя технологию «3D-МЭМС», можно производить оптимизированные структуры для точных датчиков угла наклона, например для обеспечения механического затухания в акселерометрах с целью использования сенсоров в условиях сильной вибрации и высокоточных альтиметрах. Энергопотребление рассматриваемых акселерометров является крайне низким, что дает им значительное преимущество при использовании в устройствах с батарейным питанием. В то же время при производстве инклинометров 3D-МЭМС-технология обеспечивает точность уровней

лучше одной угловой минуты и отвечает самым высоким требованиям к качеству измерения.

В качестве преимуществ технологии «3D-МЭМС» можно выделить следующие:

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

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

- высокий уровень точности и стабильности;

- легкая диагностика при помощи ограниченного числа конденсаторов;

- низкая потребляемая мощность;

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

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

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

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

5.2.4. Принцип действия емкостного акселерометра

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

Датчик представляет собой дифференциальную конденсаторную структуру с воздушным диэлектриком, обкладки которого вырезаны (вытравлены) из плоского куска поликремниевой пленки толщиной 2 мкм. Неподвижные обкладки этого конденсатора представляют собой простые консольные стержни, расположенные на высоте 1 мкм от поверхности кристалла в воздухе на поликремниевых столбиках-анкерах, приваренных к кристаллу на молекулярном уровне (рис. 5.15).

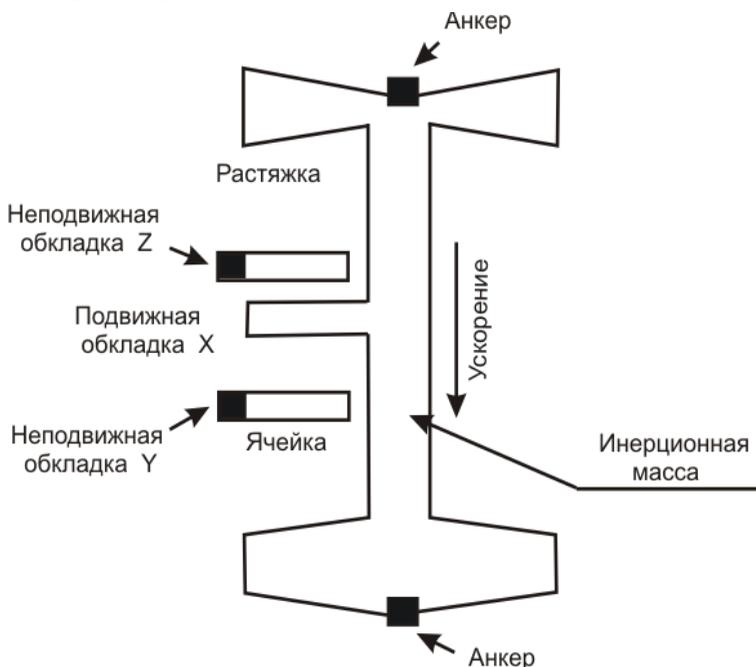


Рис. 5.15. Принцип действия емкостного акселерометра

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

механическими пружинами постоянной упругости, ограничивающими перемещение пробной массы и ее возврат в исходное положение.

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

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

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

Как правило, чувствительный элемент датчика с диапазоном измерений $\pm 1g$ выдерживает как минимум 50000g ускорений ($1g =$ ускорение, вызванное силой тяжести Земли). Датчик измеряет ускорение как в положительном, так и в отрицательном направлении и чувствителен к статическому ускорению и вибрации. «Сердцем» акселерометра является симметричный чувствительный элемент (ЧЭ) (рис. 5.16), изготовленный по технологиям объ-

емной микромеханики, у которого есть два чувствительных конденсатора.

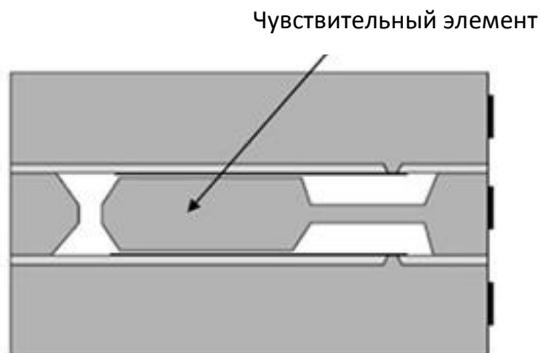


Рис. 5.16. Симметричный чувствительный элемент емкостного акселерометра

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

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

На рис. 5.17 представлена структурная схема емкостного акселерометра.

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

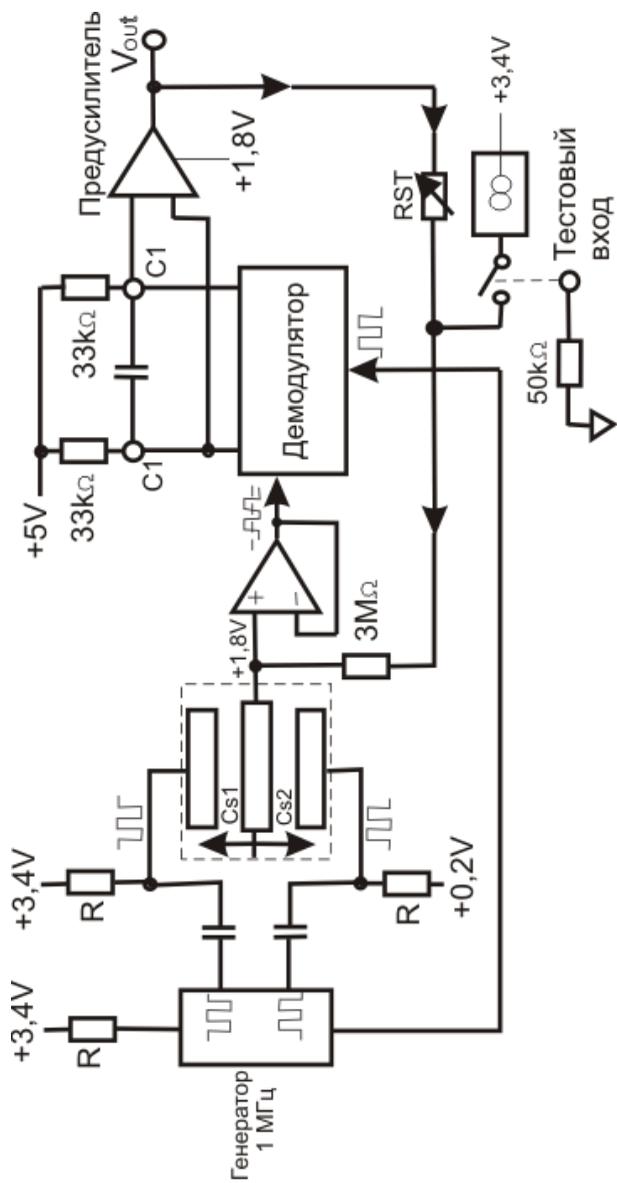


Рис. 5.17. Структурная схема емкостного акселерометра

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

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

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

Технические характеристики простейшего емкостного трехосевого акселерометра представлены в табл. 5.2.

Таблица 5.2. Технические характеристики емкостного трехосевого акселерометра

| Параметр | Типовое значение |
|---------------------------------|------------------|
| Электропитание | 3.3 В |
| Диапазон измерений | ± 6 g |
| Разрешение АЦП | 12 бит |
| Стандарт АЕС-Q | Соответствует |
| Встроенный температурный сенсор | – |
| Цифровой выход SPI | – |

| Параметр | Типовое значение |
|----------------------------|--|
| Максимальный удар | 20 кг |
| Рабочая температура | [–40; +125] °С |
| Полоса пропускания | 45...50 Гц |
| Улучшенная самодиагностика | – |
| Размер | 7,7×8,6×3,3 мм |
| Совместимость | С 2- и 1-осевыми датчиками аналогичного типа |

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

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

Помимо емкостных акселерометров существуют пьезоэлектрические акселерометры и пьезорезистивные акселерометры.

Пьезоэлектрические акселерометры – самый распространенный на сегодняшний день вид акселерометров, которые широко используются для решения задач тестирования и измерений. Такие акселерометры имеют очень широкий частотный диапазон (от нескольких до 30 кГц) и диапазон чувствительности, а также выпускаются в различных размерах и формах. Выходной сигнал пьезоэлектрических акселерометров может быть зарядовым (Кл) или по напряжению. Датчики могут использоваться для измерений как удара, так и вибрации. Например, пьезоэлектрические акселерометры могут использоваться для измерения параметров движения подвески автомобиля.

Пьезорезистивные акселерометры обычно имеют малый диапазон чувствительности, поэтому они больше подходят для детектирования ударов, чем определения вибрации. Еще одна область

их применения – испытания на пассивную безопасность автомобилей (крэш-тест, англ. crash test). В большинстве своем пьезорезистивные акселерометры отличаются широким диапазоном частот (от нескольких сотен Гц до 130 кГц и более), при этом частотная характеристика может доходить до 0 Гц (т.н. DC-датчики) или оставаться неизменной, что позволяет измерять сигналы большой продолжительности.

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

5.3. Оптические датчики

Оптические датчики широко применяются в автомобилях в качестве датчиков угловых перемещений, в охранных системах и т.д.

Оптический датчик – это устройство, измеряющее интенсивность электромагнитных волн в диапазоне от ультрафиолетового до близкого к инфракрасному. Измерительными элементами оптических датчиков являются фотоэлементы.

Свет представляет собой пучок дискретных фотонов, каждый из них является носителем кванта энергии, зависящей от источника света.

При взаимодействии с атомами кремния фотоны, в зависимости от длины волны (что эквивалентно количеству энергии), увеличивают проводимость фотодиода. В нем при смещении генерируется электрический ток, и его можно измерить.

С физической точки зрения базовое измерительное устройство – это именно фотодиод, который при объединении с функциональной электроникой будет представлять собой пиксель (pixel – Picture Element).

Другой базовый тип фотодетектора – фототранзистор, под действием света он функционирует аналогично, но обеспечивает переключаемый логический выход.

Фотодиоды и фототранзисторы закладываются в линейные оптические массивы, CMOS-камеры.

Промышленностью (Optek, Vishay и др.) выпускаются также готовые щелевые и рефлективные датчики. Стоимость обоих типов менее \$1, причем щелевые датчики дешевле. Могут использо-

ваться и дискретные оптические эмиттеры/ресиверы – светодиоды и фоточувствительные элементы – фототранзисторы, фотодиоды, а также фототиристоры.

Щелевые и рефлективные датчики функционируют одинаково с идентичными характеристиками, важнейшей из которых является коэффициент передачи тока.

Поскольку фототранзистор, при воздействии светового луча переходящий в состояние насыщения, обеспечивает готовый цифровой выход, в большинстве коммерчески доступных оптопрерывателей и рефлективных датчиках используется именно данный тип фотоэлектрического преобразователя. Для включения датчика во внешнюю цифровую схему потребуется только токоограничивающий резистор в цепи светодиода и внешний резистор между плюсом питания и выходом транзисторного ключа (рис. 5.18, *a*).

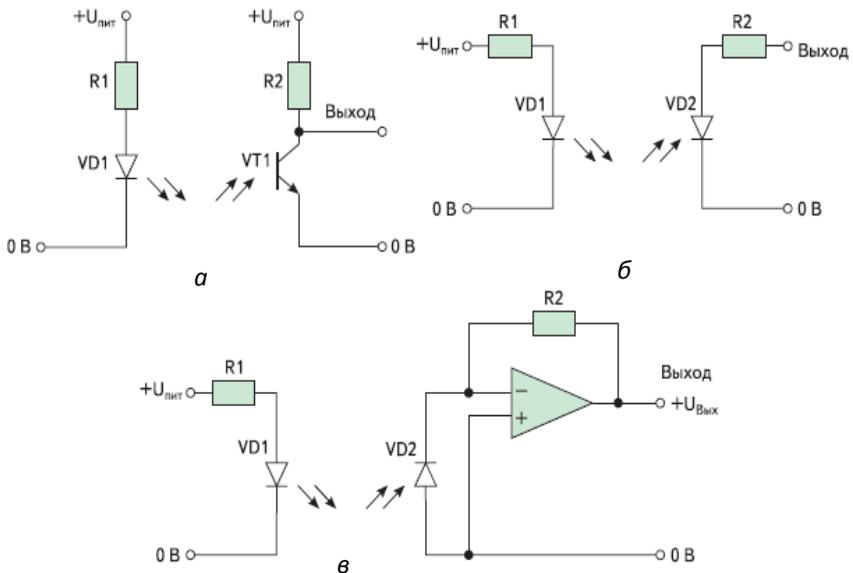


Рис. 5.18. Типичные принципиальные электрические схемы для включения оптопрерывателя и рефлектора: *a* – схема на основе фототранзистора с цифровым выходом; *б* – схема на основе фотодиода с аналоговым импульсным выходом; *в* – схема на основе фотодиода с цифровым импульсным выходом; VD1 – светодиод; VD2 – фотодиод; VT1 – фототранзистор, R1, R2 – токоограничивающие резисторы

Пара «светодиод–фототранзистор» характеризуется усилением менее 1. Сумма выходного тока коллектора фототранзистора, отнесенная к величине входного тока светодиода, называется коэффициентом передачи тока (КПТ или CTR – Current transmission ratio). Типичный ток светодиода 10–20 мА с типичным CTR шелевого переключателя порядка 0,1 соответствует 1–2 мА выходного тока коллектора 2.

КПТ зависит от характеристик светодиода и фототранзистора и различен для оптических датчиков в широких пределах, поэтому значение резистора R2 должно гарантировать насыщение фототранзистора и стекание тока, достаточного для получения действительных амплитуд логических уровней при подключении оптического датчика к микроконтроллеру. Например, при токе светодиода 10 мА и КПТ = 0,1 значение резистора R2 должно быть выбрано приблизительно равным 5 кОм. (Меньшее значение допустимо для оптического переключателя с высоким КПТ или с большим током светодиода и будет обеспечивать лучшую шумовую устойчивость (меньший импеданс) и более высокую скорость переключения.)

Скорость переключения фототранзистора в любом оптическом датчике довольно медленная, что ограничивает максимальную детектируемую скорость устройства и должно учитываться программой, считывающей выход датчика. Типичные значения времени включения (перехода в состояние насыщения) – 8 мс, времени выключения – 50 мс.

Рефлективные датчики также характеризуются КПТ, который в отличие от оптопрерывателей не постоянен и зависит от силы отраженного света, типа поверхности и расстояния от поверхности до датчика. КПТ рефлективного датчика специфицируется производителем со стандартной белой рефлективной поверхностью, помещенной на фокусном расстоянии от датчика. В реальном проекте вычисляется или измеряется фактический КПТ.

Поскольку КПТ рефлективного оптического датчика варьируется в широком диапазоне, аналоговый выход (рис. 5.18, б) может быть более предпочтительным, поскольку пользователю предоставляется возможность самостоятельно подсоединять выход датчика к АЦП и программно отслеживать изменения в выходном уровне сигнала, что, как показано далее, полезно и для интерполя-

ции сигналов инкрементальных энкодеров, но в этом случае необходимо больше времени для выборки АЦП.

Датчики рефлективного типа в большей степени подвержены воздействию механической нестабильности системы. К примеру, при вибрации, если остановка ротора соответствует краю отражающей полосы в рабочей области датчика, рефлективный датчик непрерывно генерирует прерывания. В аналогичной ситуации с щелевым датчиком получение неоднозначного выхода при частичном затемнении фототранзистора позволяет избежать гистерезис в схеме компаратора, но рефлективный датчик потребует дополнительных аппаратных и программных средств. Для обнаружения необычных условий программа может иметь таймер, отслеживающий время между прерываниями, при несогласовании которого подпрограмма обслуживания прерываний может их игнорировать.

Для правильности и безопасности системы необходима и гарантия того, что сбойные датчики будут локализованы. Так, сбойный или отсоединенный светодиод позволяет фототранзистору предоставлять системе информацию об остановке двигателя, закрытом капоте или двери. Ту же самую информацию может предоставлять засоренный фототранзистор.

Первый способ решения проблемы – применение двух датчиков с инверсными выходами. Один из них блокируется при открытом капоте, второй – при закрытом. Одновременно анализируется состояние двух датчиков, которые для верификации состояния или функциональности системы должны оба находиться в правильном состоянии.

Метод обнаружения отсоединенного светодиода – определение напряжения на аноде светодиода. Когда светодиод включен, падение напряжения, определяемое компаратором, составит около 1,2 В (типично), и выход компаратора будет высоким. Если светодиод открывается, напряжение на аноде возрастет до U_{cc} (более 3 В).

Для детектирования сбойных условий закорачивания можно добавить второй компаратор. Опорное напряжение в этом случае выбирается порядка 0,6 В, программное обеспечение объявляет ошибку, если напряжение падает ниже опорного.

Основные сферы применения оптических датчиков в автоэлектронике:

- датчики абсолютного углового положения, крутящего момента и скорости в системах электронного управления автомобилем drive-by-wire EPAS (electrically power assisted steering), EHPAS (electro-hydraulic power assisted steering), ESP;

- датчик окружающего света для автоматической регулировки параметров освещения ЖК-дисплеев (контроля уровня тока подсветки и продления срока службы);

- оптические датчики для обнаружения пассажиров, измерения расстояния между пассажиром и модулем подушки безопасности (оптимизация скорости заполнения подушки в зависимости от веса и положения сиденья и серьезности аварии);

- CMOS-камеры для обнаружения положения пассажиров, задние камеры;

- датчики дождя Rain Sensor для контроля работы стеклоочистителей ветрового стекла;

- электрохроматические зеркала (датчик определяет приближающийся свет следующего транспортного средства и автоматически затемняет зеркала заднего вида);

- датчики солнечной нагрузки и датчики автоматического света Sun Load Sensors/Auto Light Sensors (для включения автоматического охлаждения воздуха);

- датчики положения натяжителя ремня Belt Pretensioner Sensors и положения сиденья Seat Position Sensors в системах автоматической регулировки положения (преобразователи «свет–частота» и «свет–напряжение», линейные массивы);

- контроль закрытия двери;

- коррекция цвета светодиодов (TCS230-преобразователь цветового излучения светодиода в частоту);

- адаптивные системы переднего света, автоматическое включение и контроль интенсивности фар Heads Up Display (HUD);

- контроль освещения интерьера автомобиля;

- обнаружение угарного газа;

- системы оптической идентификации;

- лазерные системы обнаружения и определения расстояния до препятствия, радары, видеодатчики и т. д.

Работу оптических датчиков можно рассмотреть на примере датчика дождя (рис. 5,19). Это оптический датчик рефлективного типа, который распознает дождевые капли на ветровом стекле автомобиля.

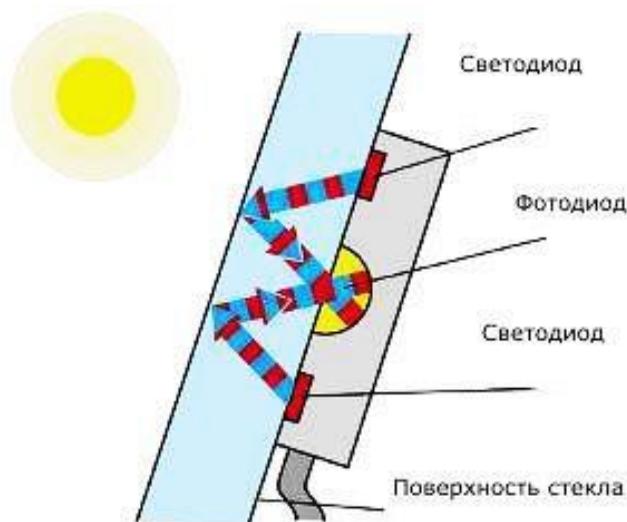


Рис. 5.19. Схема работы "Датчика дождя"

В зависимости от интенсивности атмосферных осадков датчик дождя регулирует частоту работы стеклоочистителя. Вдобавок к этому он реагирует на внезапное ухудшение видимости, например, при обгоне автопоезда или автобуса на мокрой дороге, увеличивая частоту работы стеклоочистителя. Благодаря датчику дождя, в сложных дорожных условиях водитель получает возможность полностью сконцентрироваться на дорожной ситуации, не отвлекаясь на регулирование интенсивности работы щеток стеклоочистителя. Принцип действия датчика дождя основывается на сравнении информации, поступающей от светодиодов и фотодиода. В сухую погоду лобовое стекло автомобиля отражает больше света, чем в условиях атмосферных осадков.

6. СЕТЕВАЯ АРХИТЕКТУРА СОВРЕМЕННОГО АВТОМОБИЛЯ

Наибольшее внимание сегодня уделяется средствам поддержки водителя, контроля давления в шинах, телеметрическим системам и схемам, позволяющим с помощью каналов передачи данных объединять островки электронных компонентов автомобиля в сетевую архитектуру. Вот почему самыми заметными инновациями стали разработка и внедрение сетевых структур, обеспечивающих передачу с высокой скоростью команд тормозной системе или педалям по проводам с помощью микропроцессоров и электронных исполнительных устройств (системы drive-by-wire). Перечень кандидатов на поддержку функций таких автомобильных сетей достаточно обширен – это сети стандартов CAN (Controller Area Network), TTP, Media Oriented Systems Transport (MOST) и FlexRay. Эти технологии призваны упростить реализацию концепций адаптивного управления движением, автоматического следования полосе движения, предотвращения столкновений. Они позволят точно регулировать торможение и включать понижающую передачу, оптимизировать температуру двигателя и управлять распределением и потреблением электроэнергии. В конечном итоге новые технологии заложат основу создания автомобиля с электрическим двигателем, управляемого по проводам (drive-by-wire), который со временем сможет самостоятельно «принимать решения» в ходе дорожного движения. Протокол сети CAN, разработанной как дешевая альтернатива дорогим и громоздким проводочным жгутам, обеспечивает последовательную передачу данных большинству устройств трансмиссии и шасси со скоростью до 1 Мбит/с. На его продвижение потребовалось 20 лет, но сегодня CAN широко используется ведущими европейскими автомобилестроителями.

На рис. 6.1 представлена структура сети CAN, в которой CAN-контроллеры соединяются с помощью дифференциальной шины, имеющей две линии: CAN_H (can-high) и CAN_L (can-low). По этим линиям передаются сигналы. Логический ноль регистрируется, когда на линии CAN_H сигнал выше, чем на линии CAN_L. Логическая единица – в случае, когда сигналы CAN_H и CAN_L

одинаковы (отличаются менее чем на 0,5 В). Использование такой дифференциальной схемы передачи делает возможным работу CAN сети в очень сложных внешних условиях.

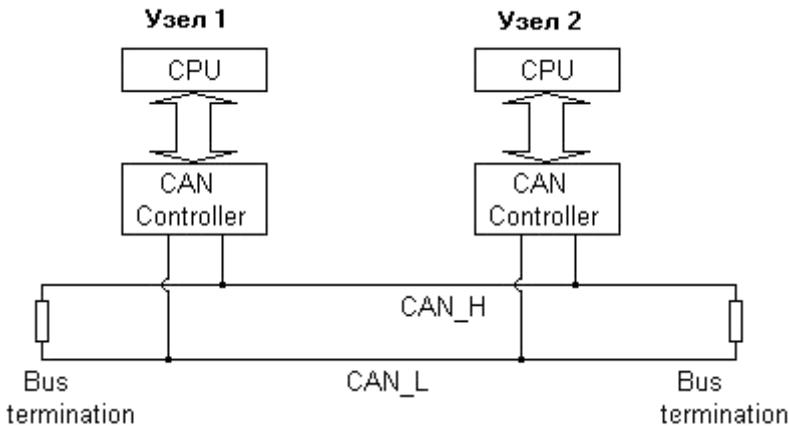


Рис. 6.1. Структура сети CAN

В настоящее время действующей спецификацией для протокола CAN служит «CAN Specification version 2,0», состоящая из двух частей – А и В, первая из них описывает обмен данными по сети с использованием 11-битного идентификатора, а вторая – 29-битного. И если узел CAN поддерживает обмен данными только с использованием 11-битного идентификатора, не выдавая при этом ошибки на обмен данными с использованием 29-битного идентификатора, то его обозначают «CAN2.0A Active, CAN2.0B Passive»; если с использованием и 11 -битного, и 29-битного идентификаторов, то «CAN2.0B Active2».

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

Как известно, возможны два основных способа работы протокола – по событиям и временным меткам. В CAN реализован именно первый способ. Однако ЕС одновременно финансировал и программу исследования по второму способу – коммуникационному протоколу для высоконадежных приложений ТТР («времен-

но-пусковой» протокол). Над ним работали «ДаймлерКрайслер», «Бритиш Аэропак», ФИАТ, «Форд», «Марелли», «Бош», «Вольво» и Венский технический университет. В итоге была разработана архитектура ТТА, которая признана эффективной для критичных по безопасности систем (автомобильных, железнодорожных, авиационных).

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

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

На рис. 6.2 схематично показано подключение линейного драйвера коммуникационного контроллера к скоростной шине.

Когда логический уровень сигнала на входе Тх 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 Тх 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 «К» при переходе шины от одного состояния к другому.

Компьютер узла содержит ЦПУ, память, часы реального времени и собственную операционную систему, а также прикладное программное обеспечение. Он принимает и передает данные от и в

CNI и COI, исполняет приложения реального времени в заданные временные интервалы.

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

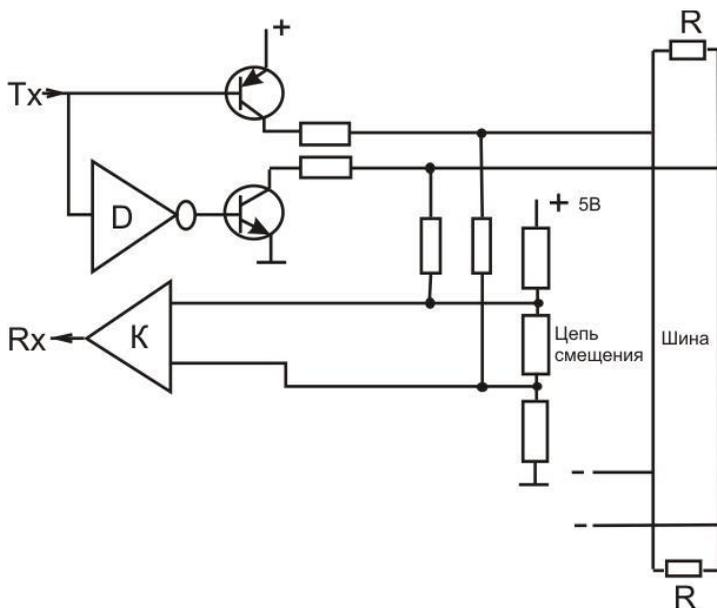


Рис. 6.2. Подключение драйвера к шине

Назначение коммуникационной системы – передавать (в масштабе реального времени) сообщения либо о значении параметра (переменной состояния, например, скорости), либо о возникновении события от узла-передатчика одному или нескольким узлам-приемникам этого кластера. Сообщение состоит из трех частей: имени переменной состояния или события; наблюдаемого значения переменной состояния; времени наблюдения переменной состояния или события. Ключевое место в нем занимает значение

переменной состояния или события, причем сообщение может не содержать значение времени, тогда это значение принимается по факту приема сообщения.

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

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

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

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

Поскольку для управления дверными замками, зеркалами, окнами и т.п. столь быстродействующая сетевая структура не требуется, автомобилестроители обратились к более дешевой, но и менее быстродействующей (скорость передачи – не более 20 Кбит/с) локальной сети межсоединений (Local Interconnect Network – LIN). Сеть LIN – это однопроводная шина данных, в которой импульсные пакеты данных имеют размах напряжения, равный напряжению аккумулятора.

Сеть CAN не может обеспечить отказоустойчивость или ширину полосы, необходимую для реализации следующего поколения архитектуры x-by-wire. Поэтому автомобилестроители и поставщики компонентов в сентябре 2000 г. образовали консорциум FlexRay, цель которого – принять открытый стандарт для быстродействующей автомобильной системы передачи данных. В него вошли такие известные фирмы, как BMW, DaimlerChrysler, Motorola, Philips, Bosch, General Motors. Кандидатами в члены консорциума стали Atmel, C&S Group, Fujitsu, Hella, Mitsubishi Electric, NEC, Renesas, STMicroelectronics, Texas Instruments, TRW, Visteon и др. Была предложена FlexRay-архитектура, обеспечивающая первоочередную передачу важнейших команд со скоростью до 10 Мбит/с. FlexRay постепенно вытесняет CAN в автомобильных трансмиссиях и шасси. По-видимому, FlexRay дополнит уже существующие автомобильные сетевые стандарты CAN, LIN и MOST в системах, где требуется высокое быстродействие. Компания NXP Semiconductor первой представила на рынке FlexRay-трансивер TJA1080, который был успешно применен в BMW X5. Компания BMW активно использует FlexRay в своих моделях.

Следует отметить, что хотя потребность в сетевых устройствах управления системами трансмиссии и двигателем растет, необходимая им ширина полосы – ничто в сравнении с полосой современных автомобильных радио- и телевизионных систем развлекательного и информационного характера. Скорость передачи, требуемая для работы навигационных, телеметрических систем, видеоаппаратуры заднего сиденья и разнообразных медийных средств обеспечивает другая шинная архитектура, ориентированная на обслуживание мультимедийных систем (Media Oriented Systems Transport – MOST), в которой используются оптоволоконные линии, соединяющие между собой информационно-

развлекательные устройства в «кольцо» (рис. 6.3) Поскольку шины CAN, LIN и MOST имеют разную скорость передачи данных, то их объединяют в единую сеть с помощью специальных трансиверов – «шлюзов».

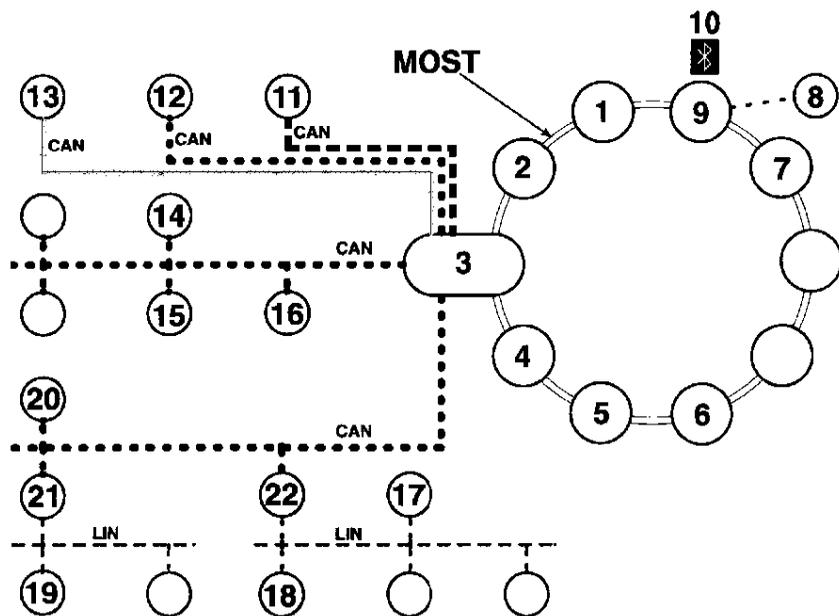


Рис. 6.3. Типовая сеть современного автомобиля: 1– проигрыватель DVD; 2 – информационный дисплей и электронный блок оперативного управления; 3 – шлюз; 4 – сканер карт; 5 – навигация; 6 – усилитель; 7 – телевизионный приемник; 8 – мобильный телефон; 9 – информационный блок; 10 – волоконно-оптический кабель; 11 – bluetooth-трансивер; 12 – адаптивная система круиз-контроля; 13 – диагностический разъем; 14 – ABS/ESP; 15 – электронное управление двигателем; 16 – электронное управление КПП; 17 – обогрев стекол; 18 – мотор вентилятора отопителя; 19 – привод люка в крыше; 20 – система помощи при парковке; 21 – электронные устройства в потолочной консоли; 22 – кондиционер

Интерес к этой архитектуре на основе волоконно-оптической шины со скоростью передачи до 25 Мбит/с проявили фирмы BMW, Becker Automotive Systems, Daimler Chrysler, Oasis Silicon Systems, образовавшие консорциумом MOST. Audi, BMW и

Daimler Chrysler уже начали использовать MOST-технологии в новых запущенных в производство моделях машин высшего класса.

С другой стороны, значительную поддержку получает стандарт IEEE 1394, или Firewire. Была разработана его версия IDB 1394, учитывающая жесткие требования, предъявляемые к уровню электромагнитных помех и рабочей температуре автомобильных систем. Сильный аргумент в пользу стандарта IEEE 1394 – поддержка им широкой полосы передач, а также тот факт, что этот стандарт используется во многих бытовых изделиях: от портативных видеокамер, ПК, принтеров и сканеров до видеоигр и ЗУ большой емкости.

Но существует и мнение, что лучшее решение для автомобильной сетевой системы – полное отсутствие проводов. Поэтому в автомобильных развлекательно-информационных системах растет конкуренция со стороны беспроводных устройств передачи данных. Все большее внимание производителей привлекают системы стандартов Bluetooth и Wi-Fi, или 802.11, обеспечивающие высокую скорость обмена данными без шин и соединителей.

7. СОВРЕМЕННЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ СИСТЕМ

Помимо увеличения доли электронных систем в автомобиле, продолжается освоение новых устройств, стимулированное как принятыми в США законами, касающимися совершенствования систем безопасности автомобиля и контроля давления в шинах, так и стремлением полностью «электронизировать» drive-by-wire автомобиль. Применение полупроводниковых приборов в мультимедийных системах, системах безопасности и сохранности, электронной аппаратуре кузова будет возрастать ежегодно на 11–12 %. Уже в 2005 г. доля полупроводниковых приборов в электронной аппаратуре кузова превысила их долю в электронных системах двигателя и привода (40 % против 35 % рынка). Электронные системы трансмиссии и шасси, а также новые телеметрические сред-

ства требуют применения все более сложных полупроводниковых приборов, позволяющих объединять в пользовательском интерфейсе все разнообразные электронные системы автомобиля. По-видимому, в скором времени даже в недорогом автомобиле будет насчитываться до 50 микроконтроллеров. А в автомобилях BMW класса S уже сейчас их более 100. Еще существенней окажется переход к цифровым системам управления электронной аппаратурой шасси: ~97 % из них будут оснащены 32-бит микроконтроллерами и сигнальными процессорами.

Большой интерес сегодня вызывают так называемые drive-by-wire автомобили с электрическим двигателем, в которых механические сцепления, соединяющие, например, тормозной рычаг с тормозом или руль с передними колесами, заменены проводной системой, передающей электронные команды нужному механизму. Но, чтобы такие системы работали, говорят автомобилестроители, нужны как DSP (для выполнения числовых расчетов), так и обычные микроконтроллеры (для выполнения функций интерфейса, формирования сетевой структуры и управления). Тем не менее, крупные производители компонентов для автомобильных систем уже приступили к созданию микросхем, сочетающих функции сигнального процессора и микроконтроллера и уже находящих применение в современных машинах. К этому классу микросхем относятся процессоры семейства Blackfin фирмы Analog Devices, в основе которых лежит архитектура 16-бит сигнального микропроцессора (Micro Signal Architecture – MSA), разработанная совместно с Intel. Эти процессоры объединяют RISC-подобные элементы, выполняющие классические функции управления микроконтроллеров, и двойные 16-бит MAC-блоки, присущие высокопроизводительным сигнальным процессорам. Микросхемы семейства – это не сигнальные процессоры с расширенной системой команд и не микроконтроллеры с дополнительными свойствами сигнального устройства. Унифицированная архитектура Blackfin-процессоров реализует достоинства обоих классов приборов. Оптимизированная система команд переменной длины позволяет работать с 64-бит кодами операций наряду с 16-бит кодами наиболее часто используемых команд и, как практически во всех микроконтроллерах, в этих микросхемах предусмотрена возможность применения C/C++ компилятора. В результате разработчики одинаково легко

могут составлять программы на языке высокого уровня и ассемблера. Еще одна особенность процессоров семейства – использование средств динамического распределения мощности, позволяющих варьировать как рабочее напряжение, так и частоту. Чтобы максимизировать уникальные свойства этих средств, фирма Analog Devices выпустила отдельный чип распределения питания со встроенным импульсным стабилизатором, обеспечивающим программируемую регулировку напряжения питания ядра в диапазоне 0,7–1,2 В. В результате удалось снизить не только потребляемую мощность системы на базе DSP (на 60 %), но и ее общую стоимость, сократив число внешних компонентов источника питания. Ядро процессора Blackfin с конвейерной архитектурой содержит два 16-бит умножителя, два 40-бит накопителя, два 40-бит АЛУ, четыре видео-АЛУ и 40-бит сдвиговый регистр. Вычислительные блоки могут обрабатывать 8-, 16- или 32-бит данные, хранимые в регистровом файле, содержащем восемь 32-бит регистров. При выполнении операций с 16-бит данными регистровый файл работает как 16 независимых 16-бит регистров. В число периферийных встроенных устройств Blackfin-процессора входят часы реального времени, сторожевой таймер, универсальные таймеры, SPI-совместимые порты и UART-порты. Кроме того, микросхема содержит программируемый интерфейс периферийных устройств (PPI) для подключения к быстродействующим преобразователям видео- и цифровых данных, а также синхронные последовательные порты для присоединения к цифровым аудиоустройствам с высоким разрешением и к высокоскоростным телекоммуникационным системам. Все процессоры серии разъемо- и кодосовместимы. Все они допускают высокие уровни интеграции периферийных устройств, в том числе подключение без связующей логики матриц видеокодеров и декодеров ITU-R 656-стандарта, быстродействующих АЦП и ЦАП, обеспечивающих до 65.106 выборок/с. Специализированный видеопорт процессоров серии поддерживается новой двухмерной структурой прямого доступа к памяти, что значительно сокращает перегрузки программных средств и потребляемую системой мощность при обработке видеoinформации в реальном времени. Два специализированных последовательных порта поддерживают до восьми аудиоканалов. Процессоры семейства Blackfin серии ADSP-BF53x (32-бит) нашли применение в автомо-

бильной телеметрической платформе (Car Telemetrics Platform – СТР), которая выполняет функции навигации, связи, передачи и воспроизведения развлекательной информации. Не отстает от Analog Devices фирма Motorola не один год выпускающая 16-бит процессоры семейства DSP56800 этого класса. Еще в сентябре 2003 г. Motorola представила так называемые гибридные 16-бит процессоры серии 56F8300, предназначенные для выполнения функций управления рулем, торможением и подвесками в машинах с электрическим мотором. Разработка процессора началась с анализа наиболее часто используемых команд DSP и микроконтроллера и упорядочения архитектуры с тем, чтобы реализовать основные свойства обоих устройств. Таким образом, по утверждению специалистов фирмы, процессор разработан с «нуля».

Гибридные процессоры серии на базе процессорного ядра 56800E выполняют команды сигнального процессора и микроконтроллера, при этом скорость обработки кодов, хранимых во встроенной флэш-памяти третьего поколения, достигает 60 Mips на частоте процессорного ядра 60 МГц без применения каких-либо ускорителей. Благодаря этому разработчики автомобильных электронных систем могут использовать микросхемы 56F830 в оборудовании, ранее считавшемся областью применения 32-бит микроконтроллеров. Процессорное ядро 56800E имеет двойную гарвардскую архитектуру, допускающую одновременное выполнение трех операций доступа к памяти программ и данных. В ядро входят 16×16 параллельный MAC, обеспечивающий умножение 16×16 бит и накопление 32 бит за один цикл; четыре 32-бит накапливающих сумматора; арифметический и логический многоразрядный сдвиговый регистр; три шины адреса; четыре шины данных. Архитектура IP-шины ядра позволяет подключать к ядру разнообразные встроенные периферийные устройства.

Во всех шести первых КМОП-микросхемах новой серии предусмотрены средства защиты, в которые входят: встроенный датчик температуры, контролирующей температуру элементов; многочисленные условия отказа, обеспечивающие гибкость системы без ухудшения ее защиты; встроенные регистры защиты записи и встроенный синтезатор тактовой частоты. Встроенный модуль FlexCAN выполняет все функции организации сетевой передачи

данных. Емкость ОЗУ программ составляет 4 Кбайт, флэш-памяти данных – 8 Кбайт. В микросхемы входит и средство защиты флэш-памяти, предотвращающее неавторизованное воспроизведение данных пользователя. Схемы серии имеют два последовательных связанных интерфейса (UART), два последовательных синхронных периферийных интерфейса и встроенный JTAG-блок эмуляции для отладки в реальном времени. Рабочий диапазон температур микросхемы серии составляет $-40 \dots 105$ °C или $-40 \dots 125$ °C, напряжение встроенного источника питания может регулироваться в интервале от 2,6 до 3,3 В. Отличаются они емкостью флэш-памяти и числом встроенных периферийных устройств (табл. 2.1). Как уже указывалось, процессоры серии 56F8300 предназначены для замены механических приводов автомобиля с электрическим двигателем цифровыми электронными устройствами управления. Однако первоначально они нашли применение в системах управления клапаном, адаптивных воздушных подушках и электрических системах бустерного рулевого управления.

Помимо разработок процессоров поддержки сети CAN фирма Motorola в сентябре 2003 года выпустила два прибора, в которых в одном 54-выводном корпусе SOIC-типа объединены микроконтроллер M68HC08 и аналоговая КМОП-схема. Эти так называемые интеллектуальные устройства распределенного управления предназначены для поддержки дешевых последовательных связанных систем автомобиля на основе LIN-структуры. Микросхемы MM908E624 и MM908E625 имеют LIN-физический уровень, соединенный с 16-Кбайт флэш-памятью микроконтроллера HC08, обеспечивающей оперативное программирование. Кроме того, HC08 содержит расширенный последовательный связной интерфейс, поддерживающий простой, но гибкий протокол LIN-сети, специальный встроенный блок генератора тактовых импульсов, два двухканальных таймера, 10-бит АЦП и SPI-интерфейс. Аналоговые микросхемы, входящие в новое устройство, выполнены по запатентованной фирмой технологии SMARTMOS, позволяющей объединить высокоскоростную/плотноупакованную логику с прецизионными аналоговыми блоками и мощными схемами, рассчитанными на большой ток и высокое напряжение. Три выхода высокого уровня схемы MM908E624, содержащей требуемые для контроля работы двигателя постоянного тока задающие и входные

устройства, обеспечивают непосредственное управление реле автомобиля. Устройство находит применение в системах управления положением стекол, зеркал, вентиляторами и т.п. Благодаря наличию в MM908E625 четырех полумостовых схем и выхода высокоуровня схема сможет непосредственно управлять различными небольшими моторами, в том числе механизмами, используемыми в дверных замках машины, регулировки освещения салона и т.п. В обе аналоговые микросхемы также входят сторожевой таймер и усовершенствованный стабилизатор напряжения.

Рынок автомобильной электроники привлекает и крупнейшего европейского поставщика компонентов для этих систем – фирму Infineon, одной из первых предложившую 32-бит суперскалярную архитектуру TriCore, сочетающую функции числовых вычислений сигнального процессора, загрузки/хранения RISC-процессора и побитовой обработки микроконтроллера. Последний вариант процессора TC1920 на основе TriCore-ядра предназначен для применения в автомобильных телеметрических системах. Тактовая частота ядра составляет 100 МГц. Процессор содержит двойной 16×16 бит MAC, 164-Кбайт СОЗУ, 64-бит локальную шину памяти, 32-бит гибкий периферийный интерфейс, а также как специализированные (CAN и J1850), так и стандартные (шестиканальные 8-/10-/12-бит АЦП, шесть 32-бит таймеров, часы реального времени, сторожевой таймер, до 64 универсальных выводов ввода/вывода, ФАПЧ и т.п.) периферийные устройства. Напряжение питания ядра – 1,8 В, портов ввода/вывода – 3,3 В, диапазон рабочих температур –40...85 °С. Монтируется в 260-выводной корпус LPGA-типа. Процессор TC1920 может использоваться как контроллер шлюза, сопрягаемый с беспроводными модулями, машинной сетью, мультимедийным микропроцессором и т.п.

Возрастающая сложность электронных систем автомобиля выдвигает серьезные требования к реализации новых стандартов на средства передачи данных и интерфейс. Поэтому ведущим автомобилестроительным фирмам необходимы специалисты высокой квалификации в области электроники, автоматике и робототехники.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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

Вахламов В.К., Шатров М.Г., Юрчевский А.А. Автомобили: Теория и конструкция автомобиля и двигателя: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / под ред. А.А. Юрчевского. – М.: Издат. центр «Академия», 2003. – 816 с.

Ерохов В.И. Системы впрыска бензиновых двигателей (конструкция, расчет, диагностика): учеб. для вузов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2011. – 552 с.

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

Соснин Д. А., Яковлев В. Ф. Новейшие автомобильные электронные системы: учеб. пособие. – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2005. – 240 с.

Юдинцев В. И. «Новейшие полупроводниковые приборы для автомобильных систем. Не стоим на месте, движемся» Электроника НТБ РИЦ «Техносфера» 2003 - №7, с. 16-23

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

URL: <http://elve.le.ttu.ee/mesel/LEM5000/ref2002/86/86.htm>

URL: http://studopedia.ru/view_misi.php?id=41

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

URL: http://www.devicesearch.ru/article/datchiki_magnitnogo_polya

URL: http://www.kit-e.ru/articles/sensor/2006_5_44.php

URL: <http://dssp.petrstu.ru/~ivash/ims/t5/analog.htm>

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|---|----|
| Введение | 3 |
| 1. Элементная база электронных компонентов автомобиля | 5 |
| 1.1. Транзисторы | 5 |
| 1.2. Тиристоры | 8 |
| 1.3. Стабилитроны | 9 |
| 1.4. Логические элементы | 11 |
| 1.4.1. Логический элемент «НЕ» | 11 |
| 1.4.2. Логический элемент «И» | 12 |
| 1.4.3. Логический элемент «ИЛИ» | 13 |
| 1.5. Компараторы | 14 |
| 1.6. Одновибраторы и мультивибраторы | 18 |
| 1.7. Преобразователь «напряжение–частота» | 20 |
| 1.8. Преобразователь «частота–напряжение» | 21 |
| 1.9. Аналого-цифровые преобразователи | 22 |
| 1.10. Дешифраторы | 24 |
| 1.11. Мультиплексоры | 27 |
| 2. Электронные блоки управления | 29 |
| 3. Топливные элементы | 36 |
| 4. Частотные преобразователи (инверторы) | 38 |
| 5. Датчики автомобильных электронных систем | 41 |
| 5.1. Датчики магнитного поля | 44 |
| 5.1.1. Датчики Виганда | 44 |
| 5.1.2. Магниторезистивные датчики | 45 |
| 5.1.3. Индукционные датчики | 47 |
| 5.1.4. Датчики Холла | 48 |
| 5.2. Акселерометры и гироскопы | 52 |
| 5.2.1. Одноосевой МЭМС-датчик угловой скорости (гироскоп) с вибрирующим кремниевым кольцом | 50 |
| 5.2.2. Принцип действия МЭМС-гироскопа | 53 |
| 5.2.3. Емкостный трехосевой МЭМС-акселерометр с цифровым выходом | 58 |
| 5.2.4. Принцип действия емкостного акселерометра | 60 |
| 5.3. Оптические датчики | 67 |
| 6. Сетевая архитектура современного автомобиля | 73 |
| 7. Современные полупроводниковые приборы для автомобильных систем | 80 |
| Список литературы | 86 |

Учебное издание

Коваленко Олег Леонидович, **Банников** Анатолий Анатольевич,
Пустошный Петр Алексеевич

КОМПОНЕНТЫ АВТОМОБИЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

Учебное пособие

Оригинал-макет М.И. Абрамовой
Дизайн обложки Е.А. Банниковой

Усл. печ. л. 5,0. Тираж 40 экз. Заказ № 4092.
Подписано в печать 13.10.2016. Формат 60×84/16.



Издательский дом им. В.Н. Булатова САФУ
163060, г. Архангельск, ул. Урицкого, д. 56