

**А. Н. Карташевич  
А. А. Рудашко**

# **ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ**

Допущено Министерством образования Республики Беларусь  
в качестве учебного пособия для учащихся учреждений  
образования, реализующих образовательные программы  
среднего специального образования по специальностям  
«Автосервис», «Техническая эксплуатация автомобилей»,  
«Организация технического сервиса транспортных средств»



Минск  
РИПО  
2021

УДК 656(075.32)  
ББК 39.1я723  
К21

**Авторы:**

заведующий кафедрой тракторов, автомобилей и машин  
для природообустройства УО «Белорусская государственная орденов  
Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная  
академия» доктор технических наук, профессор *А. Н. Карташевич*;  
доцент этой же кафедры кандидат технических наук, доцент *А. А. Рудашко*

**Рецензенты:**

цикловая комиссия специальностей «Техническая эксплуатация автомобилей»,  
«Автосервис» УО «Поставский государственный колледж» (*Д. В. Михасёнок*);  
доцент кафедры «Техническая эксплуатация автомобилей»  
МОУВО «Белорусско-Российский университет» кандидат  
технических наук, доцент *Н. А. Коваленко*

*Все права на данное издание защищены. Воспроизведение всей книги или любой ее  
части не может быть осуществлено без разрешения издательства.*

*Выпуск издания осуществлен при финансовой поддержке Министерства образова-  
ния Республики Беларусь.*

**Карташевич, А. Н.**

К21 Электрооборудование и электронные системы транспортных средств :  
учеб. пособие / А. Н. Карташевич, А. А. Рудашко. — Минск : РИПО, 2021. —  
314 с. : ил.

ISBN 978-985-7234-96-7.

В учебном пособии изложены основы электротехники, электроники и цифровой техники. Представлены условные обозначения элементов электросхем, особенности их представления в технической документации транспортных средств, основы построения бортовых цепей. Рассмотрены системы электроснабжения, пуска, зажигания и системы управления бензиновыми и дизельными двигателями. Описаны системы освещения и сигнализации, информационно-диагностические системы, системы управления агрегатами, системы комфорта и безопасности транспортных средств.

Предназначено для учащихся учреждений образования, реализующих образовательные программы среднего специального образования по специальностям «Автосервис», «Техническая эксплуатация автомобилей» и «Организация технического сервиса транспортных средств».

УДК 656(075.32)  
ББК 39.1я723

ISBN 978-985-7234-96-7

© Карташевич А. Н., Рудашко А. А., 2021  
© Оформление. Республиканский институт  
профессионального образования, 2021

## **ВВЕДЕНИЕ**

Электрические и электронные системы применяют практически во всех узлах и механизмах транспортных средств, значительно повышая их эксплуатационные свойства. Использование электроники в управлении двигателями внутреннего сгорания позволяет снизить расход топлива и токсичность отработавших газов. Электронные системы управления трансмиссией, рулевым управлением, тормозной системой, подвеской и другими агрегатами улучшает безопасность движения и комфортность транспортных средств.

Изучение учебной дисциплины «Электрооборудование и электронные системы транспортных средств» направлено на формирование знаний о физических процессах, происходящих в электротехнических и электронных устройствах; о назначении отдельных электронных компонентов и принципе построения электрических схем; назначении, устройстве и работе приборов, аппаратов и систем электрооборудования; принципах функционирования электронных систем управления агрегатами транспортных средств; на приобретение умений диагностирования электронных систем.

Первое электрооборудование появилось в 1886 г. на автомобиле К. Бенца, в котором использовалась электрическая система зажигания с батареей, индукционной катушкой и запальной свечой. В 1889 г. Ж. Бутон изобрел контакты прерывателя для системы с катушкой зажигания. В 1895 г. Э. Морс применил систему зарядки аккумуляторов от динамо-машины. В 1902 г. Р. Бош внедрил магнето высокого напряжения. Трехщеточный генератор, разработанный Г. Лейтнером и Р. Лукасом, появился в 1905 г. В этом же году М. Рис изобрел электрический гудок. В 1912 г. Ч. Каттеринг для автомобиля «Кадиллак» создал стартер, батарейную систему зажигания, систему освещения. В 1921 г. в автомобиле появился первый радиоприемник. В 1939 г. на автомобилях появились плавкие предохранители и цветные провода.

1950–1960-е годы ознаменовались широким распространением электрического оборудования на автомобилях: двухнитевых ламп в фарах, мигающих указателей поворота, электро-вентиляторов, подогрева сидений, электропривода стеклоочистителей, стеклоподъемников, зеркал и т. д. Управление этими устройствами потребовало применения в электрических схемах значительного количества электромагнитных реле и полупроводниковых приборов, что означало приход в автомобилестроение электроники.

В 1960-е годы стали широко применять полупроводниковые диоды в выпрямителях генераторов переменного тока. Изобретение в 1948 г. полупроводникового транзистора дало новый толчок развитию электронных приборов в автомобилях. Сначала транзисторы начали использовать в регуляторах напряжения и коммутаторах систем зажигания, а затем и в других устройствах (например, в радиоприемниках). В 1958 г. появились первые интегральные схемы, которые уже с 1967 г. используют в генераторных установках, системах зажигания, электронных системах впрыска, системах управления трансмиссией, тормозами и т. д. Тогда же появился первый электронный спидометр.

Изобретение микроЭВМ в 1972 г. открыло новую эру в развитии автомобильной электроники. Если раньше все электронное оборудование было аналоговым, то с 1976 г. на автомобилях начали применять цифровые системы для управления углом опережения зажигания. Большой толчок развитию цифровых электронных систем дало введение в 1970-е годы ограничений на состав отработавших газов и расход топлива. В результате в 1970–1980-е годы резко увеличилось применение цифровых систем управления двигателями внутреннего сгорания – сначала бензиновыми, а затем и дизельными. В 1981 г. на автомобиле BMW появился бортовой компьютер.

В 1980-е годы большое внимание начали уделять безопасности водителя и пассажиров – появились подушки безопасности и антиблокировочные системы тормозов. Дальнейшее развитие электроники предопределило внедрение в бортовую сеть транспортных средств навигационного оборудования, климат-контроля, круиз-контроля, ассистентов парковки и торможения, цифровых мультимедийных систем и многого другого электронного оборудования.

Весь комплекс взаимосвязанных электрических и электронных устройств и систем образует бортовую сеть транспортного средства. В общем случае бортовая сеть состоит из источников электрической энергии, потребителей и электрических цепей управления потребителями электрической энергии.

К источникам электроэнергии относят аккумуляторную батарею и генераторную установку, которые вместе с цепями управления потребителями объединяются в систему электроснабжения. В свою очередь цепи управления потребителями включают проводку, защитную и коммутационную аппаратуру и могут быть прямого, релейного и цифрового управления.

Бортовое оборудование, относящееся к потребителям электрической энергии, можно условно подразделить на навесное, функциональное и комфортное.

Навесное оборудование относится к двигателю внутреннего сгорания и включает в себя систему электростартерного пуска, систему зажигания (для бензиновых двигателей без единой системы управления), системы управления бензиновыми и дизельными двигателями.

Функциональное оборудование выполняет заданные функции управления трансмиссией, подвеской, рулевым управлением, тормозами и другими агрегатами. Сюда можно отнести системы освещения и сигнализации, а также информационно-диагностические системы.

Комфортное оборудование включает в себя системы кондиционирования и отопления, охранные, противоугонные и мультимедийные системы, электропривод стеклоподъемников, зеркал, сидений и т. д. Важное значение имеют системы пассивной безопасности, предназначенные для противоаварийной защиты водителя и пассажиров.

# 1. ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

## 1.1. Электрическое поле

Все вещества состоят из молекул. Молекула — это наименьшая частица вещества, сохраняющая его химические свойства. Молекулы состоят из атомов. Например, молекула воды состоит из двух атомов водорода и одного атома кислорода. Соответственно молекулу воды можно разложить на атомы водорода и кислорода. Вещества, которые нельзя разложить на более простые составные части, называют химическими элементами. Каждому химическому элементу соответствует атом, имеющий определенный атомный номер в таблице Менделеева. Например, водород в таблице Менделеева расположен под номером 1, кислород — под номером 8. Атомный номер, атомная масса и свойства химического элемента зависят от структуры атома этого элемента.

Атомы состоят из ядра и электронов, движущихся по своим орбитам вокруг ядра (рис. 1.1). Электроны имеют отрицательный электрический заряд. В состав ядра входят положительно заряженные протоны и не имеющие электрического заряда нейтроны. Электрон и протон имеют одинаковый по величине и противоположный по знаку электрический заряд. Атомный номер химического элемента определяется числом протонов в ядре, атомная масса — общим числом протонов и нейтронов. Масса электронов значительно меньше массы ядра, поэтому электроны почти не вносят вклада в атомную массу элемента.

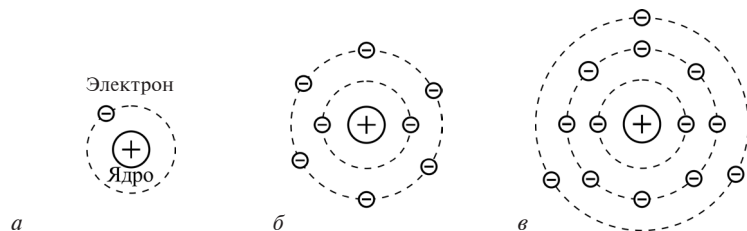


Рис. 1.1. Строение атома: *а* — водорода; *б* — кислорода; *в* — алюминия

Электроны движутся вокруг ядра по замкнутым орбитам, которые называют оболочками. Оболочки заполняются постепенно по мере увеличения атомного номера элемента. Сначала заполняется ближайшая к ядру оболочка, в которой не может быть более двух электронов. Во второй оболочке может разместиться максимум 8 электронов, в третьей — 18. Внешнюю оболочку называют валентной, количество электронов, которое она содержит, — валентностью. Таких электронов не бывает больше восьми. Валентные электроны слабо связаны с ядром и при внешних воздействиях могут отрываться от атомов или переходить от одного атома к другому. Оторвавшиеся от атома электроны называют свободными. Атомы и молекулы, имеющие либо избыток, либо недостаток электронов, называют *ионами*, а процесс присоединения или отрыва электронов — *ионизацией*.

Ионизация играет большую роль в протекании электрического тока. Атомы и молекулы, присоединившие к себе лишние электроны, заряжены отрицательно и называются отрицательными ионами, а потерявшие электроны — положительными, заряженными положительно.

Материалы, которые содержат большое количество свободных электронов, называют *проводниками*, поскольку они хорошо проводят электрический ток. Во внешнем слое атомы металлов имеют от одного до трех валентных электронов и легко их теряют, поэтому металлы являются хорошими проводниками. Носителями зарядов в твердых металлах являются только электроны. Кроме металлов, проводниками могут быть электролиты, ионизированные газы и другие вещества.

В тех материалах, в которых валентные электроны одних атомов присоединяются к другим, заполняя валентные оболочки, свободные электроны отсутствуют. Такие материалы, препятствующие прохождению электрического тока, называют *диэлектриками*. К ним относят различные пластмассы, слюду, стекло, резину и пр. Воздух также является плохим проводником электричества.

Любой электрический заряд создает вокруг себя электрическое поле, с помощью которого он взаимодействует с другими зарядами. Электрическое поле принято изображать силовыми линиями — *линиями напряженности электрического поля*. Поля

положительного и отрицательного зарядов отличаются направлением линий напряженности (рис. 1.2, а, б).

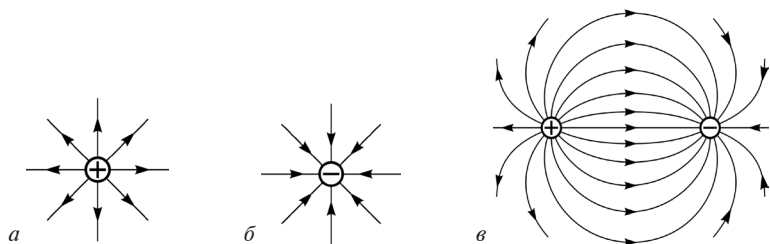


Рис. 1.2. Линии напряженности электрического поля:  
а – положительного заряда; б – отрицательного заряда;  
в – системы из положительного и отрицательного зарядов

Взаимодействие заряженных тел зависит от знака электрических зарядов. Одноименно заряженные тела отталкиваются друг от друга, противоположно заряженные притягиваются друг к другу (рис. 1.2, в).

Сила, с которой взаимодействуют заряды, направлена вдоль прямой, соединяющей эти заряды (рис. 1.3).

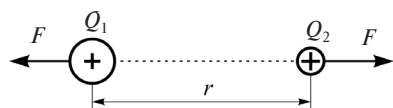


Рис. 1.3. Схема взаимодействия электрических зарядов

В соответствии с *законом Кулона* сила взаимодействия двух точечных зарядов прямо пропорциональна произведению этих зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними:

$$F = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\epsilon_0 r^2},$$

где  $Q_1, Q_2$  – величины зарядов, Кл;  $\epsilon_0$  – электрическая постоянная ( $8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м);  $r$  – расстояние между зарядами, м.

Основные единицы измерения электрических и магнитных величин в Международной системе единиц (СИ) приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1

### Основные единицы измерения электрических и магнитных величин

Величина		Единица измерения	
Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение
Электрический заряд	$Q$	кулон	Кл
Сила электрического тока	$I$	ампер	А
Электрическое напряжение	$U$	вольт	В
Электрическое сопротивление	$R$	ом	Ом
Электрическая емкость	$C$	фарад	Ф
Мощность электрической цепи	$P$	ватт	Вт
Электрическая энергия, работа	$A$	джоуль	Дж
Магнитная индукция	$B$	тесла	Тл
Магнитный поток	$\Phi$	вебер	Вб
Индуктивность	$L$	генри	Гн

Поскольку силы, действующие на один и тот же заряд в различных точках электрического поля, отличаются по величине и направлению, то вводится специальная силовая характеристика, называемая *напряженностью электрического поля*. Напряженность поля измеряется силой, действующей на единицу заряда, вынесенного в заданную точку поля.

Напряженность электрического поля  $E$  (В/м) заряда  $Q_1$  в точке размещения заряда  $Q_2$  определяют по формуле

$$E = \frac{F}{Q_2} = \frac{Q_1}{4\pi\epsilon_0 r^2}.$$

Таким образом, напряженность поля электрического заряда зависит от величины заряда и расстояния от источника поля до точки измерения напряженности поля. Если зарядов, создающих электрическое поле, несколько, напряженность поля в любой точке равна сумме напряженностей отдельно от каждого заряда.

Ранее приведенные зависимости справедливы при размещении зарядов в вакууме. Если разместить заряды в какой-либо

среде, то напряженность электрического поля в этой среде  $E_c$  будет отличаться от напряженности поля в вакууме:

$$E_c = \frac{E}{\varepsilon},$$

где  $\varepsilon$  — относительная диэлектрическая проницаемость среды, которая показывает, во сколько раз сила взаимодействия электрических зарядов в этой среде меньше, чем в вакууме. Величина  $\varepsilon$  всегда больше единицы.

Если взять две одинаковые металлические пластины, расположить их параллельно друг другу, зарядить одну пластину положительным зарядом  $+Q$ , а другую — отрицательным  $-Q$ , то между ними возникнет электрическое поле. Линии напряженности электрического поля окажутся расположенными параллельно, если расстояние  $r$  между пластинами значительно меньше размера пластин (рис. 1.4). Искривлением линий напряженности по краям пластины в таком случае можно пренебречь.

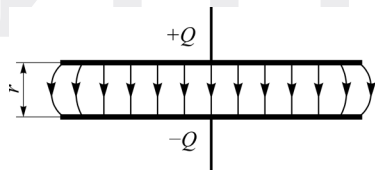


Рис. 1.4. Линии напряженности электрического поля в конденсаторе

Такие пластины образуют простейший *конденсатор*, который позволяет накапливать электрический заряд. Максимально возможная величина накопленного заряда зависит от *электрической емкости* конденсатора. Для конденсатора, размещенного в вакууме, емкость  $C$  (Ф) составит

$$C = \frac{\varepsilon_0 S}{r},$$

где  $S$  — площадь каждой из пластин,  $m^2$ .

Для увеличения емкости конденсатора пространство между пластинами заполняют диэлектриком. Тогда емкость конденсатора возрастает на величину диэлектрической проницаемости заполняющего пространство материала:

$$C = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{r}.$$

Фарад как единица измерения емкости конденсаторов является слишком большой величиной. Поэтому емкость конденсаторов измеряют в производных величинах: микрофарадах ( $1 \text{ мкФ} = 10^{-6} \text{ Ф}$ ), нанофарадах ( $1 \text{ нФ} = 10^{-9} \text{ Ф}$ ) и пикофарадах ( $1 \text{ пФ} = 10^{-12} \text{ Ф}$ ).

В электрических цепях конденсаторы могут соединяться как параллельно, так и последовательно (рис. 1.5).

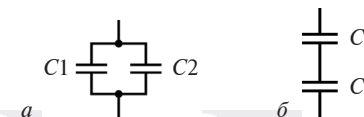


Рис. 1.5. Соединение конденсаторов:  $a$  — параллельное;  $b$  — последовательное

Для увеличения емкости конденсаторов их соединяют параллельно. При параллельном соединении конденсаторов  $C1$  и  $C2$  их емкости складывают:

$$C = C1 + C2.$$

При последовательном соединении конденсаторов общую емкость получившегося конденсатора находят по зависимости

$$C = \frac{C1C2}{C1 + C2}.$$

Последовательное соединение конденсаторов используют, если необходимо уменьшить их емкость.

## 1.2. Электрические цепи постоянного тока

При соединении двух противоположных зарядов проводником (например, электрическим проводом) избыток электронов, находящийся на отрицательном заряде, будет перемещаться к положительному заряду, что создаст в проводнике постоянный электрический ток (рис. 1.6). При этом принято считать, что электрический ток течет от положительного заряда к отрицательному, т. е. из точки с более высоким потенциалом в точку с более низким потенциалом.



Рис. 1.6. Схема проводника постоянного электрического тока

Разность потенциалов между положительным и отрицательным зарядами называют *напряжением*. Напряжение  $U$  (В) равно работе  $A$  (Дж), затраченной на перемещение заряда  $Q$  (Кл) между двумя точками:

$$U = \frac{A}{Q}. \quad (1.1)$$

Величина тока  $I$  (А) в проводнике зависит от количества перемещаемого через поперечное сечение проводника заряда  $Q$  (Кл) за единицу времени  $t$  (с):

$$I = \frac{Q}{t}. \quad (1.2)$$

Столкновение электронов с атомами кристаллической решетки проводника тормозит их поступательное движение. Это противодействие направленному движению электронов называют *электрическим сопротивлением* проводника протекающему в нем току.

Сопротивление проводника измеряется в омах (Ом) и производных величинах — килоомах (1 кОм =  $10^3$  Ом) и мегаомах (1 МОм =  $10^6$  Ом).

Проводящее свойство материала, из которого изготовлен проводник, зависит от его *удельного сопротивления*, равного сопротивлению проводника длиной 1 м и поперечным сечением  $1 \text{ м}^2$ . Удельное сопротивление измеряют в омах на метр (Ом·м). На практике часто используют внесистемную единицу Ом·мм<sup>2</sup>/м, удобную при расчете сопротивления проводов:  $1 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м} = 10^6 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ .

Сопротивление проводника  $R$  зависит от его длины  $l$ , площади поперечного сечения  $S$  и удельного сопротивления  $\rho$ :

$$R = \frac{\rho l}{S}.$$

*Закон Ома* устанавливает взаимосвязь между силой тока  $I$ , напряжением  $U$  и сопротивлением  $R$ : сила тока, протекающего

в проводнике, прямо пропорциональна приложенному к концам проводника напряжению и обратно пропорциональна сопротивлению проводника:

$$I = \frac{U}{R}. \quad (1.3)$$

Наличие сопротивления в проводе приводит к потере напряжения на конце провода при подаче по нему электрического тока к потребителям. В связи с этим провода в автомобильной бортовой сети подбирают по сечению  $S$  (мм<sup>2</sup>) исходя из длины провода  $l$  (м) и допустимой токовой нагрузки  $I$  (А) при заданной температуре окружающей среды:

$$S = \frac{\rho l I}{\Delta U},$$

где  $\rho$  — удельное сопротивление медного провода при температуре  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , Ом·мм<sup>2</sup>/м;  $\Delta U$  — допустимое падение напряжения в проводе, В.

В ряде случаев влияние сопротивления полезно. *Резисторы* являются такими компонентами электрической цепи, которые изготавливают с заранее заданной величиной сопротивления.

Как и конденсаторы, резисторы в электрических цепях могут соединяться параллельно и последовательно (рис 1.7).

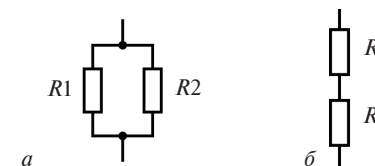


Рис. 1.7. Соединение резисторов: а — параллельное; б — последовательное

Резисторы соединяют параллельно, если хотят уменьшить общее сопротивление. При параллельном соединении резисторов  $R1$  и  $R2$  общее сопротивление определяют по зависимости

$$R = \frac{R1R2}{R1 + R2}. \quad (1.4)$$

Сопrotивления при последовательном соединении резисторов суммируют:

$$R = R_1 + R_2 \quad (1.5)$$

При переносе электрического заряда из одного участка электрической цепи в другой затрачивается определенная работа. Как следует из уравнений (1.1) и (1.2), работа, производимая электрическим током, зависит от напряжения, величины и времени прохождения тока:

$$A = UIt.$$

Электрическая мощность — это работа, производимая электрическим током в единицу времени:

$$P = \frac{A}{t}. \quad (1.6)$$

Используя закон Ома (см. уравнение (1.3), уравнение (1.6) можно записать следующим образом:

$$P = UI = \frac{U^2}{R} = I^2 R.$$

Мощность измеряют в ваттах (Вт) и киловаттах ( $1 \text{ кВт} = 10^3 \text{ Вт}$ ).

В любой электрической цепи должен соблюдаться баланс мощностей: сумма мощностей источников электрической энергии равна сумме мощностей потребителей этой энергии:

$$\sum P_{\text{ист}} = \sum P_{\text{потр}}.$$

Если у какого-либо источника электрической энергии направление тока противоположно направлению электродвижущей силы (ЭДС), мощность такого источника считается отрицательной и он является не источником, а потребителем электрической энергии (например, аккумулятор при зарядке от генератора).

### 1.3. Электромагнетизм

Магнитное поле совместно с электрическим являются составляющими электромагнитного поля. Так, при движении электрических зарядов по проводнику протекает электрический ток  $I$ , создающий магнитное поле вокруг проводника. Магнитное поле отображается в виде линий магнитной индукции  $B$ , называ-

емых магнитными силовыми линиями (рис. 1.8, а). Направление силовых линий зависит от направления тока и определяется по правилу буравчика (винта с правой резьбой): при заворачивании винта по ходу движения тока направление вращения винта соответствует направлению магнитных силовых линий.

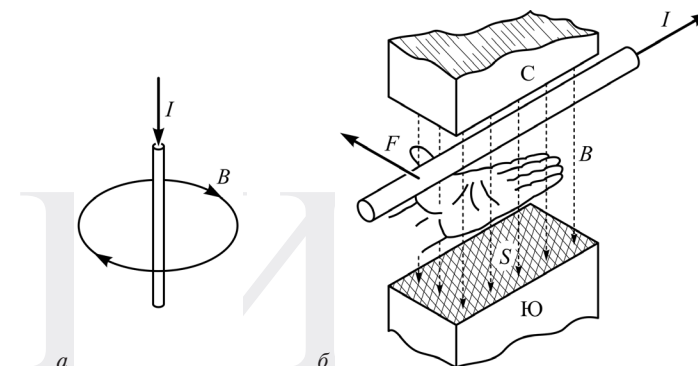


Рис. 1.8. Взаимодействие магнитного поля и проводника с током: а — магнитные силовые линии вокруг проводника с током; б — правило левой руки

Если проводник с током поместить между полюсами магнита, на проводник будет действовать магнитная сила  $F$  (сила Ампера), перпендикулярная как проводнику, так и силовым линиям магнитного поля. Направление силы  $F$  можно определить по правилу левой руки (рис. 1.8, б): если расположить левую руку вдоль проводника так, чтобы четыре пальца указывали направление тока в нем, а линии магнитной индукции входили в ладонь, то отогнутый большой палец будет указывать направление силы, действующей на проводник.

Величина этой силы зависит от магнитной индукции  $B$ , силы тока  $I$  и длины участка проводника  $l$ , через который проходит магнитное поле:

$$F = BI l.$$

В СИ единицей магнитной индукции принята тесла (Тл) — индукция магнитного поля, в котором на 1 м длины проводника, помещенного перпендикулярно линиям индукции, при силе тока 1 А действует сила 1 Н.

Плотность магнитного поля оценивается магнитным потоком  $\Phi$ , который определяется как произведение магнитной ин-

дукции  $B$  на площадь  $S$ , перпендикулярную линиям магнитного поля, пронизывающим эту площадь:

$$\Phi = BS.$$

В СИ единицей магнитного потока является вебер (Вб). 1 Вб – это магнитный поток, создаваемый магнитным полем с индукцией 1 Тл на площади 1 м<sup>2</sup>, перпендикулярной линиям индукции.

Если проводник, помещенный в магнитное поле, перемещать так, чтобы он пересекал магнитные силовые линии, то в этом проводнике возникнет ЭДС, а при замыкании электрической цепи в проводник потечет электрический ток. Это явление называют *электромагнитной индукцией*, а индуцируемая электродвижущая сила – ЭДС индукции. ЭДС, как и напряжение, измеряется в вольтах.

Величина ЭДС индукции  $e$  зависит от скорости изменения магнитного потока:

$$e = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}.$$

Знак «–» выражает *правило Ленца*: индукционный ток всегда направлен так, чтобы противодействовать причине, его вызывающей.

Электродвижущую силу индукции проводника можно определить, зная величину магнитной индукции  $B$  и скорость перемещения проводника  $v$ :

$$e = \frac{B}{v}.$$

Направление индуцированной ЭДС определяют *по правилу правой руки* (рис. 1.9, а): если правую руку расположить вдоль проводника так, чтобы линии магнитной индукции входили в ладонь, а отогнутый большой палец показывал направление движения проводника, то четыре пальца будут указывать направление ЭДС.

Электродвижущая сила, индуцируемая в электрической цепи, не зависит от источника магнитного потока. Магнитное поле может быть образовано не только постоянным магнитом или электромагнитом, но и создано током, протекающим в самой электрической цепи.

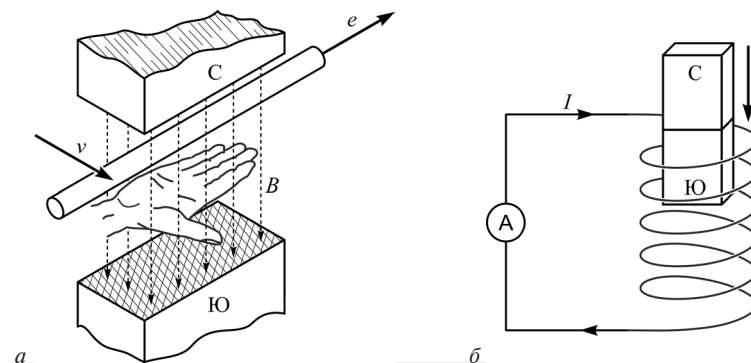


Рис. 1.9. Электромагнитная индукция:  
а – правило правой руки; б – самоиндукция

Если внутри проводника, свернутого в виде катушки, перемещать магнит, то в ней индуцируется ЭДС. При замыкании проводника в нем под действием ЭДС потечет изменяющийся по величине электрический ток  $I$  (рис. 1.9, б). Этот ток создаст проходящий через катушку переменный магнитный поток, который в свою очередь создаст собственную ЭДС. Возникновение ЭДС индукции в замкнутой цепи, вызванное изменением магнитного поля тока, текущего в этой цепи, называют *самоиндукцией*, а возникшую ЭДС – *ЭДС самоиндукции*.

Электродвижущая сила самоиндукции  $e_c$  в цепи с током прямо пропорциональна скорости изменения силы тока  $I$  в этой цепи:

$$e_c = -L \frac{\Delta I}{\Delta t},$$

где  $L$  – индуктивность цепи.

*Индуктивность* измеряется в генри (Гн) и производных величинах – миллигенри (1 мГн = 10<sup>-3</sup> Гн) и микрогенри (1 мкГн = 10<sup>-6</sup> Гн). 1 Гн – это индуктивность, которая требуется для индуцирования ЭДС в 1 В при изменении тока в проводнике со скоростью 1 А/с.

В соответствии с *правилом Ленца* ЭДС самоиндукции всегда препятствует изменению тока в цепи. Чем больше индуктивность электрической цепи, тем медленнее нарастание тока в этой цепи.

Свойство участков электрической цепи иметь индуктивность используют при изготовлении катушек индуктивности. *Катушки*

*индуктивности* являются такими компонентами электрической цепи, которые изготовляют с заранее заданной величиной индуктивности, как правило, из провода, намотанного на сердечник из магнитного или немагнитного материала.

При параллельном или последовательном соединении катушек индуктивности общую индуктивность рассчитывают по формулам, аналогичным уравнениям (1.4) и (1.5), используемым для расчета общего сопротивления резисторов при их параллельном или последовательном соединении.

Когда индукционный ток возникает в результате механического движения (перемещения магнита или проводника), то электрическая энергия образуется из механической. Такое преобразование энергии происходит в генераторах, например в автомобильных генераторах переменного тока. Если индукционный ток возникает без механического движения, то электрическая энергия переходит из одной электрической цепи в другую. Такой способ передачи энергии используют в трансформаторах, например в одной из разновидностей трансформаторов – катушках зажигания.

В трансформаторах используют катушки, магнитные поля которых связаны друг с другом. Связь между ними характеризуется *взаимной индуктивностью*: ЭДС одной катушки наводится током, протекающим во второй катушке, и наоборот. Взаимная индуктивность зависит от конструкции катушек и их взаимного расположения.

## 1.4. Электрические измерения

*Измерение* – способ получения числовой информации об измеряемых величинах. При измерениях физических величин используют специальные технические устройства – *средства измерений*. Из средств измерений наибольшее распространение получили измерительные приборы и измерительные преобразователи.

*Измерительные приборы* – средства измерений, позволяющие непосредственно наблюдать значения измеряемых величин по соответствующим шкалам. Приборы, предназначенные для измерения электрических величин, называют *электроизмерительными*. К ним относят амперметры, вольтметры и др.

*Измерительные преобразователи* – средства измерений, предназначенные для преобразования измеряемой физической вели-

чины в сигнал, удобный для дальнейшей обработки или хранения. Например, к ним относят различные датчики (температуры, давления и т. д.), чаще всего преобразующие измеряемую величину в электрический сигнал.

Электроизмерительные приборы, показания которых являются непрерывной функцией измеряемых величин, называют *аналоговыми*. Показания таких приборов считывают по стрелочной шкале и называют стрелочными приборами. Приборы, в которых измеряемая аналоговая величина предварительно преобразуется в дискретную (цифровую) форму и отображается в виде чисел на цифровом табло, называют *цифровыми*. Для преобразования аналогового сигнала в цифровую форму служат аналого-цифровые преобразователи, устройство и принцип действия которых будет рассмотрен ниже.

В зависимости от вида измеряемой физической величины электроизмерительные приборы подразделяют на амперметры, вольтметры, омметры, ваттметры и др.

Независимо от вида измеряемой величины (ток, напряжение, сопротивление и т. д.) для ее регистрации используют базовый электроизмерительный прибор, преобразующий электрический сигнал в движение стрелки относительно шкалы аналогового прибора.

По способу преобразования электрической энергии в механическое действие подвижной части прибора (в том числе стрелки) аналоговые электроизмерительные приборы подразделяют на магнитоэлектрические с подвижной рамкой, магнитоэлектрические с подвижным магнитом, электромагнитные, электродинамические, индукционные и др.

Магнитоэлектрический прибор с подвижной рамкой (рис. 1.10) состоит из неподвижной и подвижной частей. Неподвижная часть представляет собой подковообразный

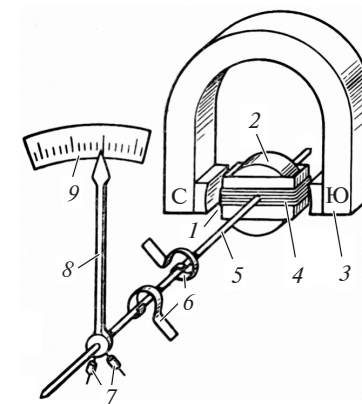


Рис. 1.10. Магнитоэлектрический прибор с подвижной рамкой:

- 1 – воздушный зазор;
- 2 – сердечник; 3 – магнит;
- 4 – рамка с катушкой;
- 5 – ось; 6 – пружины;
- 7 – противовесы;
- 8 – стрелка; 9 – шкала

магнит с полукруглыми полюсными наконечниками. В пространстве между полюсными наконечниками неподвижно закреплен стальной цилиндрический сердечник, предназначенный для создания в воздушном зазоре между полюсными наконечниками и сердечником равномерного радиально направленного магнитного поля. К неподвижной части относится также шкала прибора.

Подвижной частью прибора является рамка, закрепленная вместе со стрелкой на стальной оси. Рамка, выполненная из тонкого изолированного медного провода, намотанного в виде катушки на каркас прямоугольной формы, расположена в воздушном зазоре между полюсными наконечниками и сердечником. Концы катушки соединены со спиральными пружинами, изолированно закрепленными на оси рамки. К свободным концам пружин присоединены неподвижные провода, через которые подводится ток к катушке. Основное назначение пружин – создание противодействующего момента в приборе и возвращение подвижной системы в первоначальное положение при отключении тока.

Принцип действия прибора основан на воздействии магнитного поля постоянного магнита на подвижную катушку (рамку) с током, помещенную в это поле. В рамке при протекании через нее тока создается магнитное поле, которое взаимодействует с магнитным полем постоянного магнита. Сила взаимодействия создает вращающий момент  $M$ , поворачивающий рамку:

$$M = BwSI,$$

где  $B$  – магнитная индукция в воздушном зазоре, в котором вращается рамка;  $w$  – число витков рамки;  $S$  – площадь рамки;  $I$  – величина тока, протекающего через рамку.

Повороту рамки противодействует момент, создаваемый спиральными пружинами при их закручивании. Поэтому при протекании через рамку электрического тока рамка вместе со стрелкой прибора поворачивается на строго определенный угол, пропорциональный величине тока. Если по дуге движения конца стрелки разместить шкалу с равномерной разметкой, такая шкала будет служить для измерения постоянного тока. Точность измерения будет зависеть от класса точности прибора, внутреннего сопротивления прибора и места его включения в электрическую цепь.

Прибор, предназначенный для измерения силы тока, называют *амперметром*. Чтобы использовать амперметр для измерения силы тока, электрическая цепь предварительно должна быть разомкнута (разорвана). Амперметр включается *последовательно* в разрыв цепи в любом ее месте при условии, что через него будет протекать весь измеряемый ток (рис. 1.11, *а*). Если амперметр подключить параллельно источнику питания, это приведет к повреждению амперметра или какого-либо участка электрической цепи. При включении амперметра в цепь постоянного тока обязательно должна соблюдаться полярность, которая указывается на выводах амперметра («+» амперметра должен быть подключен в направлении к «+» источника питания).

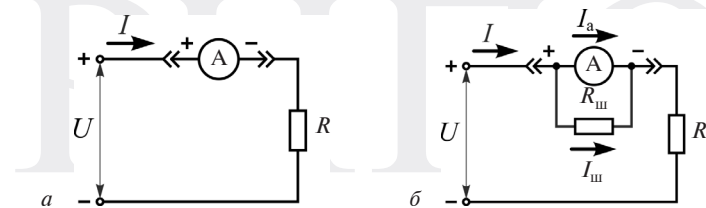


Рис. 1.11. Включение амперметра:  
*а* – без шунта; *б* – с шунтом

Ток в электрической цепи с включенным в нее амперметром составит

$$I = \frac{U}{R_a + R},$$

где  $R_a$  – внутреннее сопротивление амперметра.

Таким образом, включение амперметра в электрическую цепь приводит к погрешности измерения тока в цепи. Для уменьшения этой погрешности внутреннее сопротивление амперметра должно быть значительно меньше сопротивления участка цепи, в которой замеряется величина тока (не менее чем в 20 раз). Тогда влияние амперметра на измеряемую цепь можно не учитывать:

$$I \approx \frac{U}{R}.$$

Как правило, магнитоэлектрические приборы измеряют небольшой ток (микроамперы или миллиамперы). Для измерения больших токов параллельно амперметру подключается дополнительное сопротивление  $R_{ш}$ , называемое *шунтом* (рис. 1.11, *б*).

Величина этого сопротивления намного меньше внутреннего сопротивления амперметра, что позволяет измерять ток большой величины, поскольку через шунт будет проходить основная часть тока:

$$I = I_a + I_{\text{ш}} = \left(1 + \frac{R_a}{R_{\text{ш}}}\right) I_a,$$

где  $I_a$  – ток, проходящий через амперметр;  $I_{\text{ш}}$  – ток, проходящий через шунт.

Сопротивление шунта  $R_{\text{ш}}$  подбирают по зависимости

$$R_{\text{ш}} = R_a \frac{I_a}{I_{\text{ш}}}.$$

Прибор, предназначенный для измерения напряжения, называют *вольтметром*. Вольтметр включают параллельно участку цепи, на котором необходимо измерить напряжение (рис. 1.12, а). При подключении вольтметра к цепи постоянного тока необходимо соблюдать полярность прибора. Чтобы вольтметр не оказывал большого влияния на протекание тока в измеряемой цепи, его внутреннее сопротивление должно быть значительно больше сопротивления того участка цепи, параллельно которому подключается вольтметр.

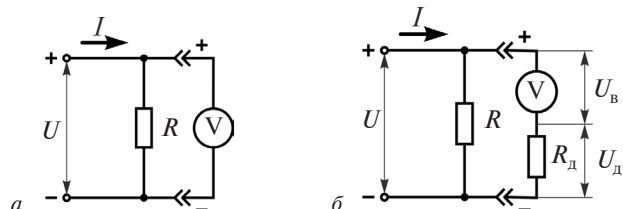


Рис. 1.12. Включение вольтметра:  
а – без добавочного резистора; б – с добавочным резистором

Для расширения диапазона измеряемых напряжений последовательно с вольтметром включают добавочное сопротивление (резистор  $R_d$  на рис. 1.12, б).

Тогда предельное напряжение, которое позволяет замерять вольтметр с добавочным резистором, возрастает на величину падения напряжения  $U_d$  на добавочном резисторе, имеющем сопротивление  $R_d$ :

$$U = U_b + U_d = \left(1 + \frac{R_d}{R_b}\right) U_b,$$

где  $U_b$  – падение напряжения на вольтметре;  $R_b$  – внутреннее сопротивление вольтметра.

Величину добавочного резистора  $R_d$  определяют по зависимости

$$R_d = \frac{U}{I_b} - R_b,$$

где  $I_b$  – ток полного отклонения стрелки вольтметра.

Для измерения величины сопротивлений резисторов или других электрических компонентов используют *омметр*. Принцип действия омметра основан на законе Ома, в соответствии с которым величина тока, протекающего по участку цепи, обратно пропорциональна сопротивлению этого участка цепи.

Омметр может включаться последовательно (рис. 1.13, а) или параллельно (рис. 1.13, б) с измеряемым сопротивлением. Первый способ включения омметра используют, как правило, при измерении относительно больших сопротивлений (килоомы и мегаомы), второй – относительно малых (омы).

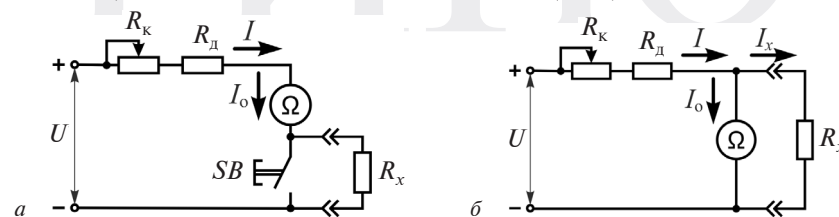


Рис. 1.13. Включение омметра:

а – с последовательным включением измеряемого сопротивления;  
б – с параллельным включением измеряемого сопротивления

Как следует из закона Ома, для измерения сопротивлений омметру необходим собственный источник питания. Наличие собственного источника питания приводит к необходимости калибровки омметра перед проведением измерений. Для калибровки в электрическую схему омметра включают специальный переменный резистор  $R_k$ .

Особенностью калибровки омметра с последовательным включением измеряемого сопротивления является то, что во время калибровки электрическая цепь омметра замыкается выключателем  $SB$  (см. рис. 1.13, а). При этом измеряемое сопротивление  $R_x$  может быть как подключено к омметру, так и отключено от него.

При замкнутых контактах выключателя  $SB$  через омметр протекает ток  $I_o$ , равный току  $I$ , идущему от источника питания,

причем величина этого тока будет максимальная, соответствующая нулевому значению измеряемого сопротивления:

$$I_o = I = \frac{U}{R_k + R_d + R_o}, \quad (1.7)$$

где  $R_o$  – внутреннее сопротивление омметра.

При калибровке стрелку омметра с помощью переменного резистора  $R_k$  устанавливают на последнее (крайнее правое) значение шкалы с нулевым значением. При данном способе измерения сопротивлений в омметре используют так называемую обратную шкалу с разметкой от «∞» до «0», в которой нуль занимает не крайнее левое, а крайнее правое положение.

При разомкнутых контактах выключателя  $SB$  и подключенном измеряемым сопротивлением  $R_x$  через омметр течет ток

$$I_o = I = \frac{U}{R_k + R_d + R_o + R_x}.$$

Чем больше величина измеряемого сопротивления, тем меньше протекающий через омметр ток. С отключенным сопротивлением ток через омметр не течет, поэтому стрелка находится в начальном (левом) положении и показывает «∞». При подключении сопротивления стрелка отклоняется вправо, причем, чем меньше измеряемое сопротивление, тем больше отклонение стрелки. При коротком замыкании цепи стрелка устанавливается на «0», т. е. в крайнее правое положение.

В схеме с параллельным включением измеряемого сопротивления через омметр всегда течет электрический ток (см. рис. 1.13, *a*), поэтому калибровку омметра обязательно проводят при отключенном измеряемом сопротивлении. При этом величину тока, протекающего через вольтметр, определяют по формуле (1.7). Во время калибровки стрелку с помощью резистора  $R_k$  устанавливают на последнее деление шкалы, имеющее отметку «∞». При данном способе шкала омметра размечается от «0» до «∞».

При подключении к омметру измеряемого сопротивления через омметр течет ток  $I_o$ , который меньше тока источника питания  $I$  на величину тока  $I_x$ , протекающего через измеряемое сопротивление  $R_x$ :

$$I_o = I - I_x = \frac{UR_x}{(R_k + R_d)R_o + (R_k + R_d + R_o)R_x}.$$

Если к омметру не подключено измеряемое сопротивление, стрелка находится в конечном (правом) положении и показывает «∞». При подключении сопротивления стрелка отклоняется влево, причем, чем меньше измеряемое сопротивление, тем больше отклонение стрелки. На «0» стрелка устанавливается при коротком замыкании.

Следует отметить, что шкала омметра нелинейная при любом из двух представленных способов измерения, поскольку нелинейной является зависимость величины тока, протекающего через омметр, от величины измеряемого сопротивления.

## 1.5. Электрические цепи переменного тока

Электрические цепи, в которых электрические величины (ЭДС, напряжение и ток) периодически меняют величину и направление, называют *цепями переменного тока*, а ток, протекающий по таким цепям, – *переменным*. Наибольшее распространение получил синусоидальный переменный ток, т. е. ток, у которого величина и направление изменяются по синусоидальному закону.

Рассмотрим вращение рамки с постоянной угловой скоростью  $\omega$  в однородном магнитном поле с индукцией  $B$  (рис. 1.14, *a*).

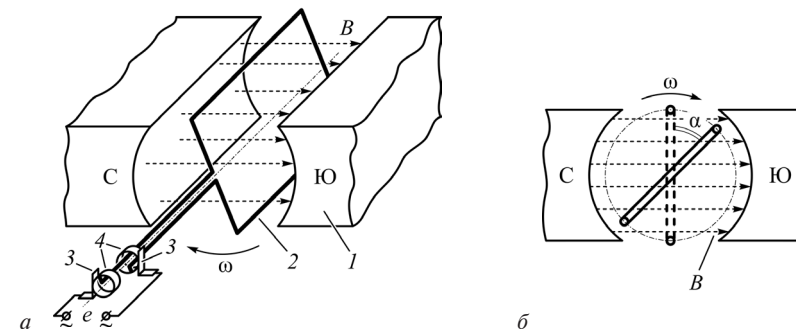


Рис. 1.14. Рамка в магнитном поле:  
*a* – вращение рамки; *b* – угол поворота рамки; *1* – постоянный магнит; *2* – рамка; *3* – щетки; *4* – контактные кольца

Величина магнитного потока  $\Phi$ , проходящего через рамку, будет зависеть от величины магнитной индукции  $B$ , площади рамки  $S$  и угла поворота рамки  $\alpha$ :

$$\Phi = BS \cos \alpha. \quad (1.8)$$

Отсчет угла поворота рамки  $\alpha$  проводится относительно такого положения рамки, при котором она расположена перпендикулярно линиям магнитной индукции  $B$  (рис. 1.14, б).

Поскольку угол  $\alpha$  зависит от угловой скорости  $\omega$  и времени  $t$  ( $\alpha = \omega t$ ), то уравнение (1.8) можно представить в виде

$$\Phi = BS \cos \omega t.$$

В рамке при вращении ее в магнитном поле создается ЭДС индукции, изменяющаяся по синусоидальному закону:

$$e = e_m \sin \omega t,$$

где  $e_m$  — максимальное значение (*амплитуда*) ЭДС, возникающей в рамке при ее вращении,  $e_m = BS\omega$ .

По аналогичным зависимостям изменяются напряжение  $U$  и ток  $I$ :

$$U = U_m \sin \omega t; \quad I = I_m \sin \omega t,$$

где  $U_m$  — амплитуда напряжения;  $I_m$  — амплитуда тока.

Среднее значение ЭДС, напряжения и силы тока за период колебаний равно нулю. Поэтому при рассмотрении переменного тока вводятся понятия *действующих значений* ЭДС, напряжения и тока. Действующим значением силы переменного тока называют такое значение силы постоянного тока, при которой за определенный промежуток времени в проводнике выделяется столько же теплоты, что и при переменном токе. Величину действующего значения силы тока, напряжения и ЭДС рассчитывают по одинаковым зависимостям:

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \approx 0,707 I_m; \quad U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \approx 0,707 U_m; \quad e = \frac{e_m}{\sqrt{2}} \approx 0,707 e_m.$$

Величину ЭДС можно измерять, подключившись к рамке через щетки и контактные кольца, к которым присоединены концы рамки (см. рис. 1.14, а). Значение переменной ЭДС  $e$  в любой момент времени называют *мгновенным*. Изменение ЭДС в зависимости от времени можно отобразить графически (рис. 1.15, а). Из графика видно, что  $e$  может принимать значения в диапазоне от « $+e_m$ » до « $-e_m$ ».

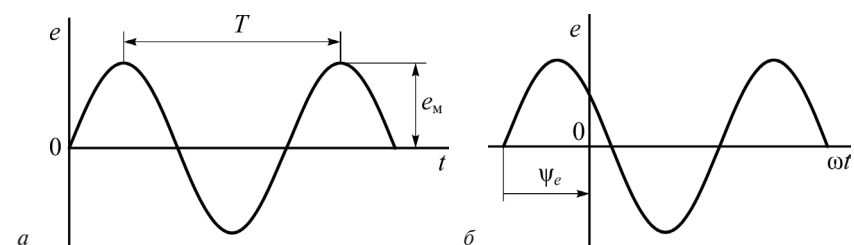


Рис. 1.15. Переменная ЭДС:  
а — без сдвига фазы; б — со сдвигом фазы

Время одного полного изменения ЭДС, соответствующее полному обороту рамки, называют *периодом колебаний*  $T$ , величину, обратную периоду, — *частотой колебаний*  $f$ :

$$f = \frac{1}{T}.$$

Период колебаний измеряют в секундах, а частоту колебаний — в герцах (Гц). Частота колебаний связана с угловой скоростью вращения рамки соотношением  $\omega = 2\pi f$ .

Произведение  $\omega t$  называют *фазой колебаний*. Фаза определяет значение ЭДС в момент времени  $t$  и измеряется в градусах или радианах. Если нулевое значение ЭДС приходится не на начало координат, говорят, что имеется начальная фаза, или *сдвиг фазы*  $\psi_e$ . При этом на графике отображается зависимость ЭДС не от времени, а от фазы (рис. 1.15, б).

При наличии сдвига фазы мгновенное значение ЭДС определяют по зависимости

$$e = e_m \sin(\omega t + \psi_e).$$

Сопоставление фаз синусоидальных колебаний напряжения и тока на одном и том же участке цепи обуславливает необходимость введения важного параметра — сдвига фаз между напряжением и током. Сдвигом фаз между напряжением и током  $\varphi$  называют разницу между сдвигом фаз напряжения  $\psi_u$  и сдвигом фаз тока  $\psi_i$ :

$$\varphi = \psi_u - \psi_i.$$

Электрическая цепь, в которой нагрузкой для источника переменного тока являются резисторы, не имеет сдвига фаз между

током и напряжением (рис. 1.16, а). Фаза тока соответствует фазе напряжения ( $\psi_u = \psi_i$ ).

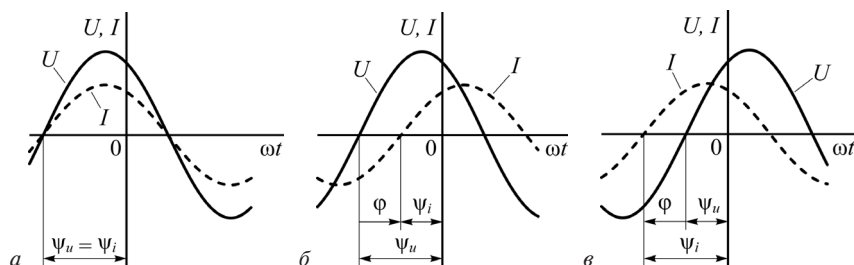


Рис. 1.16. Напряжение и ток однофазного переменного тока:  
а – сдвиг фаз  $\varphi = 0$ ; б – сдвиг фаз  $\varphi > 0$ ; в – сдвиг фаз  $\varphi < 0$

Наличие в электрической цепи индуктивности или емкости приводит к сдвигу фаз между током и напряжением. Если в электрической цепи преобладает индуктивная нагрузка, сдвиг фаз между напряжением и током положительный ( $\varphi > 0$ ). Ток в этом случае отстает от напряжения (рис. 1.16, б). Преобладание в электрической цепи емкостной нагрузки приводит к тому, что ток в цепи появляется раньше напряжения (рис. 1.16, в). Сдвиг фаз при этом отрицательный ( $\varphi < 0$ ).

Мощность  $P$ , потребляемая электрической цепью переменного тока, зависит от сдвига фаз  $\varphi$  между током  $I$  и напряжением  $U$  (рис. 1.17).

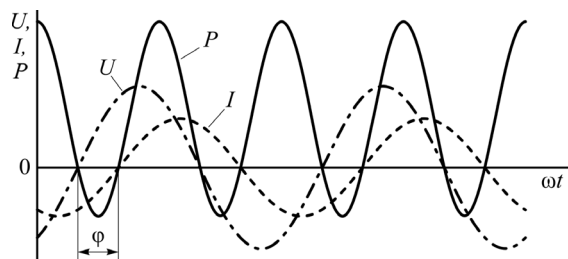


Рис. 1.17. Мощность однофазного переменного тока

Эту мощность называют *активной мощностью*, ее определяют по зависимости

$$P = UI \cos \varphi.$$

Показатель  $\cos \varphi$  называется *коэффициентом мощности* и характеризует эффективность использования энергии электрической цепи переменного тока. Для более рационального использования мощности переменного тока следует стремиться сделать нагрузку такой, чтобы  $\cos \varphi$  был близок к единице. Этого можно добиться, например, подключением параллельно потребителю со значительной индуктивной составляющей батареи конденсаторов или включением в электрическую цепь синхронных электродвигателей, работающих вхолостую и создающих емкостное сопротивление.

Однофазные электрические машины менее экономичны, чем многофазные. Наибольшее распространение получила трехфазная система переменного тока. Под *трехфазной электрической цепью* понимают совокупность трех однофазных цепей переменного тока одинаковой частоты и амплитуды со сдвигом фаз относительно друг друга на  $1/3$  периода колебаний ( $2\pi/3$  радиан или  $120^\circ$ ).

Отдельные однофазные цепи трехфазного тока также называют *фазами* и обозначают буквами  $A$ ,  $B$  и  $C$ . Мгновенные ЭДС фаз  $e_A$ ,  $e_B$  и  $e_C$ , сдвинутых на  $2\pi/3$ , рассчитывают по следующим формулам:

$$e_A = e_m \sin \omega t;$$

$$e_B = e_m \sin \frac{\omega t - 2\pi}{3};$$

$$e_C = e_m \sin \frac{\omega t - 4\pi}{3} = e_m \sin \frac{\omega t + 2\pi}{3}.$$

График зависимости фазных ЭДС от фазы колебаний  $\omega t$  представлен на рисунке 1.18.

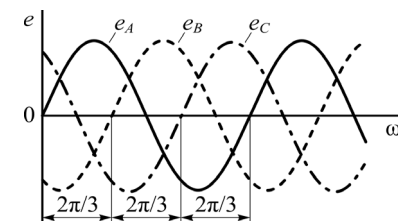


Рис. 1.18. ЭДС трехфазного переменного тока

Как видно из графика, сумма всех трех ЭДС в любой момент равна нулю. Чтобы образовать из совокупности трех однофазных систем единую трехфазную систему, необходимо определенным образом подключать потребителей электроэнергии к фазам. Существуют две схемы подключения потребителей в сеть: звездой и треугольником.

При соединении *звездой* все потребители, кроме фаз *A*, *B* и *C*, связаны общей точкой, которую называют *нулевой* и обозначают буквой *N* (рис. 1.19, *a*). Соответственно провод, соединенный с нулевой точкой, также называют *нулевым*, а систему трехфазного тока с нулевым проводом — *четырёхпроводной*.

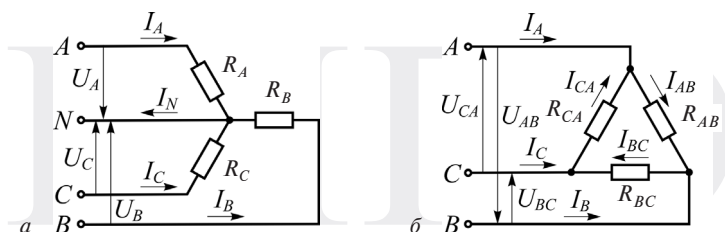


Рис. 1.19. Схемы подключения потребителей:  
*a* — звездой; *б* — треугольником

В трехфазных цепях переменного тока различают два вида напряжений и токов — линейные и фазные. Напряжения между линейными проводами *A* и *B*, *B* и *C*, *C* и *A* называют линейными и обозначают  $U_{AB}$ ,  $U_{BC}$ ,  $U_{CA}$ , напряжения между линейными и нулевым проводами — фазными и обозначают  $U_A$ ,  $U_B$ ,  $U_C$ ; токи, протекающие по линейным проводам, называют линейными ( $I_A$ ,  $I_B$ ,  $I_C$ ), а токи, протекающие между фазами ( $I_{AB}$ ,  $I_{BC}$ ,  $I_{CA}$ ) или между фазой и нулевым проводом ( $I_{AN}$ ,  $I_{BN}$ ,  $I_{CN}$ ), — фазными.

При соединении звездой фазные токи равны линейным. Если во всех фазах величина тока одинаковая (*симметричная нагрузка*), то в нулевом проводе ток отсутствует. При несимметричной нагрузке в нулевом проводе протекает электрический ток  $I_N$ .

В любой фазе (*A*, *B*, *C*) линейное напряжение  $U_{л}$  связано с фазным  $U_{ф}$  следующей зависимостью:

$$U_{л} = \sqrt{3}U_{ф} \approx 1,732U_{ф}.$$

Таким образом, в стандартной трехфазной сети переменного тока фазное напряжение составляет 220 В, а линейное — 380 В. В четырехпроводной сети с соединением звездой присутствуют оба напряжения — линейное и фазное. В промышленности и быту используют именно четырехпроводные трехфазные сети переменного тока.

При соединении *треугольником* потребители соединяют только между фазами (рис. 1.19, *б*). В отличие от соединения звездой, здесь используют только три провода и присутствуют только линейные напряжения  $U_{AB}$ ,  $U_{BC}$  и  $U_{CA}$ .

При этом линейные и фазные токи не равны между собой и связаны следующими соотношениями:

$$I_A = I_{AB} - I_{CA}; \quad I_B = I_{BC} - I_{AB}; \quad I_C = I_{CA} - I_{BC}.$$

Активная мощность трехфазной цепи равна сумме активных мощностей отдельных фаз:

$$P = P_A + P_B + P_C.$$

При симметричной нагрузке активная мощность может быть рассчитана через фазные или линейные токи и напряжения:

$$P = 3U_{ф}I_{ф} \cos \varphi = \sqrt{3}U_{л}I_{л} \cos \varphi,$$

где  $I_{ф}$ ,  $I_{л}$  — величина соответственно фазного и линейного тока одной фазы.

## 1.6. Трансформаторы

Одно из достоинств переменного тока — сравнительно несложное его преобразование с помощью электромагнитной индукции, используемой в трансформаторе. *Трансформатор* — статический электромагнитный прибор, предназначенный для преобразования величины напряжения и силы переменного тока при неизменной частоте. Статичность трансформатора означает, что он не содержит движущихся частей.

Трансформатор имеет не менее двух изолированных друг от друга обмоток с общим магнитным потоком. Для улучшения магнитной связи между первичной и вторичной обмотками их наматывают на общий сердечник (магнитопровод) из материала с

высокой магнитной проницаемостью. Чаще всего магнитопровод собирают из тонких пластин электротехнической стали. В высокочастотных и импульсных трансформаторах вместо электротехнической стали используют ферриты. Обмотку, подключенную к источнику переменного тока, называют *первичной*, а обмотку, к которой подключают потребители, — *вторичной*. У трехфазного трансформатора первичной или вторичной обмоткой называют совокупность трех фазных обмоток одного напряжения.

При подключении первичной обмотки к источнику переменного тока в ней под действием напряжения  $U_1$  появится небольшой по величине ток холостого хода  $I_0$ , который создаст в сердечнике магнитный поток  $\Phi_0$  (рис. 1.20, а). Этот поток по закону электромагнитной индукции наведет в первичной и вторичной обмотках ЭДС  $e_1$  и  $e_2$ , пропорциональные числу витков обмоток  $w_1$  и  $w_2$ .

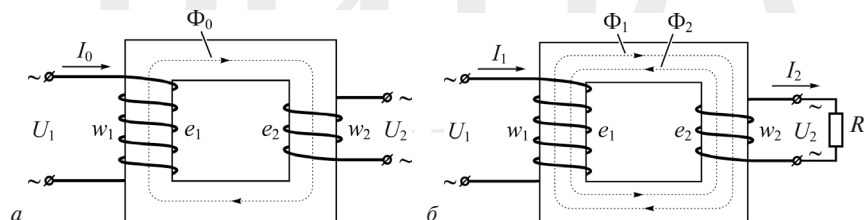


Рис. 1.20. Принцип работы трансформатора:  
а — режим холостого хода; б — рабочий режим

Поскольку во вторичной обмотке в режиме холостого хода отсутствует электрический ток, напряжение на этой обмотке равно ЭДС ( $U_2 = e_2$ ). На первичной обмотке ЭДС  $e_1$  будет несколько меньше напряжения  $U_1$ , однако ввиду малости тока  $I_0$  этой разницей можно пренебречь ( $e_1 \approx U_1$ ). Отношение ЭДС первичной обмотки к ЭДС вторичной обмотки называют *коэффициентом трансформации*:

$$k = \frac{e_1}{e_2} = \frac{w_1}{w_2} \approx \frac{U_1}{U_2}. \quad (1.9)$$

Из уравнения (1.9) следует, что коэффициент трансформации как отношение входного и выходного напряжений равен отношению числа витков первичной и вторичной обмоток.

Если напряжение на первичной обмотке  $U_1$  больше напряжения на вторичной обмотке  $U_2$ , трансформатор называют *по-*

*нижающим*, если напряжение  $U_2$  больше напряжения  $U_1$  — *повышающим*. У понижающего трансформатора коэффициент трансформации  $k > 1$ , у повышающего  $k < 1$ .

При подключении ко вторичной обмотке трансформатора нагрузки в этой обмотке появится ток  $I_2$ , возбуждающий в сердечнике свой магнитный поток  $\Phi_2$ , который направлен против магнитного потока  $\Phi_1$ , созданного под действием тока первичной обмотки  $I_1$  (рис. 1.20, б). В результате суммарный магнитный поток в сердечнике уменьшится, что приведет к уменьшению ЭДС на первичной обмотке  $e_1$ . Как следствие, под действием напряжения  $U_1$  увеличится ток  $I_1$ , увеличивая тем самым магнитный поток  $\Phi_1$  и изменяя величину суммарного магнитного потока. Возрастание суммарного магнитного потока приведет к увеличению ЭДС  $e_2$  и тока во вторичной обмотке  $I_2$ , что опять же приведет к увеличению магнитного потока  $\Phi_2$  и снижению суммарного магнитного потока.

Таким образом, магнитный поток в трансформаторе остается практически постоянным независимо от режима работы трансформатора. Это свойство трансформатора называют *способностью саморегулирования*.

При передаче мощности от первичной обмотки ко вторичной часть мощности составляют потери внутри обмоток трансформатора и в магнитопроводе. Для оценки эффективности трансформатора вводится понятие *коэффициента полезного действия* (КПД). КПД трансформатора — это отношение выходной активной мощности  $P_2$  к входной  $P_1$ , выраженное в процентах:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100 \% = \frac{U_2 I_2 \cos \varphi_1}{U_1 I_1 \cos \varphi_2} \cdot 100 \% \approx \frac{U_2 I_2}{U_1 I_1} \cdot 100 \%,$$

где  $\varphi_1, \varphi_2$  — сдвиг фаз между током и напряжением в первичной и вторичной обмотках,  $\varphi_1 \approx \varphi_2$ .

При небольших коэффициентах трансформации ( $k \leq 2$ ) вместо трансформатора часто применяют *автотрансформатор*. Автотрансформатор отличается от трансформатора только одной обмоткой, у которой выполнен отвод от одного из витков. Соответственно вторичная обмотка автотрансформатора является частью первичной и коэффициент трансформации равен отношению полного числа витков обмотки к числу витков обмотки после отвода. Если отвод изготовить со скользящим контактом, мож-

но получить переменный коэффициент трансформации и возможность плавно регулировать выходное напряжение в широких пределах. Недостатком автотрансформатора является электрическая связь первичной и вторичной цепей, которая отсутствует у трансформатора.

## 1.7. Электрические машины переменного тока

Электрические машины служат для преобразования механической энергии в электрическую и наоборот.

По роду используемого тока электрические машины подразделяют на машины переменного и постоянного тока. Независимо от рода тока электрические машины делят на две категории: двигатели и генераторы. Электрические двигатели преобразуют электрическую энергию в механическую (вращение вала двигателя). Генераторы преобразуют механическую энергию вращения вала в электрическую, т. е. вырабатывают электрический ток. Все электрические машины обратимы и могут быть как генераторами, так и двигателями.

Электрические машины переменного тока делят на асинхронные и синхронные. В *асинхронной* машине подвижная часть (ротор) вращается с частотой, отличающейся от частоты вращения магнитного поля, т. е. асинхронно. Ротор *синхронной* машины вращается с той же частотой, что и магнитное поле (синхронно). Асинхронные машины в основном используют как двигатели, синхронные – и как двигатели, и как генераторы.

Ротор асинхронной машины переменного тока может быть *короткозамкнутым* или *фазным*.

*Трехфазный электрический двигатель с короткозамкнутым ротором* состоит из корпуса, неподвижно закрепленного статора с обмотками и вращающегося на валу ротора (рис. 1.21). Статор представляет собой сердечник, выполненный в виде пустотелого цилиндра с внутренними пазами и собранный из листов электротехнической стали. В пазах статора размещаются статорные обмотки всех трех фаз. Каждая фазная обмотка состоит из нескольких катушечных групп, смещенных на одинаковый угол. Обмотки трех фаз равномерно чередуются между собой. В однокатушечных фазных обмотках углы между фазами составляют  $120^\circ$ .

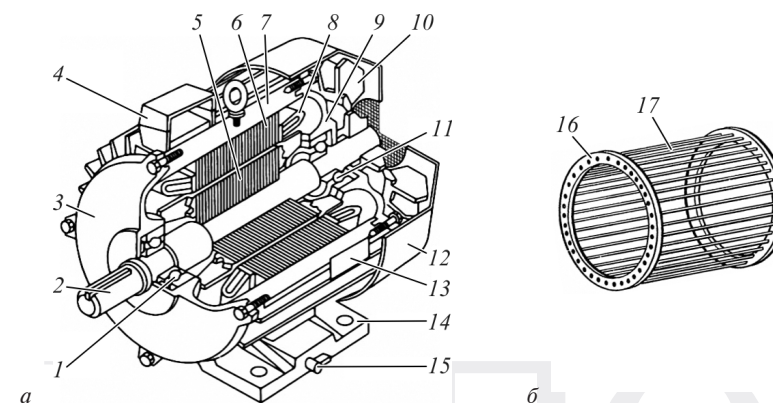


Рис. 1.21. Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором:  
*a* – общее устройство; *б* – обмотка короткозамкнутого ротора;  
 1, 11 – подшипники; 2 – вал; 3, 9 – подшипниковые щиты; 4 – коробка выводов; 5 – сердечник короткозамкнутого ротора с обмоткой;  
 6 – сердечник статора; 7 – корпус; 8 – обмотка статора; 10 – вентилятор;  
 12 – кожух вентилятора; 13 – паспортная табличка; 14 – лапы;  
 15 – болт заземления; 16 – замыкающие кольца; 17 – стержни обмотки

Концы обмоток статора выведены в коробку выводов, в которой начала и концы каждой обмотки подсоединены к соответствующим клеммам, обозначенным буквами латинского алфавита. Начала обмоток обозначают, как и фазы, буквами *A*, *B* и *C*, концы обмоток – буквами *X*, *Y* и *Z*.

Когда фазные обмотки включаются в трехфазную сеть переменного тока, токи, проходящие через катушки фаз, внутри статора создают вращающееся магнитное поле. Зависимость силы тока в обмотках статора от времени представлена на рисунке 1.22, *a*. Положительный (исходящий) ток на каком-либо конце обмотки обозначают кружком с перекрестием, отрицательный (приходящий) – кружком с точкой внутри.

В момент времени  $t_1$  ток  $I_A$  в фазе *A* будет положительный, а токи  $I_B$  и  $I_C$  в фазах *B* и *C* – отрицательные. В результате ток будет идти от начала обмотки к концу в фазе *A* ( $A \rightarrow X$ ) и от конца обмотки к началу в фазах *B* и *C* ( $Y \rightarrow B$ ,  $Z \rightarrow C$ ), что приведет к созданию в статоре магнитного поля с таким расположением северного *N* и южного *S* полюсов, как показано на рисунке 1.22, *б*. В момент времени  $t_2$  ток  $I_B$  в фазе *B* поменяет направление с от-

рицательного на положительное ( $B \rightarrow Y$ ), в результате магнитное поле повернется на угол  $\pi/3$  (рис. 1.22,  $\delta$ ). В момент времени  $t_3$  (рис. 1.22,  $\epsilon$ ) по сравнению с временем  $t_2$  изменится направление тока в фазе  $A$  ( $X \rightarrow A$ ) и магнитное поле повернется еще на угол  $\pi/3$ .

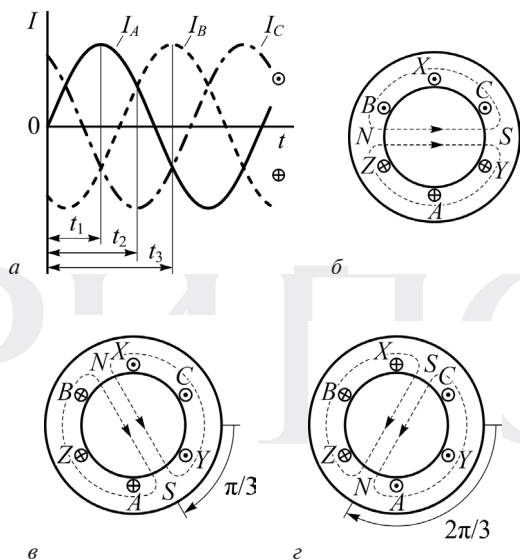


Рис. 1.22. Вращающееся магнитное поле статора:  
 $a$  – ток в обмотках статора;  $b$  – время  $t_1$ ;  $\delta$  – время  $t_2$ ;  $\epsilon$  – время  $t_3$

Таким образом, магнитное поле статора вращается по направлению размещения фаз с частотой  $n_c$ , зависящей от частоты переменного тока  $f$ :

$$n_c = 60f.$$

Если фазные обмотки состоят из  $p$  катушек, то частота вращения магнитного поля снижается в  $p$  раз:

$$n_c = \frac{60f}{p}.$$

Обмотка короткозамкнутого ротора выполнена в виде так называемой *беличьей клетки*, состоящей из набора стержней, расположенных по кругу и соединенных между собой замыкающими кольцами. В результате каждая пара диаметрально распо-

женных стержней создает короткозамкнутую рамку. Если ротор поместить во вращающееся магнитное поле статора, то по закону электромагнитной индукции в стержнях возникнет ЭДС и в каждой из короткозамкнутых рамок возникнут токи, создающие свое магнитное поле. Магнитное поле ротора, взаимодействуя с магнитным полем статора, создаст вращающий момент, под действием которого ротор будет вращаться в ту же сторону, что и магнитное поле статора.

Вращающий момент будет создаваться только в том случае, если ротор будет вращаться с частотой  $n_p$ , несколько меньшей, чем частота вращения магнитного поля статора  $n_c$ . Если частота вращения ротора будет совпадать с частотой вращения магнитного поля, то стержни ротора будут неподвижны относительно магнитного потока статора, и в роторе не будет индуцироваться ЭДС и, следовательно, не будет возникать магнитное поле, необходимое для создания вращающего момента.

Разницу между  $n_c$  и  $n_p$  называют *скоростью скольжения*, а относительную разность скоростей магнитного поля статора и ротора – *скольжением*  $s$ :

$$s = \frac{n_c - n_p}{n_c}.$$

Скольжение в диапазоне  $0 < s < 1$  означает, что электрическая машина работает в режиме двигателя, при  $s < 0$  – в режиме генератора. Значение  $s > 1$  означает, что ротор вращается в сторону, противоположную вращению магнитного поля статора, и трехфазная машина работает в режиме электрического тормоза.

В асинхронном двигателе мощность  $P_1$ , подводимую к статору от трехфазной электрической сети, рассчитывают по зависимости

$$P_1 = \sqrt{3}U_{л}I_{л} \cos \varphi.$$

Электрическая мощность  $P_1$  создает на роторе вращающий момент  $M_p$ , который приводит ротор во вращение с угловой скоростью  $\omega_p$ . В результате на валу ротора развивается полезная механическая мощность  $P_2$ :

$$P_2 = M_p \omega_p = M_p \frac{\pi n_p}{30} \approx 0,105 M_p n_p.$$

Отношение полезной мощности  $P_2$  к мощности  $P_1$ , потребляемой из сети, называют *коэффициентом полезного действия двигателя*:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100 \%$$

Коэффициент полезного действия двигателя зависит от загрузки двигателя, значения коэффициента мощности  $\cos \varphi$ , скольжения  $s$ , частоты вращения  $n_p$ . Он может изменяться в пределах 45–95 % и достигать своего максимального значения при загрузке двигателя 60–85 % от номинальной.

Статор электрической машины переменного тока может подключаться в трехфазную сеть как звездой (рис. 1.23, а), так и треугольником (рис. 1.23, б).

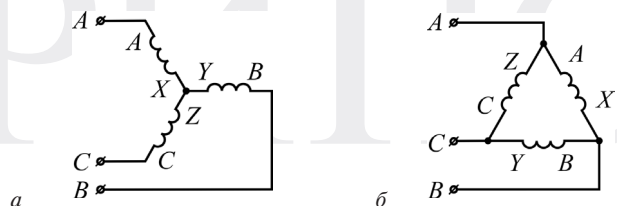


Рис. 1.23. Подключение трехфазной электрической машины:  
а – звездой; б – треугольником

При подключении треугольником мощность такой электрической машины, как двигатель, возрастает в 3 раза по сравнению с подключением звездой. Однако переключение со звезды на треугольник допустимо только для двигателей, у которых на паспортной табличке указана возможность такого подключения.

Недостатком асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором является большой пусковой ток. Для снижения пускового тока асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, у которого статор подключен треугольником, временно переключают статор на соединение звездой с помощью трехполюсного переключателя (рис. 1.24, а). Такое переключение приводит к снижению пускового тока в 3 раза.

Недостатком соединения звездой является значительное снижение пускового момента, поэтому его можно использовать, если двигатель запускается не под полной нагрузкой.

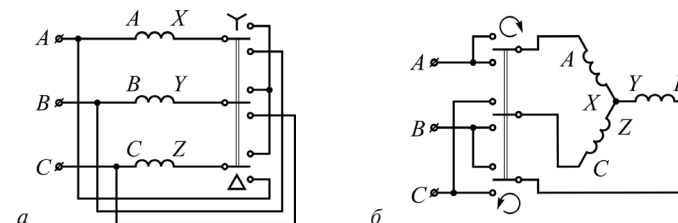


Рис. 1.24. Переключение фаз трехфазной электрической машины:  
а – переключение на звезду или треугольник; б – реверсирование

Асинхронные двигатели переменного тока обладают возможностью *реверсирования*, т. е. изменения направления вращения ротора, что достигается изменением направления вращения магнитного поля статора. Для этого с помощью трехполюсного переключателя меняют местами любые две фазы статора, например В и С (рис. 1.24, б).

Электрический двигатель с фазным ротором имеет такую же конструкцию статора, как и двигатель с короткозамкнутым ротором. Ротор вместо беличьей клетки имеет трехфазную обмотку, концы которой не замкнуты, а выведены на контактные кольца, закрепленные на валу ротора и изолированные от него (рис. 1.25, а).

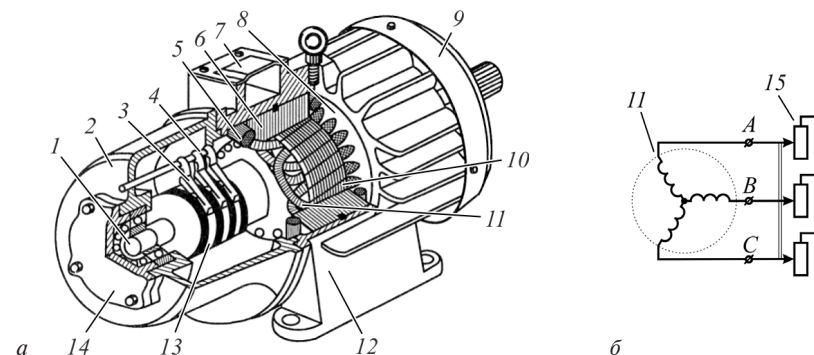


Рис. 1.25. Асинхронный двигатель с фазным ротором:  
а – общее устройство; б – включение обмотки ротора; 1 – вал; 2 – крышка щеткодержателя; 3 – щетки; 4 – щеткодержатель; 5 – обмотка статора; 6 – сердечник статора; 7 – коробка выводов; 8 – подшипниковый щит; 9 – кожух вентилятора; 10 – сердечник ротора; 11 – обмотка ротора; 12 – корпус; 13 – контактные кольца; 14 – крышка подшипника; 15 – реостат

Кольца контактируют со щетками, закрепленными в щеткодержателе. Через кольца и щетки обмотки ротора, соединенные в звезду, замыкаются на реостат, позволяющий изменять активное сопротивление обмоток ротора (рис. 1.25, б). Эта система используется либо для снижения пускового тока, либо для регулирования частоты вращения ротора двигателя. При пуске двигателя после включения статора в сеть сопротивление реостата постепенно уменьшают с максимального до минимального. Достоинством такого способа пуска является то, что при большом сопротивлении реостата двигатель развивает большой пусковой момент.

Регулирование частоты вращения двигателя с фазным ротором с помощью реостата возможно только в сторону уменьшения по сравнению с той частотой, которую обеспечивает частота вращения магнитного поля статора. В свою очередь частоту вращения магнитного поля любого трехфазного двигателя можно изменять путем изменения числа катушек (числа пар полюсов) статора. Регулирование изменения числа пар полюсов приводит к скачкообразному изменению частоты вращения. Плавного изменения частоты вращения можно добиться изменением частоты переменного тока с помощью частотных преобразователей. Однако для сохранения максимального вращающего момента на роторе необходимо одновременно с изменением частоты тока обеспечить регулирование величины питающего статор напряжения.

Синхронные машины переменного тока имеют малую величину скольжения  $s$  ( $s < 0,05$ ), поэтому частота вращения ротора связана постоянным соотношением с частотой переменного тока:

$$n_p = \frac{60f}{p}.$$

Такое свойство синхронной машины обеспечивается за счет конструкции ротора. Если статор синхронной машины не отличается от статора асинхронной, то ротор представляет собой систему вращающихся электромагнитов, создающих свое магнитное поле (рис. 1.26, а).

Обмотки ротора, намотанные на сердечник, через контактные кольца и щетки подключают к внешнему источнику постоянного тока (рис. 1.26, б). Протекающий через обмотки постоянный ток создает в роторе магнитное поле. Вращающееся магнитное поле

ротора синхронизируется с вращающимся магнитным полем статора, обеспечивая постоянную частоту вращения ротора.

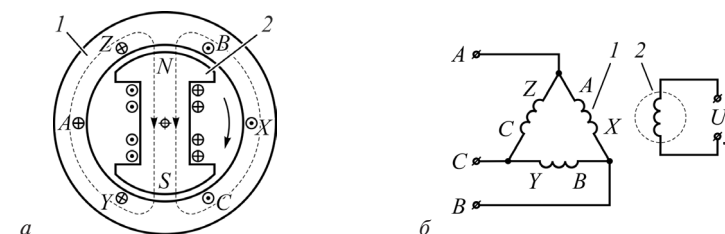


Рис. 1.26. Синхронная машина:

а – принцип действия; б – подключение; 1 – статор; 2 – ротор

Синхронные машины обратимы и могут работать как в режиме генератора, так и в режиме двигателя. В режиме генератора к валу ротора прикладывают вращающий момент и магнитное поле ротора создает переменную ЭДС в фазных обмотках статора  $A$ ,  $B$  и  $C$  (см. рис. 1.26, б). В режиме двигателя на эти обмотки подают напряжение из сети переменного тока. В результате вращающегося магнитного поля статора, взаимодействуя с магнитным полем ротора, создает на валу ротора вращающий момент.

## 1.8. Электрические машины постоянного тока

Электрические машины постоянного тока подразделяют на генераторы и двигатели. Генераторы постоянного тока используют для зарядки аккумуляторных батарей, питания двигателей постоянного тока, в качестве сварочных генераторов, датчиков систем автоматического регулирования. Двигатели постоянного тока широко применяют для привода различных механизмов и технологического оборудования (вентиляторов, стеклоочистителей, стеклоподъемников и т. д.), в исполнительных механизмах систем автоматического регулирования, в качестве электрических стартеров и тяговых двигателей транспортных средств.

Достоинства двигателей постоянного тока: возможность плавного регулирования частоты вращения в широких пределах и создание большого пускового момента.

Основной недостаток машин постоянного тока – сложность конструкции щеточно-коллекторного узла и меньшая надежность по сравнению с машинами переменного тока.

Принцип работы генератора постоянного тока основан на возникновении ЭДС в рамке при ее вращении в магнитном поле (см. рис. 1.14, *a*), однако при этом в рамке индуцируется переменная ЭДС (см. рис. 1.15, *a*).

Для получения ЭДС, не изменяющей своего знака, концы рамки подключают к контактным полукольцам, которые через щетки подсоединяют к внешней цепи (рис. 1.27, *a*). Тогда при повороте рамки на  $180^\circ$ , когда ЭДС поменяет свой знак, полукольца также поменяются местами, обеспечив на щетках постоянное направление ЭДС. Таким образом, на выходе генератора будет изменяющаяся по величине (пульсирующая), но не изменяющаяся по направлению ЭДС (рис. 1.27, *б*). Полукольца рамки являются простейшим коллектором и вместе со щетками преобразуют переменный ток в постоянный.

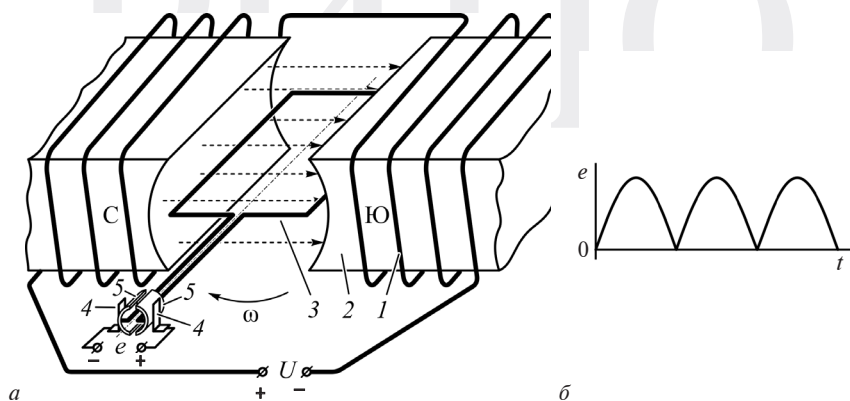


Рис. 1.27. Рамка в магнитном поле обмотки возбуждения:

*a* – вращение рамки; *б* – ЭДС в рамке; 1 – обмотка возбуждения; 2 – сердечник обмотки возбуждения; 3 – рамка; 4 – щетки; 5 – контактные полукольца

Для создания магнитного поля вместо постоянных магнитов часто используют электромагниты, состоящие из сердечника и обмотки возбуждения.

Машина постоянного тока состоит из неподвижной и вращающейся частей. В неподвижном корпусе установлены сердечники с обмотками возбуждения, образующие полюса магнита возбуждения (рис. 1.28, *a*). В корпусе также закреплен щеткодержатель со щетками. Вращающуюся часть называют *якорем*. Якорь состоит из сердечника с обмотками, расположенными в пазах сердеч-

ника, и коллектора. Сердечники обмоток возбуждения и якоря набраны из тонких листов электротехнической стали, изолированных друг от друга слоем лака.

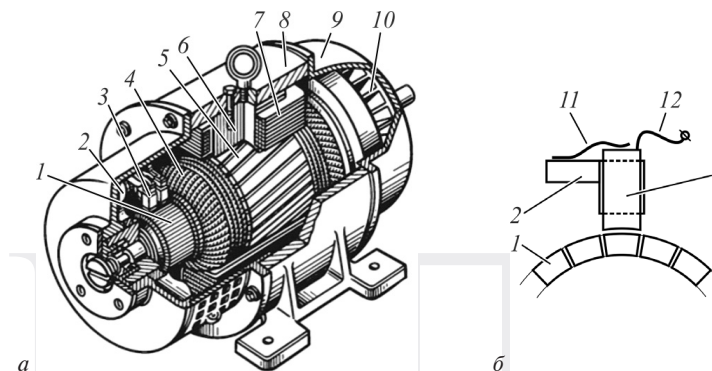


Рис. 1.28. Машина постоянного тока:

*a* – общее устройство; *б* – щеточный узел; 1 – коллектор; 2 – щеткодержатель; 3 – щетки; 4 – обмотки якоря; 5 – сердечник якоря; 6 – сердечник обмотки возбуждения; 7 – обмотка возбуждения; 8 – корпус; 9 – подшипниковый щит; 10 – вентилятор; 11 – пружина; 12 – щеточный канатик

*Коллектор* представляет собой набор изолированных друг от друга клиновидных медных пластин, соединенных с витками обмоток якоря.

Пластины вращающегося коллектора через подпружиненные щетки со щеточными канатиками соединяются с внешней электрической цепью (рис. 1.28, *б*). Скользящие контакты щеточно-коллекторного узла обеспечивают передачу тока от обмоток якоря к потребителям.

Электродвижущая сила генератора переменного тока зависит от частоты вращения якоря  $n$  и магнитного потока  $\Phi$ , создаваемого обмотками возбуждения:

$$e = \frac{pN}{60a} n\Phi = cn\Phi,$$

где  $p$  – число пар полюсов магнитов;  $N$  – количество обмоток якоря;  $a$  – число параллельных ветвей обмоток якоря;  $c$  – коэффициент, зависящий от конструкции генератора.

Для получения во внешней цепи ЭДС с низкой пульсацией увеличивают количество секций в каждой обмотке якоря, равно-

мерно распределяя их по поверхности сердечника и пропорционально увеличивая число пластин коллектора.

По способу возбуждения магнитного поля на полюсах генераторы постоянного тока делят на магнитоэлектрические генераторы с полюсами в виде постоянных магнитов — ПМ (рис. 1.29, *а*) и генераторы с электромагнитным возбуждением с помощью обмоток возбуждения. По способу питания обмоток возбуждения генераторы подразделяют на генераторы с независимым возбуждением и генераторы с самовозбуждением.

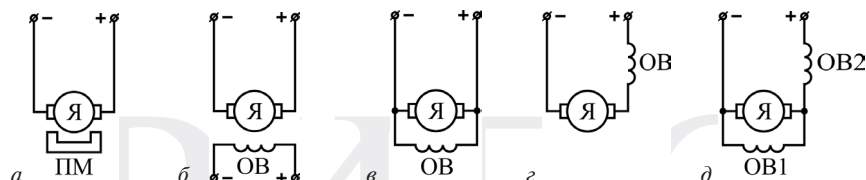


Рис. 1.29. Способы возбуждения машины постоянного тока:

*а* — с возбуждением постоянным магнитом; *б* — с независимым возбуждением; *в* — с параллельным возбуждением;

*г* — с последовательным возбуждением; *д* — со смешанным возбуждением

У генераторов с независимым возбуждением обмотка возбуждения (ОБ) запитывается от независимого источника напряжения (рис. 1.29, *б*). При увеличении тока нагрузки напряжение на якоре несколько понижается, поэтому для поддержания постоянного напряжения на выходе генератора изменяют величину тока в обмотке возбуждения с помощью реостата или электронного регулятора. Недостатком таких генераторов является необходимость использовать дополнительный источник постоянного тока.

Генераторы с самовозбуждением подразделяют на три типа. У генератора с параллельным возбуждением обмотка возбуждения подключается параллельно якору Я (рис. 1.29, *в*). С ростом нагрузки снижается напряжение генератора из-за роста падения напряжения внутри якора и уменьшения тока в обмотке возбуждения, что приводит к снижению магнитного потока. В результате при изменении нагрузки от минимального до максимального изменение напряжения на генераторе может достигать 10–20 %. При коротком замыкании значительно уменьшается ток обмотки возбуждения и напряжение генератора падает до нуля.

Самовозбуждение генератора достигается за счет остаточного намагничивания сердечника обмотки возбуждения. При вращении якора в остаточном магнитном поле в обмотках якора возбуждается небольшая ЭДС, которая создает ток в обмотке возбуждения, приводящий к росту магнитного потока. В результате ЭДС возрастает, что приводит к дальнейшему росту тока в обмотке возбуждения. Нарастание ЭДС в якоре и тока в обмотке возбуждения происходит до тех пор, пока не наступит насыщение магнитной системы и генератор не выйдет на рабочий режим.

У генераторов с последовательным возбуждением обмотка возбуждения соединяется последовательно с якором (рис. 1.29, *г*). У таких генераторов напряжение сильно изменяется при изменении тока нагрузки. Поэтому их практически не используют для питания потребителей, требующих постоянного по величине питающего напряжения.

Генератор со смешанным возбуждением имеет две обмотки возбуждения: обмотку ОБ1, включенную параллельно якору, и обмотку ОБ2, включенную последовательно с якором (рис. 1.29, *д*). Обмотки ОБ1 и ОБ2 включают так, чтобы они создавали магнитные потоки одного направления. Число витков в обмотках подбирают таким образом, чтобы падение напряжения на якоре компенсировалось ростом напряжения на последовательной обмотке возбуждения. В результате при колебаниях нагрузки напряжение на выходе генератора изменяется в пределах 2–3 %.

При использовании генератора со смешанным возбуждением в качестве сварочного генератора последовательную обмотку ОБ2 включают в противофазе с параллельной ОБ1. В результате магнитные потоки этих обмоток будут направлены в противоположные стороны и вместо поддержания постоянного напряжения генератор будет поддерживать постоянный сварочный ток независимо от колебаний напряжения из-за изменения длины сварочной дуги.

Электрические машины постоянного тока являются обратимыми. Поэтому если генератор включить в сеть постоянного тока, он будет работать в режиме двигателя. Принцип работы двигателя постоянного тока основан на движении проводника с током в магнитном поле полюсов. Если на рамку, помещенную в магнитное поле обмотки возбуждения (см. рис. 1.27, *а*), подать ток, то магнитное поле рамки, созданное этим током, будет взаимодействовать с магнитным полем обмотки возбуждения.

В результате этого взаимодействия на проводники рамки будет действовать сила, направление которой определяют по правилу левой руки. Эта сила создаст вращающий момент, поворачивающий рамку. Чтобы рамка имела непрерывное вращение, в ней с помощью щеток и контактных полуколец каждую половину оборота меняют направление тока.

Двигатели постоянного тока по конструкции схожи с генераторами и состоят из неподвижных полюсов с обмоткой возбуждения и вращающегося якоря. Общим свойством двигателей постоянного тока является саморегулирование, т. е. автоматическое поддержание определенной частоты вращения при изменении нагрузки на валу двигателя. Роль регулятора выполняет противоЭДС, индуцируемая в обмотках якоря и направленная в сторону, противоположную току якоря, идущему от источника питания. Эта ЭДС индуцируется в якоре вследствие вращения его обмотки в магнитном поле полюсов и уменьшает ток, протекающий в обмотке. При увеличении нагрузки на валу двигателя его частота вращения снижается, что приводит к снижению противоЭДС. В результате ток якоря увеличивается, вращающий момент на валу также увеличивается, компенсируя возросшее сопротивление вращению.

При пуске двигателя противоЭДС отсутствует, поскольку якорь не вращается. В связи с этим пусковой ток в якоре ограничивается только сопротивлением его обмотки и может достигать значительной величины. Это может привести к сильному искрению между щетками и коллектором и повреждению щеточно-коллекторного узла. Кроме того, большой пусковой момент ударного действия отрицательно сказывается на работе приводимого двигателем механизма. Для ограничения тока при пуске двигателя в цепь его якоря часто включают пусковой реостат, сопротивление которого плавно меняют от максимального значения до нуля. Ограничение пускового тока также можно достичь временным снижением питающего двигателя напряжения.

Частоту вращения вала двигателей постоянного тока можно регулировать в широких пределах. Регулирование осуществляют за счет изменения величины силы тока либо в цепи якоря, либо в цепи обмотки возбуждения.

В двигателях с параллельным возбуждением ток обмотки возбуждения изменяют с помощью реостата, включенного по-

следовательно с обмоткой (рис. 1.30, а). Таким способом можно достичь большого диапазона изменения частоты вращения якоря. Недостатком этого способа регулирования является нелинейность зависимости вращающего момента и частоты вращения от нагрузки на двигатель.

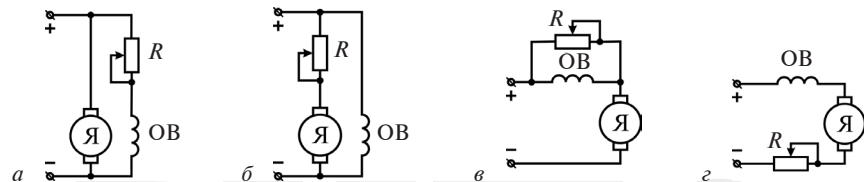


Рис. 1.30. Регулирование частоты вращения якоря двигателя постоянного тока: а, б – с параллельным возбуждением; в, з – с последовательным возбуждением

Включение реостата последовательно с якорем (рис. 1.30, б) позволяет получить линейную характеристику, однако изменение частоты возможно только в небольших пределах. Кроме того, поскольку через реостат протекает большой ток, требуется большая мощность реостата.

У двигателя с последовательным возбуждением увеличение сопротивления реостата, включенного параллельно обмотке возбуждения (рис. 1.30, в), приводит к увеличению тока возбуждения и снижению тока якоря, что в свою очередь снижает частоту вращения. Увеличение сопротивления реостата при его последовательном соединении (рис. 1.30, з) также приводит к снижению частоты вращения. Данный способ регулирования применяют реже из-за повышенной мощности потерь в реостате.

Двигатели с последовательным возбуждением имеют большой пусковой момент и легко переносят кратковременные перегрузки. Снижение нагрузки на двигатель до нуля может привести к опасному увеличению частоты вращения. Эти двигатели широко применяют в электрических стартерах, на подъемных кранах и в качестве тяговых двигателей на электротранспорте.

Двигатели постоянного тока обладают возможностью *реверсирования*. Реализация реверсирования зависит от способа возбуждения. При возбуждении постоянным магнитом или независимом возбуждении достаточно изменить полярность включения двигателя. У двигателей с параллельным, последовательным или

смешанным возбуждением изменение полярности питающего напряжения приведет к изменению направления магнитного потока одновременно в якоре и обмотке возбуждения, в результате направление вращения якоря останется постоянным. В таких двигателях для изменения направления вращения необходимо менять полярность питания либо якоря, либо обмотки возбуждения. Поскольку обмотка возбуждения обладает большой индуктивностью, переключение нецелесообразно. Поэтому реверсирование обычно проводят изменением полярности питания якоря.

### Контрольные вопросы и задания

1. Сформулируйте закон Кулона.
2. Что обозначает напряжение? В чем оно измеряется?
3. Сформулируйте закон Ома.
4. Как определить общее сопротивление резисторов при параллельном и последовательном соединении?
5. Изложите правило правой руки.
6. Опишите включение вольтметра в электрическую цепь.
7. В чем заключается принцип работы трансформатора?
8. Назовите способы возбуждения машины постоянного тока.

## 2. ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОНИКИ

### 2.1. Полупроводниковые приборы

Полупроводниками называют вещества, удельное сопротивление и удельная проводимость которых занимает промежуточное значение между проводниками и диэлектриками. Они одновременно являются и плохими проводниками, и плохими диэлектриками.

Полупроводники — основной материал для изготовления компонентов электронного оборудования, называемых полупроводниковыми приборами. Полупроводниковыми приборами являются диоды (выпрямительные и импульсные, стабилитроны, варикапы, фото- и светодиоды), транзисторы (биполярные, полевые), тиристоры (динисторы, тринисторы, симисторы) а также интегральные микросхемы, включающие в себя различные полупроводниковые приборы и другие электронные компоненты (резисторы и конденсаторы).

Германий (Ge) и кремний (Si) — самые распространенные химические элементы, используемые в электронной промышленности при изготовлении полупроводников.

В таблице Менделеева атом кремния имеет порядковый номер 14, поэтому в состав его атома входит 14 электронов. Однако только четыре из них валентные и могут объединяться с другими атомами кремния, создавая кристаллическую решетку. При наличии электрического поля часть электронов, участвующих в образовании валентных связей, отщепляется от решетки и образует электрический ток.

При отщеплении электрона в кристаллической решетке образуется незаполненная межатомная связь, называемая дыркой. Поскольку дырка появляется в отсутствии электрона, ее можно условно считать положительно заряженной. Дырка может быть заполнена электроном, перешедшим от соседнего атома. Последовательное заполнение дырок вызывает движе-

ние отрицательно заряженных электронов против электрического поля, а положительно заряженных дырок — в направлении поля.

Чистые полупроводники содержат небольшое количество свободных электронов, поэтому они могут проводить только небольшой ток. Для увеличения проводимости к полупроводникам добавляют специальные примеси. В полупроводниках используют два вида примесных элементов: пятивалентных и трехвалентных.

При добавлении к четырехвалентному кремнию пятивалентного элемента (например, фосфора) атомы примеси будут замещать атомы кремния в узлах кристаллической решетки. Четыре валентных электрона фосфора образуют связи с электронами кремния, а один электрон окажется избыточным. Это увеличит концентрацию электронов в полупроводнике, его проводимость возрастет и станет электронной. Полупроводник, проводимость которого обусловлена избытком электронов, называют полупроводником  $n$ -типа (рис. 2.1,  $a$ ).

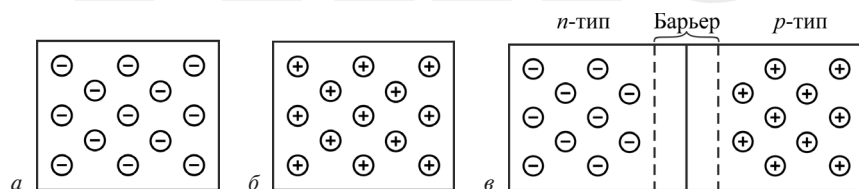


Рис. 2.1. Полупроводники:  
 $a$  —  $n$ -типа;  $b$  —  $p$ -типа;  $v$  —  $p$ - $n$ -переход

Если в кристалл кремния добавить трехвалентный элемент (например, алюминий), то в кристалле образуется недостаток электронов, что приведет к возникновению дырочной проводимости. Полупроводник с дырочной проводимостью называют проводником  $p$ -типа (рис. 2.1,  $b$ ).

При контакте полупроводника  $p$ -типа с полупроводником  $n$ -типа электроны из области с проводимостью  $n$ -типа начнут перетекать в область с проводимостью  $p$ -типа, заполняя дырки в этой области, а часть дырок из области с проводимостью  $p$ -типа будет перемещаться в обратном направлении, взаимодействуя с электронами области с проводимостью  $n$ -типа. В результате контакта полупроводников разного типа образуется

$p$ - $n$ -переход (рис. 2.1,  $v$ ). Перемещение электронов и дырок будет продолжаться до тех пор, пока в  $p$ - $n$ -переходе не образуется нейтральная зона, — *обедненный слой*. В обедненном слое создается контактное электрическое поле, препятствующее дальнейшему переходу электронов и дырок через  $p$ - $n$ -переход и поддерживающее равновесие на определенном уровне за счет создания *потенциального барьера*. Для преодоления этого барьера к  $p$ - $n$ -переходу необходимо приложить определенную величину напряжения от внешнего источника.

Важное свойство  $p$ - $n$ -перехода — сопротивление перехода сильно зависит от знака приложенного к переходу напряжения. Подключение положительного (+) источника тока к  $p$ -типу, а отрицательного (-) к  $n$ -типу называют *прямым включением*  $p$ - $n$ -перехода. При прямом включении в переходе создается внешнее электрическое поле, противоположно направленное контактному полю. Ширина барьера уменьшится и возрастет взаимное проникновение электронов и дырок (рис. 2.2,  $a$ ). Сопротивление  $p$ - $n$ -перехода уменьшится и в электрической цепи потечет прямой ток большой величины.

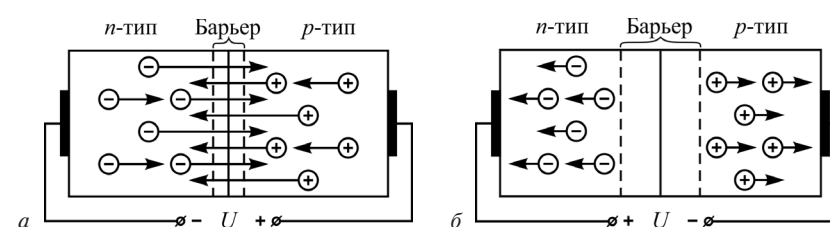


Рис. 2.2. Включение  $p$ - $n$ -перехода:  
 $a$  — прямое;  $b$  — обратное

При изменении полярности питающего напряжения получится *обратное включение*  $p$ - $n$ -перехода. При обратном включении внешнее электрическое поле усилит контактное поле, что приведет к увеличению ширины барьера и увеличению сопротивления  $p$ - $n$ -перехода (рис. 2.2,  $b$ ). В результате через  $p$ - $n$ -переход потечет обратный ток малой величины.

Свойство  $p$ - $n$ -перехода изменять сопротивление в зависимости от направления тока лежит в основе работы подавляющего большинства полупроводниковых приборов и интегральных микросхем.

Полупроводниковым прибором, состоящим из одного  $p$ - $n$ -перехода, является *диод*. Диод имеет два вывода, соединенных

с полупроводниками  $p$ -типа и  $n$ -типа. Вывод, соединенный с полупроводником  $p$ -типа, называют *анодом*, а с полупроводником  $n$ -типа — *катодом*. Если к аноду приложить положительные напряжения  $U_{пр}$ , а к катоду отрицательные, то через диод потечет прямой ток  $I_{пр}$  (рис. 2.3, *а*). Это справедливо для величины напряжения, большей определенного порогового значения  $U_{пор}$ , зависящего от материала полупроводника. При прямом напряжении, меньшем  $U_{пор}$ , ток через диод практически не проходит. Величина прямого тока  $I_{пр}$  прямо пропорциональна приложенному напряжению  $U_{пр}$ , причем напряжение  $U_{пр}$  изменяется незначительно при большом изменении тока  $I_{пр}$ . Максимально допустимая величина прямого тока, проходящего через диод, является одной из важнейших параметров диода. При превышении этого тока диод выходит из строя.

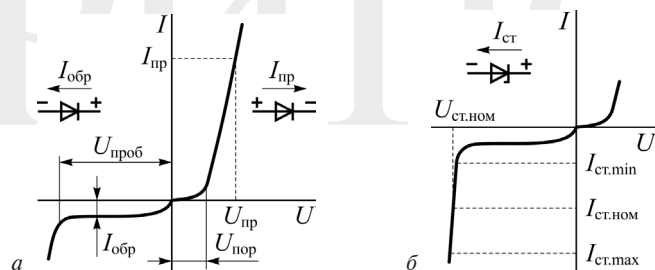


Рис. 2.3. Вольт-амперная характеристика:  
*а* — диода; *б* — стабилитрона

При приложении к диоду обратного напряжения величина обратного тока  $I_{обр}$ , проходящего через диод, имеет весьма незначительную величину, которой в большинстве случаев можно пренебречь. Таким образом, можно сказать, что диод пропускает ток только в одном направлении. Это свойство полупроводникового диода используется в выпрямителях переменного тока или в импульсных устройствах, а также для защиты других полупроводниковых приборов от обратного напряжения.

При повышении обратного напряжения до величины  $U_{проб}$  происходит лавинообразное нарастание обратного тока через диод, и он перестает выполнять свои функции. Величина напряжения  $U_{проб}$  является важным параметром работоспособности диода.

В отличие от выпрямительных или импульсных диодов рабочая область *стабилитронов* лежит в зоне напряжения, превышающего  $U_{проб}$ . Стабилитрон — это специальный диод, работающий при напряжении стабилизации  $U_{ст} > U_{проб}$ . Если выпрямительный диод включают в схему таким образом, чтобы через него протекал прямой ток, то стабилитрон включают в противоположном направлении, чтобы через него протекал обратный ток. Главными параметрами, характеризующими работу стабилитрона, являются номинальное напряжение стабилизации  $U_{ст.ном}$  при номинальном токе  $I_{ст.ном}$  и рабочий диапазон токов стабилизации от минимального  $I_{ст.мин}$  до максимального  $I_{ст.макс}$  (рис. 2.3, *б*).

*Биполярный транзистор* — это устройство, состоящее из двух  $p$ - $n$ -переходов, образуемых либо двумя областями  $n$ -типа и одной областью  $p$ -типа, либо двумя областями  $p$ -типа и одной областью  $n$ -типа. Первый тип транзисторов называют  $n$ - $p$ - $n$ -транзистором, второй —  $p$ - $n$ - $p$ -транзистором. Средняя область транзистора называется *базой*, крайние области — *эмиттером* и *коллектором*. Изменяя величину тока, протекающего через базу, можно управлять током, протекающим между коллектором и эмиттером. Это свойство транзистора используют в усилителях и коммутаторах сигнала.

Транзисторы могут работать в активном режиме, являющемся основным усилительным режимом работы; инверсном режиме, который практически не используется; режимах отсечки и насыщения, используемых в коммутаторах сигнала.

К транзистору для работы в активном режиме необходимо правильно прикладывать напряжение. Для  $n$ - $p$ - $n$ -транзистора «+» напряжения между коллектором и базой  $U_{КБ}$  прикладывается к коллектору, «-» напряжения — к базе (рис. 2.4, *а*). Одновременно к базе необходимо приложить «+» напряжения между базой и эмиттером  $U_{БЭ}$ , «-» которого прикладывается к эмиттеру. На электрических схемах эмиттер биполярного  $n$ - $p$ - $n$ -транзистора изображают стрелкой наружу (рис. 2.4, *б*).

Для обеспечения работы  $p$ - $n$ - $p$ -транзистора в активном режиме знаки напряжений  $U_{КБ}$  и  $U_{БЭ}$  должны быть изменены на противоположные (рис. 2.4, *в*). Соответственно на электрических схемах стрелка эмиттера  $p$ - $n$ - $p$ -транзистора направлена в противоположную сторону, т. е. внутрь (рис. 2.4, *г*).

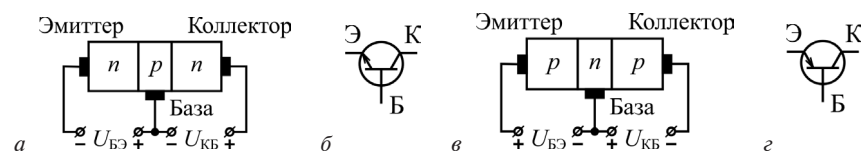


Рис. 2.4. Биполярный транзистор:

*a* –  $n-p-n$ -транзистор в активном режиме; *б* – условное обозначение  $n-p-n$ -транзистора; *в* –  $p-n-p$ -транзистор в активном режиме; *г* – условное обозначение  $p-n-p$ -транзистора

Входная характеристика биполярного транзистора показывает зависимость тока базы  $I_B$  от напряжения между базой и эмиттером  $U_{БЭ}$  (рис. 2.5, *a*). Эта характеристика аналогична вольт-амперной характеристике диода при приложенном к диоду прямом напряжении (см. рис. 2.3, *a*). Соответственно имеется определенное пороговое напряжение  $U_{пор}$ , ниже которого ток через базу практически не идет. В связи с этим для обеспечения работы транзистора в активном режиме к базе прикладывается начальное напряжение – напряжение смещения, несколько большее порогового напряжения.

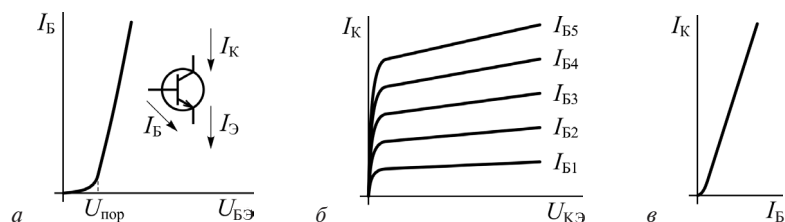


Рис. 2.5. Вольтамперные характеристики биполярного транзистора:

*a* – входная характеристика; *б* – семейство выходных характеристик; *в* – передаточная характеристика

Токи, протекающие через базу  $I_B$ , коллектор  $I_K$  и эмиттер  $I_Э$ , связаны между собой зависимостью

$$I_Э = I_K + I_B.$$

Ток  $I_K$ , протекающий через коллектор, зависит не только от приложенного между коллектором и эмиттером напряжения  $U_{КЭ}$ , но и от тока  $I_B$ , протекающего через базу. Поэтому выходные характеристики транзистора образуют семейство, показывающее зависимость  $I_K$  от  $U_{КЭ}$  при разных значениях  $I_B$  (рис. 2.5, *б*).

Важнейшими параметрами биполярного транзистора являются максимально допустимый ток коллектора, максимально допустимое напряжение между коллектором и эмиттером и максимально допустимая тепловая мощность, рассеиваемая на коллекторе. При превышении любого из этих параметров наступает пробой или перегрев транзистора, приводящие к выходу его из строя.

Поскольку ток, протекающий через коллектор, зависит от тока, протекающего через базу, эта зависимость отображается на передаточной характеристике (рис. 2.5, *в*).

С определенной точностью можно говорить о прямо пропорциональной зависимости тока коллектора  $I_K$  от тока базы  $I_B$ . Коэффициент пропорциональности отражает один из важнейших параметров транзистора – коэффициент передачи, или коэффициент усиления:

$$h_{21Э} = \frac{I_K}{I_B}.$$

Следует отметить, что коэффициент усиления  $h_{21Э}$  уменьшается с ростом частоты переменного тока, проходящего через транзистор. Поэтому для транзистора используется еще один параметр – частота переменного тока, при которой коэффициент усиления становится равным единице ( $f_1$  при  $h_{21Э} = 1$ ).

Кроме биполярных транзисторов, в электронике применяют *полевые транзисторы*. Наибольшее распространение получили полевые транзисторы с управляющим  $p-n$ -переходом и полевые МДП-транзисторы.

Полевые транзисторы с управляющим  $p-n$ -переходом выпускают с каналом  $n$ -типа ( $n$ -каналом) и каналом  $p$ -типа ( $p$ -каналом). У полевого транзистора с управляющим  $p-n$ -переходом канал расположен между двумя электродами, называемыми *истоком* и *стоком* (рис. 2.6, *a*). Сопротивление  $n$ -канала (для транзисторов с  $n$ -каналом) зависит от его ширины, которую в полевых транзисторах можно изменять. Для этого  $n$ -канал помещают между двумя полупроводниками  $p$ -типа ( $p$ -областями), соединенными с третьим электродом – *затвором*. На электрических схемах затвор полевого транзистора с каналом  $n$ -типа отображается стрелкой внутрь (рис. 2.6, *б*), с каналом  $p$ -типа – стрелкой наружу.

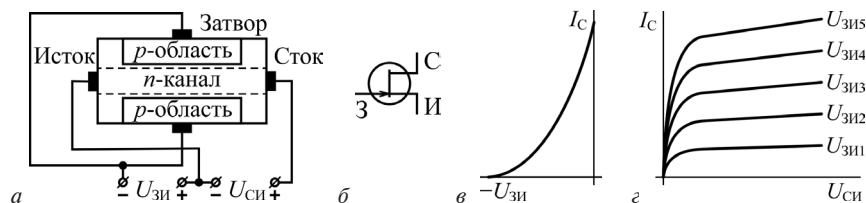


Рис. 2.6. Полевой транзистор с управляющим  $p$ - $n$ -переходом и каналом  $n$ -типа:

$a$  – структура и подключение транзистора;  $б$  – условное обозначение;  $в$  – входная характеристика;  $г$  – семейство выходных характеристик

Особенностью работы полевого транзистора является необходимость приложения к затвору отрицательного напряжения  $U_{зи}$  (рис. 2.6,  $в$ ). При отсутствии напряжения на затворе транзистор закрыт, сопротивление канала велико и ток через канал практически не проходит. Приложение к затвору напряжения  $U_{зи}$  приводит к лавинообразному открытию канала (резкому понижению сопротивления канала) и протеканию через него электрического тока. Величина сопротивления канала и, следовательно, величина тока стока  $I_C$  зависят от напряжения на затворе  $U_{зи}$  (рис. 2.6,  $г$ ). Управление проводимостью канала путем изменения напряжения (электрического поля) определило название транзистора – полевой.

Полевые транзисторы с управляющим  $p$ - $n$ -переходом используют в качестве усилительных элементов, электронных ключей и электронно-управляемых сопротивлений. Кроме того, поскольку изменение величины тока стока  $I_C$  мало зависит от изменения напряжения сток–исток  $U_{си}$  (см. рис. 2.6,  $г$ ), такие транзисторы используют в качестве источников стабильного тока.

Полевые МДП-транзисторы отличаются от полевых транзисторов с управляющим  $p$ - $n$ -переходом тем, что у них затвор изолирован от канала слоем диэлектрика, в качестве которого обычно используют диоксид кремния  $SiO_2$ . Поэтому часто вместо термина МДП (металл–диэлектрик–полупроводник) используют термин МОП (металл–оксид–полупроводник). Также МДП-транзистор имеет *подложку* из пластины кремния  $p$ - или  $n$ -типа. Подложка либо имеет собственный (четвертый) вывод транзистора, либо соединена с истоком. Применяют МДП-транзисторы

в качестве электронных ключей или усилительных элементов схемы.

*Тиристоры* – полупроводниковые приборы, используемые в качестве электронных переключателей и широко применяемые для управления устройствами постоянного и переменного тока. Тиристоры имеют два устойчивых состояния – открытое и закрытое. Как правило, они состоят из четырех полупроводниковых слоев  $p$ - и  $n$ -типа, расположенных поочередно и образующих три  $p$ - $n$ -перехода. Два крайних полупроводниковых слоя имеют выводы, называемые *анодом* и *катодом*. Если такой тиристор не имеет больше никаких выводов, его называют *диодным тиристором* или *динистором*. Управление открытием и закрытием динистора осуществляют изменением приложенного к нему напряжения. Для открытия к динистору необходимо приложить определенное напряжение, при котором движение электронов в  $p$ - $n$ -переходах примет лавинообразный процесс и ток через динистор резко возрастет. Для закрытия динистора следует уменьшить протекающий через него ток до некоторой величины  $I_{уд}$ . Недостатком динистора является необходимость приложения к нему достаточно большого напряжения для его открытия.

Наибольшее распространение получили тиристоры с тремя электродами – *триносторы*. Такие тиристоры имеют дополнительный вывод от полупроводникового слоя, расположенного чаще всего ближе к катоду (рис. 2.7,  $a$ ). Этот вывод (*управляющий электрод*) изменяет напряжение открытия тиристора. На электрических схемах управляющий электрод отображается ломаной линией, отходящей от катода (рис. 2.7,  $б$ ).

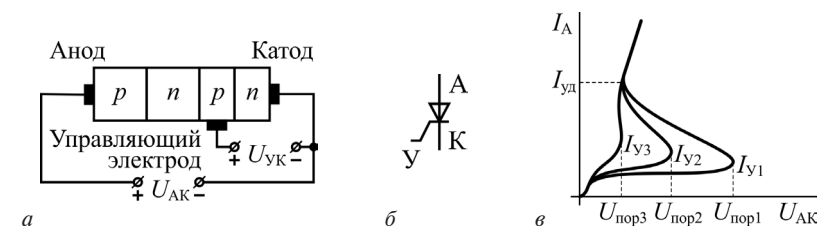


Рис. 2.7. Тиристор:

$a$  – структура и подключение;  $б$  – условное обозначение;  $в$  – семейство выходных характеристик

При подаче напряжения  $U_{AK}$  на управляющий электрод через него течет ток  $I_y$ . Чем больше величина тока  $I_y$ , тем меньше величина порогового напряжения  $U_{пор}$ , при котором открывается тиристор (рис. 2.7, в). Для открытия тиристора достаточно кратковременного импульса тока  $I_y$ , после чего тиристор остается открытым независимо от наличия на управляющем электроде напряжения  $U_{AK}$ . Для закрытия тиристора необходимо снизить проходящий через анод ток  $I_A$  до минимального значения удерживающего тока  $I_{уд}$  либо приложить напряжение анод–катод  $U_{AK} < 0$ .

Динисторы и тринисторы способны проводить ток только в одном направлении, поэтому в цепях переменного тока такие тиристоры обычно включают совместно с диодным выпрямителем. Используется также встречно-параллельное включение тринисторов. Для управления устройствами переменного тока без дополнительных элементов схемы предназначены двунаправленные управляемые тиристоры — *симисторы*, проводящие электрический ток в любом направлении.

## 2.2. Полупроводниковые выпрямители

Выпрямители предназначены для преобразования переменного тока в постоянный. Термин «постоянный» в данном случае означает, что после выпрямителя получается ток одного направления, т. е. не меняющий периодически направления с «+» на «-». В отличие от постоянного тока (неизменного по величине), ток на выходе выпрямителя содержит переменную составляющую (пульсацию), от которой избавляются с помощью сглаживающих фильтров и стабилизаторов напряжения.

В общем случае выпрямительное устройство как источник постоянного тока содержит трансформатор, собственно выпрямитель, сглаживающий фильтр и стабилизатор напряжения. Трансформатор в выпрямительном устройстве предназначен для изменения (чаще всего уменьшения) входного переменного напряжения до величины, необходимой для обеспечения заданного выходного постоянного напряжения. Вместо трансформатора можно использовать *конвертор* — устройство, предназначенное для преобразования одного постоянного напряжения в другое.

Основными элементами полупроводниковых выпрямителей являются диоды. В зависимости от количества и способа включения диодов различают основные схемы выпрямителей: однополупериодную, двухполупериодную и мостовую. В зависимости от количества фаз переменного тока используют однофазные и многофазные выпрямители.

Большинство выпрямителей неуправляемые, т. е. не способны изменять выходное напряжение. Если выпрямители имеют возможность регулировать величину выходного напряжения, такие выпрямители называют управляемыми. Часто в управляемых выпрямителях вместо диодов используют тиристоры или транзисторы.

Простейшим выпрямителем является однополупериодный, состоящий из одного диода  $VD$  (рис. 2.8, а). Первичная обмотка трансформатора  $T$  подсоединяют к сети переменного тока напряжением  $U_{вх}$ . Синусоидальное напряжение со вторичной обмотки трансформатора подается на анод диода  $VD$ . В интервале времени  $\omega t$  от 0 до  $\pi$  к диоду приложено напряжение вторичной обмотки в прямом направлении и диод проводит ток  $I$  к нагрузочному резистору  $R$ . В интервале времени от  $\pi$  до  $2\pi$  напряжение вторичной обмотки меняет полярность, диод не проводит электрический ток в обратном направлении и ток на сопротивлении  $R$  равен нулю. Во время от  $2\pi$  и далее процесс выпрямления повторяется (рис. 2.8, б). Таким образом, на выходе выпрямителя создается пульсирующее выходное напряжение  $U_{вых}$ , не меняющее знака со временем.

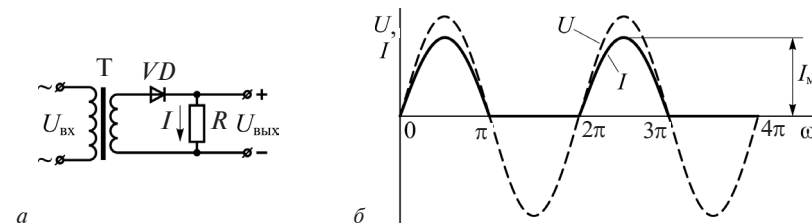


Рис. 2.8. Однополупериодный выпрямитель:  
а — электрическая схема; б — выпрямленный ток

Среднее значение выпрямленного тока однополупериодного выпрямителя определяют по зависимости

$$I_{ср} = \frac{I_M}{\pi} \approx 0,318I_M,$$

где  $I_M$  — амплитуда тока.

Без нагрузки среднее значение напряжения  $U_{\text{вых}}$  на выходе выпрямителя составит

$$U_{\text{ср}} = \frac{U_{\text{м}}}{\pi} \approx 0,318U_{\text{м}} \approx 0,45U,$$

где  $U_{\text{м}}$ ,  $U$  – амплитуда и действующее значение напряжения на вторичной обмотке трансформатора.

Диод, используемый в однополупериодном выпрямителе, должен быть рассчитан на максимальное обратное напряжение, превышающее  $U_{\text{м}}$ .

Недостатком однополупериодного выпрямителя является невысокое выпрямленное напряжение и его повышенная пульсация.

В двухполупериодном выпрямителе используют два полупроводниковых диода и трансформатор с отводом от середины вторичной обмотки (рис. 2.9, а). Эту схему можно рассматривать как сочетание двух однополупериодных выпрямителей, работающих на общую нагрузку  $R$  в разные полупериоды переменного напряжения. В интервале времени от 0 до  $\pi$  напряжение  $U_1$  на первой половине вторичной обмотки действует в прямом направлении и диод  $VD1$  проводит ток  $I_1$  к нагрузочному резистору  $R$ . В это время к диоду  $VD2$  приложено отрицательное напряжение  $U_2$  второй половины вторичной обмотки, поэтому этот диод не проводит ток. В интервале времени от  $\pi$  до  $2\pi$  напряжение  $U_1$  меняет полярность, диод  $VD1$  не проводит электрический ток в обратном направлении. Одновременно во второй половине вторичной обмотки напряжение  $U_2$  становится положительным, и ток к сопротивлению  $R$  течет через диод  $VD2$ . Далее процесс выпрямления повторяется (рис. 2.9, б). В результате на выходе выпрямителя создается выходное напряжение  $U_{\text{вых}}$ , пульсирующее с удвоенной частотой по сравнению с однополупериодным выпрямителем.

Среднее значение выпрямленного тока двухполупериодного выпрямителя в 2 раза больше, чем однополупериодного:

$$I_{\text{ср}} = \frac{2I_{\text{м}}}{\pi} \approx 0,637I_{\text{м}}.$$

Без нагрузки среднее значение напряжения  $U_{\text{вых}}$  на выходе двухполупериодного выпрямителя также выше:

$$U_{\text{ср}} = \frac{2U_{\text{м}}}{\pi} \approx 0,637U_{\text{м}} \approx 0,9U.$$

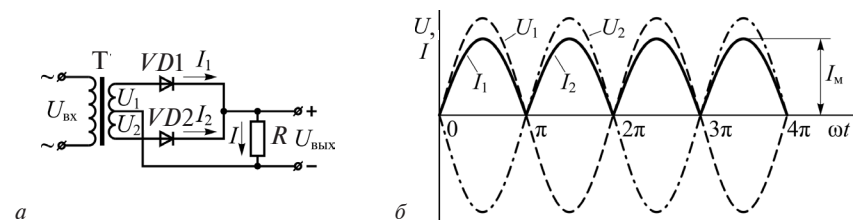


Рис. 2.9. Двухполупериодный выпрямитель:  
а – электрическая схема; б – выпрямленный ток

Диоды, используемые в двухполупериодном выпрямителе, должны быть рассчитаны на удвоенное по сравнению с однополупериодным выпрямителем максимальное напряжение, однако через них протекает в 2 раза меньший ток. Недостатком двухполупериодного выпрямителя является усложненная конструкция трансформатора, требующая отвода от середины вторичной обмотки.

Наибольшее распространение получила мостовая схема выпрямителя, состоящая из четырех полупроводниковых диодов, соединенных в мост определенным образом. Диагональ моста, в которой диоды имеют соединение анод–катод, подключают к трансформатору, а диагональ, в которой диоды соединены одноименными выводами (анод–анод и катод–катод) – к нагрузке (рис. 2.10, а).

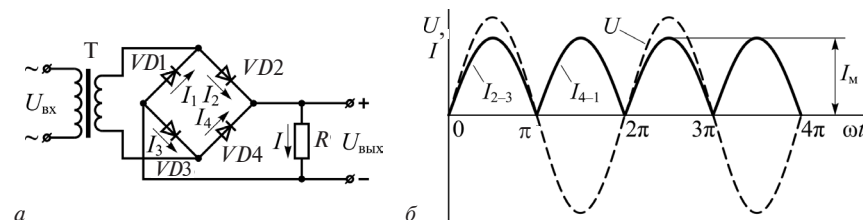


Рис. 2.10. Мостовой выпрямитель:  
а – электрическая схема; б – выпрямленный ток

Особенностью мостового выпрямителя является одновременная работа двух диодов из четырех. При положительном напряжении на вторичной обмотке трансформатора ток  $I$  через нагрузочное сопротивление  $R$  идет по цепи  $T$ – $VD2$ – $R$ – $VD3$ – $T$ . При изменении знака напряжения на вторичной обмотке ток идет по цепи  $T$ – $VD4$ – $R$ – $VD1$ – $T$ . В результате в интервале време-

ни от 0 до  $\pi$  выпрямление обеспечивают диоды  $VD2$  и  $VD3$  (ток  $I_{2-3}$  на рис. 2.10, б), а в интервале времени от  $\pi$  до  $2\pi$  — диоды  $VD4$  и  $VD1$  (ток  $I_{4-1}$  на рис. 2.10, б).

Среднее значение выпрямленного тока и выходного напряжения мостового выпрямителя соответствует этим параметрам двухполупериодного выпрямителя. Применение при этом в 2 раза большего количества диодов компенсируется значительно лучшим использованием трансформатора. Кроме того, требования к диодам в мостовом выпрямителе менее жесткие, чем в двухполупериодном.

Для снижения пульсаций выпрямленного тока применяют сглаживающие фильтры. Простейший сглаживающий фильтр представляет собой конденсатор  $C$ , подключенный на выходе выпрямителя параллельно нагрузке  $R$  (рис. 2.11, а). Этот конденсатор заряжается во время очередной пульсации до максимального выходного напряжения и затем разряжается через сопротивление нагрузки  $R$ . Благодаря накопительному конденсатору на сопротивлении нагрузки отсутствует падение тока до нуля (рис. 2.11, б) и выходное напряжение  $U_{\text{вых}}$  пульсирует незначительно. Амплитуда пульсаций зависит от постоянной времени параллельно включенных резисторов  $R$  и конденсатора  $C$ . Чем больше постоянная времени  $RC$ -цепи, тем меньше пульсации напряжения и тока, поэтому накопительный конденсатор должен иметь значительную емкость.

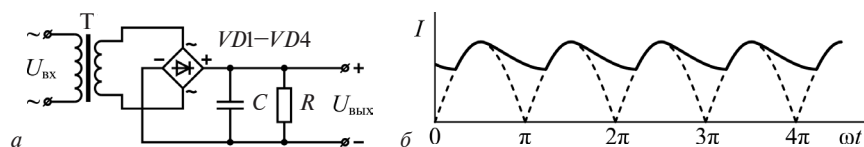


Рис. 2.11. Мостовой выпрямитель со сглаживающим фильтром:  
а — электрическая схема; б — выпрямленный ток

На рисунке 2.11, а показано альтернативное изображение электрических схем мостового выпрямительного блока, состоящего из четырех диодов  $VD1-VD4$ .

Для получения постоянного тока в промышленных установках и автомобильных генераторах переменного тока используют трехфазные выпрямители. Схема трехфазного мостового выпрямителя представлена на рисунке 2.12, а. Выпрямитель состоит из

шести диодов, соединенных попарно с тремя фазами цепи переменного тока и одновременно образующих две группы — нечетную ( $VD1, VD3, VD5$ ) и четную ( $VD2, VD4, VD6$ ). Соединенные вместе катоды нечетной группы образуют положительный вывод выпрямителя, а соединенные вместе аноды четной группы — отрицательный.

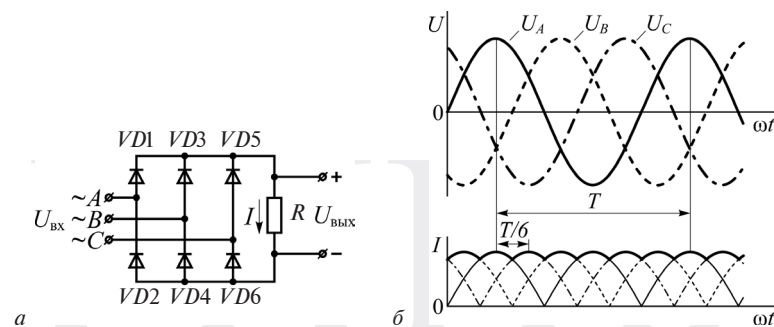


Рис. 2.12. Трехфазный мостовой выпрямитель:  
а — электрическая схема; б — переменное напряжение и выпрямленный ток

При работе мостовой схемы выпрямляются обе полуволны (положительная и отрицательная) всех трех фаз переменного тока. Причем в каждый момент времени работает тот диод нечетной группы, у которого к аноду приложено наибольшее положительное напряжение, и тот диод четной группы, к катоду которого приложено наибольшее отрицательное напряжение. Токи, протекающие через диоды, суммируются на сопротивлении нагрузки  $R$ , и результирующий ток  $I$  будет изменяться по огибающей, что значительно снижает амплитуду пульсаций (рис. 2.12, б). Частота пульсаций выпрямленного тока в 2 раза выше частоты переменного тока, а поскольку выпрямляется трехфазный переменный ток, то период пульсаций постоянного тока меньше периода колебаний переменного тока в 6 раз.

Среднее значение выходного выпрямленного напряжения  $U_{\text{вых}}$  больше действующего значения напряжения переменного тока:

$$U_{\text{ср}} \approx 1,35U_{\text{л}} \approx 2,34U_{\text{ф}},$$

где  $U_{\text{л}}$ ,  $U_{\text{ф}}$  — линейное и фазное напряжение трехфазной цепи переменного тока соответственно.

Если диоды в трехфазном выпрямителе заменить тиристорами, то можно получить управляемый выпрямитель. Подавая соответствующие сигналы на управляющие электроды тиристоров, можно регулировать величину выпрямленного напряжения.

### 2.3. Электронные усилители

Электронные усилители предназначены для увеличения значений параметров электрических сигналов. В зависимости от параметра усилители подразделяют на усилители напряжения, тока или мощности. По роду тока различают усилители постоянного и переменного тока. Усилители также могут различаться по коэффициенту усиления, мощности, входному и выходному сопротивлению, полосе пропускания (для усилителей переменного тока), передаточной характеристике и другим параметрам.

Одним из основных показателей, характеризующих работу усилителя, является коэффициент усиления, показывающий, во сколько раз выходной сигнал больше входного. В зависимости от назначения усилителя используют коэффициент усиления по напряжению, току и мощности.

Кроме того, различают линейные и нелинейные усилители. В линейных усилителях величина выходного сигнала прямо пропорциональна величине входного сигнала. В нелинейных усилителях при изменении входного сигнала выходной сигнал изменяется по нелинейной зависимости. Это свойство нелинейных усилителей часто используют в импульсной и цифровой технике.

Основными элементами электронных усилителей являются транзисторы. Усилители, основанные на биполярных транзисторах, используют три способа включения транзистора в цепь: с общей базой, общим эмиттером и общим коллектором. При каждом способе включения один из трех выводов транзистора является общим для входа и выхода, а два других — входом или выходом.

В схеме с общей базой входной сигнал подается на переход база–эмиттер, а выходной сигнал снимается с перехода коллектор–база (рис. 2.13, *а*). При этом база является общим выводом

для входного и выходного сигналов. Изменение величины входного напряжения  $U_{БЭ}$  приводит к изменению тока эмиттера  $I_{Э}$ , что вызывает изменение тока базы  $I_{Б}$ . Увеличение (уменьшение) тока базы приводит к пропорциональному увеличению (уменьшению) тока коллектора  $I_{К}$  и выходного напряжения  $U_{КБ}$ . Коэффициент усиления по напряжению в схеме с общей базой составляет несколько десятков единиц, при этом усиления по току не происходит. Таким образом, данная схема является усилителем по напряжению.

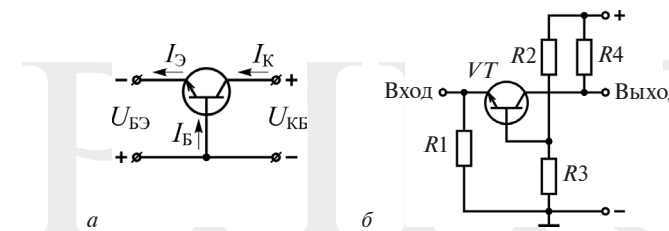


Рис. 2.13. Схема усилителя на биполярном транзисторе с общей базой: *а* — функциональная схема; *б* — пример реализации схемы

Как видно из рисунка 2.13, *а*, для работы схемы необходимо обеспечить отрицательное напряжение на эмиттере относительно базы. В электрических схемах с однополярным источником питания вместо подачи отрицательного напряжения на эмиттер с помощью дополнительных сопротивлений ( $R2$  и  $R3$  на рис. 2.13, *б*) устанавливают смещение напряжения на базе больше, чем на эмиттере. Резистор  $R1$  обеспечивает протекание тока через эмиттер и возможность подачи напряжения на вход схемы. Ток коллектора течет через резистор  $R4$ , благодаря которому с коллектора снимается выходное напряжение.

В схеме с общим эмиттером входным выводом транзистора является база, а выходным — коллектор (рис. 2.14, *а*). При увеличении входного напряжения  $U_{БЭ}$  происходит увеличение тока базы  $I_{Б}$  и значительный (в несколько десятков раз) рост как выходного напряжения  $U_{КЭ}$ , так и тока коллектора  $I_{К}$ . Поэтому схема с общим эмиттером является усилителем по току и напряжению.

Для работы транзистора в схеме с общим эмиттером необходимо установить начальное смещение напряжения на базе, что обеспечивается резисторами  $R1$  и  $R2$  (рис. 2.14, *б*).

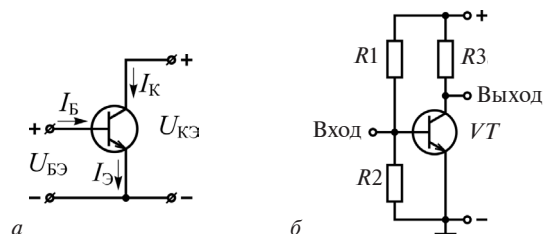


Рис. 2.14. Схема усилителя на биполярном транзисторе с общим эмиттером: *a* – функциональная схема; *б* – пример реализации схемы

Третий способ включения биполярного транзистора – схема с общим коллектором, в которой входной сигнал подается на базу, а выходной снимается с эмиттера (рис. 2.15, *a*). Изменение входного напряжения  $U_{КБ}$  приводит к аналогичному изменению выходного напряжения  $U_{КЭ}$ , т. е. коэффициент усиления по напряжению схемы с общим коллектором близок к единице. В то же время небольшое изменение тока базы вызывает в несколько десятков раз большее изменение тока эмиттера, поэтому схема с общим эмиттером является усилителем тока. В связи с тем что в схеме с общим коллектором происходит усиление тока эмиттера в сравнении с током базы и при этом изменение напряжения на эмиттере повторяет изменение напряжения на базе, эту схему включения транзистора называют *эмиттерным повторителем*.

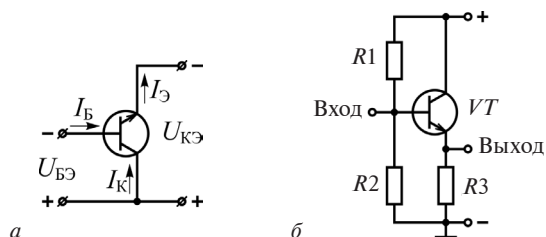


Рис. 2.15. Схема усилителя на биполярном транзисторе с общим коллектором: *a* – функциональная схема; *б* – пример реализации схемы

Для обеспечения работоспособности эмиттерного повторителя величину сопротивлений резисторов  $R1$  и  $R2$  подбирают таким образом, чтобы обеспечить начальное смещение напряжения на базе относительно эмиттера.

Очень часто одного транзистора бывает недостаточно для получения необходимого коэффициента усиления. Тогда исполь-

зуют усилительные схемы с двумя и более транзисторами, включенными последовательно. Такие схемы называют каскадными (двухкаскадными, трехкаскадными и т. д.).

Отдельным видом усилителя является дифференциальный, состоящий из двух параллельно соединенных усилителей с общим эмиттером. Такой усилитель имеет два входа (на базах) и два выхода (на коллекторах). Особенность этого усилителя – усиление разницы напряжений между двумя базами. Выходное напряжение при этом получается как разница напряжений между двумя коллекторами.

Большое распространение получили усилители, выполненные на основе особого вида интегральных микросхем – *операционных усилителей* (ОУ). Типичный ОУ имеет многокаскадную схему и состоит из входного дифференциального усилителя, промежуточного усилителя напряжения и выходного усилителя тока. Коэффициент усиления по напряжению различных моделей ОУ составляет от нескольких десятков тысяч до нескольких миллионов. Нормальный режим работы ОУ – режим работы с обратной связью, которая может быть положительной и отрицательной. Отрицательная обратная связь (ООС) уменьшает коэффициент усиления ОУ, однако она обеспечивает стабильность работы ОУ. Более того, наличие ООС позволяет обеспечить требуемую величину коэффициента усиления независимо от разброса параметров отдельных экземпляров микросхем ОУ. Положительную обратную связь используют в электронных генераторах на ОУ.

Входной дифференциальный усилитель позволяет ОУ реагировать только на разность входных сигналов. Один из входов ОУ является инвертирующим, другой – неинвертирующим. Инвертирование означает, что ток на выходе ОУ имеет направление, противоположное току на инвертирующем входе. Направление тока на неинвертирующем входе и на выходе ОУ совпадает. Таким образом, на базе ОУ можно собрать два вида усилителей сигнала: инвертирующий и неинвертирующий.

На рисунке 2.16, *a* представлен инвертирующий усилитель с ООС. Входной сигнал подается на инвертирующий вход (обозначается кружком) операционного усилителя  $DA$  через резистор  $R1$ . Резисторы  $R2$  и  $R1$  образуют делитель напряжения, через который подается сигнал обратной связи с выхода ОУ на его инвертирующий вход.

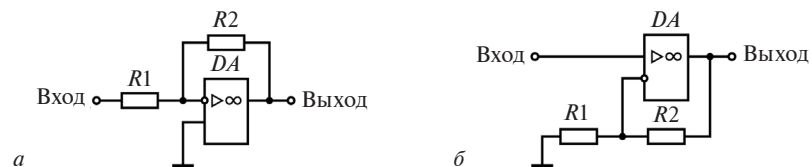


Рис. 2.16. Усилители на ОУ:

*a* – инвертирующий; *б* – неинвертирующий

Напряжение на входе и выходе инвертирующего усилителя имеет разную полярность, а коэффициент усиления по напряжению определяют по зависимости

$$K_y = \frac{R2}{R1},$$

где  $R1$ ,  $R2$  – величина сопротивлений резисторов.

В неинвертирующем усилителе (рис. 2.16, *б*) входной сигнал подается на неинвертирующий вход операционного усилителя  $DA$ . Резисторы  $R2$  и  $R1$ , подключенные к неинвертирующему входу ОУ, образуют делитель напряжения для ООС. Соотношение между этими резисторами определяет коэффициент усиления по напряжению:

$$K_y = \frac{R1 + R2}{R1} = 1 + \frac{R2}{R1}.$$

Полярность напряжения на входе и выходе неинвертирующего усилителя совпадает, а коэффициент усиления по напряжению всегда больше единицы.

Если инвертирующий вход ОУ замкнуть на выход ( $R2 = 0$ ), то неинвертирующий усилитель преобразуется в повторитель напряжения с коэффициентом усиления по напряжению  $K_y = 1$  (выходное напряжение повторителя равно входному).

## 2.4. Электронные генераторы

Электронные генераторы – это устройства, преобразующие постоянное напряжение источника питания в переменный сигнал. Генераторы широко используют в бытовой, автомобильной и промышленной электронике, компьютерной технике.

По форме колебаний различают генераторы гармонических (синусоидальных) колебаний и импульсные. Среди импульсных генераторов наибольшее распространение получили генераторы прямоугольной формы и генераторы линейно изменяющегося напряжения (чаще всего пилообразной формы колебаний).

По способу возбуждения бывают генераторы с самовозбуждением (автогенераторы) и независимым возбуждением. Генераторы с независимым возбуждением фактически являются усилителями мощности, усиливающими сигнал маломощных внешних автогенераторов.

Автогенераторы представляют собой усилители с положительной обратной связью. Они состоят из усилителя с коэффициентом усиления, большим единицы, и колебательной цепи, включенной в положительную обратную связь усилителя.

Колебательные цепи генераторов могут быть основаны на использовании колебательного  $LC$ -контура ( $LC$ -генератор),  $RC$ -цепи ( $RC$ -генератор), кварцевого резонатора (кварцевый генератор) и их сочетаний.

Один из вариантов синусоидального  $LC$ -генератора представлен на рисунке 2.17, *a*. Колебательный контур этого генератора состоит из катушки индуктивности  $L$  и конденсаторов  $C1$  и  $C2$ . Положительная обратная связь усилителя, собранного на транзисторе  $VT$ , образуется за счет подключения конденсатора  $C3$ , связанного с базой транзистора, с точкой соединения конденсаторов  $C1$  и  $C2$ . Глубина обратной связи зависит от соотношения емкостей этих конденсаторов. Благодаря положительной обратной связи транзистор входит в автоколебательный режим с частотой колебаний, определяемой индуктивностью катушки  $L$  и суммарной емкостью последовательно соединенных конденсаторов  $C1$  и  $C2$ . Резистор  $R$  и конденсатор  $C4$ , подключенные к эмиттеру транзистора, улучшают стабильность работы генератора.

Для задания определенной частоты колебаний  $RC$ -генераторы используют фазосдвигающие  $RC$ -цепи или мост Вина. Простейшим  $RC$ -генератором синусоидальных колебаний является усилитель с фазосдвигающей  $RC$ -цепью в линии обратной связи (рис. 2.17, *б*). Три последовательно соединенные цепи, состоящие из конденсатора и резистора ( $C1-R1$ ,  $C2-R2$ ,  $C3-R3$ ), обе-

спечивают сдвиг фаз на  $180^\circ$ . В результате между коллектором и базой транзистора вместо отрицательной образуется положительная обратная связь, что приводит к возникновению автоколебаний генератора. Частота колебаний определяется емкостью конденсаторов и сопротивлением резисторов, входящих в  $RC$ -цепь.

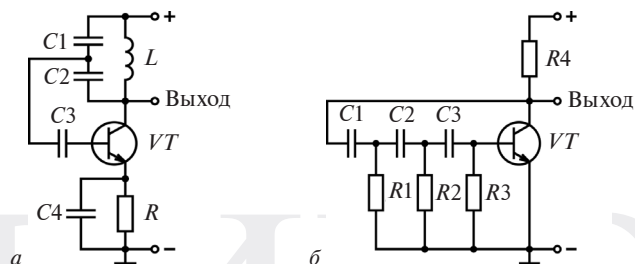


Рис. 2.17. Генераторы на одном транзисторе:  
а –  $LC$ -генератор; б –  $RC$ -генератор

Генератор с мостом Вина может быть реализован как на дискретных элементах (отдельных транзисторах), так и на базе операционного усилителя (рис. 2.18, а). Мост Вина представляет собой цепь опережения–запаздывания, состоящую из двух парных элементов: последовательно соединенных конденсатора  $C1$  и резистора  $R1$  и параллельно соединенных конденсатора  $C2$  и резистора  $R2$ . Выходом этой цепи служит точка соединения парных элементов.

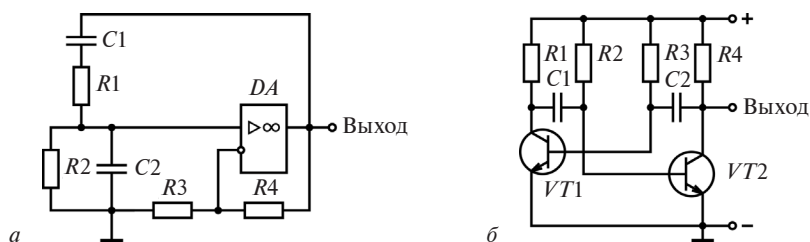


Рис. 2.18. Генераторы:  
а – на ОУ с мостом Вина; б – мультивибратор

Особенностью моста Вина является то, что на одних частотах переменного тока выходное напряжение моста опережает входное напряжение по фазе, а на других отстает от него. На определенной частоте, зависящей от номиналов конденса-

торов и резисторов моста, наступает резонанс с нулевым сдвигом фаз, и выходное напряжение становится максимальным. В генераторе с ОУ мост Вина включают между выходом и неинвертирующим входом, что создает положительную обратную связь, максимальную на резонансной частоте моста. В результате на выходе ОУ генерируются синусоидальные колебания с этой резонансной частотой. Резисторы  $R3$  и  $R4$ , подключенные к инвертирующему входу ОУ, образуют отрицательную обратную связь, стабилизирующую работу генератора.

Для получения колебаний переменного тока несинусоидальной формы используют импульсные генераторы. Для работы большинства электронных устройств (цифровые измерительные приборы, компьютеры, автоматические системы) требуются импульсы прямоугольной формы. Для генерирования прямоугольных импульсов используют мультивибраторы. Типичная схема мультивибратора приведена на рисунке 2.18, б. Он выполнен в виде двухкаскадного усилителя на транзисторах  $VT1$  и  $VT2$  с перекрестной положительной обратной связью. Положительной обратной связью являются конденсаторы  $C1$  и  $C2$ , соединяющие коллектор одного транзистора с базой другого. Оба транзистора имеют положительное смещение напряжения баз через резисторы  $R2$  и  $R3$ . Сразу после включения мультивибратор возбуждается и генерирует прямоугольные импульсы на выходе.

Частота и длительность импульсов зависит от номинала резисторов и конденсаторов. Если подобрать одинаковые транзисторы, конденсаторы  $C1$  и  $C2$ , резисторы  $R2$ ,  $R3$  и  $R1$ ,  $R4$ , то длительность импульсов и пауз между импульсами будет одинаковой. Такой мультивибратор называют симметричным. Конструкция мультивибратора может быть реализована как на дискретных транзисторах, так и на операционных усилителях и специализированных интегральных схемах.

### Контрольные вопросы и задания

1. Что понимают под  $p$ - $n$ -переходом и какое его основное свойство?
2. Что обозначает биполярный транзистор? Нарисуйте схематическое изображение  $p$ - $n$ - $p$ - и  $n$ - $p$ - $n$ -транзисторов.

3. Как работает мостовой выпрямитель?
4. Нарисуйте схему: а) усилителя на биполярном транзисторе с общим эмиттером; б) неинвертирующего усилителя на ОУ.
5. Как работает RC-генератор с мостом Вина?
6. Расскажите о работе мультивибратора.

# РИПО

## 3. ОСНОВЫ ЦИФРОВОЙ ТЕХНИКИ

### 3.1. Системы счисления и цифровые сигналы

Аналоговые сигналы по своей природе непрерывны и в разные моменты времени могут иметь различное значение и описываться разными функциями. Например, напряжение в однофазной сети переменного тока 220 В, 50 Гц изменяется от +308 до -308 В по синусоидальной зависимости с периодом колебаний  $T = 0,02$  с. График изменения аналогового сигнала со временем представляет собой гладкую кривую с непрерывно изменяющимся значением (рис. 3.1, а) или горизонтальную линию для постоянного тока, не изменяющегося со временем.

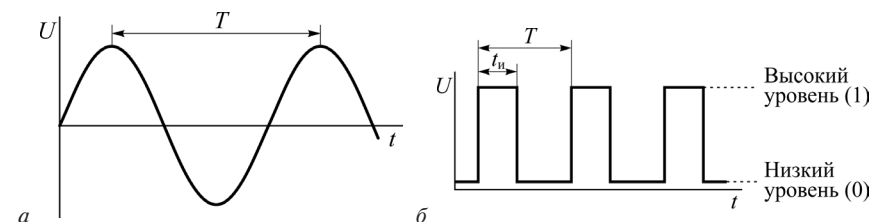


Рис. 3.1. Аналоговый (а) и цифровой (б) сигналы

Цифровая электроника не может напрямую использовать аналоговые сигналы. Принцип работы цифровой электроники основан на обработке сигналов, имеющих только два значения напряжения – высокое и низкое. Такие сигналы называют цифровыми.

Цифровой сигнал является дискретным, т. е. прерывистым. Он имеет прямоугольную форму (рис. 3.1, б), причем абсолютная величина напряжения для этих сигналов не имеет принципиального значения. Например, высоким уровнем может считаться напряжение от +2,4 до +5,5 В, а низким – от -0,5 до +0,4 В. Высокий уровень напряжения условно считается единицей (1), низкий – нулем (0). В результате цифровой сигнал можно описать набором нулей и единиц.

Для сигналов прямоугольной формы, кроме периода колебаний  $T$ , важное значение имеет скважность  $S$ . Скважность импульсного прямоугольного сигнала – это отношение периода повторения импульсов  $T$  к длительности импульса  $t_{и}$ :

$$S = \frac{T}{t_{и}}$$

Прямоугольные импульсы, у которых длительность импульса равна половине периода ( $S = 2$ ), называют *меандром*. Симметричный мультивибратор генерирует именно такую форму сигнала.

За счет изменения скважности импульсов можно обеспечить передачу различной информации по цифровым линиям или изменить режим работы исполнительных механизмов (например, форсунок системы впрыска бензина).

В технике получило распространение несколько систем счисления: двоичная, десятичная, восьмеричная, шестнадцатеричная.

Поскольку цифровой сигнал состоит из набора нулей и единиц, то основной системой счисления в цифровой электронике является *двоичная система счисления*.

*Десятичную систему счисления* называют системой с основанием 10, поскольку она использует десять цифр от 0 до 9. Соответственно двоичная система – это система с основанием два, поскольку она использует только две цифры – 0 и 1. Как и в десятичной системе, положение цифры в числе (отсчет ведется с правого края числа) определяет его разряд (десятки, сотни, тысячи и т. д.). Разряд справа называют младшим, разряд слева – старшим. Каждый разряд определяют степенью числа 2 ( $2^n$ ). Для первой (крайней правой) цифры  $n = 0$ , для второй  $n = 1$ , для третьей  $n = 2$  и т. д. Например, число 1100 в двоичной системе равно числу 12 в десятичной системе:

$$1100_2 = 2^3 \cdot 1 + 2^2 \cdot 1 + 2^1 \cdot 0 + 2^0 \cdot 0 = 12_{10}.$$

В цифровой электронике используют специальные единицы информации – бит и байт. *Бит* является минимальной единицей информации и может принимать значения только 0 или 1. *Байт* представляет собой 8-разрядную единицу информации и состоит из восьми бит, например 11010001 или 00011100.

Для представления чисел в *двоичной системе* требуется большое количество разрядов, поэтому в цифровой электронике ис-

пользуют также восьмеричную и шестнадцатеричную системы счисления.

Основанием *восьмеричной системы* является число  $8 = 2^3$ , соответственно любое восьмеричное число может быть представлено тремя битами информации (три разряда двоичного числа). Для перевода двоичного числа в восьмеричное достаточно двоичное число разбить на трехбитовые группы справа налево. Если число является дробным, часть числа после запятой разбивается на группы слева направо.

*Шестнадцатеричная система счисления* основана на числе  $16 = 2^4$  и представлена четырьмя битами информации. Для перевода двоичного числа в шестнадцатеричное двоичное число разбивают на группы по 4 бита. Обозначают шестнадцатеричные числа цифрами от 0 до 9 и латинскими буквами от А до F. Шестнадцатеричная система счисления – самая удобная для предоставления информации. Поскольку один байт информации состоит из восьми бит, он может быть описан двумя четырехбитными цифрами шестнадцатеричного числа, например 1F или A0.

В таблице 3.1 представлены одни и те же числа в различных системах счисления.

Таблица 3.1

Таблица кодов

Десятичное число	Двоичное число	Восьмеричное число	Шестнадцатеричное число
0	0000	0	0
1	0001	1	1
2	0010	2	2
3	0011	3	3
4	0100	4	4
5	0101	5	5
6	0110	6	6
7	0111	7	7
8	1000	10	8
9	1001	11	9
10	1010	12	A
11	1011	13	B
12	1100	14	C
13	1101	15	D
14	1110	16	E
15	1111	17	F

Пользуясь таблицей кодов, можно выразить любое число в каждой из систем счисления. Например,

$$50167_{10} = 110000111110111_2 = 141767_8 = C3F7_{16}.$$

Кроме этих систем счисления, применяют также *двоично-десятичный код*, в котором каждая цифра десятичного числа представляется в виде четырехбитного двоичного числа. Двоично-десятичный код используют в основном для вывода чисел на десятичные (с цифрами 0–9) дисплеи цифровых часов, спидометров, мультиметров и т. д.

### 3.2. Основы алгебры логики и логические элементы

Сущность цифровой электроники состоит в том, чтобы в соответствии с входными цифровыми сигналами вырабатывать выходные цифровые сигналы. Соответственно состояние выхода (или выходов) цифрового устройства зависит от состояния входа (или входов). Решение задач, определяющих эти состояния, выполняют с помощью операций булевой алгебры (алгебры логики), оперирующей в системах с двумя состояниями, т. е. в двоичных системах.

Результат логических операций сложения и умножения приведен в таблице 3.2.

Таблица 3.2

Таблица логического сложения и умножения

Таблица сложения	Таблица умножения
$0 + 0 = 0$	$0 \times 0 = 0$
$0 + 1 = 1$	$0 \times 1 = 0$
$1 + 0 = 1$	$1 \times 0 = 0$
$1 + 1 = 1$	$1 \times 1 = 1$

Для решения задач, основанных на булевой алгебре, созданы логические элементы, выполняющие различные логические операции.

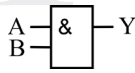
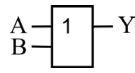
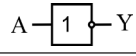
Существуют простые и сложные логические элементы. Простые логические элементы выполняют какую-то одну логическую операцию (например, умножение), сложные – несколько

операций. Соответственно сложные логические элементы получают путем сочетания простых логических элементов. К простым логическим элементам относят элементы «ИЛИ», «И», «НЕ», к сложным – их сочетания «ИЛИ–НЕ», «И–НЕ» и др. Большинство логических элементов (за исключением «НЕ») имеют минимум два входа.

В таблице 3.3 приведены названия, условные обозначения и таблица истинности простых логических элементов. Таблица истинности отражает состояние выхода Y логического элемента от состояния входов A и B.

Таблица 3.3

Простые логические элементы

Логический элемент	Таблица истинности		
	A	B	Y
«И» 	0	0	0
	0	1	0
	1	0	0
	1	1	1
«ИЛИ» 	0	0	0
	0	1	1
	1	0	1
	1	1	1
«НЕ» 	0		1
	1		0

Логический элемент «И» выполняет функцию логического умножения. Высокий уровень сигнала на выходе элемента становится только тогда, когда уровни обоих входов высокие.

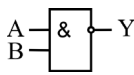
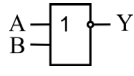
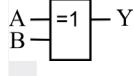
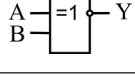
Логический элемент «ИЛИ» выполняет функцию логического сложения. Высокий уровень сигнала на выходе элемента становится тогда, когда имеется высокий уровень на любом из входов (или на всех входах). Низкий уровень на выходе становится только тогда, когда имеется низкий уровень на всех входах.

Элемент «НЕ» является инвертором сигнала, он меняет низкий уровень на высокий и наоборот.

Сложные логические элементы представлены в таблице 3.4.

Таблица 3.4

## Сложные логические элементы

Логический элемент	Таблица истинности		
	A	B	Y
«И–НЕ» 	0	0	1
	0	1	1
	1	0	1
	1	1	0
«ИЛИ–НЕ» 	0	0	1
	0	1	0
	1	0	0
	1	1	0
«Исключающее ИЛИ» 	0	0	0
	0	1	1
	1	0	1
	1	1	0
«Исключающее ИЛИ–НЕ» 	0	0	1
	0	1	0
	1	0	0
	1	1	1

Логический элемент «И–НЕ» получается последовательным соединением простых элементов «И» и «НЕ», поэтому он устанавливает на выходе низкий уровень сигнала при наличии высокого уровня на обоих входах.

Соединение элементов «ИЛИ» и «НЕ» образует логический элемент «ИЛИ–НЕ», инвертирующий операцию логического сложения элемента «ИЛИ».

Логический элемент «Исключающее ИЛИ» обеспечивает высокий уровень выходного сигнала только в том случае, если входные уровни разные. Элемент «Исключающее ИЛИ–НЕ» устанавливает высокий уровень выходного сигнала, когда входные уровни одинаковые. Эти логические элементы могут иметь только два входа.

Комбинируя логические элементы, можно решать необходимые логические задачи. Например: «В автомобиле должен включаться звуковой сигнал, если включено внешнее освещение и открыта левая или правая дверь». С точки зрения логики циф-

ровое устройство должно решить следующую задачу: «На выходе устройства должен быть ВЫСОКИЙ уровень, если открыта левая ИЛИ правая дверь И включено внешнее освещение». Реализация данного устройства представлена на рисунке 3.2, а. При этом считается, что при открытии двери или включении освещения на входе устройства появляется высокий уровень сигнала.

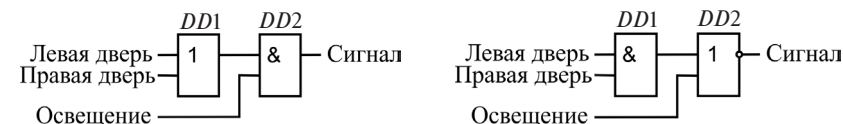


Рис. 3.2. Логическая схема включения звукового сигнала:  
 а – для работы на высоких уровнях входного сигнала;  
 б – для работы на низких уровнях входного сигнала

На выходе логического элемента «И» ( $DD1$ ) высокий уровень будет, если высокий уровень сигнала поступит или с правой, или с левой двери, или одновременно с обеих. На выходе логического элемента «ИЛИ» ( $DD2$ ) высокий сигнал будет, если одновременно будет открыта какая-либо из дверей (высокий уровень на выходе  $DD1$  обеспечит высокий уровень на первом входе  $DD2$ ) и включено освещение (высокий уровень на втором входе  $DD2$ ).

В автомобильной электронике часто при срабатывании каких-либо устройств (например, открытия двери) используют низкие уровни сигнала. При низких уровнях входного сигнала схема устройства изменяется (рис. 3.2, б). На выходе элемента «ИЛИ» ( $DD1$ ) появится высокий уровень, только если обе двери закрыты. При открытии любой из дверей на выходе  $DD1$  будет низкий уровень сигнала. Когда такой же низкий уровень будет на втором входе элемента «И–НЕ» ( $DD2$ ) при включении освещения, на выходе  $DD2$  появится необходимый для реализации поставленной задачи высокий уровень сигнала.

### 3.3. Аналого-цифровые преобразователи

Для взаимодействия аналоговых устройств с цифровой техникой часто требуется точно преобразовать аналоговый сигнал в число, пропорциональное величине этого сигнала. Для этого используют аналого-цифровые преобразователи.

Аналого-цифровой преобразователь (АЦП) – это устройство, преобразующее аналоговый сигнал в последовательность двоич-

ных чисел, соответствующих напряжению аналогового сигнала в данный момент времени.

Для взаимодействия цифровых устройств с аналоговыми используют устройства обратного преобразования – цифроаналоговые преобразователи. *Цифроаналоговый преобразователь* (ЦАП) преобразует двоичные числа в соответствующее аналоговое напряжение.

Основными параметрами АЦП и ЦАП являются диапазон преобразуемых аналоговых напряжений, время преобразования, разрядность преобразователя и погрешность преобразования, напрямую связанная с разрядностью.

По способу получения цифрового сигнала различают параллельные и последовательные АЦП. *Параллельные АЦП* основаны на одновременном сравнении аналоговой величины с  $2^n$  значениями эталонных напряжений, где  $n$  – разрядность АЦП.

Для сравнения с эталоном используют специальные электронные компоненты – *компараторы*. Компаратор имеет один выход и два входа – инвертирующий и неинвертирующий. Он сравнивает значение напряжений на двух входах и меняет состояние выхода в зависимости от результата сравнения. Если напряжение на неинвертирующем входе больше, чем на инвертирующем, компаратор устанавливает на выходе логическую «1». Если же напряжение будет больше на инвертирующем входе, на выходе установится логический «0».

Достоинством параллельного АЦП является высокая скорость преобразования, недостатком – необходимость использования большого количества компараторов, равного числу эталонных напряжений.

*Последовательные АЦП* основаны на периодическом сравнении значения аналоговой величины с последовательно возрастающим эталонным напряжением. Для получения такого эталонного напряжения используют ЦАП той же разрядности, что и АЦП. Для сравнения аналогового сигнала с эталоном достаточно одного компаратора. Недостатком последовательного АЦП является низкая скорость преобразования, достоинством – относительно простая конструкция.

На рисунке 3.3 представлена схема простейшего четырехразрядного ЦАП на двоично-взвешенных резисторах. Величина сопротивления резистора  $R_2$  в 2 раза меньше,  $R_3$  в 4 раза меньше и  $R_4$  в 8 раз меньше, чем сопротивление резистора  $R_1$ . Резисто-

ры  $R_1$ – $R_4$  совместно с резистором  $R_5$  образуют отрицательную обратную связь инвертирующего усилителя на операционном усилителе  $DA$ . При поступлении на вход ЦАП двоичного кода электронный коммутатор  $DD$  подключает резисторы  $R_1$ – $R_4$  к источнику опорного напряжения  $U_{оп}$  в зависимости от уровня цифрового сигнала на двоичных линиях  $A$ – $D$ , ступенчато изменяя коэффициент усиления  $OY$ . В результате на выходе ЦАП образуется напряжение  $U_{вых}$ , пропорциональное десятичному числу, полученному из двоичного (см. табл. 3.1).

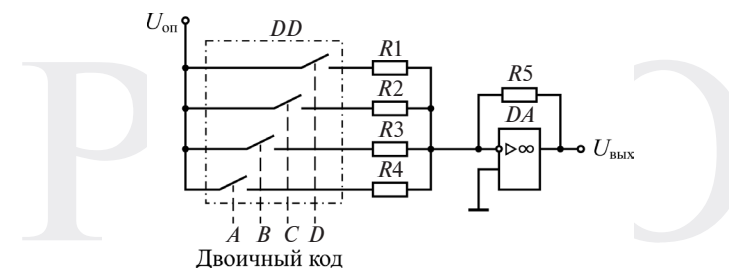


Рис. 3.3. Цифроаналоговый преобразователь

В АЦП и ЦАП для преобразования, кроме основного сигнала, используют сигнал, поступающий от генератора тактовых импульсов. Тактовые импульсы позволяют связать между собой величину аналогового напряжения в какой-то момент времени с данным моментом времени.

Структурная схема одной из реализаций последовательного АЦП изображена на рисунке 3.4. Этот АЦП содержит генератор тактовых импульсов, компаратор, логический элемент «И» (микросхема  $DD$ ), двоично-десятичный счетчик и ЦАП.

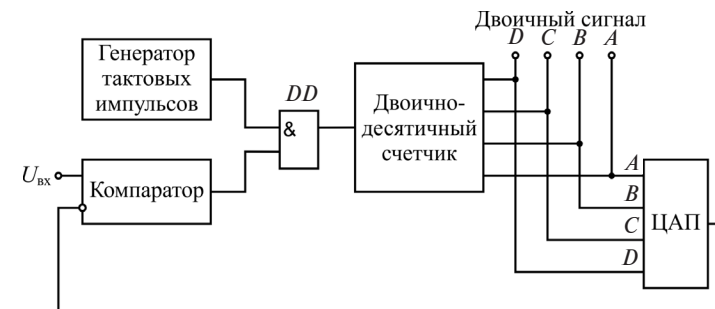


Рис. 3.4. Аналого-цифровой преобразователь

На неинвертирующий вход компаратора поступает аналоговое напряжение  $U_{вх}$ . Компаратор сравнивает это напряжение с напряжением, поступающим на инвертирующий вход с выхода ЦАП. Если аналоговое напряжение на неинвертирующем входе больше напряжения на инвертирующем входе, то элементом «И» разрешается прохождение тактовых импульсов от генератора на вход двоично-десятичного счетчика. Счетчик подсчитывает эти импульсы и постепенно увеличивает цифровой (двоичный) сигнал на своем выходе. Этот же двоичный сигнал поступает на вход ЦАП, приводя к увеличению выходного напряжения ЦАП. Счет продолжается до тех пор, пока это напряжение не превысит входное аналоговое напряжение. В этот момент компаратор совместно с элементом «И» перестает пропускать тактовые импульсы от генератора, и счет останавливается.

Таким образом, величине входного аналогового напряжения  $U_{вх}$  (рис. 3.5, а) через определенные интервалы времени соответствует двоичный сигнал на выходе АЦП, цифровое значение  $Y_{ц}$  которого приблизительно равно  $U_{вх}$  (рис. 3.5, б).

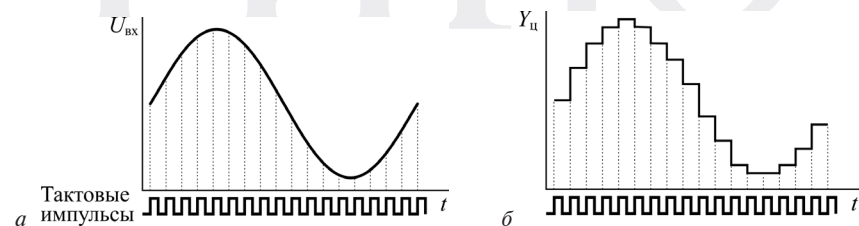


Рис. 3.5. Оцифровка аналогового сигнала:  
а – аналоговый сигнал; б – оцифрованный сигнал

Погрешность преобразования (оцифровки) зависит от разрядности АЦП и времени преобразования. Чем больше разрядность АЦП и меньше время преобразования, тем меньше погрешность оцифровки.

### 3.4. Запоминающие устройства

В любой сложной цифровой электронной системе используют запоминающие устройства. Их подразделяют на два типа: постоянные запоминающие устройства (ПЗУ) и оперативные запоминающие устройства (ОЗУ). Основными характеристиками запоминающих устройств являются разрядность, объем памяти, скорость чтения и записи информации.

*Постоянные запоминающие устройства* используют для хранения данных на постоянной основе, поскольку они не теряют информацию при отключении источника питания. Их применяют во всех компьютерах для хранения загрузочных инструкций, исполняемых при включении питания компьютера. Также ПЗУ служит для хранения таблиц преобразования кода, например для преобразования десятичного кода в код семисегментных цифровых индикаторов. В ПЗУ хранится программный код электронной системы управления двигателем.

Постоянное запоминающее устройство подразделяют на однократно, многократно программируемые и перезаписываемые. В первой разновидности ПЗУ «зашифр» постоянный код и такие ПЗУ используют только для чтения записанных в них при изготовлении данных. Многократно программируемые ПЗУ позволяют при необходимости стирать старый программный код и записывать новый. Перезаписываемые ПЗУ (например, флеш-память) используют для многократной записи и чтения произвольных данных.

Простейшее ПЗУ на диодах, выполняющее определенное преобразование входного кода в выходной, представлено на рисунке 3.6.

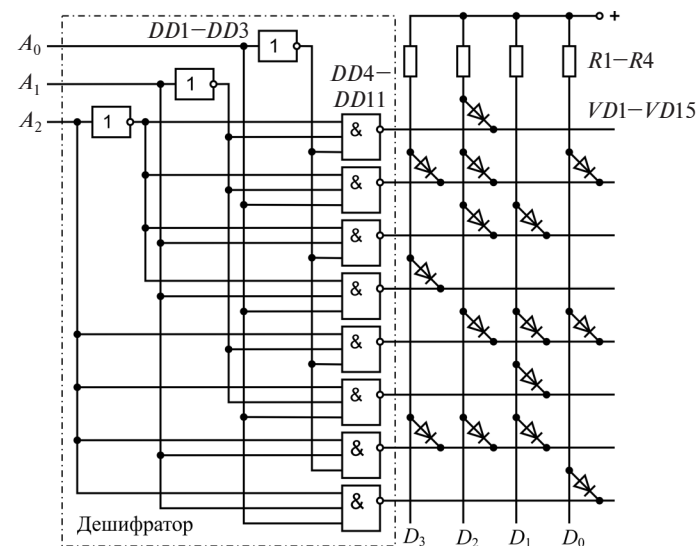


Рис. 3.6. Постоянное запоминающее устройство

Постоянное запоминающее устройство состоит из диодной матрицы  $VD1-V D15$ , на которую через резисторы  $R1-R4$  подается ток от источника питания, и дешифратора на трех элементах «НЕ» ( $DD1-DD3$ ) и восьми элементами «И-НЕ» ( $DD4-DD11$ ). В диодной матрице хранятся восемь разных четырехбитных слов, доступ к которым обеспечивается с помощью дешифратора. Диодная матрица организована в столбцы и строки, пересечение которых представляет один бит. Дешифратор в соответствии с данными на входах  $A_2-A_0$  выбирает строки диодной матрицы. Если данная строка соединена диодом с каким-либо столбцом, уровень на соответствующей линии принимает значение логического «0». Когда выбранная строка и столбец не соединены диодом, на соответствующей линии устанавливается логическая «1». Выбранные данные подаются на выходные линии  $D_3-D_0$ .

В данном случае имеется ПЗУ размером  $8 \times 4$  – восемь четырехразрядных слов. Для увеличения емкости ПЗУ необходимо увеличить количество строк и столбцов.

Постоянное запоминающее устройство является медленным типом памяти. Кроме того, перезаписываемая память имеет ограниченное количество циклов стирания/записи. Для обеспечения возможности неограниченного чтения и записи с высокой скоростью используются ОЗУ. Оперативные запоминающие устройства служат для хранения временных данных и программных кодов в процессорных приложениях. Особенностью ОЗУ является потеря данных при выключении питания.

Данные в ОЗУ хранятся в матрице памяти, собранной из отдельных ячеек. Каждая ячейка памяти состоит из транзисторов и конденсатора, в котором хранится бит информации. Для поддержания заряда конденсаторов ячеек памяти матрица циклически подпитывается от источника электроэнергии.

Для доступа к каждой конкретной ячейке памяти необходимы два дешифратора – дешифратор строк и дешифратор столбцов (рис. 3.7).

Адресация к ячейкам матрицы памяти осуществляется путем подачи данных на входы  $A_0-A_3$  дешифратора строк и входы  $A_4-A_7$  дешифратора столбцов. Запись бита данных в выбранную ячейку производится при подаче сигнала  $D_{вх}$  на вход ОЗУ. Чтение содержимого этой ячейки осуществляется на выходе  $D_{вых}$ .

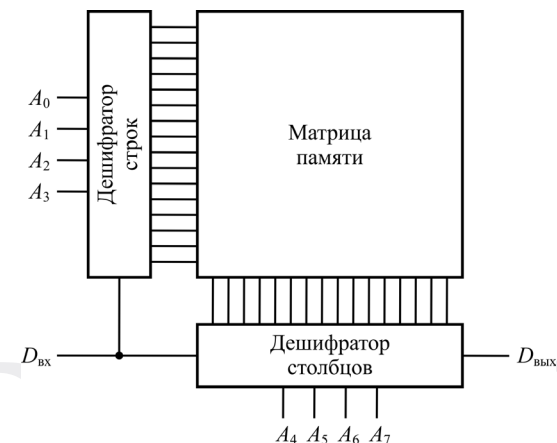


Рис. 3.7. Оперативное запоминающее устройство

### Контрольные вопросы и задания

1. Чем отличается аналоговый сигнал от цифрового?
2. Дайте определения двоичной системы счисления, бита и байта.
3. Назовите простые логические элементы и их функции.
4. Объясните назначение аналого-цифровых и цифроаналоговых преобразователей.
5. Что обозначает ПЗУ и для чего оно используется?

Окончание табл. 4.1

Обозначение	Элемент	Обозначение	Элемент
	Неразъемное соединение		Контакт переключающий (переключатель)
	Разъемное соединение		Выключатель и переключатель кнопочный с самовозвратом
	Штекерное соединение (электрический разъем)		Выключатель и переключатель с возвратом повторным нажатием
	Штекер (вилка)		Переключатель многопозиционный
	Гнездо штекера (розетка)		Электромагнитное реле
	Соединение с массой		Лампа накаливания одно- и двухнитевая
	Заземление		Звуковой сигнал
	Плавкий предохранитель		Аккумулятор и аккумуляторная батарея

Условные обозначения трансформаторов, генераторов, электродвигателей были приведены в главе 1, полупроводниковых приборов – в главе 2.

С помощью электрических схем показывают связи между отдельными устройствами и способы их подключения друг к другу. В зависимости от способа предоставления информации электрические схемы подразделяют на блок-схемы и принципиальные схемы.

*Блок-схема* представляет собой упрощенное изображение отдельных элементов в виде блоков, на ней показывают только наиболее существенные детали. С помощью блок-схемы обычно

## 4. ЭЛЕКТРОСХЕМЫ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

### 4.1. Состав и условные обозначения элементов электросхем

Электрооборудование транспортных средств состоит из множества электрических и электронных устройств, объединенных в единую электрическую сеть. В технической документации соединение отдельных компонентов электрической сети представляются на электрических схемах. В свою очередь электрические схемы состоят из отдельных компонентов – проводов, предохранителей, переключателей, реле и т. д. Каждый компонент имеет свое условное графическое обозначение в виде какого-либо схематического символа, отображаемого на электрических схемах.

Условные графические обозначения наиболее распространенных элементов электрических схем приведены в таблице 4.1. Для выключателей и переключателей за исходное положение замыкающих контактов принято разомкнутое состояние электрической цепи, размыкающих – замкнутое, переключающих – положение, в котором одна из цепей замкнута, а другая разомкнута (за исключением контактов с нейтральным положением). Положение контактов электромагнитного реле показывается при обесточенной обмотке.

Таблица 4.1

#### Условные графические обозначения элементов электросхем

Обозначение	Элемент	Обозначение	Элемент
	Электрический провод		Контакт замыкающий (выключатель)
	Пересечение электрических проводов без соединения и с соединением		Контакт размыкающий

описывают общее устройство и принцип действия электрического оборудования и электронных систем. Пример блок-схемы без расшифровки отдельных компонентов представлен на рисунке 4.1.

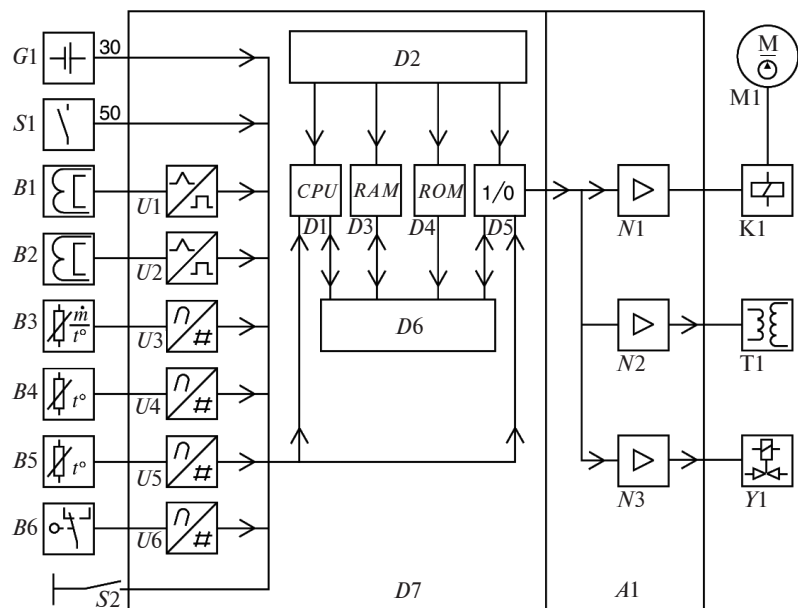


Рис. 4.1. Блок-схема электронного блока управления Motronic

На *принципиальных* схемах подробно показывают соединение отдельных элементов электрической схемы, включая проводку и разъемы. Принципиальная схема дает представление о взаимосвязи и совместной работе компонентов электрической цепи. Поскольку большинство электрических и электронных устройств сами состоят из нескольких элементов, то принципиальная схема может отображаться в виде монтажной или функциональной схемы.

На *монтажной* схеме все детали каждого устройства сводят в единый блок, который выделяют чаще всего штрихпунктирной линией. По периметру блока отображают выводы устройства, которые затем соединяют с выводами других устройств. Для лучшего понимания схемы выводы каждого отдельного устройства нумеруют специальным образом (рис. 4.2, а).

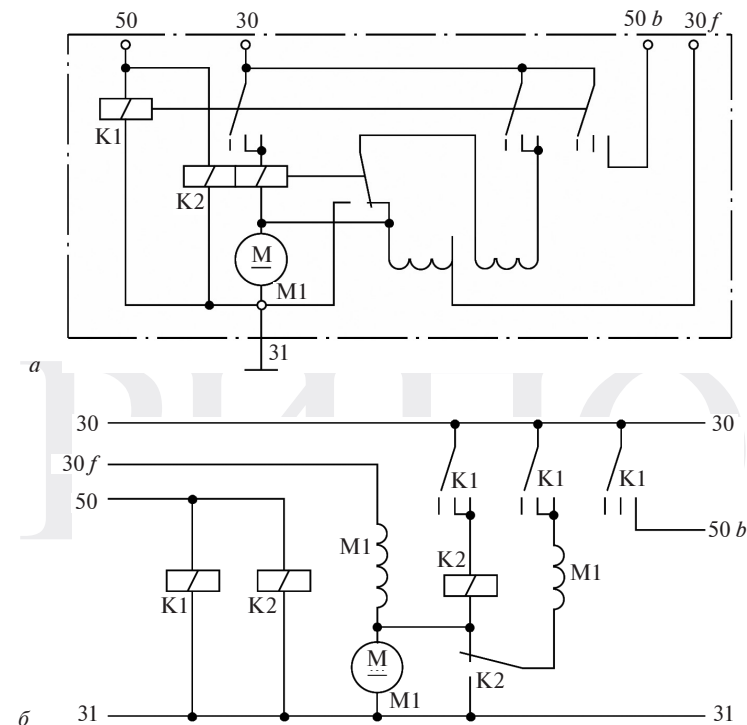


Рис. 4.2. Схема включения электродвигателя стартера: а – монтажная; б – функциональная

Монтажной схемой удобно пользоваться при анализе совместной работы отдельных устройств. Однако компоновка устройств в виде блоков часто затрудняет чтение электрической схемы в целом.

На *функциональной* схеме все элементы электрических устройств отображают отдельно и располагают таким образом, чтобы каждый путь протекания тока можно было отследить наиболее просто (рис. 4.2, б). Пространственное расположение отдельных устройств и их элементов при этом не учитывается. Более того, детали на схеме располагают максимально выровнено, а соединительные линии (т. е. провода) проводят таким образом, чтобы их длина была минимальной и по возможности без пересечений. Основная цель такого представления схемы – определить функциональное взаимодействие элементов электрической цепи.

На транспортных средствах используют однопроводную сеть постоянного тока, в которой вторым (обратным) проводом является масса транспортного средства. В связи с этим символ соединения массы многократно повторяется на всех электрических схемах. На схемах допускается указывать индивидуальный символ массы для каждого элемента (рис. 4.3, а) или собирать линии массы в одну точку (рис. 4.3, б). Также распространено изображение общей непрерывной линии массы (рис. 4.3, в).

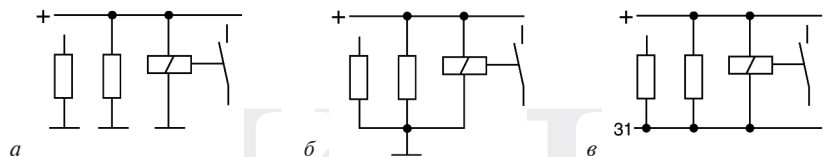


Рис. 4.3. Обозначение соединения с массой:  
а – индивидуальный символ массы для каждого элемента;  
б – сборная точка массы; в – непрерывная линия массы

На монтажных и функциональных электрических схемах предпочтительнее использовать два последних варианта представления массы.

## 4.2. Представление электросхем в технической документации изготовителя транспортных средств

Принципы построения и обозначения элементов на электрических схемах транспортных средств стандартизованы. Однако представление электросхем в технической документации различных изготовителей транспортных средств имеет свои особенности. Графические обозначения элементов схем у разных производителей могут несколько отличаться (рис. 4.4). Кроме того, бывают черно-белые и цветные варианты исполнения электрических схем. На транспортном средстве могут встречаться трехмерные схемы расположения электрических компонентов и кабельных жгутов.

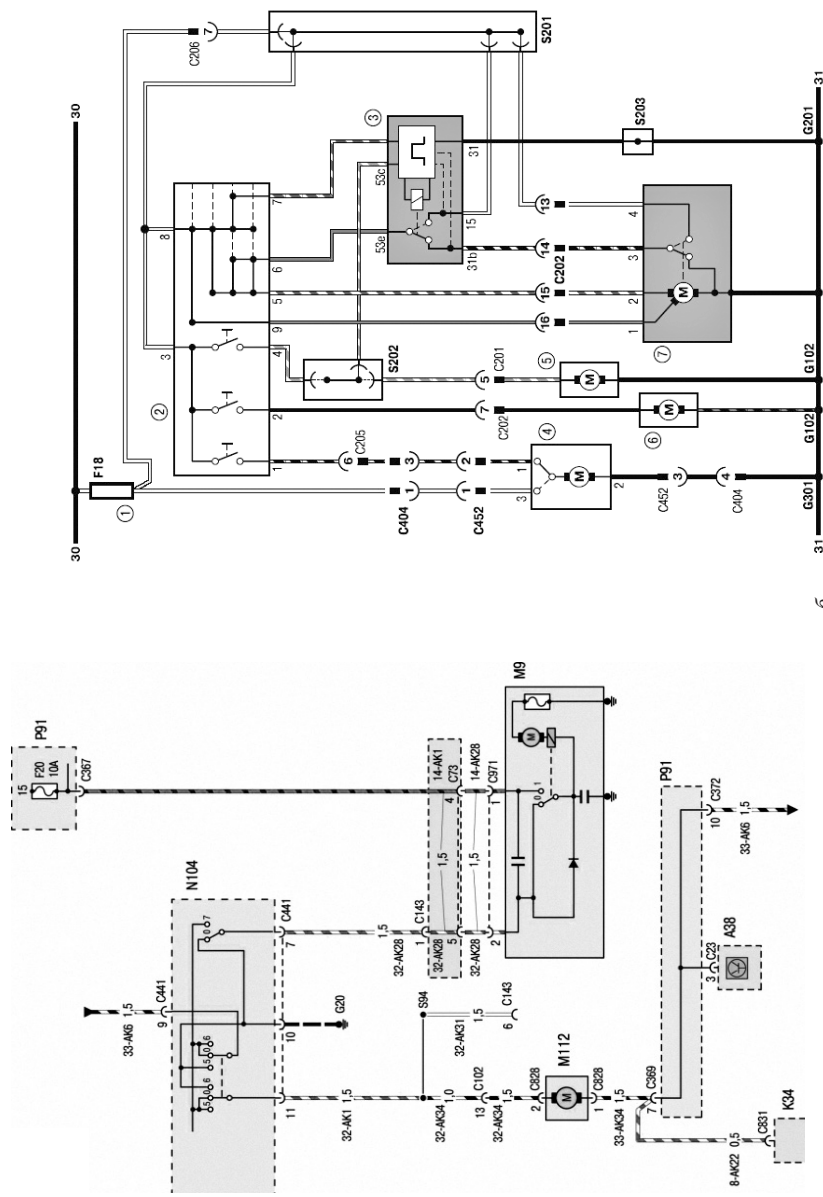


Рис. 4.4. Стеклоочиститель и омыватель стекла на схемах автомобилей: а – «Форд»; б – «Шевроле»

а

Часто на монтажных схемах для наглядности на условное обозначение элемента электрической схемы накладывают картинку, изображающую этот элемент (рис 4.5, а). В то же время на электрической схеме этот элемент выглядит несколько иначе (рис 4.5, б).

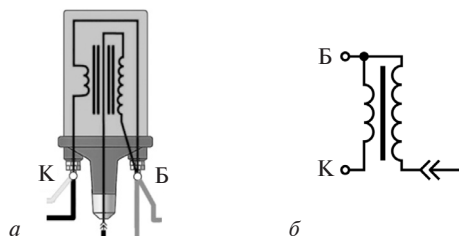


Рис. 4.5. Катушка зажигания:  
а – наглядное представление; б – электрическая схема

Если электрическая схема какой-либо системы транспортного средства слишком детальна и громоздка из-за представления внутренней электрической схемы отдельного устройства (рис 4.6, а) или не все детали этого устройства важны для его идентификации, то электрическую схему этого устройства заменяют одним схематическим символом с сохранением обозначений внешних контактов устройства и нанесением внутри символа условных обозначений, каким-то образом характеризующих данное устройство (рис 4.6, б).

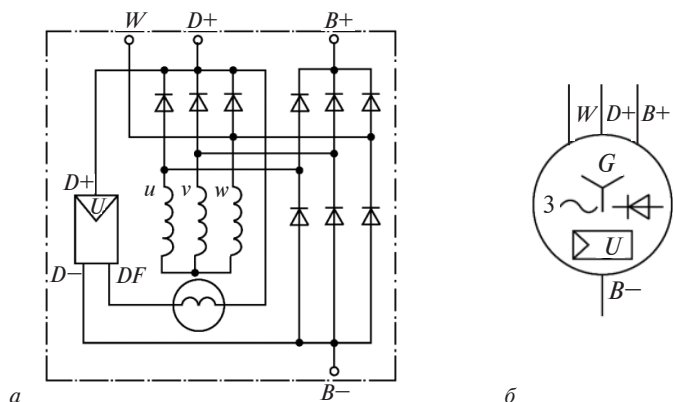


Рис. 4.6. Генератор переменного тока с регулятором:  
а – электрическая схема; б – схематический символ

На монтажных схемах вместо схематических символов устройств (рис. 4.7, а) могут быть показаны контуры используемых в схеме устройств, соответствующие их внешнему виду (рис. 4.7, б).

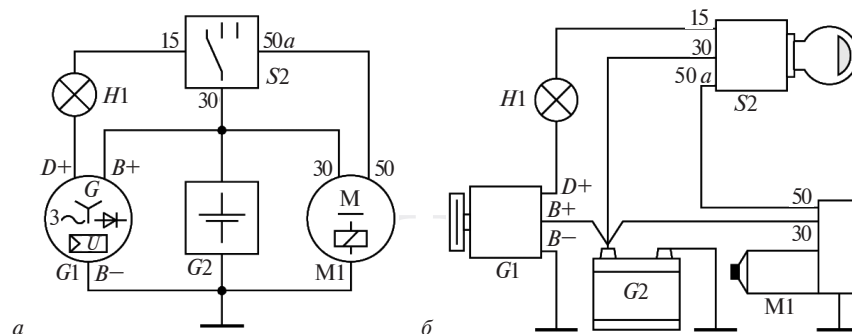


Рис. 4.7. Пример монтажной схемы:

а – с символьным обозначением; б – с контурами устройств

Каждый элемент или устройство на схемах имеет буквенно-цифровое обозначение, в котором буквы означают тип устройства, а цифры – его порядковый номер. Например, на рисунке 4.7 обозначены два источника питания – G1 (генераторная установка) и G2 (аккумуляторная батарея). Часто на схемах присутствуют двухбуквенные обозначения, в которых дополнительная буква уточняет назначение устройства: HL5 – пятая индикаторная лампа, EL4 – четвертая лампа освещения, SA2 – второй переключатель, SB3 – третий кнопочный выключатель и т. д.

Нумерация выводов самых распространенных электрических устройств стандартизирована, что позволяет правильно подсоединять проводку к устройствам. Обозначение выводов устройств приведено в таблице 4.2.

Таблица 4.2

**Обозначение выводов устройств**

Вывод	Обозначение	Вывод	Обозначение
1	Низкое напряжение катушки зажигания	61	Индикатор зарядки аккумуляторной батареи
4	Высокое напряжение катушки зажигания	75	Радиоприемник (мультимедийная система)

Окончание табл. 4.2

Вывод	Обозначение	Вывод	Обозначение
15	Провод от плюсовой клеммы аккумулятора после замка зажигания	76	Динамик
30	Провод от плюсовой клеммы аккумулятора прямой	81	Размыкающий контакт
31	Провод к минусовой клемме аккумулятора или на корпус (масса)	82	Замыкающий контакт
49	Вход прерывателя указателей поворота	85	Конец обмотки реле (минус)
49a	Выход прерывателя указателей поворота	86	Начало обмотки реле (плюс)
50	Реле управления стартером	87	Входной контакт реле
53	Электромотор стеклоочистителя	87a	Выходной контакт реле (нормально замкнутый)
53c	Электронасос омывателя лобового стекла	87b	Выходной контакт реле (нормально разомкнутый)
55	Противотуманные фары	B+	Плюсовая клемма аккумуляторной батареи
56	Фары головного света	B	Минусовая клемма аккумуляторной батареи
56a	Дальний свет	D+	Плюсовая клемма генератора
56b	Ближний свет	D	Минусовая клемма генератора
58	Габаритные огни	DF	Обмотка возбуждения генератора

Кроме соединения непосредственно с устройствами, провода соединяют через разъемы. Разъемы обозначают буквенно-цифровым кодом, например C107 или X18.

Провода, соединяющие выводы устройств, имеют разный цвет. На цветных схемах они выкрашены в соответствующие цвета. Для идентификации на черно-белых схемах провода маркируют буквами, обозначающими тот или иной цвет (табл. 4.3).

Таблица 4.3

## Цветовое обозначение проводов

Буквы	Цвет	Буквы	Цвет
B	Черный	P	Розовый
BR	Коричневый	R	Красный

Окончание табл. 4.3

Буквы	Цвет	Буквы	Цвет
G	Зеленый	SB	Светло-голубой
GR	Серый	V	Фиолетовый
LB	Голубой	W	Белый
LG	Светло-зеленый	Y	Желтый
OR	Оранжевый	NCA	Цвет неизвестен

Поскольку количество легко отличимых цветов ограничено, некоторые провода окрашивают в несколько цветов. Тогда цвет проводов обозначают через дробь, например B/W (черно-белый), G/BR (зелено-коричневый) и т. д.

Плавкие предохранители маркируют в зависимости от номинального тока нагрузки (в амперах), на который они рассчитаны. Величину номинального тока наносят на предохранитель. Кроме того, плавкие предохранители имеют цветную маркировку, зависящую от тока (табл. 4.4).

Таблица 4.4

## Цветовая маркировка предохранителей

Ток, А	Цвет	Ток, А	Цвет
1	Черный	20	Желтый
2	Серый	25	Белый
3	Фиолетовый	30	Зеленый
4	Розовый	40	Оранжевый
5	Желто-коричневый	60	Голубой
7,5	Коричневый	70	Коричневый
10	Красный	80	Светло-желтый
15	Голубой	100	Сиреневый

## Контрольные вопросы и задания

1. Нарисуйте условное графическое обозначение кнопочного переключателя с самовозвратом.
2. Нарисуйте условное графическое обозначение электромагнитного реле.
3. Что обозначают блок-схема, принципиальная схема, монтажная схема?
4. Как на электрических схемах транспортных средств обозначают соединение с массой?
5. Назовите номера выводов устройств от плюсовой клеммы аккумулятора: прямого и после замка зажигания.

## 5. ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ БОРТОВЫХ ЦЕПЕЙ

### 5.1. Цепи с прямым управлением

Цепи управления потребителями электрической энергии состоят из проводки, защитной и коммутационной аппаратуры. Защитная аппаратура включает в себя плавкие и термобиметаллические (тепловые) предохранители, которые предназначены для автоматического отключения отдельных участков электрической цепи и потребителей от источников электрической энергии при коротких замыканиях и перегрузках.

Коммутационную аппаратуру в зависимости от способа управления подразделяют на аппаратуру прямого, дистанционного и программного управления. Коммутационную аппаратуру дистанционного управления используют в цепях с релейным управлением, аппаратуру программного управления — в цепях с электронными блоками управления.

К коммутационной аппаратуре в цепях прямого управления относят различные выключатели и переключатели. В зависимости от числа одновременно коммутируемых линий их подразделяют на одно-, двух- и многополюсные. По количеству положений переключатели могут быть двух-, трех- и многопозиционные.

По принципу работы выключатели и переключатели делят на перекидные и нажимные. Первые из них переходят в разные положения при повороте клавиши или рычага управления с фиксацией повернутого положения. Нажимные выключатели и переключатели могут быть с фиксацией или без нее. Нажимные коммутирующие устройства с фиксацией (обычно кнопочные) включают или выключают повторным нажатием на кнопку. Устройства без фиксации имеют функцию самовозврата. Они находятся во включенном положении только при воздействии оператора и возвращаются в исходное положение при отпускании органа управления (кнопки, рычага или клавиши).

Большое распространение на транспортных средствах получили переключатели клавишного типа. Клавишные переключатели выпускают в двух исполнениях: с самовозвратом и с принудительным возвратом клавиш.

У трехпозиционного переключателя с самовозвратом клавиш (рис. 5.1, *a*) подвижный контакт имеет форму мостика. В свободном состоянии клавиша находится в нейтральном (среднем) положении за счет подпружиненного штока. Подвижный контакт при этом не касается неподвижных контактов, и электрическая цепь остается разомкнутой. Если нажать на клавишу, она повернется относительно своей оси и повернет подпружиненный толкатель. Толкатель прижмет подвижный контакт к одному из неподвижных контактов и контакты замкнутся. При отпускании клавиша вернется в нейтральное положение подпружиненным штоком, что приведет к размыканию контактов.

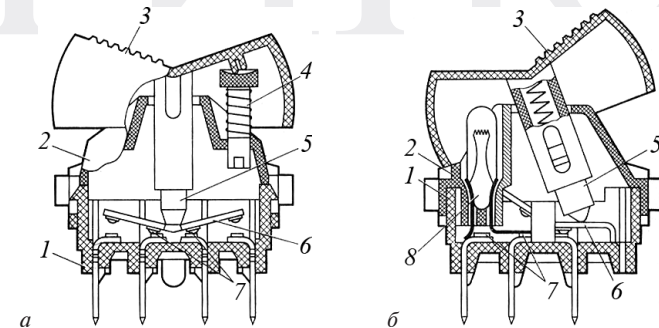


Рис. 5.1. Клавишные переключатели:

*a* — с самовозвратом; *б* — с принудительным возвратом; 1 — основание; 2 — корпус; 3 — клавиша; 4 — подпружиненный шток; 5 — толкатель; 6 — подвижный контакт; 7 — неподвижные контакты; 8 — лампа подсветки

В органы управления коммутационной аппаратуры прямого управления часто встраивают лампы подсветки, облегчающие поиск элементов управления в темноте, а также показывающие режим включения аппаратуры. На рисунке 5.1, *б* показан двухпозиционный переключатель с принудительным возвратом, положение клавиши которого фиксируется во включенном и выключенном состоянии. При повороте клавиши во включенное состояние подпружиненный толкатель замыкает подвижный и неподвижный контакты. При таком угле пово-

рота толкатель становится фиксатором и усилия его пружины достаточно для удержания клавиши во включенном состоянии. Выключить такой переключатель можно только вручную. Лампа подсветки служит индикатором включенного состояния переключателя.

Типичный представитель многопозиционных коммутационных устройств — замок зажигания. Он является основным коммутационным устройством на автомобиле, обеспечивает включение первичной цепи системы зажигания (или системы управления двигателем), контрольно-измерительных приборов, стартера, мультимедийной системы и других устройств.

В замке зажигания (рис. 5.2) применяют контактное устройство со скользящими контактами, которые переключаются при повороте специального контактного диска. Поворот диска осуществляется ключом зажигания. В конструкции замка предусмотрено противоугонное устройство, которое срабатывает в нейтральном положении механизма и вынуждено из замка ключе зажигания. При этом запорный стержень под действием пружины входит в паз рулевого механизма, обеспечивая блокировку руля от поворота. Выступ обеспечивает правильную ориентацию замка при его установке в гнездо.

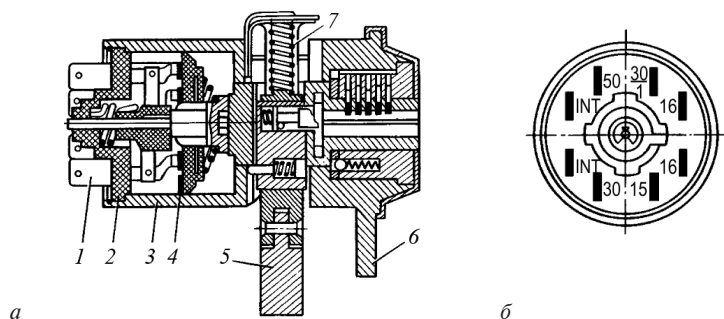


Рис. 5.2. Замок зажигания:

*a* — общий вид; *б* — вид со стороны выводов; 1 — выводы; 2 — панель; 3 — корпус; 4 — контактное устройство; 5 — запорный стержень; 6 — выступ; 7 — пружина

Выводы замка зажигания имеют стандартные цифровые обозначения (см. таблицу 4.2). К выводам «30» и «30/1» подключают источники питания, к выводу «15» — систему зажигания,

«50» — цепь включения стартера, к выводу «INT» или «75» — мультимедийную систему.

Особую группу переключателей в транспортных средствах занимают подрулевые переключатели. Это многопозиционные многофункциональные переключатели, имеющие несколько направлений переключения. Они могут быть как с принудительным возвратом, так и с самовозвратом. Предназначены для коммутации электрических цепей указателей поворота, наружного освещения, стеклоочистителей, омывателей стекол, звукового сигнала и т. д.

Примером цепи с прямым управлением может служить схема соединения звуковых сигналов (рис. 5.3).

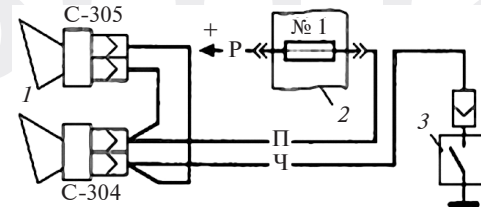


Рис. 5.3. Звуковой сигнал с прямым управлением:

1 — звуковой сигнал; 2 — блок предохранителей; 3 — выключатель сигнала

Напряжение от положительного источника питания поступает на звуковые сигналы через предохранитель № 1, расположенный в блоке предохранителей. При нажатии на выключатель сигнала цепь прямого управления замыкается и ток идет через звуковые сигналы.

## 5.2. Цепи с релейным управлением

Коммутационная аппаратура прямого управления не позволяет управлять большими токами, поэтому широкое распространение получили бортовые цепи с релейным управлением.

Электромагнитные реле являются важнейшими элементами, предназначенными для управления потребителями электроэнергии в транспортных средствах. Их применяют для коммутации больших токов, а также когда место коммутации находится далеко от места управления режимом включения.

Реле представляет собой электромагнитный аппарат с одной или несколькими парами контактов, управляемых электромагнитом. Небольшой ток, проходящий через обмотку электромаг-

нита и контакты выключателя, управляет большим током, проходящим через контакты реле. В результате контакты выключателя изнашиваются значительно меньше.

По конструктивному исполнению электромагнитные реле подразделяют на обычные, малогабаритные и специальные. Типичное малогабаритное реле (рис. 5.4) включает в себя обмотку с сердечником, ярмо, якорь с пружиной и контакты. Подвижный контакт закреплен на якоре. Ярмо, сердечник и якорь образуют магнитопровод. В выключенном состоянии (ток через обмотку реле не течет) якорь за счет пружины поднят вверх и контакты реле разомкнуты. При подаче напряжения на обмотку (выводы «85» и «86») протекающий в ней ток намагничивает сердечник. Под действием магнитного поля якорь преодолевает усилие пружины и притягивается к сердечнику. В результате контакты реле замыкаются и ток от вывода «30» через ярмо, якорь, контакты и вывод «87» поступает к потребителям.

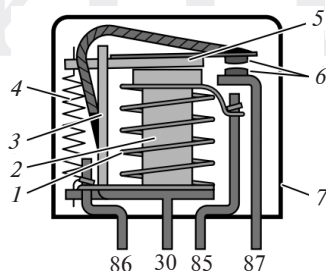


Рис. 5.4. Электромагнитное реле:  
1 – обмотка; 2 – сердечник; 3 – ярмо; 4 – пружина;  
5 – якорь; 6 – контакты; 7 – крышка

Реле применяют для включения стартера, звукового сигнала, дальнего и ближнего света фар, вентиляторов системы охлаждения, обогревателя лобового стекла и т. д.

Кроме обычных электромагнитных реле, в электрооборудовании транспортных средств используют реле-прерыватели, которые при своем включении обеспечивают прерывистое включение/выключение потребителей с определенной периодичностью. Реле-прерыватели применяют в стеклоочистителях, системах световой сигнализации, цепях контрольных ламп стояночного тормоза и подушек безопасности и т. д.

Реле-прерыватели обычно представляют собой комбинированные устройства, сочетающие в себе электронное управляющее реле и электромагнитное исполнительное реле. В таком случае для защиты транзисторов электронного реле от ЭДС самоиндукции, возникающей в обмотке электромагнитного реле, последовательно с обмоткой или параллельно обмотке включают полупроводниковый диод.

На транспортных средствах имеется значительное число коммутационных и защитных устройств. Для облегчения монтажа, удобства технического обслуживания, диагностики и ремонта элементы коммутационной и защитной аппаратуры группируют в монтажные блоки.

На рисунке 5.5 показан пример цепи с релейным управлением. В отличие от схемы, представленной на рисунке 5.3, напряжение на звуковой сигнал от источника питания напрямую не подается.

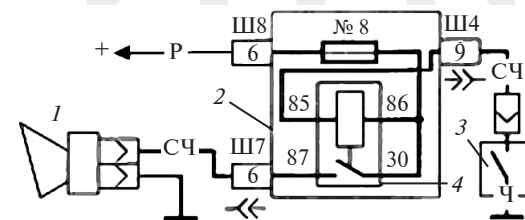


Рис. 5.5. Звуковой сигнал с релейным управлением:  
1 – звуковой сигнал; 2 – монтажный блок; 3 – выключатель сигнала; 4 – реле включения сигнала

При нажатии на выключатель сигнала ток через предохранитель №8 поступает на обмотку реле (выводы реле «85» и «86»). В результате реле срабатывает и через замкнутые контакты (выводы «30» и «87») ток от источника питания поступает на звуковой сигнал.

### 5.3. Цепи с использованием соединения электронных блоков управления и цифровым предоставлением информации

Применение электронных блоков в цепях управления электрическими устройствами позволяет более гибко использовать эти устройства. Так, ручное прямое или релейное управление салонными вентиляторами, отопителем и кондиционером мож-

но заменить электронной системой управления микроклиматом, автоматически поддерживающей температуру и интенсивность воздухообмена в салоне транспортного средства.

Схема электронного управления на примере системы пуска двигателя показана на рисунке 5.6. Управление блокировкой включения стартера реализовано в виде подсистемы контроллера микропроцессорного управления двигателем. Для этого в систему пуска добавлено дополнительное реле, управляющее работой главного реле стартера по команде контроллера.

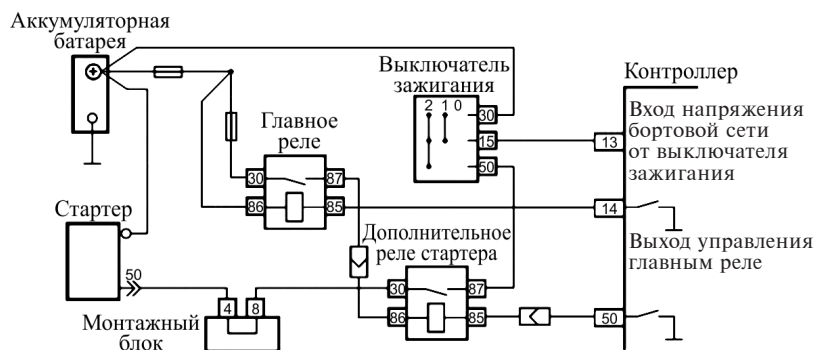


Рис. 5.6. Электронное управление системой электрического пуска

Контроллер управляет включением или выключением стартера в зависимости от частоты вращения коленчатого вала двигателя и времени работы стартера. Включение стартера возможно при частоте вращения коленчатого вала не более  $500 \text{ мин}^{-1}$ . После включения стартер будет работать не более 20 с при условии, что получено разрешение от иммобилайзера на запуск двигателя и частота вращения коленчатого вала не превысила  $500 \text{ мин}^{-1}$ . Электронное управление предотвращает включение стартера при работающем двигателе, его перегрев при длительной работе и глубокий разряд аккумуляторной батареи.

Рост числа электрических и электронных систем в транспортных средствах приводит к значительному увеличению количества, длины и массы проводов, а также количества соединений. Большое число проводов и соединений увеличивает стоимость и ухудшает надежность. Применение мультиплексирования снижает число проводов. В обычных цепях сигнал управления и питающее напряжение к любому устройству подается по одному и

тому же проводу, отдельному для каждого устройства (рис 5.7, а). Выключатель  $S1$  подает ток на лампу  $H1$ , выключатель  $S2$  — на лампу  $H2$  и т. д.

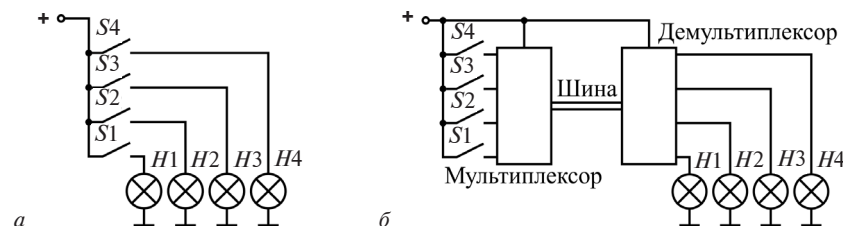


Рис. 5.7. Подключение потребителей:  
а — обычное; б — мультиплексное

В мультиплексных системах (рис 5.7, б) управляющие ключи  $S1-S4$  непосредственно не включают и не выключают электропитание нагрузок. Вместо этого информация о замыкании или размыкании ключей поступает на мультиплексор, где этот сигнал кодируется и по единственной шине данных поступает в демультиплексор. Демультиплексор расшифровывает кодированный сигнал и подает ток именно на те устройства, команда на включение которых поступила от управляющих ключей.

Таким образом, в мультиплексных системах для управления многими устройствами используют всего две линии: силовую и линию передачи данных.

Такой способ объединения устройств в единую сеть называют сетью с шиной данных. Кроме такого способа, могут использоваться также менее распространенные в автомобилестроении способы объединения по схеме «звезда» и «кольцо».

Наибольшее распространение в автомобилестроении получил стандарт сети CAN (Controller Area Network — сеть контроллеров) с последовательной пакетной передачей данных. Стандарт ориентирован на объединение в сеть различных датчиков и устройств.

Основная конструкция линии передачи данных в CAN — витая пара. CAN также может работать на однопроводной линии (второй провод — корпус). Имеются системы, использующие в качестве среды передачи данных коаксиальный кабель, оптоволокно, радиоканал (Bluetooth или Wi-Fi) или силовые линии электропередачи.

Протокол CAN поддерживает метод доступа к сети с узлами одинакового ранга. Каждый узел состоит из двух составляющих — микропроцессора (CPU) и контроллера CAN. Последний обеспечивает взаимодействие с сетью и реализует протокол обмена данными (рис 5.8).

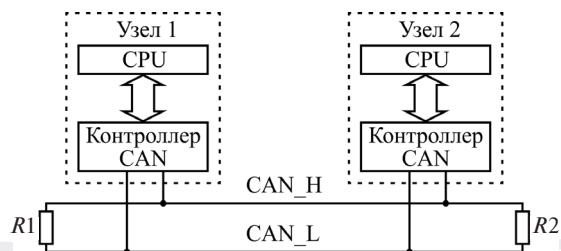


Рис. 5.8. Структура CAN

Контроллеры соединяют с помощью дифференциальной шины (рис. 5.9), имеющей две линии CAN\_H (высокий уровень сигнала, логическая единица) и CAN\_L (низкий уровень сигнала, логический ноль). Логический ноль регистрируется, когда сигнал на линии CAN\_H выше, чем на линии CAN\_L, логическая единица — когда сигналы на линиях CAN\_H и CAN\_L равны. Использование такой дифференциальной схемы передачи данных делает возможной работу CAN в сложных условиях с большим уровнем помех.

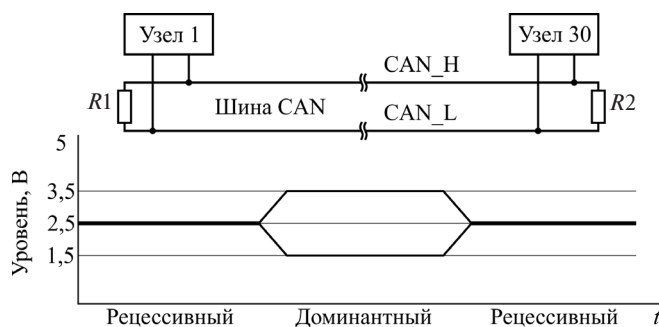


Рис. 5.9. Схема включения и битовые уровни CAN

Логический ноль называют доминантным битом, а логическую единицу — рецессивным битом. Эти названия отражают приоритет логических уровней на шине CAN. При одновременной передаче в шину логического ноля и логической единицы на

ней будет зарегистрирован только логический ноль (доминантный сигнал), а логическая единица подавлена (рецессивный сигнал).

К шине CAN одновременно можно подключать несколько устройств (узлов), количество которых теоретически не ограничено. Каждый узел имеет свой тактовый генератор, посылающий сообщение всем системам, подсоединенным к шине. Для идентификации узлов каждое устройство посылает в сеть уникальный идентификатор длиной 11 или 29 бит (в зависимости от аппаратной реализации устройства). Получатели сигнала в сети анализируют идентификационный пакет и решают, относится ли данное сообщение к ним или нет. Для этого в контроллере каждого узла предусмотрена аппаратная реализация фильтрации сообщений.

Поскольку шина CAN является последовательной, то по ней одновременно может передаваться только один пакет данных, остальные пакеты должны становиться в очередь. В идентификаторе пакета данных имеется поле арбитража, позволяющее реализовать метод неструктивного арбитража для разрешения доступа к шине. Если несколько контроллеров начинают одновременную передачу поля арбитража, каждый контроллер сравнивает бит, который собирается передать в шину, с битом, который пытается передать конкурирующий контроллер. Если значения этих битов равны, оба контроллера передают следующие биты до тех пор, пока значения передаваемых битов не окажутся различными. Тогда контроллер, который передал логический ноль (более приоритетный сигнал), продолжит передачу, а проигравший контроллер приостановит свою передачу до момента освобождения шины (рис. 5.10).

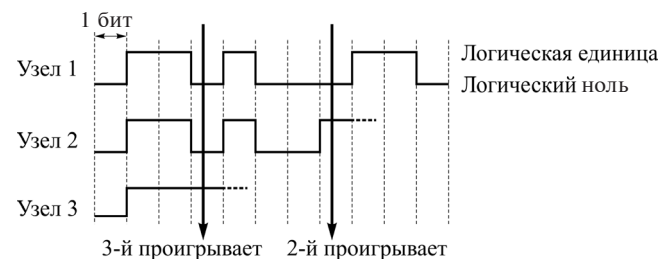


Рис. 5.10. Побитовый арбитраж CAN

Если шина занята в момент начала передачи данных, то контроллер не начинает передачу данных до освобождения шины.

По скорости передачи данных автомобильные сети подразделяют на несколько классов: А – до 10 кбит/с, В – до 125 кбит/с, С – до 1 Мбит/с, С+ – до 10 Мбит/с, D – свыше 10 Мбит/с. Сети стандартов А и В относят к низкоскоростным, стандарты С, С+ и D – к высокоскоростным.

Часто применяют две параллельные шины CAN: высокоскоростную и низкоскоростную. Более быстродействующую шину используют для устройств двигателя и шасси (блоки управления коробкой передач, подвеской и т. д.), а более медленную – для других систем (блоки управления головным освещением, дверьми, микроклиматом и т. д.). Взаимодействие между шинами обеспечивается процессором связи CAN.

### Контрольные вопросы и задания

1. Из чего состоят цепи управления потребителями электрической энергии?
2. Как работает трехпозиционный переключатель с самовозвратом клавиш?
3. Расскажите об устройстве и работе электромагнитного реле.
4. Что представляет собой мультиплексное подключение потребителей?
5. Опишите структуру CAN.

## 6. СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

### 6.1. Источники и потребители электроэнергии транспортного средства

Электрооборудование транспортных средств представляет собой сложный комплекс электрических и электронных устройств, приборов и систем. В общем случае их можно разделить на три группы: источники электроэнергии, потребители электроэнергии и устройства, обеспечивающие взаимосвязь и защиту первых двух групп устройств.

К источникам электрической энергии относят генераторную установку и аккумуляторную батарею.

Потребителями являются система электростартерного пуска, система зажигания или электронная система управления двигателем, системы освещения и сигнализации, электропривод различных устройств, электронные системы управления агрегатами и др.

К третьей группе относят защитную и коммутационную аппаратуру (предохранители, переключатели, реле, шину CAN и т. д.).

Структурная схема электрооборудования представлена на рисунке 6.1. При работающем двигателе генераторная установка является основным источником электроэнергии. Она обеспечивает электроснабжение потребителей  $I_H$  и заряд аккумуляторной батареи  $I_{6,3}$ , если батарея разряжена ( $I_{\Gamma} = I_{6,3} + I_H$ ).

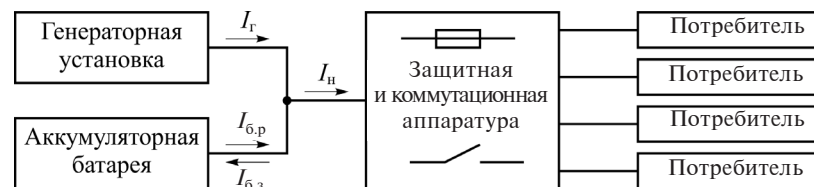


Рис. 6.1. Структурная схема электрооборудования

Когда аккумуляторная батарея заряжена, она не потребляет ток, и весь ток генератора  $I_{\Gamma}$  поступает к потребителям ( $I_{\Gamma} = I_{\text{н}}$ ). При неработающем двигателе электроснабжение обеспечивается аккумуляторной батареей при ее разряде ( $I_{\text{б.р}} = I_{\text{н}}$ ).

Условия работы электрооборудования зависят от климатической зоны эксплуатации транспортных средств. Электрические устройства выпускают в исполнении У (для умеренного климата), ХЛ (для холодного климата), О (общеклиматическое исполнение), Т (тропическое исполнение). В зависимости от исполнения устройства должны выдерживать определенную максимальную и минимальную температуру окружающей среды и максимальную относительную влажность воздуха в зависимости от места установки устройства (в двигательном отсеке, кабине или снаружи транспортного средства).

От места установки на транспортное средство нормируют допустимые вибрационные и ударные нагрузки на электрооборудование.

Электростартер должен выдерживать работу на повышенной частоте вращения в течение 20 с, электродвигатели – 2 мин.

Электрические и электронные устройства транспортных средств должны быть приспособлены для работы в однопроводной бортовой сети с минусом на корпусе. Допускается применение изделий с двумя изолированными от корпуса выводами.

Бортовая электрическая сеть транспортных средств – однопроводная сеть постоянного тока, в которой на провода подается «+» напряжения, а отрицательным проводом является корпус (масса) транспортного средства. Значение номинального напряжения источников и потребителей электроэнергии в бортовой сети при неработающем двигателе определяется напряжением аккумуляторной батареи (12 или 24 В), при работающем – напряжением генераторной установки (14 или 28 В).

Электрические и электронные устройства должны сохранять работоспособность при воздействии на них импульсных напряжений при срабатывании предохранителей, пуске двигателя от посторонних источников, отключении аккумуляторной батареи и т. д. Так, электроника в бортовой сети с номинальным напряжением 14 В не должна выходить из строя при воздействии на нее напряжения 112 В при длительности импульса 10 мкс и напряжения 21 В при длительности импульса 300 мс.

Электрооборудование должно быть защищено от воздействия пыли, грязи, брызг воды, попадания посторонних предметов; также должна быть предусмотрена защита от коррозии.

## 6.2. Аккумуляторные батареи

Аккумуляторная батарея предназначена для питания стартера при запуске двигателя, питания электрооборудования и электронных устройств транспортных средств при неработающем двигателе или недостаточной мощности генератора. При выходе генератора из строя батарея является аварийным источником энергии, обеспечивающим возможность движения автомобиля. Аккумуляторная батарея сглаживает пульсации напряжения генератора, устраняет перегрузку генератора, компенсирует дефицит энергии, когда генератор не может обеспечить питание всех включенных потребителей.

Поскольку основное назначение аккумуляторной батареи – обеспечение работы стартера, ее называют *стартерной аккумуляторной батареей*.

Стартерная аккумуляторная батарея должна обеспечивать нужный для работы стартера пусковой ток и необходимое количество попыток пуска двигателя с заданной продолжительностью, создавать необходимое для работы стартера напряжение при пониженных температурах, обладать запасом энергии для питания потребителей при неработающем двигателе, сохранять рабочие характеристики продолжительное время в процессе эксплуатации.

Аккумуляторная батарея является химическим источником постоянного тока многократного использования, т. е. многократного разряда и заряда. Наибольшее распространение получили свинцово-кислотные стартерные аккумуляторные батареи, состоящие из нескольких (3 или 6) отдельных аккумуляторов, соединенных последовательно.

Принцип действия аккумулятора основан на отдаче или присоединении электронов в ходе химической реакции. В свинцово-кислотном аккумуляторе в токообразующих процессах участвуют диоксид свинца  $\text{PbO}_2$  положительных пластин, губчатый свинец  $\text{Pb}$  отрицательных пластин и электролит – водный раствор серной кислоты  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

При подключении электрической нагрузки к аккумулятору губчатый свинец отрицательных пластин выделяет в электролит положительные ионы двухвалентного свинца, а избыточные электроны вследствие разницы потенциалов переходят от отрицательных пластин через потребители электроэнергии к положительным. Одновременно в процессе диссоциации серной кислоты в электролите образуются положительные ионы водорода и отрицательные ионы кислотного остатка.

Под действием избыточных электронов на положительных пластинах четырехвалентные ионы свинца восстанавливаются до двухвалентных, а в электролит поступают высвободившиеся из диоксида свинца положительные ионы кислорода. Положительные ионы двухвалентного свинца соединяются с отрицательными ионами кислотного остатка, образуя на положительных и отрицательных пластинах сульфат свинца  $PbSO_4$ . Ионы водорода связываются с ионами кислорода, образуя воду  $H_2O$ .

Химическую реакцию, протекающую в аккумуляторе при его разряде, описывают уравнением



В результате этой химической реакции плотность электролита падает, поскольку в электролите уменьшается количество более плотной серной кислоты и увеличивается количество менее плотной воды.

При заряде в аккумуляторе протекают обратные процессы. Под действием зарядного тока происходит процесс переноса заряда от положительного электрода к отрицательному. На отрицательных пластинах происходит расщепление сульфата свинца на свинец, остающийся на пластинах, и отрицательные ионы кислотного остатка, переходящие из пластин в электролит.

На положительных пластинах сульфат свинца расщепляется на четырехвалентный свинец и ионы кислотного остатка. Свинец соединяется с кислородом, извлеченным из воды, образуя на пластинах диоксид свинца. Одновременно ионы водорода, извлеченные из воды, взаимодействуют с ионами кислотного остатка, образуя в электролите серную кислоту:



Плотность электролита при зарядке аккумулятора возрастает.

Если продолжить подачу зарядного тока на аккумулятор после его полного заряда, то произойдет разложение воды на водород  $H_2$  возле отрицательных пластин и кислород  $O_2$  возле положительных пластин. Данный процесс называют газовыделением и внешне он проявляется как «кипение» электролита. При этом уменьшается количество воды в электролите и снижается уровень электролита, что может потребовать добавления воды в электролит.

Один аккумулятор обеспечивает напряжение около 2 В. Однако этого недостаточно для питания бортовой сети транспортного средства и аккумуляторы объединяют в аккумуляторную батарею.

Стартерная аккумуляторная батарея на 12 В состоит из шести последовательно соединенных аккумуляторов, разделенных между собой перегородками и находящихся внутри моноблока под общей крышкой (рис. 6.2). Положительные и отрицательные пластины каждого аккумулятора собраны в полублоки. Разнополярные пластины изолированы друг от друга сепараторами. Заливные отверстия в крышке закрыты пробками. Уровень электролита контролируют по индикатору уровня. Аккумуляторы соединены между собой межэлементными перемычками. В качестве токоотводов предусмотрены полюсные выводы, которые можно закрывать отдельными крышками.

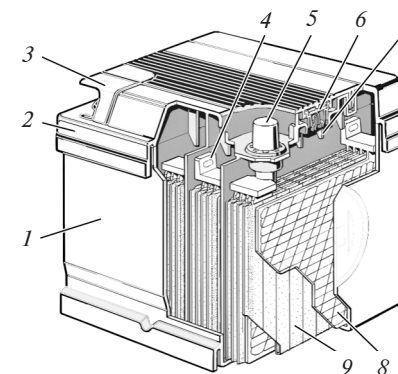


Рис. 6.2. Стартерная аккумуляторная батарея:

- 1 – моноблок; 2 – крышка; 3 – крышка отрицательного полюсного вывода;  
4 – межэлементная перемычка; 5 – положительный полюсный вывод;  
6 – пробка под защитной крышкой; 7 – индикатор уровня электролита;  
8 – отрицательная пластина; 9 – положительная пластина в сепараторе-конверте

Размеры полюсных выводов стандартизованы. У большинства батарей выводы выполнены в виде усеченного конуса с конусностью 1:9. Для исключения возможности неправильного подключения батареи положительный полюсный вывод изготавливают большего диаметра, чем отрицательный. Диаметр положительного полюсного вывода у основания конуса составляет 19,5 мм, отрицательного – 17,9 мм.

Моноблоки стартерных аккумуляторных батарей изготавливают из эбонита, термопласта (наполненного полиэтилена), полипропилена и полистирола. Высокая прочность полипропилена позволила уменьшить толщину стенок и уменьшить массу моноблока и батареи. Тонкие стенки моноблока из полипропилена делают более жесткими за счет рационального выбора конструктивных форм моноблоков. Достаточная прозрачность полипропилена упрощает контроль уровня электролита в батарее.

Положительные и отрицательные пластины изготавливают в форме решетки, ячейки которой заполнены активной массой. Решетки выполняют функцию подвода тока к активной массе и ее механическому удержанию, а также обеспечивают возможность параллельного соединения между собой в полублоки.

Основным компонентом активной массы положительных пластин является пористый диоксид свинца красно-коричневого цвета, отрицательных – пористый (губчатый) свинец. Пористая структура активной массы электродов обеспечивает лучшее проникновение электронов в глубинные слои и повышает коэффициент использования активных веществ.

Положительные и отрицательные пластины разделяют сепараторами из мипоры, мипласта и пористого полиэтилена. Полиэтиленовые сепараторы часто выполняют в форме конвертов, в которые помещают пластины.

Решетки пластин должны обеспечивать равномерное токо-распределение по всей массе активных веществ, поэтому ячейки решеток изготавливают в виде прямоугольников или ромбов. Материалом решеток служит свинец с добавлением сурьмы, мышьяка, кальция, олова и других элементов.

Наличие сурьмы в решетках увеличивает прочность пластин и их стойкость к коррозии, но снижает напряжение повышенного газовыделения. В малосурьмянистых батареях решетки изготавливают из свинцово-сурьмянистого сплава с добавлением сурь-

мы до 1,8 % вместо 4–6 %. Для увеличения жесткости пластин добавляют медь, олово и селен. Уменьшение количества сурьмы позволяет снизить интенсивность газовыделения и уменьшить саморазряд батареи при ее хранении. Такие батареи относят к малообслуживаемым.

Большое распространение получили так называемые кальциевые батареи, в которых вместо сурьмы в свинцовых решетках используют кальций. Достоинством таких батарей является значительное снижение саморазряда, высокое напряжение газовыделения и низкий расход воды. Применение кальция в решетках позволяет свести к техническому минимуму обслуживание батарей, поэтому их относят к необслуживаемым. Недостаток этих батарей: повышенная чувствительность к глубоким разрядам.

На транспортных средствах с системой «старт–стоп» применяют аккумуляторные батареи с надписью EFB (Enhanced Flooded Battery – улучшенная батарея с жидким электролитом). Их особенностью является более толстая решетка отрицательных пластин, что обеспечивает более высокую стойкость к коррозии при нагрузке пусковыми токами. Для улучшения приема зарядного тока в активную массу отрицательных пластин добавляют углерод и несколько увеличивают массу свинца.

В транспортных средствах находят применение батареи AGM (Absorbent Glass Mat – абсорбирующая прокладка из стекловолокна). Между положительными и отрицательными пластинами расположены изолирующие прокладки из ультратонкого стекловолокна и бумажных волокон, обладающие большой пористостью. Внутри AGM нет свободного жидкого электролита, весь электролит содержится в пористой прокладке (сепараторе) и в активном материале пластин. Пластины могут иметь как плоскую форму, так и быть свернутыми в рулон.

Достоинства батарей AGM: большая долговечность, хорошие пусковые качества, низкий саморазряд, отсутствие техобслуживания. Недостатком таких батарей являются высокая стоимость и повышенные требования к источнику зарядного тока.

К основным параметрам аккумуляторных батарей относят ЭДС, напряжение, внутреннее сопротивление, емкость, плотность электролита, степень разряженности.

Электродвижущая сила аккумулятора представляет собой разность потенциалов между положительными и отрицательными

ми пластинами. На величину ЭДС влияют плотность электролита и его температура. ЭДС батареи больше ЭДС аккумулятора пропорционально количеству аккумуляторов.

Напряжение аккумулятора отличается от его ЭДС на величину падения напряжения во внутренней цепи при прохождении разрядного или зарядного тока. При разряде напряжение на выводах аккумулятора меньше, а при заряде больше ЭДС. Потери напряжения в аккумуляторе зависят в первую очередь от его внутреннего сопротивления. Внутренним сопротивлением аккумулятора называют сопротивление, оказываемое прохождению внутри него разрядного или зарядного тока. Сопротивление аккумуляторной батареи складывается из сопротивления решеток, активной массы, электролита между пластинами, сепараторов, межэлементных перемычек и полюсных выводов.

Электролит приготавливают, растворяя серную кислоту в дистиллированной воде. Концентрированная серная кислота представляет собой прозрачную жидкость без цвета и запаха плотностью  $1,83 \text{ г/см}^3$ , в которой содержится 94 % чистой серной кислоты. Плотность электролита полностью заряженной батареи для умеренного климата составляет  $1,24\text{--}1,27 \text{ г/см}^3$ .

Емкостью аккумуляторной батареи называют количество электричества, выраженное в ампер-часах (А·ч), которое отдает заряженная батарея при ее разряде до допустимого напряжения. Номинальной для стартерных свинцовых батарей емкостью считается емкость 20-часового режима разряда  $C_{20}$ . Разряд батарей проводят непрерывно силой разрядного тока, равной  $0,05C_{20} \text{ А}$ , до конечного разрядного напряжения  $1,75 \text{ В}$  на выводах аккумулятора ( $10,5 \text{ В}$  на выводах батареи).

По плотности электролита и напряжению на аккумуляторе можно судить о степени заряженности батареи.

Перед началом разряда напряжение полностью заряженного аккумулятора составляет  $2,11 \text{ В}$ , а плотность электролита  $1,27 \text{ г/см}^3$ . После подключения к аккумулятору нагрузки напряжение разряда  $U_p$  начинает падать, вместе с чем падает и плотность электролита  $\rho$  (рис 6.3, а).

В конце разряда напряжение на аккумуляторе падает до  $1,75 \text{ В}$ , а плотность снижается до  $1,11 \text{ г/см}^3$ . После отключения нагрузки в конце разряда напряжение аккумулятора скачком повышается на величину, зависящую от внутреннего сопротивле-

ния аккумулятора, после чего плавно повышается во время отдыха до  $1,95 \text{ В}$ .

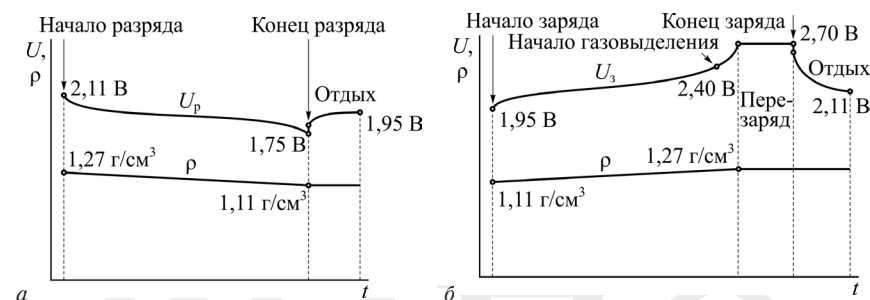


Рис. 6.3. Характеристики аккумулятора:  
а — разряд; б — заряд

В начале заряда происходит процесс, обратный разряду: напряжение заряда  $U_3$  начинает расти с величины  $1,95 \text{ В}$ , а плотность электролита  $\rho$  — с величины  $1,11 \text{ г/см}^3$  (рис 6.3, б). При достижении напряжения  $2,40 \text{ В}$  почти весь сульфат свинца преобразуется в диоксид свинца на положительных пластинах и в свинец — на отрицательных. В электролите происходит главным образом разложение молекул воды на водород и кислород. В конце заряда напряжение достигает  $2,70 \text{ В}$  и больше не увеличивается. Обильное газовыделение («кипение») электролита свидетельствует о полном заряде аккумулятора, и дальнейшая подача зарядного тока приводит лишь к перезаряду аккумулятора, сопровождающемуся интенсивным испарением воды из электролита. При отключении зарядного устройства напряжение скачком снижается на величину, зависящую от внутреннего сопротивления аккумулятора, а затем плавно снижается во время отдыха до  $2,11 \text{ В}$ . Плотность электролита при этом достигает  $1,27 \text{ г/см}^3$ .

При эксплуатации аккумуляторных батарей применяют несколько способов заряда.

*Заряд при постоянном напряжении.* При этом способе напряжение зарядного устройства поддерживается постоянным. Сила зарядного тока в первое время достигает большой величины, а затем постепенно снижается. Этот способ заряда обеспечивает более быстрое доведение батареи до состояния, позволяющего запустить двигатель от электростартера.

*Заряд при постоянном токе.* При таком заряде сила тока в течение всего времени заряда остается постоянной, для чего необходимо менять зарядное напряжение. При использовании этого способа применяют двухступенчатый заряд. На первой ступени заряжают батарею током  $0,1C_{20}$  А до напряжения 14,4 В (2,4 В на один аккумулятор), затем ток снижают до величины  $0,05C_{20}$  А и заряжают этим током еще 2 ч.

Маркировка аккумуляторных батарей включает в себя четыре элемента: первый – число аккумуляторов в батарее (3 или 6); второй – буквы, характеризующие тип батареи (СТ – стартерная); третий – номинальную емкость батареи (А·ч), четвертый – буквы, указывающие на материал корпуса и конструктивное исполнение батареи. Если в четвертом элементе вместо русских букв указаны латинские, то этот элемент характеризует величину эксплуатационного расхода воды. Кроме того, на корпус батареи наносят номинальное напряжение (В или V), номинальную емкость (А·ч или Ah) и ток холодной прокрутки при  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  (А).

Перед установкой новой аккумуляторной батареи на транспортное средство следует произвести ее проверку. Сначала необходимо убедиться в целостности корпуса аккумуляторной батареи. Далее произвести измерение плотности электролита: она не должна быть ниже номинальной более чем на  $0,02\text{ г/см}^3$ , что соответствует примерно 80 % заряженности аккумуляторной батареи. Последнюю проверку следует произвести с нагрузочной вилкой. Вольтметр нагрузочной вилки должен показать 12,5–12,9 В при отключенной нагрузке, а при включенной – не опуститься в течение 10 с ниже 11 В. Разряженную батарею полностью заряжают. Плотность электролита исправного и полностью заряженного аккумулятора должна составлять 1,27–1,29 г/см<sup>3</sup> зимой и 1,25–1,27 г/см<sup>3</sup> летом, причем корректировка плотности при изменении сезонов не требуется. При долипании жидкости в аккумулятор нужно выяснить причину понижения уровня электролита. Если потеря уровня произошла из-за пролипания, то долипают электролит, если из-за выкипания – дистиллированную воду.

Основными неисправностями аккумуляторной батареи являются трещины в корпусе; оплывание или осыпание активной массы, происходящее при перезаряде, от сильной вибрации, от замерзания электролита; сульфатация пластин в результате частого разряда стартерным током, длительного хранения при по-

ложительной температуре без подзаряда; коррозия пластин из-за оголения электродов или содержания в электролите посторонних примесей; замыкание пластин осыпающейся активной массой или вследствие сульфатации; обрыв пластин или межэлементных соединений.

### 6.3. Генераторы

Основным источником электрической энергии в бортовой сети транспортного средства является *генератор переменного тока*. Название «генератор переменного тока» условное, поскольку переменный ток вырабатывается внутри генератора, затем он выпрямляется, и на выходе генератора получается постоянный ток. Более того, в корпус генератора, кроме выпрямителя, встраивают регулятор напряжения, обеспечивающий постоянную величину напряжения, вырабатываемого генератором. Поэтому генератор переменного тока со встроенным регулятором напряжения и выпрямительным блоком называют *генераторной установкой*.

Генераторные установки на транспортных средствах работают в тяжелых условиях: при повышенной вибрации; высокой температуре под капотом; воздействии влажной среды, запыленности и загрязненности; большом диапазоне нагрузок на генератор и частоты вращения вала генератора. В связи с этим к генераторным установкам предъявляют следующие требования: обеспечение потребителей постоянным напряжением; поддержание напряжения постоянным по величине независимо от частоты вращения коленчатого вала двигателя и изменения нагрузки на генератор; обеспечение заряда аккумулятора в любых условиях; прочная конструкция; длительный срок службы; высокий КПД.

Основными узлами генератора переменного тока, в которых происходит преобразование механической энергии в электрическую, являются магнитная система с подвижной и неподвижной частями. Подвижная часть (рис. 6.4) состоит из обмотки возбуждения и стальных участков магнитопровода клювообразной формы, по которым протекает магнитный поток. Клювообразные полюса с обмоткой возбуждения, контактные кольца, через которые ток от щеток подводится к обмотке возбуждения, вал на подшипниках и некоторые другие конструктивные элементы

образуют вращающийся ротор. Привод ротора осуществляется через шкив ременной передачи от коленчатого вала двигателя. Неподвижную часть генератора образует статор с обмоткой, зажатый между передней и задней крышками.

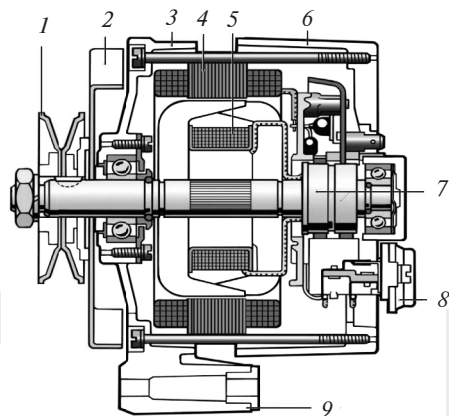


Рис. 6.4. Генератор переменного тока:

- 1 – шкив; 2 – вентилятор; 3 – передняя крышка; 4 – статор с обмоткой;  
5 – обмотка возбуждения; 6 – задняя крышка; 7 – контактные кольца; 8 – регулятор напряжения; 9 – крепежная лапа

Магнитный поток, созданный обмоткой возбуждения при прохождении через нее постоянного электрического тока, проходит через систему полюсов и обмотку статора. При вращении ротора напротив полюсов статора с расположенными на них обмотками фаз оказывается то северный, то южный полюс ротора. Магнитный поток, пронизывающий обмотки статора, изменяется по величине и направлению, что и приводит к появлению в обмотках переменной ЭДС.

Основными параметрами генератора являются напряжение, частота вращения ротора и мощность. Номинальная мощность генератора равна произведению номинальной силы тока, отдаваемого генератором в нагрузку, на номинальное напряжение. Мощность современных генераторов может достигать 1350 Вт и более при частоте вращения коленчатого вала двигателя свыше 3000 мин<sup>-1</sup>.

В легковых автомобилях применяют компактные генераторы (рис. 6.5), имеющие два вентилятора, охлаждающие статор. Эти

вентиляторы, по сравнению с традиционными, меньше диаметром, поэтому для нормального охлаждения требуется большая частота вращения ротора. Кроме того, контактные кольца имеют меньший диаметр для снижения скорости трения щеток о кольца.

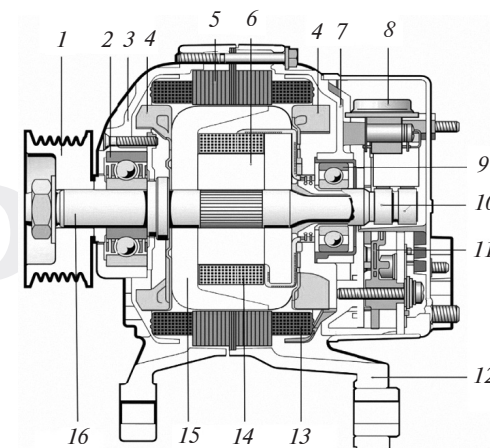


Рис. 6.5. Генератор переменного тока компактный:

- 1 – шкив; 2 – передний подшипник; 3 – передняя крышка; 4 – вентилятор;  
5 – статор с обмоткой; 6 – стальная втулка; 7 – задняя крышка; 8 – щеткодержатель с регулятором напряжения; 9 – задний подшипник; 10 – контактные кольца; 11 – выпрямительный блок; 12 – крепежная лапа; 13 – обмотка статора; 14 – обмотка возбуждения; 15 – клювообразный ротор; 16 – вал ротора

В бесщеточном генераторе (рис. 6.6) вращаются только клювообразные полюсы, а обмотка возбуждения остается неподвижной. Ток на обмотку возбуждения подается непосредственно от регулятора напряжения, поэтому щетки и контактные кольца не нужны (рис. 6.6). Одна из полюсных половин удерживается напротив другой с помощью немагнитного кольца. В таком генераторе магнитный поток, кроме рабочего зазора, пересекает два воздушных зазора и изменяет свою величину без изменения направления.

Такая конструкция позволяет избежать износа, характерного для генераторов с контактными кольцами. Недостатком бесщеточного генератора являются повышенная масса и низкий КПД.

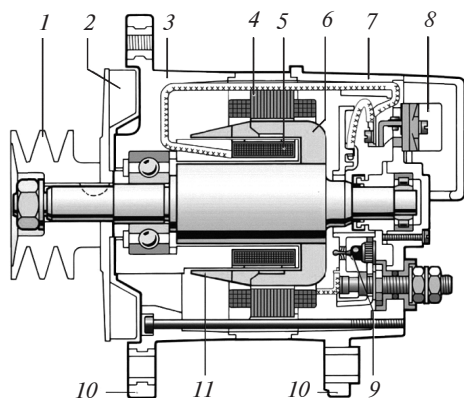


Рис. 6.6. Генератор переменного тока бесщеточный:

1 – шкив; 2 – вентилятор; 3 – передняя крышка; 4 – статор с обмоткой; 5 – обмотка возбуждения; 6 – вращающаяся полюсная половина; 7 – задняя крышка; 8 – регулятор напряжения; 9 – выпрямительный блок; 10 – крепежная лапа; 11 – наконечник вращающейся полюсной половины

Статор генераторов переменного тока имеет многофазные обмотки, чаще всего трехфазные. Эти обмотки могут быть соединены как в звезду, так и в треугольник. Для выпрямления многофазного переменного тока используют полупроводниковые выпрямительные диоды, объединенные в диодный выпрямительный блок. Выпрямительный блок представляет собой две алюминиевые пластины – теплоотводы, соединенные между собой в монолитную конструкцию через изоляционные втулки заклепками. Силовыми выпрямительными элементами в блоке являются диоды прямой и обратной полярностей, корпуса которых выполнены под запрессовку в теплоотводы. Один теплоотвод соединен с массой генератора, другой изолирован от нее и соединен с выводом генератора.

Для лучшего использования трехфазного генератора выбирают трехфазную мостовую двухполупериодную схему выпрямления на диодах  $VD1-V D6$  (рис. 6.7, *a*). Благодаря высокому коэффициенту использования генератора и хорошему качеству выпрямленного напряжения трехфазные мостовые схемы выпрямления получили наибольшее распространение в генераторах переменного тока. Принцип работы трехфазного мостового выпрямителя описан во второй главе (см. рис. 2.12).

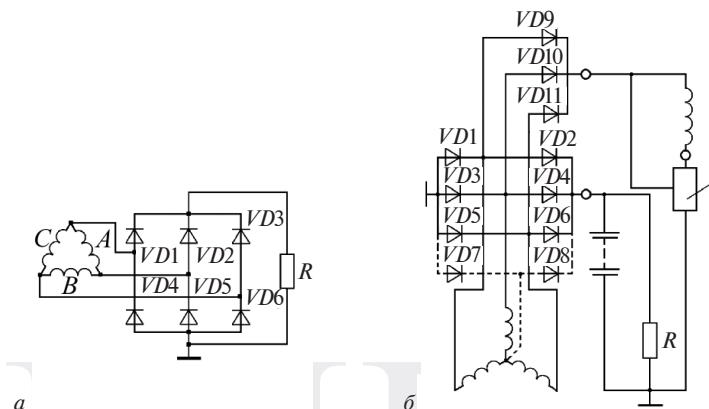


Рис. 6.7. Схема генератора с выпрямителем:

*a* – двухполупериодный выпрямитель; *б* – двухполупериодный выпрямитель с дополнительными диодами; *I* – регулятор напряжения

При необходимости форсирования мощности генератора применяют дополнительное плечо выпрямителя на диодах  $VD7$  и  $VD8$  (на рис. 6.7, *б* показаны штриховой линией). Такая схема выпрямления возможна только при соединении обмоток статора в звезду.

У большинства генераторов переменного тока обмотку возбуждения подключают к собственному выпрямителю, собранному на диодах  $VD9-V D11$ . Такое подключение обмотки возбуждения препятствует протеканию через нее тока разряда аккумуляторной батареи при неработающем двигателе.

При числе фаз обмотки статора, большем трех, их целесообразно соединять в многоугольники. Так, наряду с трехфазными, получили распространение пятифазные генераторы, у которых пульсации выпрямленного напряжения в несколько раз меньше, чем у трехфазных.

#### 6.4. Регулирование напряжения бортовой сети

При постоянном токе возбуждения напряжение генератора и, следовательно, бортовой сети транспортного средства зависит от частоты вращения и нагрузки на генератор. Напряжение генератора без регулятора зависит от частоты вращения его ротора, магнитного потока, создаваемого обмоткой возбуждения,

и величины тока, отдаваемого генератором потребителям. Чем больше частота вращения и сила тока возбуждения, тем больше напряжение генератора, чем больше сила тока его нагрузки — тем меньше это напряжение. Задачей регулятора напряжения является поддержание напряжения генератора постоянным по величине независимо от частоты вращения коленчатого вала двигателя и включенной в бортовую сеть электрической нагрузки. Принцип действия регулятора напряжения основан на регулировании величины тока, проходящего через обмотку возбуждения, в зависимости от напряжения, вырабатываемого генератором.

Регулятор поддерживает напряжение бортовой сети постоянным и предотвращает перезаряд или разряд аккумуляторной батареи во время работы транспортного средства. Регулятор изменяет ток возбуждения путем включения и отключения обмотки возбуждения от питающей сети, при этом меняется относительная продолжительность времени включения обмотки возбуждения. Если для стабилизации напряжения требуется уменьшить силу тока возбуждения, время включения обмотки возбуждения уменьшается, если нужно увеличить — увеличивается.

Генератор вырабатывает напряжение  $U_r$ , зависящее от частоты вращения  $n$  и силы тока потребителей  $I_r$  (рис. 6.8). Измерительный элемент воспринимает напряжение генератора и преобразует его в сигнал  $U_{изм}$ , который в элементе сравнения сравнивается с эталонным напряжением  $U_{эт}$ . Если величина  $U_{изм}$  отличается от величины  $U_{эт}$ , то на выходе элемента сравнения появляется сигнал  $U_o$ , который управляет регулирующим элементом. Регулирующий элемент изменяет ток в обмотке возбуждения таким образом, чтобы напряжение генератора не выходило за заданные пределы отклонения  $\Delta U$ .

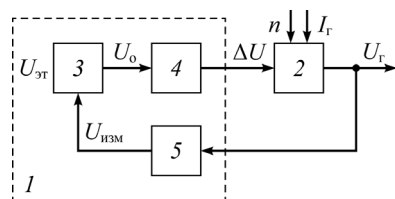


Рис. 6.8. Блок-схема регулятора напряжения:

1 — регулятор напряжения; 2 — генератор; 3 — элемент сравнения;  
4 — регулирующий элемент; 5 — измерительный элемент

Регулятор напряжения работает в дискретном (импульсном) режиме. Пока напряжение, вырабатываемое генератором, ниже регулируемого, регулятор не изменяет ток обмотки возбуждения (ток возбуждения максимально возможный). При росте напряжения генератора регулятор начинает периодически отключать и включать обмотку возбуждения. Чем выше напряжение генератора, тем больше времени приходится на выключенное состояние обмотки возбуждения. В результате средний ток обмотки возбуждения уменьшается, что приводит к снижению магнитного потока обмотки возбуждения и напряжения, вырабатываемого генератором.

Ранее в регуляторах напряжения применялись контактные и контактно-транзисторные регуляторы напряжения с электромагнитными реле. В настоящее время во всех генераторных установках транспортных средств используют бесконтактные электронные регуляторы напряжения.

Типичным электронным регулятором напряжения является регулятор 201.3702. Он содержит пять транзисторов и стабилитрон  $VD1$  в качестве измерительного элемента (рис. 6.9, а). При напряжении на регуляторе ниже регулируемого стабилитрон  $VD1$  и входной транзистор  $VT1$  закрыты. Управляющий транзистор  $VT3$  также закрыт из-за отсутствия тока базы. При этом через резисторы  $R14$ ,  $R13$  и  $R12$  протекает ток базы транзистора  $VT4$ , что приводит к открытию составного транзистора  $VT4-VT5$ . Через открытый транзистор  $VT5$  протекает ток возбуждения, магнитный поток увеличивается, и напряжение генератора возрастает.

При достижении регулируемого напряжения генератора напряжение на стабилитроне  $VD1$  становится равным напряжению пробоя. В результате открываются транзисторы  $VT1$  и  $VT3$ . Открытый транзистор  $VT3$  шунтирует переход база-эмиттер транзистора  $VT4$ , и составной транзистор  $VT4-VT5$  закрывается. Закрытие транзистора  $VT5$  приводит к прерыванию тока возбуждения, магнитный поток уменьшается и понижается напряжение генератора. Как только оно становится ниже регулируемого, процесс повторяется. Транзистор  $VT2$  служит для более быстрого переключения транзисторов  $VT3-VT5$ , а при коротком замыкании защищает транзисторы  $VT4$  и  $VT5$  от перегрева. Диод  $VD4$  защищает транзисторы от импульсов напряжения обратной полярности.

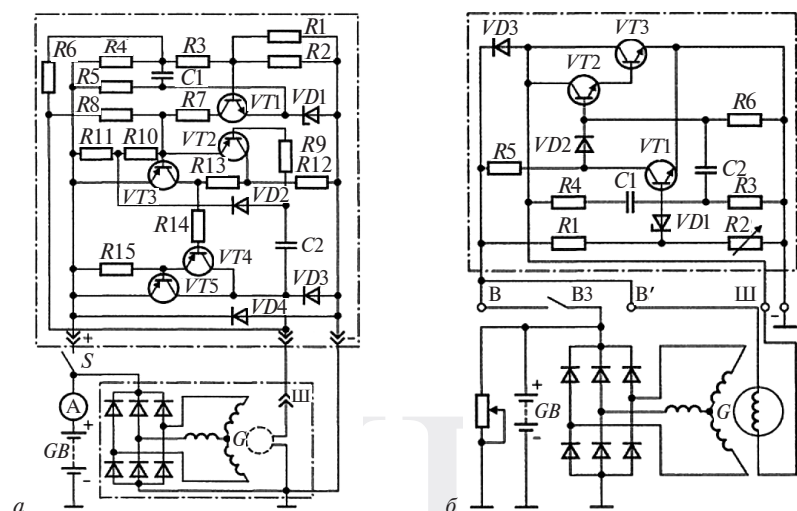


Рис. 6.9. Схема генераторной установки с регулятором напряжения:  
 а – бесконтактно-транзисторным; б – интегральным

Интегральные электронные регуляторы имеют значительно меньшие габариты, что позволяет встраивать их непосредственно в генератор. Это позволяет упростить схему электропроводки и повысить надежность генераторной установки. В интегральном регуляторе напряжения Я112А все элементы схемы смонтированы на едином металлическом основании, выполняющем одновременно функцию теплоотвода. Выходная цепь регулятора состоит из составного транзистора  $VT2-VT3$ , управляемого транзистором  $VT1$  (рис. 6.9, б). Измерительным элементом является стабилитрон  $VD1$ , включенный в цепь базы транзистора  $VT1$  через делитель напряжения  $R1-R2$ . Схема содержит цепь положительной обратной связи  $R4-C1$  для снижения времени переключения транзисторов.

При напряжении в бортовой сети ниже регулируемого транзисторы  $VT2$  и  $VT3$  открыты, так как на базу транзистора  $VT2$  поступает ток через резистор  $R5$  и диод  $VD2$ . При этом через открытый транзистор  $VT3$  ток поступает на обмотку возбуждения, и генератор повышает вырабатываемое напряжение.

Как только напряжение достигнет заданного уровня, стабилитрон  $VD1$  пробивается, что приводит к открытию транзистора  $VT1$ , который теперь шунтирует переход база-коллектор транзи-

стора  $VT2$ . Составной транзистор  $VT2-VT3$  закрывается, что приводит к прекращению тока возбуждения. Затем напряжение генератора понижается и процесс регулирования повторяется. Диод  $VD3$  служит для защиты транзисторов от обратного напряжения.

При эксплуатации генераторных установок не допускается работа с отключенной аккумуляторной батареей, что может привести к выходу из строя регулятора напряжения. В случае пробоя регулятора напряжения на выходе генератора возникнет повышенное напряжение, что приведет к выходу из строя электрического и электронного оборудования транспортного средства. Также недопустимо присоединение к бортовой сети источников обратной полярности, что может произойти, если перепутать клеммы так называемого «прикуривателя» при запуске двигателя от внешней аккумуляторной батареи.

## 6.5. Системы управления электроснабжением

Одной из главных целей автопроизводителей является сокращение расхода топлива и выбросов парниковых газов в атмосферу. Это достигается оптимизацией потоков энергии в транспортных средствах. Оптимизация включает в себя снижение потерь на холостом ходу с помощью функции «старт-стоп», повышение эффективности работы генератора путем его компьютерного управления, расширение использования устройств с электроприводом. Дополнительные устройства с электроприводом (электроусилитель руля, вентиляторы и насос системы охлаждения с электроприводом и т. д.) требуют дополнительной электрической мощности в таком количестве, что имеет смысл применить систему управления электроснабжением.

Система управления электроснабжением (СУЭ) координирует во время движения согласованность генераторной установки, аккумуляторной батареи и потребителей электроэнергии. Так, во время остановки транспортного средства система управления следит за степенью заряженности аккумуляторной батареи и отключает потребителей, когда уровень заряженности достигнет критического значения. Во время движения СУЭ сравнивает требования к мощности потребителей с предложением мощности от источников электроэнергии и обеспечивает равновесие между эффективностью и отдачей мощности.

В основе работы СУЭ лежит управление аккумуляторной батареей. Система управление батареями (СУБ) передает СУЭ ин-

формацию, относящуюся к состоянию батареи: заряженности, исправности, функционирования. Состояние функционирования представляет собой прогноз того, как батарея среагирует на нагрузку, например, сможет ли батарея при данном уровне заряженности выполнить старт двигателя в системе «старт–стоп». С помощью информации СУБ система управления электроснабжением может определить оптимальное зарядное напряжение, сократить нагрузку на бортовую сеть путем отключения потребителей или увеличить эффективность генератора за счет увеличения частоты вращения коленчатого вала двигателя на холостых оборотах. Если принятые меры по увеличению эффективности батареи не помогают, СУЭ посылает водителю предупреждение о невозможности выполнения требуемой функции (например, запуска двигателя).

Для реализации работы СУБ аккумуляторная батарея оснащается специальным датчиком, непрерывно контролирующим ее состояние. Датчик аккумуляторной батареи, встроенный в модуль данных аккумулятора, одновременно замеряет ток, напряжение и температуру аккумуляторной батареи и передает эту информацию по шине LIN (рис 6.10).

Информация, передаваемая по шине, включает значение оптимального в данный момент напряжения заряда батареи, возможность запуска двигателя, степень заряда батареи, старение батареи, внутреннее сопротивление батареи. В передаваемых данных также содержится информация, распознал модуль батарею или нет.

В соответствии с полученной информацией СУБ максимально пытается сохранить возможность запуска двигателя, уменьшая энергопотребление путем отключения потребителей, не связанных напрямую с безопасностью движения. Примером таких потребителей может служить вентилятор кондиционера, обогреватель сидений, мультимедийная система.

Система управления энергоснабжением координирует работу генератора, включая изменение вырабатываемого напряжения для оптимизации заряда аккумулятора и обеспечение режима рекуперации, в котором генератор не потребляет энергию от двигателя.

Подсистема управления нагрузкой в СУЭ включает и отключает потребителей с целью снизить пики мощности. Она также управляет энергоемкими системами отопления: обогревом стекла и сидений, дополнительным отопителем.

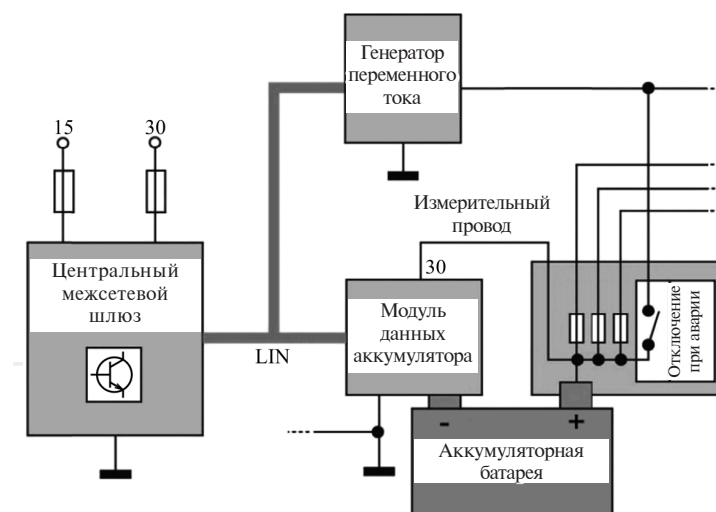


Рис. 6.10. Структурная схема блока управления батареями

В системах «старт–стоп» многочисленные запуски двигателя создают большую нагрузку на аккумуляторную батарею, что приводит к значительному колебанию напряжения в бортовой сети. В таких системах электроснабжения для повышения комфорта водителя и пассажиров устанавливают стабилизаторы постоянного напряжения, которые обеспечивают постоянное напряжение для ряда потребителей независимо от падения напряжения на аккумуляторной батарее во время пуска двигателя. К таким потребителям относят панель приборов, камеру заднего вида, мультимедийную систему с усилителями звуковой частоты, информационную систему.

### Контрольные вопросы и задания

1. Охарактеризуйте бортовую электрическую сеть транспортных средств.
2. Напишите уравнение химической реакции, протекающей в аккумуляторе при его разряде.
3. Каков принцип работы генератора переменного тока?
4. Опишите принцип работы регулятора напряжения.
5. Каково назначение системы управления электроснабжением?

## 7. СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСТАРТЕРНОГО ПУСКА

### 7.1. Стартеры

Система пуска двигателя внутреннего сгорания представляет собой комплекс устройств, обеспечивающих принудительное вращение коленчатого вала с частотой, при которой двигатель может самостоятельно заработать («завестись»). Возможность пуска двигателя зависит от многих конструктивных и эксплуатационных факторов. К ним относят тип двигателя, степень сжатия, рабочий объем, число и расположение цилиндров, параметры системы зажигания и топливной аппаратуры, температуру окружающей среды и т. д.

Пусковая частота вращения коленчатого вала бензинового двигателя должна быть достаточной для подготовки топливовоздушной смеси, способной воспламениться от электрической искры. В дизелях топливовоздушная смесь образуется непосредственно в цилиндрах после подачи топлива форсункой. Воспламенение смеси происходит под действием высокой температуры в камере сгорания. Вследствие малой продолжительности процесса смесеобразования и отсутствия принудительного зажигания топливовоздушной смеси пуск дизелей осуществить сложнее, поэтому пусковая частота у дизелей выше, чем у бензиновых двигателей.

Пусковые качества двигателей при отрицательных температурах оценивают по предельной температуре надежного пуска — наиболее низкой температуре окружающей среды, при которой осуществляется надежный пуск холодного двигателя.

Для пуска двигателей транспортных средств используют системы электростартерного пуска. Они надежны в работе, обеспечивают дистанционное управление и возможность автоматизации процесса пуска двигателей с помощью электронных устройств.

Основная единица системы электростартерного пуска — электрический стартер. Электростартеры отличаются по способу воз-

буждения электродвигателя, типу привода, способу крепления на двигатель и степени защиты от окружающей среды. Конструктивно стартер объединяет электрический двигатель постоянного тока, механизм привода с электромагнитным тяговым реле и муфту свободного хода с шестерней привода.

Основными частями электродвигателя стартера (рис. 7.1) являются якорь с коллектором и обмотки возбуждения.

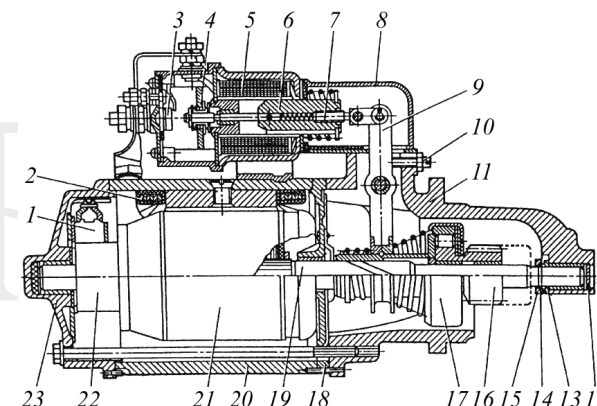


Рис. 7.1. Стартер:

1 — щетка; 2 — обмотка возбуждения; 3, 4 — неподвижный и подвижный контакты тягового реле; 5 — обмотки тягового реле; 6 — якорь тягового реле; 7 — регулировочный винт; 8 — защитный кожух рычага; 9 — рычаг; 10 — винт регулировки хода шестерни; 11, 23 — крышки со стороны привода и коллектора; 12 — фильц; 13 — шайбы; 14, 15 — замковое и упорное кольца; 16 — шестерня привода; 17 — муфта свободного хода; 18 — промежуточная опора; 19 — вал якоря; 20 — корпус; 21 — якорь; 22 — коллектор

Коллектор со щетками образует щеточно-коллекторный узел с четырьмя щетками (якорь и щеточно-коллекторный узел на рисунке 7.1 показаны упрощенно). Полюсы (сердечники) обмоток возбуждения прикручиваются винтами внутри корпуса, который служит несущей конструкцией для крышек, воспринимает вращающий момент и одновременно является частью магнитной системы электродвигателя. В корпусе стартера устанавливают четыре полюса с катушками возбуждения.

Вал якоря вращается в подшипниках скольжения, запрессованных в крышках 11 и 23. Подшипники смазываются маслом, которым пропитывается фильц. На валу якоря на шлицах установлена скользящая муфта свободного хода с шестерней приво-

да. Муфта с шестерней может перемещаться по валу якоря с помощью рычага и тягового реле, состоящего из обмоток и якоря. В крышке тягового реле находятся подвижный и неподвижный контакты.

Подвижный контакт, имеющий форму диска, установлен на штоке. Якорь тягового реле при своем перемещении внутри обмоток также перемещает подвижный контакт, замыкая или размыкая неподвижные контакты.

Тяговое реле стартера может иметь одну или две обмотки. Однообмоточное реле обеспечивает своей обмоткой как втягивание, так и удержание якоря тягового реле во втянутом положении. Однообмоточные тяговые реле применяют только на стартерах малой мощности.

Двухобмоточное тяговое реле стартера имеет две обмотки: втягивающую и удерживающую. Втягивающая обмотка подключена параллельно силовым неподвижным контактам реле последовательно с электродвигателем стартера. Удерживающая обмотка наматывается проводом меньшего сечения и имеет собственный вывод на массу. Эта обмотка предназначена только для удержания якоря в притянутом положении. При включении реле втягивающая обмотка вместе с удерживающей создают магнитное поле, притягивающее якорь. Втянувшийся внутрь обмоток якорь нажимает на подвижный контакт, который замыкает неподвижные контакты. При замыкании контактов втягивающая обмотка отключается.

Муфта свободного хода совместно с шестерней привода образует механизм привода стартера. Механизмы привода могут быть с принудительным перемещением шестерни привода, принудительным перемещением шестерни привода и самовыключением ее после пуска двигателя, инерционным перемещением шестерни, перемещением шестерни вместе с якорем.

Наибольшее распространение получил первый вариант — с принудительным перемещением шестерни привода для ее ввода в зацепление с зубчатым венцом маховика при запуске двигателя. Для предотвращения вращения якоря с недопустимо высокой частотой после запуска двигателя в механизме привода устанавливают муфту свободного хода, которая передает усилие от якоря электродвигателя шестерне привода и далее маховику двигателя. При передаче усилия от маховика к

шестерне муфта проскальзывает, и вращение от шестерни не передается на вал якоря.

Различают роликовые и храповые муфты свободного хода. Устройство механизма привода с роликовой муфтой свободного хода показано на рисунке 7.2. Роликовая муфта состоит из наружной ведущей и внутренней ведомой обойм, между которыми находятся ролики с пружинами и толкателями. Ведомая обойма изготовлена совместно с шестерней привода. Ведущая обойма связана со шлицевой направляющей втулкой, входящей в зацепление с валом якоря.

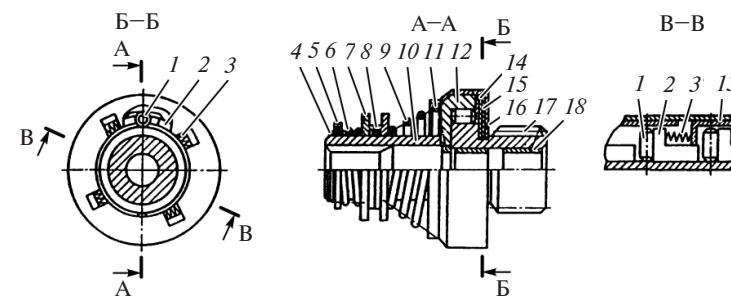


Рис. 7.2. Механизм привода стартера с роликовой муфтой свободного хода: 1 — ролик; 2 — толкатель; 3 — прижимная пружина; 4, 8 — замковые кольца; 5 — чашка; 6 — пружина; 7 — втулка отвода; 9 — буферная пружина; 10 — шлицевая втулка; 11 — центрирующее кольцо; 12 — ведущая обойма; 13 — держатель пружин; 14 — специальная шайба; 15 — войлочный уплотнитель; 16 — кожух муфты; 17 — ведомая обойма с шестерней; 18 — втулка

Втулка отвода служит для перемещения механизма привода по валу якоря с помощью рычага, связанного с якорем тягового реле. При повороте рычаг перемещает втулку отвода, которая через буферную пружину воздействует на ведущую обойму. В результате механизм привода перемещается вправо (по рисунку), и шестерня входит в зацепление с зубчатым венцом маховика. Если шестерня своими зубьями упирается в зубья маховика, буферная пружина сжимается. Когда вал якоря начинает проворачиваться и зубья шестерни совпадут со впадинами зубьев маховика, пружина разжимается и вводит шестерню в зацепление с маховиком.

При вращении вала якоря усилие передается через шлицевую направляющую втулку ведущей обойме. Ведущая обойма

несколько проворачивается относительно ведомой обоймы таким образом, что ролики под воздействием прижимных пружин через толкатели заходят в более узкую часть клиновидного пространства между ведущей и ведомой обоймами и там заклинивают. Усилие от ведущей обоймы через заклинившие ролики передается ведомой обойме с шестерней привода, и маховик двигателя вращается от вала якоря стартера с пусковой частотой.

После запуска двигателя частота вращения коленчатого вала значительно возрастает. Это вращение через шестерню привода передается ведомой обойме. Внутренняя обойма начинает вращаться быстрее наружной, поэтому ролики перемещаются в более широкую часть клиновидного пространства между обоймами, преодолевая усилие прижимных пружин. Ролики расклинивают и разъединяют внутреннюю обойму от наружной. В результате повышенная частота вращения на наружную обойму муфты свободного хода и соответственно на вал якоря не передается, предохраняя электродвигатель стартера от повреждений.

Особенность конструкции стартера (рис. 7.3) — наличие только одной опоры в крышке 23 со стороны коллектора. Опорой для переднего конца вала якоря является втулка, расположенная в картере сцепления.

Второе отличие — применение торцового коллектора в пластмассовом корпусе. Щетки прижимаются к рабочей поверхности коллектора витыми цилиндрическими пружинами, что позволяет сохранить постоянство прижимного усилия в течение длительного срока эксплуатации.

Большое распространение получили высокооборотистые стартеры со встроенным понижающим редуктором. Обычно редуктор понижает частоту вращения в 3–4 раза, во столько же раз повышает частоту вращения якоря. Использование редуктора позволяет уменьшить размеры и массу электродвигателя стартера.

Редукторы, встраиваемые в стартеры, разделяют на три основных типа: цилиндрический с внешним зацеплением, цилиндрический с внутренним зацеплением и планетарный. Наибольшее применение нашли планетарные редукторы.

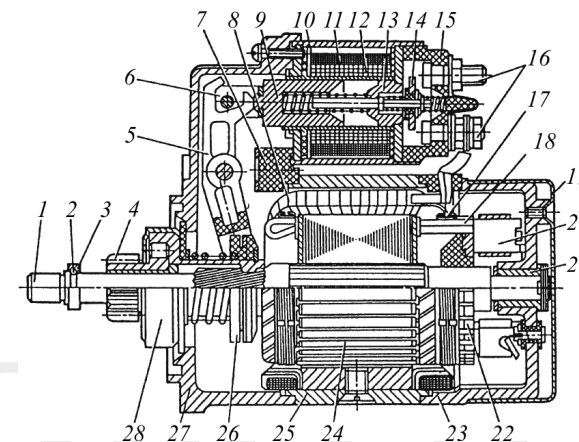


Рис. 7.3. Стартер с одной опорой в крышке:

1 — вал якоря; 2 — замковое кольцо; 3 — упорное кольцо; 4 — шестерня привода; 5 — рычаг привода; 6 — тяга реле; 7 — уплотнительная заглушка; 8 — катушка обмотки возбуждения; 9 — якорь тягового реле; 10 — корпус тягового реле; 11, 12 — удерживающая и втягивающая обмотки; 13 — магнитопровод тягового реле; 14 — подвижный контакт; 15 — крышка тягового реле; 16 — контакты; 17 — бандаж лобовой части обмотки якоря; 18 — обмотка якоря; 19 — защитный кожух; 20 — щетка; 21 — вкладыш подшипника; 22 — торцовый коллектор; 23, 27 — крышки со стороны коллектора и привода; 24 — якорь электродвигателя; 25 — корпус; 26 — поводковая муфта; 28 — роликовая муфта свободного хода

Планетарный редуктор состоит из солнечной шестерни, являющейся ведущей шестерней редуктора, сателлитов, установленных на водиле на подшипниках, и коронной шестерни, закрепленной неподвижно в корпусе стартера (рис. 7.4). Солнечная шестерня, вращаясь от якоря, вращает сателлиты. Сателлиты, находящиеся в зацеплении одновременно с солнечной и коронной шестернями, оббегают солнечную шестерню, отталякаясь от неподвижной коронной шестерни, и увлекают за собой водило. От водила с пониженной частотой вращается механизм привода с муфтой свободного хода и шестерней привода. Во сколько раз редуктор снижает частоту вращения, во столько раз электродвигателю требуется меньше усилия для вращения шестерни привода.

Особенностью стартера является использование постоянных магнитов вместо обмоток возбуждения, что позволяет за-

метно снизить габариты магнитной системы и повысить КПД электродвигателя.

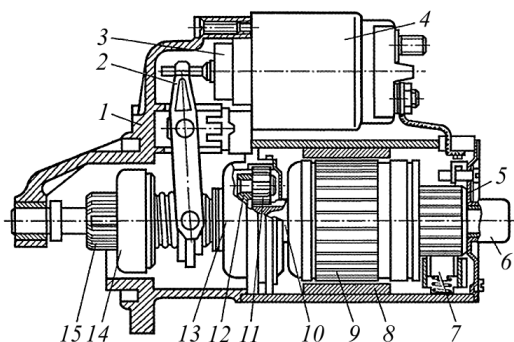


Рис. 7.4. Стартер с постоянными магнитами и редуктором:  
1 – передняя крышка; 2 – приводной рычаг; 3 – якорь тягового реле;  
4 – тяговое реле; 5 – коллектор электродвигателя; 6 – корпус подшипника;  
7 – щетка; 8 – постоянные магниты; 9 – якорь; 10 – первичный вал  
с ведущей шестерней редуктора; 11 – сателлит; 12 – водило; 13 – неподвижная  
коронная шестерня; 14 – муфта свободного хода; 15 – шестерня привода

В стартерах с обмотками возбуждения используют электродвигатели постоянного тока, которые подразделяют на двигатели независимого, последовательного, параллельного и смешанного возбуждения. По своим характеристикам для стартеров подходят двигатели постоянного тока последовательного и смешанного возбуждения (рис. 7.5).

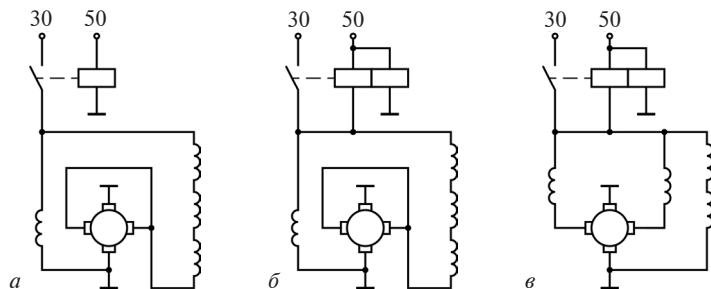


Рис. 7.5. Схема включения обмоток стартера:  
а – с последовательным возбуждением и однообмоточным тяговым реле;  
б – последовательным возбуждением и двухобмоточным тяговым реле;  
в – со смешанным возбуждением и двухобмоточным тяговым реле

Если на стартере установлено однообмоточное тяговое реле, оно соединяется с массой (рис. 7.5, а). При использовании двухобмоточных реле с массой соединяется удерживающая обмотка, а втягивающая обмотка последовательно с электродвигателем (рис. 7.5, б, в).

## 7.2. Схемы систем управления электростартерным пуском

Электростартер является составной частью системы управления электростартерным пуском, которая обеспечивает включение и выключение стартера в нужный момент времени. В системе управления, кроме стартера, входят аккумуляторная батарея и выключатель зажигания. В систему управления электростартерным пуском дополнительно может входить различное электрическое и электронное оборудование.

В схеме управления с однообмоточным тяговым реле при замыкании контактов  $S1$  выключателя зажигания ток поступает на обмотку тягового реле через клемму «50» (рис. 7.6, а). Обмотка тягового реле втягивает в себя якорь тягового реле, который с помощью рычажного механизма вводит шестерню привода в зацепление с венцом маховика и в конце хода замыкает силовые контакты реле  $K1$  в цепи электродвигателя  $M$ .

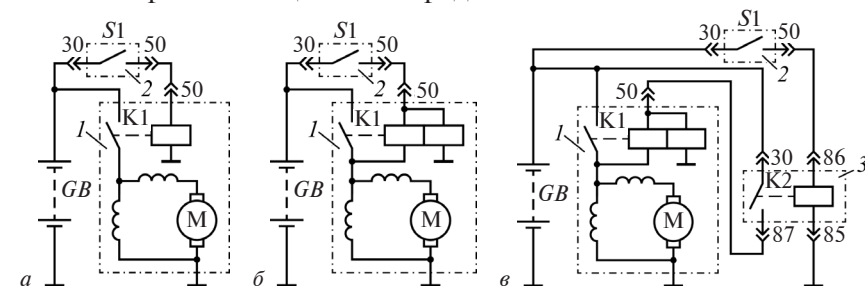


Рис. 7.6. Схемы управления электростартерами:  
а – с однообмоточным тяговым реле; б – с двухобмоточным тяговым реле;  
в – с двухобмоточным тяговым реле и дополнительным реле;  
I – электростартер; 2 – выключатель зажигания; 3 – дополнительное реле

Стартер начинает запускать двигатель внутреннего сгорания. Для отключения стартера необходимо убрать усилие с ключа выключателя зажигания. Тогда якорь отключенного тягового реле

под действием пружины вернет механизм привода в исходное положение и отключит стартер от бортовой сети (клемма «30»).

В стартере с двухобмоточным реле при замыкании контактов  $S1$  ток от аккумуляторной батареи идет непосредственно на обмотку удерживающего реле, а на обмотку втягивающего реле ток идет через электродвигатель стартера (рис. 7.6, б). Втягивающая и удерживающая обмотки совместно втягивают якорь тягового реле, что приводит к его перемещению и замыканию контактов  $K1$ . Втягивающая обмотка при этом отключается и стартер находится во включенном состоянии только благодаря удерживающей обмотке.

Для снижения тока, проходящего через контакты выключателя зажигания, используют дополнительное реле (рис. 7.6, в). При замыкании контактов  $S1$  ток идет на обмотку дополнительного реле (клеммы «85» и «86»). Контакты  $K2$  дополнительного реле замыкаются, и ток от аккумуляторной батареи через клеммы «30» и «87» поступает на тяговое реле стартера, минуя контакты выключателя зажигания.

Для предотвращения повторного включения стартера после пуска двигателя устанавливают реле блокировки, для срабатывания которого могут быть использованы сигналы от различных датчиков (датчика частоты вращения коленчатого вала двигателя, датчика давления масла в системе смазки и т. д.). Часто такое реле блокирует пуск двигателя после появления номинального напряжения питания на выходе генератора.

Электронная система управления пуском двигателя с автоматическим отключением и блокировкой стартера представлена на рисунке 7.7. Система состоит из реле стартера  $K1$  с нормально разомкнутыми контактами  $K1.1$ , выключателя стартера  $S$  и электронного блока управления, в который входят формирователь сигнала на транзисторе  $VT1$ , преобразователь сигнала на диодах  $VD5$  и  $VD6$ , компаратор на стабилитроне  $VD7$  и триггер на транзисторах  $VT2$  и  $VT3$ . Сигнал на вход электронного блока поступает от датчика частоты вращения коленчатого вала двигателя.

Когда выключатель  $S$  переводится в положение «К3» («Включено»), блок управления запитывается от аккумуляторной батареи. При этом триггер устанавливается в первое устойчивое состояние, при котором транзистор  $VT2$  закрыт, а транзистор  $VT3$  открыт. Схема подготовлена к пуску двигателя. После перевода

выключателя  $S$  в положение «СТ» («Пуск») ток через диод  $VD11$  и открытый транзистор  $VT3$  поступает на обмотку реле  $K1$ . Реле срабатывает, и через замкнутые контакты  $K1.1$  подается ток на тяговое реле стартера. Стартер включается и проворачивает коленчатый вал двигателя.

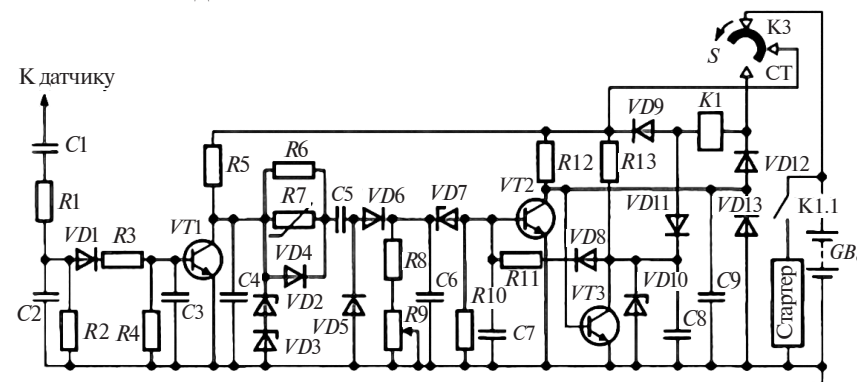


Рис. 7.7. Схема системы управления пуском двигателя с автоматическим отключением и блокировкой стартера

При вращении коленчатого вала на вход формирователя начинает поступать импульсный сигнал с датчика частоты вращения. Усиленный транзистором  $VT1$  импульсный сигнал выпрямляется диодами  $VD5$  и  $VD6$  и на конденсаторе  $C6$  образуется постоянное напряжение, величина которого прямо пропорциональна частоте импульсов. Когда двигатель запустится, частота вращения коленчатого вала возрастет, и увеличение частоты импульсов приведет к росту напряжения на конденсаторе  $C6$ . Когда напряжение на конденсаторе  $C6$  превысит порог срабатывания компаратора, стабилитрон войдет в режим пробоя и ток через стабилитрон поступит на базу транзистора  $VT2$  и триггер переключится во второе устойчивое состояние, в котором транзистор  $VT2$  открыт, а транзистор  $VT3$  закрыт. Обмотка реле  $K1$  обесточится, контакты  $K1.1$  разомкнутся и стартер отключится.

Повторное включение стартера возможно только после снижения частоты вращения коленчатого вала и перевода выключателя  $S$  в первоначальное положение. Даже если выключатель  $S$  останется в положении «СТ», а двигатель станет глохнуть, повторное включение стартера не произойдет, так как для срабаты-

вания реле  $K1$  необходимо перевести триггер в первое устойчивое состояние. Это возможно только при возврате выключателя  $S$  в исходное положение.

В качестве датчика частоты вращения коленчатого вала в этой системе может быть использован генератор переменного тока. Переменный сигнал, необходимый для работы электронного блока, берется либо с одной из фаз генератора, либо с дополнительной специальной обмотки.

Компьютерные системы управления электростартерным пуском позволяют более гибко управлять работой стартера. Описание одной из систем электронного управления системой пуска двигателя на основе микропроцессора, предотвращающей включение стартера при работающем двигателе, было приведено в главе 5.3 (см. рис. 5.6).

Подсистема управления стартером, включенная в единую систему управления энергоснабжением, позволяет автоматически запускать двигатель после его кратковременной остановки для реализации функции «старт–стоп». Кроме того, возможно дистанционное управление запуском двигателя по сигналу от ключа зажигания или программируемый запуск двигателя в заданное время для его прогрева.

### Контрольные вопросы и задания

1. Из каких элементов состоит электрический стартер?
2. Объясните назначение двухобмоточного тягового реле стартера.
3. Какие схемы включения обмоток используют в стартерах?
4. Для чего в схеме управления стартером применяют дополнительное реле?
5. Опишите работу электронной системы управления электростартерным пуском.

## 8. СИСТЕМЫ ЗАЖИГАНИЯ

### 8.1. Классификация систем зажигания

Система зажигания предназначена для своевременного воспламенения топливовоздушной смеси в цилиндрах бензинового двигателя. Воспламенение топливовоздушной смеси происходит за счет энергии электрического разряда между электродами свечи, ввернутой в головку цилиндра двигателя. Для получения электрического разряда (искры) на электроды свечи необходимо подать высоковольтный импульс напряжения, который получается путем преобразования из низковольтного постоянного напряжения источника питания (аккумуляторной батареи или генератора). Этот импульс определенной величины необходимо подать в нужный момент времени (в конце такта сжатия рабочего цикла двигателя) в нужный цилиндр двигателя.

От энергии искры и момента зажигания смеси зависят устойчивость работы двигателя, его топливная экономичность и экологические показатели. Момент зажигания характеризуется углом опережения зажигания ( $УОЗ$ ), представляющим собой угол поворота коленчатого вала до верхней мертвой точки, при котором подается искра.

Для создания высокого напряжения в системах зажигания используют трансформаторы, имеющие низковольтную первичную и высоковольтную вторичную обмотки, называемые катушками зажигания. Работа катушки зажигания основана на накоплении энергии в этом трансформаторе и последующем прерывании тока, протекающего по первичной (низковольтной) обмотке.

По способу управления системы зажигания делят на контактные и бесконтактные.

По способу прерывания тока системы зажигания подразделяют на механические и электронные. В свою очередь электронные системы могут быть аналоговыми и цифровыми (в том числе микропроцессорными). Коммутирующим устройством в элек-

тронных системах вместо контактов прерывателя служат транзисторы или тиристоры.

По способу накопления энергии различают системы с накоплением энергии в индуктивности и в емкости.

По способу регулирования угла опережения зажигания системы могут быть механические и электронные.

Механическим или электронным может быть и распределение импульсов высокого напряжения по свечам зажигания. Механические системы используют одну катушку зажигания на все цилиндры двигателя, электронные – катушку на каждый цилиндр или одну на два цилиндра (двухвыводную катушку).

В системах зажигания получили распространение контактная, контактно-транзисторная, бесконтактно-транзисторная и микропроцессорная системы.

*Контактная система зажигания* – система с механическим способом прерывания тока в первичной обмотке катушки зажигания, накоплением энергии в индуктивности, механическим регулированием УОЗ и механическим распределением высокого напряжения.

*Контактно-транзисторная система* отличается электронным прерыванием тока с помощью транзистора. В *бесконтактно-транзисторной системе* управление зажиганием осуществляется без механического прерывателя, который заменяют специальным бесконтактным датчиком. Регулирование УОЗ и распределение высокого напряжения по свечам осуществляют механически.

*Микропроцессорные системы* отличаются отсутствием механических узлов и работают по сигналу бесконтактного датчика. Управление УОЗ обеспечивается программным путем. Распределение осуществляется коммутатором с выводами на индивидуальные или двухвыводные катушки зажигания.

## 8.2. Контактная система зажигания

Контактная система зажигания (рис. 8.1) состоит из аккумуляторной батареи, замка зажигания, катушки зажигания, добавочного резистора, прерывателя, распределителя и свечей зажигания.

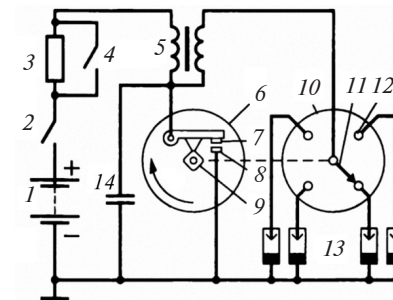


Рис. 8.1. Контактная система зажигания:

- 1 – аккумуляторная батарея; 2, 4 – контакты выключателя зажигания; 3 – добавочный резистор; 5 – катушка зажигания; 6 – прерыватель; 7, 8 – подвижный и неподвижный контакты прерывателя; 9 – кулачковая шайба; 10 – распределитель; 11 – ротор; 12 – неподвижный электрод; 13 – свечи зажигания; 14 – конденсатор

Катушка зажигания состоит из первичной и вторичной обмоток, прерыватель – из вращающейся кулачковой шайбы, количество кулачков на которой равно числу цилиндров, подвижного и неподвижного контактов. Распределитель включает в себя центральный электрод с вращающимся ротором и боковые (неподвижные) электроды. Прерыватель объединен вместе с распределителем, поэтому данное устройство называют прерывателем-распределителем.

Контактная система работает следующим образом. При включенном зажигании напряжение через замкнутые контакты 2 и добавочный резистор подается на первичную обмотку катушки зажигания. При повороте кулачковой шайбы от газораспределительного вала двигателя кулачок перестает воздействовать на подвижный контакт 7, и он прижимается к неподвижному контакту 8, замыкая цепь первичной обмотки катушки зажигания. Через первичную обмотку начинает течь ток, который создает магнитный поток, проходящий через обе обмотки, накапливая электромагнитную энергию в катушке.

При дальнейшем повороте кулачковой шайбы кулачок нажимает на подвижный контакт, и цепь первичной обмотки катушки зажигания прерывается. Быстрое исчезновение тока в первичной обмотке вызывает быстрое изменение магнитного потока, что вызывает появление ЭДС самоиндукции в обеих обмотках. Поскольку вторичная обмотка имеет большое число витков, то в ней

создается ЭДС большой величины. ЭДС первичной и вторичной обмоток складывается и поступает на центральный электрод распределителя. Поскольку вращение ротора согласовано с поворотом кулачковой шайбы, то в момент размыкания контактов прерывателя ротор замыкает центральный электрод распределителя с боковым электродом. Высоковольтное напряжение подается на свечу зажигания, между электродами которой проскакивает искра, воспламеняя топливовоздушную смесь.

Поскольку кулачковая шайба имеет несколько выступов, то за один ее оборот цикл повторяется столько раз, сколько цилиндров имеется в двигателе. Распределитель с помощью ротора подает напряжение на боковые электроды (и свечи зажигания) в очередности, предусмотренной порядком работы цилиндров.

Конденсатор, включенный параллельно контактам прерывателя, уменьшает искрение контактов при размыкании, увеличивая их долговечность. Контакт 4 выключателя зажигания замыкается во время запуска двигателя, когда напряжение на аккумуляторной батарее падает из-за подключения стартера. Пониженное напряжение батареи снижает ЭДС самоиндукции, и его может оказаться недостаточно для искрообразования. Контакт 4 закорачивает добавочный резистор, снижая сопротивление цепи первичной обмотки катушки зажигания. Это приводит к увеличению тока в цепи и созданию большего магнитного потока, что компенсирует снижение напряжения батареи при пуске двигателя.

Катушка зажигания имеет цилиндрическую форму и представляет собой трансформатор, состоящий из первичной и вторичной обмоток, намотанных на общем сердечнике (рис. 8.2, а). Сердечник набирают из тонких листов электротехнической стали. Вначале на сердечник наматывают вторичную обмотку проводом диаметром 0,06–0,1 мм, имеющую 17 500–26 000 витков, затем первичную обмотку проводом диаметром 0,57–0,77 мм (250–300 витков).

Вторичная обмотка имеет отдельную высоковольтную клемму для высоковольтного провода, идущего к центральному электроду распределителя. Для лучшей изоляции между обмотками помещают картонную трубку 7. Размещение первичной обмотки снаружи позволяет улучшить ее охлаждение, поскольку она нагревается проходящим через нее большим током.

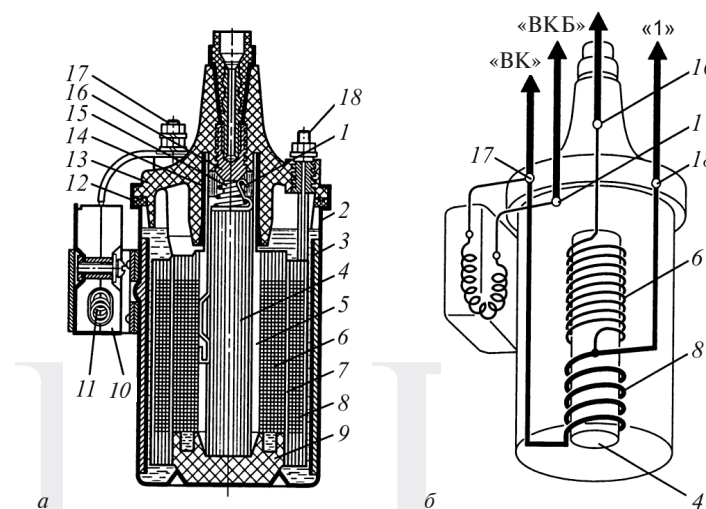


Рис. 8.2. Катушка зажигания:

а – общее устройство; б – принципиальная схема; 1 – пластина; 2 – корпус; 3 – магнитопровод; 4 – сердечник; 5, 7 – картонные трубки; 6 – вторичная обмотка; 8 – первичная обмотка; 9 – изолятор; 10 – корпус добавочного резистора; 11 – добавочный резистор; 12 – резиновое уплотнительное кольцо; 13 – пластмассовая крышка; 14 – изоляционная втулка; 15 – пружина; 16 – клемма высоковольтная; 17 – клемма «ВК»; 18 – клемма «1»

Добавочный резистор выполняют в виде спирали из высокоомной проволоки и крепят своим корпусом 10 к корпусу 2 катушки зажигания.

Первичная и вторичная обмотки катушки зажигания намотаны на сердечнике в одном направлении (рис. 8.2, б). Обмотки соединены последовательно, образуя автотрансформатор. Последовательное соединение обмоток, намотанных в одном направлении, позволяет складывать ЭДС самоиндукции обмоток (200–400 В первичной и 15–20 кВ вторичной).

При подаче напряжения на первичную обмотку ток в ней нарастает постепенно, как и магнитный поток. В момент разрыва цепи первичной обмотки от величины которого зависит ЭДС самоиндукции. Сила тока и ЭДС самоиндукции зависят от длительности воздействия напряжения. В свою очередь длительность воздействия зависит от времени замкнутого состояния контактов прерывателя. Поскольку контакты замыкаются и размыкаются

при повороте кулачковой шайбы, то время замкнутого состояния напрямую связано с углом поворота шайбы, при котором контакты будут замкнуты. Этот угол называют углом замкнутого состояния контактов  $\alpha_3$ . На угол замкнутого состояния контактов оказывает влияние количество кулачков на шайбе, профиль кулачка и зазор между контактами. При увеличении зазора между контактами угол  $\alpha_{31}$  уменьшается (рис. 8.3, *a*), при уменьшении — увеличивается (угол  $\alpha_{32}$  на рис. 8.3, *б*).

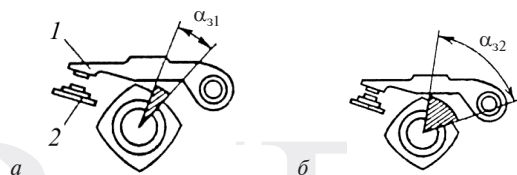


Рис. 8.3. Кулачковый механизм прерывателя:  
*a* — большой зазор между контактами; *б* — малый зазор между контактами; 1 — контакт на подвижном рычажке; 2 — неподвижный контакт;  $\alpha_{31}$ ,  $\alpha_{32}$  — углы замкнутого состояния контактов при большом и малом зазорах между контактами

Подбирая величину зазора между контактами, можно добиться максимальной отдачи энергии от системы зажигания.

При изменении частоты вращения коленчатого вала двигателя возникает необходимость изменения УОЗ. Такое изменение обеспечивает центробежный регулятор прерывателя. Регулятор устанавливается на приводном валу прерывателя-распределителя и передает вращение от вала кулачковой шайбе. Регулятор состоит из двух грузиков с пружинами и подвижной пластины с кулачковой шайбой (рис. 8.4, *a*, *б*).

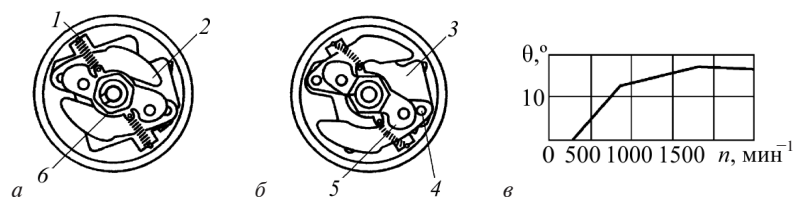


Рис. 8.4. Центробежный регулятор УОЗ и его характеристика:  
*a*, *б* — положения грузиков при малой и большой частотах вращения коленчатого вала двигателя; *в* — характеристика регулятора;  
1 — пружина; 2 — грузик; 3 — подвижная пластина;  
4 — ось вращения грузика; 5 — траверса; 6 — кулачковая шайба

При низкой частоте вращения коленчатого вала грузики прижаты друг к другу пружинами. Угол опережения зажигания при этом минимальный. При увеличении частоты вращения под действием увеличившейся центробежной силы грузики преодолевают усилие пружин и начинают расходиться, поворачивая подвижную пластину с кулачковой шайбой относительно вала (см. рис. 8.4 *б*). Угол опережения зажигания увеличивается.

Изменяя массу грузиков, жесткость пружин, величину зазора между пружиной и грузиками и другие параметры, подбирают необходимую зависимость УОЗ ( $\theta$ ) от частоты вращения коленчатого вала  $n$  (рис. 8.4, *в*).

Вакуумный регулятор обеспечивает изменение УОЗ в зависимости от нагрузки на двигатель. Герметичная полость Б вакуумного регулятора отделена от окружающей среды гибкой мембраной, которая тягой шарнирно соединена с подвижной пластиной прерывателя (рис. 8.5, *a*). Полость Б регулятора через трубку сообщается с задрессельным пространством карбюратора. В полости А поддерживается давление окружающей среды.

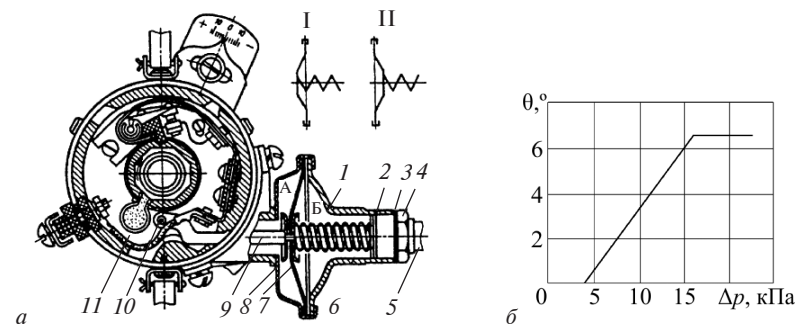


Рис. 8.5. Вакуумный регулятор УОЗ и его характеристика:  
*a* — конструкция; *б* — характеристика; 1 — крышка корпуса; 2 — регулировочная прокладка; 3 — уплотнительная прокладка; 4 — штуцер крепления трубки; 5 — трубка; 6 — пружина; 7 — мембрана; 8 — корпус регулятора; 9 — тяга; 10 — ось тяги; 11 — подвижная пластина прерывателя; I, II — положение мембраны регулятора при большей и меньшей нагрузке на двигатель; А и Б — полости регулятора

При уменьшении нагрузки двигателя дроссельная заслонка прикрывается. Разрежение  $\Delta p$  в полости Б увеличивается. При изменении величины разрежения мембрана, преодолевая усилие пружины, перемещается и тяга поворачивает подвижную пластину

вместе с прерывателем против направления вращения кулачковой шайбы. Угол опережения зажигания увеличивается (рис. 8.5, б).

Достоинством контактной системы зажигания является ее простота. Недостатки контактной системы зажигания связаны с недостаточно высоким напряжением на высоких и низких частотах вращения, недостаточной энергией искрового разряда, необходимостью частой чистки контактов и регулирования зазора между ними.

### 8.3. Контактнo-транзисторная система зажигания

Основной особенностью контактнo-транзисторной системы зажигания является то, что через контакты прерывателя проходит небольшой ток управления транзистором, а не ток первичной обмотки катушки зажигания. Коммутация тока первичной обмотки осуществляется транзистором. Так как транзистор разгружает контакты прерывателя, искрообразование на них значительно снижается и долговечность контактов увеличивается. Кроме того, контактнo-транзисторная система позволяет обеспечивать необходимую скорость прерывания тока в первичной обмотке катушки зажигания независимо от угла замкнутого состояния контактов.

Один из вариантов контактнo-транзисторной системы зажигания представлен на рисунке 8.6. Система состоит из аккумуляторной батареи, выключателя зажигания с контактами, добавочных резисторов, прерывателя, транзисторного коммутатора и катушки зажигания. Распределитель и свечи зажигания на схеме не показаны, они конструктивно такие же, как в контактной системе.

При замыкании через контакты прерывателя начинает протекать ток базы транзистора  $VT1$ , что приводит к его открытию. Через переход коллектор–эмиттер транзистора ток идет по первичной обмотке катушки зажигания  $w_1$ , образуя в катушке магнитный поток. При размыкании контактов ток базы исчезает, транзистор закрывается, ток в первичной цепи катушки зажигания резко прерывается. Резко уменьшающийся магнитный поток вызывает появление большой по величине ЭДС во вторичной обмотке катушки зажигания  $w_2$ . При этом величина ЭДС во вторичной обмотке практически не зависит от частоты вращения.

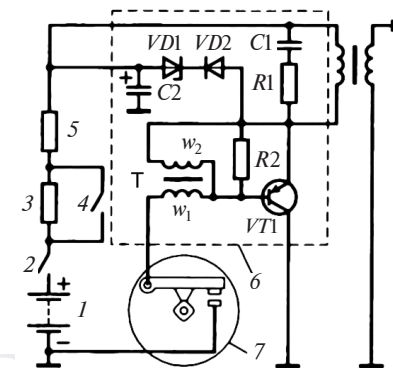


Рис. 8.6. Контактнo-транзисторная система зажигания:  
1 – аккумуляторная батарея; 2, 4 – контакты выключателя зажигания; 3, 5 – добавочные резисторы; 6 – коммутатор; 7 – прерыватель

Добавочный резистор 3 служит для увеличения тока в первичной обмотке при пуске двигателя. Импульсный трансформатор Т в схеме ускоряет закрытие транзистора при размыкании контактов, а диод  $VD2$  и стабилитрон  $VD1$  защищают транзистор от перегрузки. Для защиты транзисторного коммутатора от высоковольтного напряжения первичная обмотка катушки зажигания электрически не связана со вторичной.

Контактнo-транзисторные системы зажигания не избавились полностью от недостатков контактной системы – изнашивания контактов и необходимости их регулировки.

### 8.4. Бесконтактнo-транзисторная система зажигания

В бесконтактнo-транзисторных системах зажигания отсутствует прерыватель с контактами. В таких системах функции синхронизаторов момента зажигания выполняют бесконтактные датчики, конструктивно объединенные в датчиках-распределителях с регулятором УОЗ и устройством распределения импульсов высокого напряжения по цилиндрам двигателя.

В бесконтактнo-транзисторных системах можно применять генераторные, магнитоэлектрические, оптоэлектронные, токовихревые датчики, датчики Холла и др. Основная функция дат-

чика — передать информацию о положении коленчатого вала двигателя электронному блоку системы зажигания.

На рисунке 8.7 показана схема бесконтактной системы зажигания, состоящей из датчика Холла, электронного коммутатора, катушки зажигания и распределителя со свечами зажигания.



Рис. 8.7. Бесконтактная система зажигания:

1 — датчик Холла; 2 — электронный коммутатор; 3 — распределитель

Электронный коммутатор собран на интегральных микросхемах и содержит несколько блоков. Блок времени накопления позволяет снизить мощность потерь в катушке и коммутаторе на низких и средних частотах вращения коленчатого вала, одновременно обеспечивая оптимальное накопление энергии для искрового разряда. Блок ограничения силы тока снижает величину тока в первичной обмотке при повышенном напряжении питания. Блок безыскровой отсечки прерывает ток в первичной обмотке при остановленном коленчатом вале и включенном зажигании. Блок ограничения напряжения электроснабжения выполняет функцию стабилизатора напряжения питания электронного коммутатора.

Выходной каскад управляет током в первичной обмотке катушки зажигания. Транзистор выходного каскада открывается по сигналу датчика Холла на время, определяемое блоками времени накопления и ограничения силы тока, формируя в первичной

цепи катушки зажигания импульсы тока требуемой скважности и амплитуды.

Датчик-распределитель (рис. 8.8) состоит из датчика Холла с постоянным магнитом, закрепленных на подвижной пластине центробежного регулятора, вакуумного регулятора и распределителя с ротором и крышкой. Валик датчика-распределителя приводится во вращение от распределительного вала двигателя через муфту. На центробежном регуляторе закреплен экран датчика Холла. Подвижная пластина с датчиком Холла связана с вакуумным регулятором.

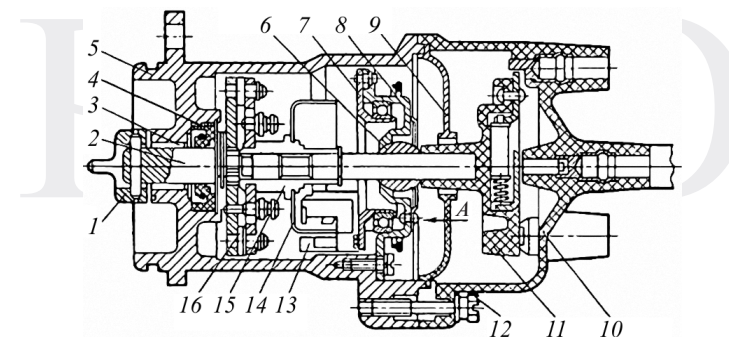


Рис. 8.8. Датчик-распределитель:

1 — муфта; 2 — валик; 3 — втулка; 4 — манжета; 5 — корпус;  
6 — шаровой вкладыш; 7 — подвижная пластина; 8 — неподвижная пластина; 9 — изоляционная прокладка; 10 — крышка;  
11 — ротор; 12 — крепежный винт; 13 — датчик Холла; 14 — экран;  
15 — втулка крепления экрана; 16 — центробежный регулятор

При вращении валика вращается экран с прорезями. Количество прорезей в экране равно числу цилиндров двигателя. Когда в зазоре между постоянным магнитом и датчиком Холла находится прорезь экрана, магнитное поле постоянного магнита воздействует на датчик, на выходе которого появляется низкое напряжение. При дальнейшем повороте происходит экранирование магнитного поля, и напряжение на выходе датчика Холла становится максимальным. Таким образом, с датчика Холла на вход электронного коммутатора поступают импульсы напряжения прямоугольной формы со скважностью, равной трем, и частотой, равной частоте вращения распределительного вала (в 2 раза меньшей, чем коленчатого вала), умноженной на число цилиндров.

Центробежный регулятор корректирует УОЗ в зависимости от частоты вращения за счет поворота экрана относительно вала привода. Вакуумный регулятор изменяет УОЗ, поворачивая подвижную пластину с датчиком Холла относительно корпуса датчика-распределителя в зависимости от разрежения во впускном трубопроводе.

Недостатком бесконтактно-транзисторных систем зажигания является наличие механического распределителя зажигания и механического регулирования УОЗ.

### 8.5. Микропроцессорные системы зажигания

Возможности бесконтактно-транзисторных систем ограничены по реализации управления УОЗ. Цифровые системы зажигания позволяют воспроизводить характеристики управления УОЗ любой сложности в зависимости от различных внешних факторов.

Цифровые системы зажигания подразделяют на системы с аппаратным регулированием и системы с программной обработкой, поступающей от датчиков информации. Жесткая логика алгоритма управления цифровых систем с аппаратным управлением является их существенным недостатком.

Системы зажигания с программным управлением позволяют гибко воспроизводить характеристики регулирования УОЗ в зависимости от частоты вращения, температуры, положения дроссельной заслонки, величины детонации и других факторов, оказывающих влияние на эффективность работы двигателя.

На рисунке 8.9 представлен один из вариантов реализации микропроцессорной системы зажигания. Основу системы составляет микроконтроллер, управляющий сигналом от которого поступает на электронный коммутатор. Электронный коммутатор обеспечивает работу катушек зажигания.

Микроконтроллер обрабатывает информацию, полученную от датчика давления во впускном трубопроводе, датчика положения дроссельной заслонки, датчиков положения и угла поворота коленчатого вала, датчика температуры охлаждающей жидкости. В соответствии с программой, заложенной в микроконтроллер, происходит подача управляющего сигнала на электронный коммутатор. В результате искрообразование происходит в момент

времени, рассчитанный и оптимизированный микроконтроллером в зависимости от различных входных параметров. Дополнительной функцией микроконтроллера является управление электромагнитным клапаном холостого хода.

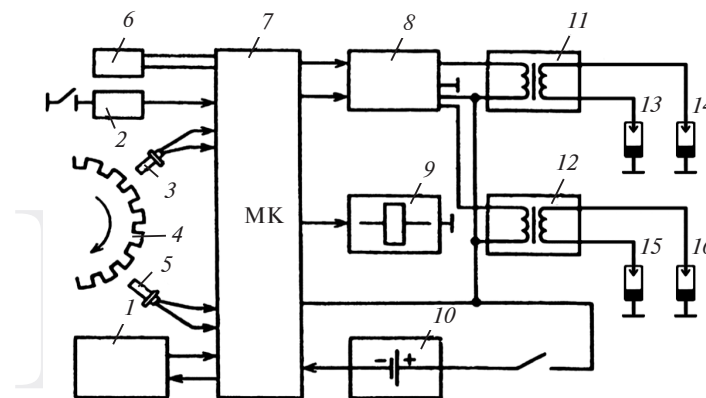


Рис. 8.9. Схема микропроцессорной системы зажигания:  
 1 – датчик температуры охлаждающей жидкости; 2 – датчик положения дроссельной заслонки; 3 – датчик положения коленчатого вала;  
 4 – маховик двигателя; 5 – датчик угла поворота коленчатого вала; 6 – датчик давления во впускном трубопроводе двигателя; 7 – микроконтроллер;  
 8 – электронный коммутатор; 9 – электромагнитный клапан холостого хода; 10 – аккумуляторная батарея;  
 11, 12 – катушки зажигания; 13–16 – свечи зажигания

В цифровых системах зажигания используют бесконтактные технологии распределения высоковольтного напряжения по свечам зажигания. Электронные средства позволяют осуществить распределение высоковольтных импульсов путем коммутации низковольтных цепей катушек зажигания.

В системах зажигания с индивидуальными катушками, имеющими один высоковольтный вывод, свеча каждого цилиндра двигателя  $FV1-FV4$  подключена к собственной катушке зажигания  $T1-T4$  с индивидуальным коммутационным ключом  $VT1-VT4$  (рис. 8.10, а). Управление работой ключей осуществляется сигналами контроллера  $U_{с.31}-U_{с.34}$ .

Система зажигания с индивидуальными катушками позволяет заменить традиционные катушки зажигания катушками, смонтированными совместно с наконечниками свечи зажигания.

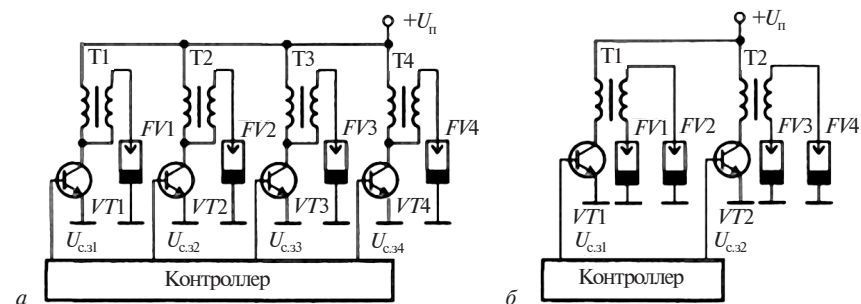


Рис. 8.10. Электронный распределитель:

а — с индивидуальными катушками; б — с двухвыводными катушками

Система с двухвыводными катушками требует в 2 раза меньше катушек и электронных ключей по сравнению с первым вариантом. По второму варианту двухвыводную катушку подключают к свечам сразу двух цилиндров, момент зажигания в которых смещен на  $360^\circ$  (рис. 8.10, б). В результате искрообразование происходит одновременно в двух цилиндрах. При этом одна искра возникает в конце такта сжатия, воспламеняя топливовоздушную смесь (рабочая искра), а вторая — в конце такта выпуска (холостая искра). В связи с постоянным направлением тока во вторичной обмотке катушки зажигания искрообразование у одной свечи (FV2 или FV4) всегда протекает с центрального электрода на боковой, у другой (FV1 или FV3) — с бокового на центральный. Для четырехцилиндрового двигателя в такой системе требуются две катушки зажигания и двухканальный коммутатор вместо четырехканального.

Благодаря гибкости цифровых систем в управлении УОЗ эти системы наиболее полно удовлетворяют требованиям, предъявляемым к регулированию УОЗ. На рисунке 8.11 приведена трехмерная калибровочная диаграмма, представляющая взаимосвязь УОЗ с частотой вращения коленчатого вала и нагрузки на двигатель, определяемой по разрежению во впускном трубопроводе. Данную диаграмму используют для программирования микроконтроллера системы зажигания.

Из диаграммы следует, что характеристики оптимальных УОЗ, воспроизводимых цифровыми системами, значительно сложнее характеристик, которые могут быть воспроизведены системами с механическими центробежными и вакуумными регуляторами УОЗ.

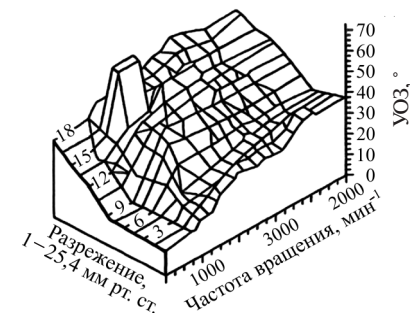


Рис. 8.11. Калибровочная диаграмма цифровой системы зажигания

Работа двигателя вблизи границы зоны детонации обеспечивает наибольший КПД. Поэтому целесообразно использовать устройства, позволяющие двигателю работать вблизи зоны детонации, но ограничивающие время его работы с детонацией или полностью ее исключающие.

Для обеспечения работы двигателя в режиме, близком к границе зоны детонации, в цифровых и микропроцессорных системах зажигания применяют датчики детонации, размещаемые в определенных местах блока цилиндров или головки блока. Датчик детонации воспринимает возникающие при детонационном сгорании топлива высокочастотные колебания блока цилиндров или головки блока и преобразует их в электрические сигналы, поступающие в электронный блок управления.

При поступлении от датчика информации о возникновении детонации микроконтроллер выдает импульс на уменьшение УОЗ до значения, при котором детонация прекращается. Затем по алгоритму, заложенному в программное обеспечение микроконтроллера, УОЗ приближается к оптимальному.

В программно-адаптивных системах управления по критерию детонации информацию от датчика детонации используют для корректирования заложенной в микроконтроллер программы управления УОЗ. Амплитуда ударных волн в камере сгорания  $p$  зависит от частоты вращения  $n$  и угла поворота  $\varphi$  коленчатого вала двигателя и может достигать значительной величины при определенных сочетаниях этих параметров (рис. 8.12, а). Использование программно-адаптивной системы управления УОЗ

значительно снижает детонацию, сглаживая амплитуду ударных волн во всем диапазоне частот вращения и углов поворота коленчатого вала (рис. 8.12, б).

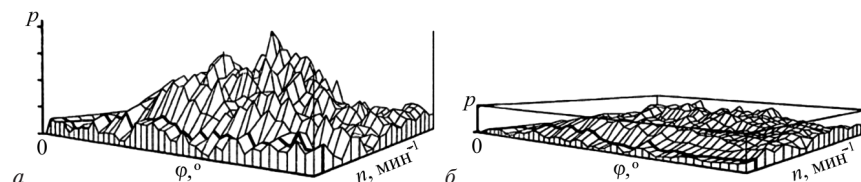


Рис. 8.12. Результаты работы системы управления УОЗ по критерию детонации: а – система выключена; б – система включена

Применение систем управления по критерию детонации позволяет несколько увеличить степень сжатия двигателя и обеспечить более высокие его мощностные и экономические показатели. С помощью таких систем решается проблема возможных изменений фактического октанового числа бензина в эксплуатационных условиях.

## 8.6. Компоненты систем зажигания

Для получения цифровой информации о частоте вращения и положении коленчатого вала применяют профилированный зубчатый диск, жестко связанный с коленчатым валом двигателя. Часто для такой цели используют зубчатый венец маховика с дополнительным установочным зубом или штифтом из магнитомягкой стали, обеспечивающим формирование датчиком импульса, который соответствует положению поршня первого цилиндра в верхней мертвой точке (ВМТ).

Наибольшее распространение в цифровых и микропроцессорных системах зажигания получили индуктивные датчики. Индукционная катушка датчика находится около постоянного магнита, один полюс которого обращен в сторону вращающегося зубчатого диска или зубчатого венца маховика (рис. 8.13). Между цилиндрической поверхностью зуба и магнитопроводом датчика предусмотрен небольшой зазор. При прохождении зуба вблизи магнитопровода величина воздушного зазора между ними изменяется, что приводит к изменению магнитного потока в магнитопроводе и появлению электрического импульса в расположенной на нем индукционной катушке.

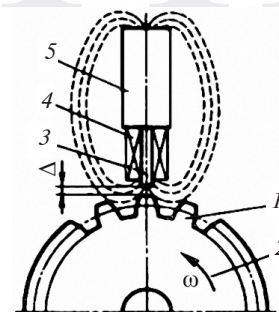


Рис. 8.13. Индуктивный датчик:  
1 – зуб; 2 – зубчатый диск;  
3 – магнитопровод; 4 – индукционная катушка; 5 – постоянный магнит

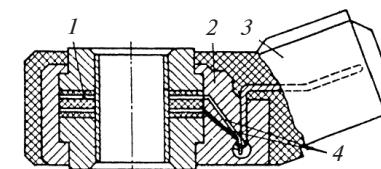


Рис. 8.14. Датчик детонации:  
1 – пьезоэлемент; 2 – инерционная масса; 3 – электрический разъем; 4 – латунная фольга

Датчик детонации устанавливают в таком месте, в котором создается надежная регистрация начала детонации во всех цилиндрах двигателя. На двигателях с большим числом цилиндров могут быть установлены два датчика детонации, работа которых должна быть синхронизирована с вращением распределительного вала.

Наибольшее распространение в бесконтактных аналоговых и цифровых системах зажигания получили магнитоэлектрические датчики и датчики Холла, обеспечивающие высокую точность от-

слеживания момента искрообразования и обладающие повышенной помехозащищенностью и стойкостью к внешним воздействиям.

Магнитоэлектрический датчик с вращающимися магнитами (рис. 8.15, *а*) состоит из неподвижной обмотки статора и постоянного магнита, жестко связанного с валом датчика-распределителя. Число пар полюсов магнита равно числу цилиндров двигателя. При вращении ротора в магнитной системе статора изменяется магнитный поток, пронизывающий обмотку статора, и на выходе датчика появляются близкие к синусоидальным импульсы напряжения. Развиваемое датчиком напряжение подается на вход транзисторного коммутатора, который коммутирует ток в первичной цепи катушки зажигания, обеспечивая накопление энергии в ней и возникновение высокого вторичного напряжения в момент искрообразования с соответствующим УОЗ.

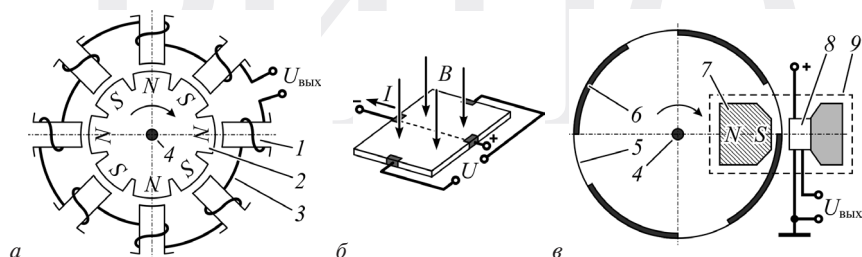


Рис. 8.15. Бесконтактные датчики:

*а* – магнитоэлектрический датчик; *б* – элемент Холла; *в* – датчик Холла; 1 – статор; 2 – магнит; 3 – обмотка; 4 – вал датчика-распределителя; 5 – ротор; 6 – щелевой экран; 7 – магнит; 8 – магнитоуправляемая интегральная схема; 9 – корпус датчика Холла

Недостатками магнитоэлектрического датчика являются значительная индуктивность обмотки и влияние на амплитуду и скважность вырабатываемого сигнала управления частоты вращения ротора датчика.

Работа датчика Холла основана на использовании гальваномагнитного эффекта в элементе Холла, который представляет собой тонкую пластинку с четырьмя выводами, выполненную из полупроводникового материала (рис. 8.15, *б*). Если по пластинке через два противоположных вывода пропустить ток  $I$  и одновременно поднести к пластинке постоянный магнит с индукцией  $B$ , то на перпендикулярных выводах возникнет ЭДС величиной  $U$ .

Электродвижущая сила Холла очень мала, поэтому датчик Холла помимо элемента Холла включает в себя преобразователь с усилителем, компаратор, выходной каскад и стабилизатор напряжения. Конструктивно датчик Холла выполнен в виде одной микросхемы, называемой магнитоуправляемой интегральной схемой.

Магнитное поле в датчике создается постоянным магнитом (рис. 8.15, *в*). Магнитная система и магнитоуправляемая интегральная схема, объединенные в одном корпусе, образуют микропереключатель на эффекте Холла. Коммутация магнитного потока осуществляется ротором, выполненным из магнитомягкой стали в виде шторки с экранами и прорезями. Ротор связан с валом датчика-распределителя и вместе с ним вращается. Число прорезей равно числу цилиндров двигателя.

При прохождении около постоянного магнита прорези ротора силовые линии его магнитного поля пронизывают поверхность элемента Холла, и на его выходе появляется ЭДС. Когда в зазоре между магнитоуправляемой интегральной схемой и магнитом находится экран ротора, происходит шунтирование магнитного потока и ЭДС снижается до минимума. При периодическом изменении магнитного потока на выходе датчика Холла формируется сигнал об угловом положении коленчатого вала двигателя в виде импульсов напряжения прямоугольной формы. Частота вращения ротора почти не влияет на форму импульса ЭДС, поэтому точность датчика Холла значительно выше, чем магнитоэлектрического датчика.

Свеча зажигания (рис. 8.16, *а*) имеет металлический корпус с резьбой для ввертывания в отверстие головки блока цилиндров и боковым электродом. Часто для более надежного искрообразования вместо одного бокового электрода устанавливают от двух до четырех боковых электродов. Герметичность цилиндра в резьбовом соединении обеспечивается уплотнительным кольцом. В корпусе закреплен изолятор с теплопроводящей уплотнительной шайбой. Внутри изолятора проходит контактный стержень, верхняя часть которого оканчивается контактной головкой, а нижняя – центральным электродом.

В головке блока цилиндров свечу зажигания устанавливают таким образом, чтобы внутрь камеры сгорания цилиндра выступали только боковой и центральный электроды свечи (рис. 8.16, *б*).

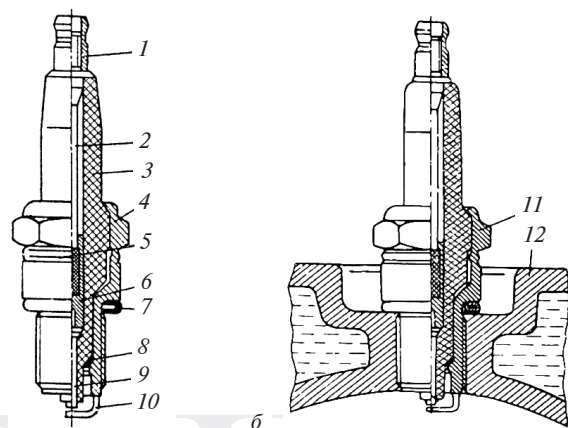


Рис. 8.16. Свеча зажигания:

*a* – общее устройство; *б* – установка в головке блока цилиндров;  
 1 – контактная головка; 2 – контактный стержень; 3 – изолятор;  
 4 – корпус; 5 – термоосадочный пояс; 6 – электропроводный герметик; 7 – уплотнительное кольцо; 8 – теплопроводящая шайба; 9 – центральный электрод; 10 – боковой электрод;  
 11 – свеча зажигания; 12 – головка блока цилиндров

Свеча зажигания нормально работает при температуре теплового конуса изолятора в пределах 400–900 °С. Нагар на конусе исчезает при нагреве до температуры 400–500 °С, называемой температурой самоочистки свечи. Если температура деталей свечи превысит 850–900 °С, может возникнуть преждевременное воспламенение смеси (калийное зажигание) до момента появления искры.

Количество теплоты, передаваемой свече, зависит от степени сжатия, формы камеры сгорания, материала поршня и головки блока цилиндров, способа охлаждения, нагрузки и частоты вращения коленчатого вала двигателя. Чем больше количество теплоты, выделяемой в камере сгорания, тем больше должна быть теплоотдача свечи.

Тепло отводится от свечи через ее корпус, изолятор, центральный и боковой электроды и поступающую в камеру сгорания топливовоздушную смесь. Теплоотдача свечи зависит от длины теплового конуса изолятора. При длинном тепловом конусе изолятора отвод теплоты от него затрудняется: свеча с длинным тепловым конусом получает большое количество теплоты и плохо охлаждается. Такую свечу принято называть «горячей» (рис. 8.17).

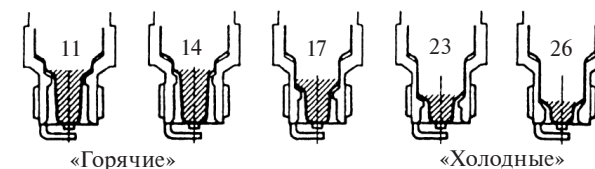


Рис. 8.17. Свечи зажигания с различными тепловыми характеристиками

Короткий тепловой конус изолятора, обеспечивающий хорошую теплопередачу, характерен для «холодных» свечей. При установке «горячей» свечи на форсированный быстроходный двигатель возникнет калильное зажигание, тогда как на изоляторе «холодной» свечи, установленной на тихоходном двигателе с низкой степенью сжатия, будет откладываться нагар, шунтирующий искровой промежуток.

Так как тепловые условия работы свечей на различных двигателях существенно отличаются, свечи изготавливают с разной тепловой характеристикой, которую оценивают калильным числом. Калильное число выбирают из следующего ряда чисел: 8, 11, 14, 17, 20, 23 и 26. Малые значения калильных чисел относятся к «горячим» свечам, высокие значения – к «холодным».

Искровые свечи различают по диаметру резьбы корпуса, длине ввертной части, типу уплотнения, калильному числу. Маркировка свечей зажигания должна содержать:

- обозначение диаметра и шага резьбы (А – резьба М14×1,25, М – резьба М18×1,5);
- букву, характеризующую особенность конструкции свечи (К – с коническим уплотнителем без прокладки; М – малогабаритная); если конструктивные особенности свечи отсутствуют, то букву не ставят;
- калильное число;
- обозначение длины резьбовой части (Н – 11 мм, Д – 19 мм); длину резьбовой части 12 мм не обозначают;
- букву В при выступании теплового конуса изолятора за торец корпуса.

Пример маркировки: А17ДВ – свеча с резьбой М14×1,25, калильным числом 17, длиной резьбовой части корпуса 19 мм, выступающим тепловым конусом, обычным уплотнением медной шайбой.

Свечи к двигателю должны подбираться с учетом реальных условий эксплуатации. Если свеча по калильному числу выбрана правильно, то тепловой конус изолятора имеет цвет от серо-оранжевого до коричневого. Белый цвет изолятора свидетельствует о том, что свеча перегревается, т. е. имеет слишком малое калильное число. Если калильное число свечи выше необходимого, тепловой конус изолятора покрывается нагаром.

Высокое напряжение к свечам зажигания подводится по высоковольтным проводам, к которым в результате предъявляются повышенные требования по изоляции. Для снижения утечки тока провода выполняют с многослойной изоляцией из полихлорвинила, полиэтилена, силикона и других материалов. Высоковольтные провода создают большую емкостную нагрузку на систему зажигания, поэтому их стремятся сделать как можно короче. Наименьшая длина проводов имеется в системах с индивидуальными катушками зажигания, устанавливаемыми непосредственно на свечах.

Высоковольтные провода выпускают двух типов – низкоомные (до 0,5 Ом/м) и высокоомные (1–40 кОм/м). Поскольку в момент электроискрового разряда в свечах по высоковольтным проводам протекает высокочастотный ток, то эти провода излучают радиопомехи. Для снижения уровня радиопомех последовательно с низкоомными проводами включают помехоподавительные резисторы в распределители зажигания и изоляторы свечей. Наибольшее распространение получили высокоомные провода с распределенным по длине сопротивлением, которые позволяют отказаться от помехоподавительных резисторов. При повышенных требованиях к уровню радиопомех используют экранирование элементов системы зажигания.

### Контрольные вопросы и задания

1. Как работает контактная система зажигания?
2. Назовите типы датчиков, используемые в бесконтактно-транзисторной системе зажигания.
3. Какую функцию выполняет микроконтроллер в микропроцессорной системе зажигания?
4. Как работает датчик Холла?
5. Опишите устройство свечи зажигания.

## 9. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БЕНЗИНОВЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ

### 9.1. История развития и классификация

Управление топливоподачей в бензиновых двигателях связано с регулированием топливоздушную смеси и включает в себя следующие функции: измерение количественных и качественных характеристик рабочей смеси; образование рабочей смеси; распределение смеси по цилиндрам. Приготовление рабочей смеси в значительной мере зависит от типа устройства, используемого для этих целей.

Применение карбюраторной системы питания позволяет в определенной мере поддерживать требуемый состав топливоздушную смеси и оптимальное наполнение цилиндров на различных режимах работы двигателя. Однако эта система питания имеет свой предел максимума адаптации к режимам работы двигателя. В то же время системы впрыска топлива позволяют оптимизировать процесс смесеобразования в гораздо большей степени. Расширение применения систем впрыска бензина обусловлено необходимостью улучшения динамических характеристик автомобилей, повышения их топливной экономичности и снижения токсичности отработавших газов автомобильных двигателей.

Системы впрыска топлива изобретены практически одновременно с созданием автомобильного двигателя. Еще в 1881 г. француз Этив получил патент на систему измерения массы сжатого воздуха, а в 1883 г. немецкий инженер Шпиль получил патент на метод впрыска топлива в камеру сгорания. Первый серийный двигатель с системой впрыска топлива разработан английской фирмой Стирлинга в 1887 г. Этот двигатель в основном работал в стационарном режиме.

До 1950-х годов системы впрыска применялись в основном на самолетах и гоночных автомобилях. Первый в мире серий-

ный автомобиль с впрыском бензина — Mercedes-300SL — был выпущен в 1954 г. и оснащен системой механического впрыска бензина.

По мере развития систем впрыска топлива на автомобилях устанавливали механические и электронные системы, различающиеся по месту, способу и моменту подачи топлива в цилиндры двигателя.

Системы впрыска бензина классифицируют следующим образом (рис. 9.1):

- по расположению форсунок: центральный и распределенный впрыск;
- месту впрыска топлива: во впускной трубопровод и в цилиндр (непосредственный впрыск);
- способу подачи топлива: непрерывный и циклический (прерывистый);
- моменту впрыска топлива: несогласованный и согласованный.

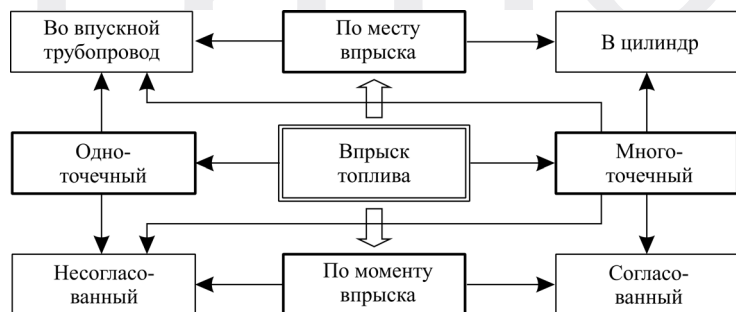


Рис. 9.1. Классификация способов впрыска топлива

Согласованный впрыск топлива привязан к определенной фазе цикла работы двигателя. В связи с этим, если несогласованный впрыск топлива может быть как непрерывным, так и циклическим, то согласованный — только циклическим.

При центральном впрыске (рис. 9.2, а) топливо подается одной форсункой, устанавливаемой на участке до разветвления впускного трубопровода. По сравнению с карбюраторной системой питания существенных изменений в конструкции двигателя нет, т. е. система центрального впрыска практически взаимозаменяема с карбюратором и может применяться на уже эксплуатиру-

емых двигателях. Обозначению «центральный впрыск топлива» соответствуют также термины «одноточечный впрыск» и «моно-впрыск».

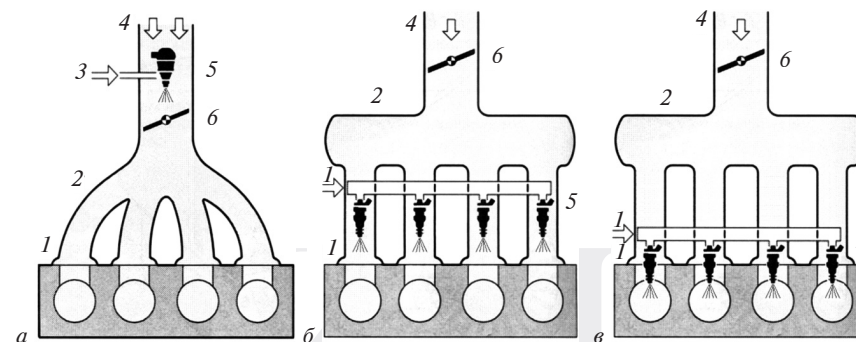


Рис. 9.2. Системы впрыска топлива:

- а — центральный; б — распределенный; в — непосредственный;  
 1 — двигатель; 2 — впускной коллектор; 3 — подача топлива;  
 4 — поступление воздуха; 5 — форсунки; 6 — дроссельная заслонка;

При распределенном («многоточечном») впрыске топливо подается индивидуальными для каждого цилиндра форсунками. При этом возможны два места подачи топлива: перед впускными клапанами каждого цилиндра или непосредственно в цилиндры двигателя. В первых системах впрыск топлива возможен как без согласования момента впрыска с процессами впуска в каждый цилиндр (несогласованный впрыск), так и согласованный с открытием соответствующих впускных клапанов. Во вторых системах возможен только согласованный впрыск.

В целях различия двух систем распределенного впрыска топлива принята следующая терминология. Для системы с подачей топлива в зону впускных клапанов используют термин «распределенный впрыск» (рис. 9.2, б), а для системы с подачей топлива непосредственно в цилиндры двигателя — термин «непосредственный впрыск» (рис. 9.2, в).

Мощность установленного на автомобиле двигателя с впрыском топлива, так же как и мощность карбюраторного двигателя, регулируют изменением положения дроссельной заслонки, связанной с педалью акселератора. Если у карбюраторного двигате-

ля при этом изменяется объем поступившей в цилиндры топливоздушнoй смеси, то дроссельная заслонка двигателя с впрыском топлива регулирует непосредственно только объем воздуха, состав же смеси зависит от массы топлива, впрыскиваемого топливoподающей аппаратурой.

Для поддержания состава смеси в заданных пределах необходим автоматический регулятор состава смеси, дозирующий топливо в точном соответствии с количеством поступающего в двигатель воздуха.

Регулирование количества топлива, впрыскиваемого форсунками, может осуществляться по следующим параметрам:

- часовому расходу воздуха;
- часовому расходу воздуха и частоте вращения коленчатого вала двигателя;
- углу открытия дроссельной заслонки и частоте вращения;
- разрежению во впускной системе двигателя;
- разрежению во впускной системе и частоте вращения;
- составу отработавших газов;
- комбинации перечисленных способов регулирования.

Термины и буквенные обозначения, используемые фирмой BOSCH для систем управления бензиновыми двигателями, характеризуют особенности этих систем.

Для систем управления топливoподачей фирма BOSCH использует термин Jetronic. Система K-Jetronic является пневмомеханической системой непрерывного впрыска топлива, в которой буква «K» означает, что топливо впрыскивается непрерывно (несогласованный впрыск). Управление количеством топлива основано на его механическом дозировании под воздействием воздуха. В системе KE-Jetronic вместо механического регулятора применен электрогидравлический (буква «E» означает использование электроники).

Система L-Jetronic является импульсной, подающей топливо в определенную фазу работы двигателя (согласованный впрыск топлива). Буква «L» показывает, что в качестве управляющего параметра принята величина расхода воздуха, замеряемая датчиком с подвижной заслонкой. В системе LH-Jetronic («H» — горячий) используют датчик массового расхода воздуха с проволочным датчиком, подогреваемым проходящим через него током.

В отличие от многоточечных систем «K» и «L», система Mono-Jetronic является одноточечной. Управление топливoподачей в ней осуществляется по частоте вращения коленчатого вала и положению дроссельной заслонки.

Для систем управления двигателем, объединяющих управление топливoподачей и зажиганием, принят термин Motronic. Причем одноточечную систему центрального впрыска обозначают Mono-Motronic, а многоточечные системы распределенного и непосредственного впрыска — либо просто Motronic, либо с дополнительными буквами, уточняющими особенности системы. Например, M-Motronic и ME-Motronic — системы распределенного впрыска топлива, MED-Motronic и DI-Motronic — системы непосредственного впрыска топлива.

## 9.2. Системы центрального впрыска топлива

Системы центрального впрыска топлива имеют блок центрального впрыска, расположенный во впускном тракте между воздухоочистителем и разветвлениями впускного коллектора, по которым рабочая смесь поступает к отдельным цилиндрам двигателя.

Типичной системой центрального впрыска является система Mono-Jetronic (рис. 9.3) с электронным блоком управления (ЭБУ).

Система имеет одну на весь двигатель электромагнитную форсунку с циклической подачей топлива. Струя топлива направляется непосредственно в серпообразное отверстие между корпусом блока центрального впрыска и дроссельной заслонкой, где за счет большой разности давления обеспечивается оптимальное смесеобразование, исключающее возможность осаждения топлива на стенках впускного тракта.

Топливный насос качает топливо через фильтр с несколько большей, чем требуется, производительностью. Регулятор давления топлива поддерживает давление в форсунке на постоянном уровне и возвращает избыток топлива в бак через возвратную трубку. Такая система постоянного потока уменьшает температуру топлива и предотвращает его повышенное испарение.

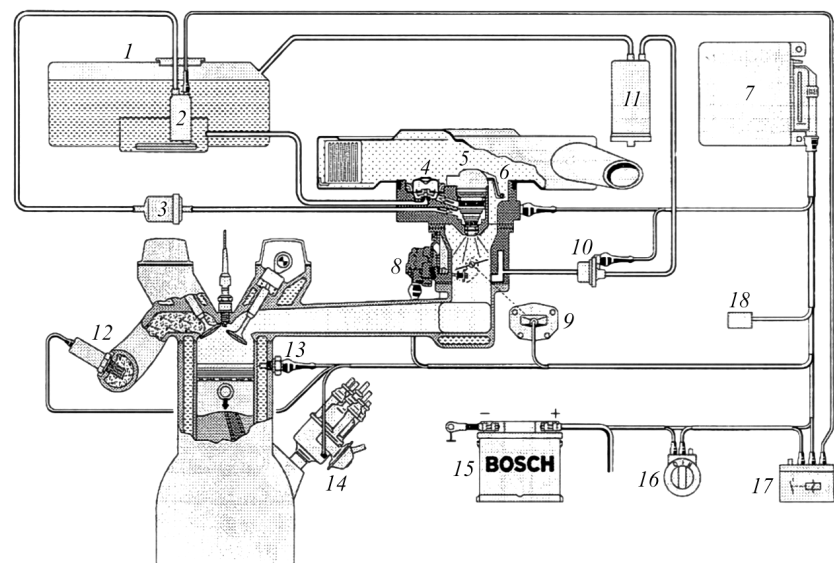


Рис. 9.3. Схема системы впрыска Mono-Jetronic:

1 – топливный бак; 2 – топливный насос с электроприводом; 3 – топливный фильтр; 4 – регулятор давления топлива; 5 – форсунка; 6 – датчик температуры воздуха; 7 – электронный блок управления; 8 – привод дроссельной заслонки; 9 – датчик положения дроссельной заслонки; 10 – клапан; 11 – резервуар с углем (адсорбер); 12 – датчик кислорода ( $\lambda$ -зонд); 13 – датчик температуры охлаждающей жидкости; 14 – распределитель зажигания; 15 – аккумулятор; 16 – выключатель зажигания; 17 – реле; 18 – разъем для подсоединения диагностической аппаратуры

Блок центрального впрыска топлива (рис. 9.4) включает в себя смесительную камеру с дроссельной заслонкой, форсунку, расположенную над дроссельной заслонкой, регулятор давления и регулятор холостого хода. Форсунка впрыскивает топливо в зону над дроссельной заслонкой, где происходит образование рабочей смеси. Регулирование количества смеси основано на изменении положения дроссельной заслонки. В режиме холостого хода управление осуществляется с помощью регулятора холостого хода, воздействующего на клапан обводного канала или непосредственно на дроссельную заслонку, приоткрывая ее в случае падения частоты вращения меньше допустимой.

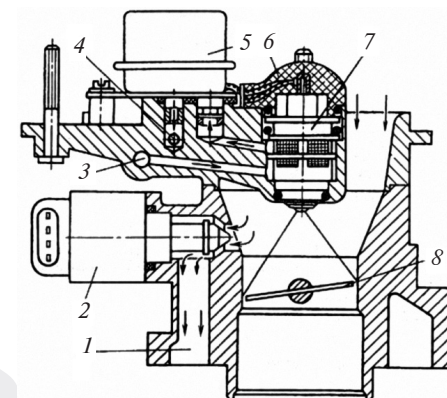


Рис. 9.4. Блок центрального впрыска топлива:

1 – канал холостого хода; 2 – регулятор холостого хода; 3 – канал подвода топлива; 4 – канал отвода топлива; 5 – регулятор давления топлива; 6 – штекер форсунки; 7 – электромагнитная форсунка; 8 – дроссельная заслонка

Система Mono-Jetronic не имеет расходомера воздуха, поэтому соотношение масс воздуха и топлива на основных режимах работы определяют только положением дроссельной заслонки, температурой всасываемого воздуха и частотой вращения коленчатого вала.

Датчик положения дроссельной заслонки определяет угол ее поворота с помощью потенциометра, резистивные дорожки которого размещены в корпусе датчика радиально (рис. 9.5, а). При повороте дроссельной заслонки размещенный на ее оси рычаг с ползунком потенциометра поворачивается, ползунок перемещается по резистивным дорожкам.

Потенциометр включен в резисторную схему, на которую подается напряжение питания. Поворот ползунка изменяет напряжение на выходе потенциометра  $U$  пропорционально углу поворота дроссельной заслонки (рис. 9.5, б). Датчик позволяет определять угол положения дроссельной заслонки для расчета информации о нагрузке двигателя и распознавать режимы холостого хода, частичной и полной нагрузки. Обработка сигнала датчика в ЭБУ позволяет рассчитывать не только положение, но и скорость перемещения педали акселератора. Два потенциометра  $R1$  и  $R2$  устанавливают на датчик исходя из повышенных тре-

бований к точности датчика при использовании его в качестве основного датчика нагрузки.

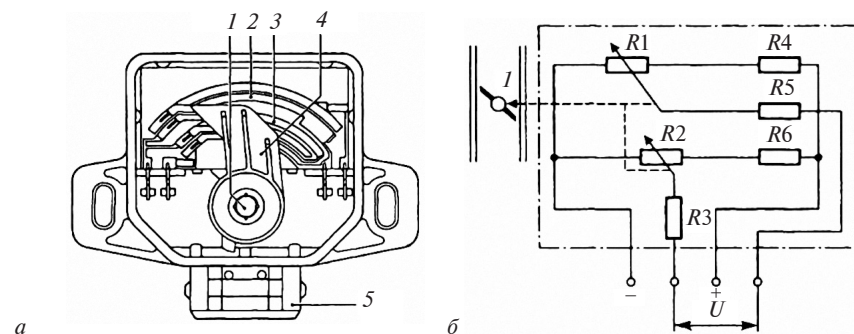


Рис. 9.5. Датчик положения дроссельной заслонки:  
а — общее устройство; б — электрическая схема; 1 — ось дроссельной заслонки; 2, 3 — резистивные дорожки; 4 — рычаг с ползунком; 5 — штекер

Корректировка дозирования при «холодном» пуске и прогреве осуществляется ЭБУ по импульсам, получаемым от датчиков температуры всасываемого воздуха, охлаждающей жидкости и потенциометра дроссельной заслонки. Чтобы улучшить запуск холодного двигателя и работу в режиме холостого хода, на впускном коллекторе можно устанавливать нагревательный элемент, который предотвращает конденсацию паров топлива.

Содержание кислорода в отработавших газах постоянно контролируется блоком управления по сигналам  $\lambda$ -зонда, установленного в выпускном коллекторе. На основании этой информации происходит изменение дозирования за счет увеличения или уменьшения времени впрыска при постоянном давлении топлива. В связи с этим ручная регулировка содержания CO не требуется.

Регулировка холостого хода достигается поворотом дроссельной заслонки специальным электродвигателем. При этом увеличивается или уменьшается количество воздуха в зависимости от отклонения мгновенного значения частоты вращения коленчатого вала от номинального, заложенного в память электронного блока управления. Блок управления воспринимается также скорость поворота дроссельной заслонки. В режиме ускорения рабочая смесь обогащается.

В системе Mono-Motronic управление впрыском топлива в основном зависит от сигналов датчиков положения дроссель-

ной заслонки и частоты вращения коленчатого вала двигателя (рис. 9.6). Кроме того, учитываются сигналы от кислородного датчика, а также датчиков температуры охлаждающей жидкости и всасываемого воздуха.

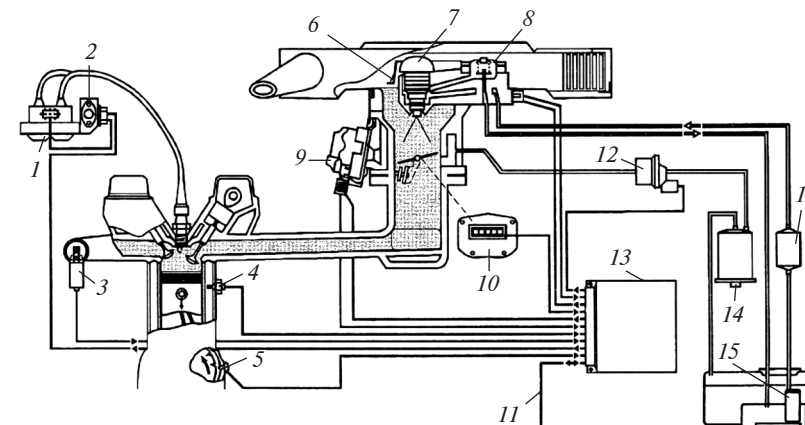


Рис. 9.6. Система Mono-Motronic:  
1 — катушка зажигания; 2 — распределитель зажигания; 3 —  $\lambda$ -зонд;  
4 — датчик температуры охлаждающей жидкости; 5 — датчик частоты вращения двигателя; 6 — диффузор с датчиком температуры всасываемого воздуха; 7 — форсунка; 8 — регулятор давления топлива; 9 — регулятор холостого хода; 10 — датчик положения дроссельной заслонки; 11 — диагностический разъем; 12 — возвратный топливный клапан; 13 — ЭБУ; 14 — сосуд с активированным углем; 15 — топливный насос с электроприводом; 16 — топливный фильтр

Рассчитанное ЭБУ требуемое количество топлива посредством центральной электромагнитной форсунки периодически впрыскивается над дроссельной заслонкой и смешивается с воздухом. С учетом этих же данных, но по другой программе, управляющие импульсы подаются на катушку зажигания. Система способна учитывать износ цилиндропоршневой группы двигателя (падение компрессии) и изменение атмосферного давления. Если датчики начинают подавать ошибочные сигналы, информация об этом накапливается в памяти. Во время технического обслуживания она считывается диагностическим тестером, что позволяет быстро найти источник неисправности.

Учитывая постоянное ужесточение требований к уровню токсичности отработавших газов, в систему регулирования состава смеси вводится обратная связь по содержанию в отрабо-

тавших газах одного из токсичных компонентов. Такое решение требует специального датчика, реагирующего на изменение состава отработавших газов. Датчиком такого типа, используемым в автомобильной промышленности, является так называемый датчик кислорода (лямбда-зонд, или  $\lambda$ -зонд, от фр. sonde — щуп), реагирующий на содержание в отработавших газах кислорода.

Схема одного из типов  $\lambda$ -зонда (циркониевого) представлена на рисунке 9.7, а. Циркониевый датчик имеет два электрода — наружный и внутренний. Оба электрода выполнены из пористой платины или ее сплава и разделены слоем твердого электролита. Электролитом является диоксид циркония  $ZrO_2$  с добавлением оксида иттрия  $Y_2O_3$  для повышения ионной проводимости электролита.

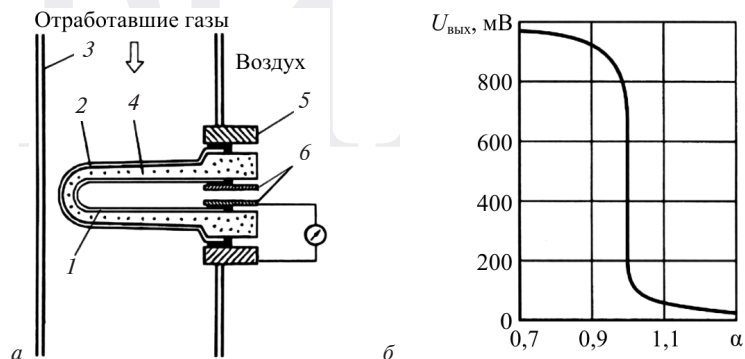


Рис. 9.7. Датчик кислорода ( $\lambda$ -зонд):

а — схема датчика; б — электрическая характеристика; 1 — платиновый внутренний электрод; 2 — платиновый наружный электрод; 3 — выпускной трубопровод; 4 — твердый электролит  $ZrO_2$ ; 5 — корпусной контакт; 6 — контакты

Среда, окружающая внутренний электрод, имеет постоянное парциальное давление кислорода. Наружный электрод омывается потоком отработавших газов в выпускном трубопроводе с переменным парциальным давлением кислорода. Ионная проводимость твердого электролита, возникающая вследствие разности парциальных давлений кислорода на наружном и внутреннем электродах, обуславливает появление разности потенциалов между ними.

При низком уровне парциального давления кислорода в отработавших газах, когда двигатель работает на обогащенной смеси

( $\alpha < 1$ ), датчик как гальванический элемент генерирует высокое напряжение (700–1000 мВ). При переходе на обедненную смесь ( $\alpha > 1$ ) парциальное давление кислорода в отработавших газах заметно увеличивается, что приводит к резкому падению напряжения на выходе датчика до 50–100 мВ. Такое резкое падение напряжения датчика (рис 9.7, б) при переходе от обогащенных к обедненным смесям позволяет определить стехиометрический состав смеси с погрешностью не более  $\pm 0,5\%$ .

Вместе с тем работа двигателя с коэффициентом избытка воздуха ( $\alpha = 1$ ) возможна далеко не на всех режимах (пуск двигателя, прогрев, движение с непрогретым двигателем, разгон автомобиля). Кроме того  $\lambda$ -зонд начинает давать сигнал только по достижении определенной температуры. Поэтому регулирование по составу отработавших газов вводится как дополнительная обратная связь в систему с обычной схемой регулирования. Этим достигается работа двигателя на всех необходимых режимах.

Следует отметить, что работа двигателя при  $\alpha = 1$  не является наиболее экономичной, это решение оправдано, как правило, в случае применения на транспортном средстве трехкомпонентного каталитического нейтрализатора (рис. 9.8).

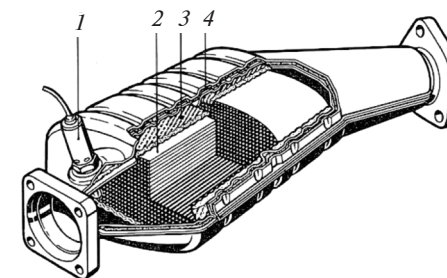


Рис. 9.8. Трехкомпонентный каталитический нейтрализатор: 1 —  $\lambda$ -зонд; 2 — монокристаллический блок из силиката алюминия; 3 — монтажный элемент в виде проволочной сетки; 4 — термостойкий корпус с двойными стенками

При испарении топлива в баке пары углеводородов выходят в атмосферу. Эффект усиливается при повышении температуры топлива. Соблюдение норм по выбросам паров топлива достигается использованием специального сосуда, заполненного активированным углем (рис. 9.9). Топливный бак при этом вентилируется исключительно через такой сосуд. Из-за ограниченного объ-

ема сосуда необходима постоянная регенерация активированного угля.

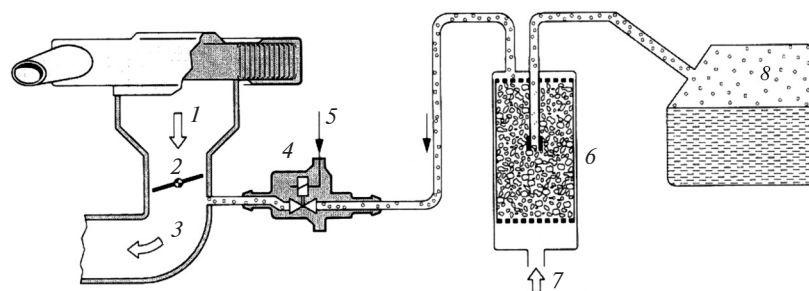


Рис. 9.9. Система снижения выбросов паров топлива:  
1 – всасываемый воздух; 2 – дроссельная заслонка; 3 – впускной коллектор двигателя; 4 – клапан продувки сосуда с активированным углем; 5 – сигнал от ЭБУ; 6 – сосуд с активированным углем; 7 – окружающий воздух; 8 – топливный бак

При работе двигателя воздух всасывается через сосуд с активированным углем и попадает в двигатель. Наличие концентрации топливных паров в 1 %, поступающих из сосуда с активированным углем во впускной коллектор двигателя, приводит к изменению соотношения воздуха и топлива в рабочей смеси приблизительно на 20 %. Это означает, что поступление топливных паров в двигатель должно постоянно контролироваться.

В системе управления работой двигателя применяют клапан регенерации (клапан продувки сосуда с активированным углем). Программируемая адаптационная кривая, построенная на основе данных о нагрузке и частотах вращения коленчатого вала, позволяет получить оптимальное управление прохождением паров топлива через сосуд с активированным углем во всем диапазоне работы продувочного клапана.

При определенных условиях продувочный клапан или выключается (режим холостого хода), или не может сработать (при полном открытии дросселя во впускном трубопроводе создается недостаточное разрежение). Кроме того, трехкомпонентный каталитический нейтрализатор с  $\lambda$ -зондом продолжает контролировать состав рабочей смеси для обеспечения соответствия установленным нормам токсичности. Если под воздействием продувочного клапана смесеобразование оказывается неоптимальным,

подача воздуха изменяется для поддержания рабочих характеристик двигателя и обеспечения требуемых норм токсичности.

### 9.3. Системы распределенного впрыска топлива

В системах распределенного впрыска в отличие от систем центрального впрыска топливо к отдельным цилиндрам двигателя подается во впускной коллектор индивидуальными форсунками (рис. 9.10). Поскольку зона впрыска топлива расположена непосредственно перед впускными клапанами, сам впускной коллектор остается сухим, т. е. в нем отсутствуют пары топлива. Независимая подача топлива к каждому цилиндру увеличивает точность дозирования, что улучшает мощностные и экономические показатели двигателей.

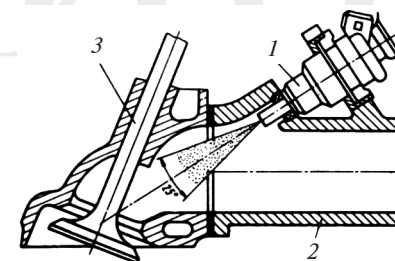


Рис. 9.10. Схема расположения форсунки при распределенном впрыске топлива:  
1 – форсунка; 2 – впускной трубопровод; 3 – впускной клапан

Система распределенного впрыска топлива Motronic состоит из ряда подсистем. Когда зажигание и впрыск топлива объединены в одну систему, отдельные ее элементы начинают обладать такой гибкостью и диапазоном действия, которые выходят за рамки, присущие каждому из этих элементов в отдельности. Основная система Motronic может выполнять функции по выбору управляющих параметров, приведенных на диаграммах (рис. 9.11), и дополнительные функции по снижению токсичности и повышению топливной экономичности.

Количество впрыскиваемого топлива определяется контроллером в зависимости от информации, выдаваемой датчиками, измеряющими следующие параметры: объем (или массу) и температуру всасываемого воздуха, частоту вращения коленчатого

вала двигателя, нагрузку на двигатель и температуру охлаждающей жидкости.

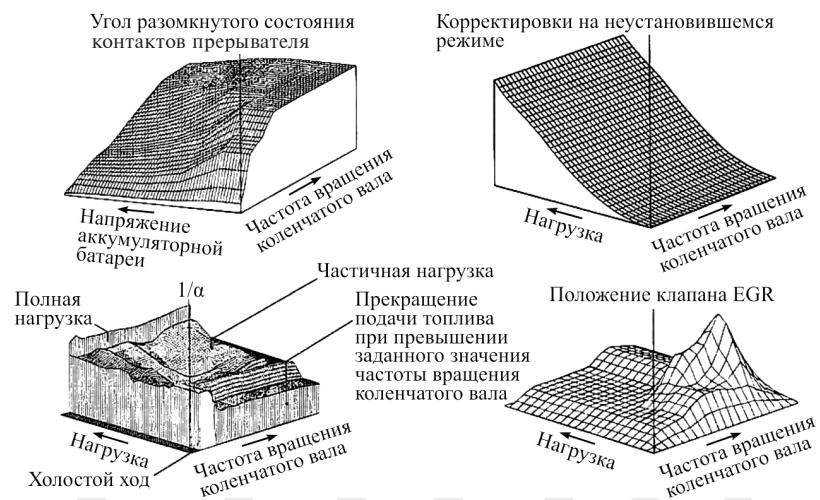


Рис. 9.11. Диаграммы управляющих параметров системы Motronic (примеры)

Значения углов опережения зажигания, заложенные в запоминающее устройство (блок памяти) контроллера, сравниваются с действительными значениями и соответствующим образом корректируются (рис. 9.12). Это позволяет исключить нарушения режимов работы двигателя в результате механического износа деталей, появления негерметичности впускного тракта, изменения компрессии и т. п.

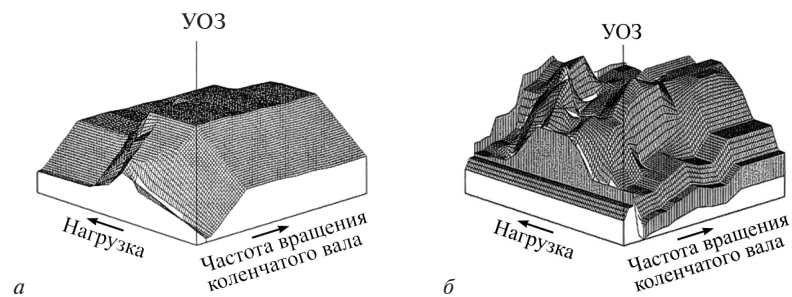


Рис. 9.12. Зависимость УОЗ от нагрузки и частоты вращения коленчатого вала двигателя:

а – механическая система с центробежным и вакуумным регуляторами; б – электронно-оптимизированная система

На автомобилях с автоматической коробкой передач частота вращения коленчатого вала двигателя на холостом ходу регулируется в зависимости от включенной передачи. Аналогично регулируется режим холостого хода на автомобилях, оборудованных кондиционером.

Как только частота вращения коленчатого вала двигателя достигает максимально допустимого значения, по команде контроллера подача топлива к форсункам прерывается.

В начальный момент пуска «холодного двигателя» в цилиндры впрыскивается увеличенное количество топлива. Степень обогащения рабочей смеси определяется температурой охлаждающей жидкости. Во время пуска «холодного» двигателя начальная подача топлива через форсунки уменьшается в зависимости от температуры охлаждающей жидкости и частоты вращения коленчатого вала, чтобы избежать переобогащения рабочей смеси. Если в течение 1 мин предпринимается несколько попыток запустить двигатель, количество впрыскиваемого топлива уменьшается по сравнению с начальным моментом пуска.

Система «Motronic 3.1» является одной из модификаций системы Motronic. В ней применен последовательный режим впрыска топлива (рис. 9.13). В этом случае дозирование топлива, поступающего в каждый цилиндр двигателя, производится один раз за цикл (точно в установленный момент). В зависимости от условий работы двигателя топливо для улучшения распыления может впрыскиваться до момента начала открытия впускного клапана.

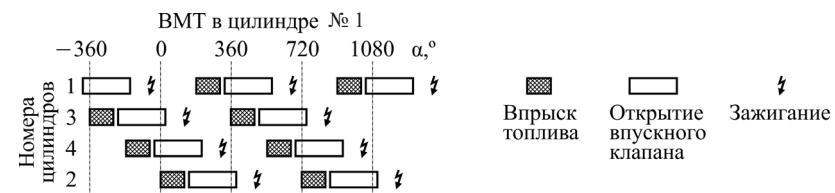


Рис. 9.13. Последовательный впрыск топлива: α – угол поворота коленчатого вала

Каждая форсунка управляется отдельным выходным каскадом контроллера. Этим достигается высокая точность дозирования впрыскиваемого топлива и быстрая реакция системы на изменения нагрузки двигателя.

Электронный блок управления осуществляет непрерывный контроль за всеми компонентами системы (рис. 9.14), что гарантирует точность ее работы. Так как ЭБУ и все датчики имеют дублирующие блоки, то система может осуществлять сравнение пар сигналов для подтверждения правильности выполнения процесса контроля.

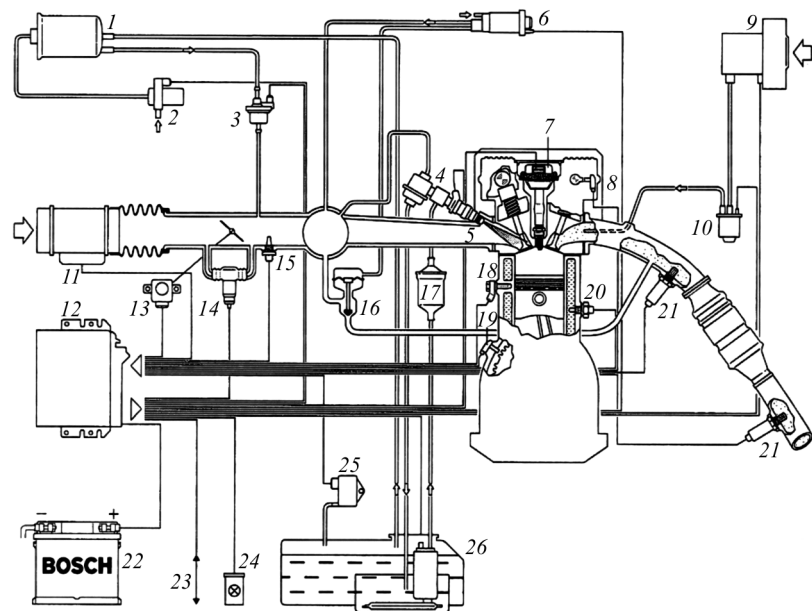


Рис. 9.14. Система «Motronic 3.1»:

- 1 – сосуд с активированным углем; 2 – клапан впуска воздуха;  
 3 – продувочный клапан для сосуда с активированным углем; 4 – регулятор давления топлива; 5 – форсунка; 6 – регулятор давления;  
 7 – катушка зажигания со свечой зажигания; 8 – датчик положения распределительного вала; 9 – насос для подачи дополнительных порций воздуха;  
 10 – вспомогательный воздушный затвор; 11 – измеритель массового расхода воздуха; 12 – ЭБУ; 13 – датчик углового положения дроссельной заслонки;  
 14 – исполнительное устройство в системе холостого хода;  
 15 – датчик температуры воздуха; 16 – клапан EGR; 17 – топливный фильтр;  
 18 – датчик детонации; 19 – датчик частоты вращения коленчатого вала;  
 20 – датчик температуры охлаждающей жидкости; 21 – λ-зонд; 22 – аккумуляторная батарея; 23 – диагностический интерфейс; 24 – диагностическая лампочка;  
 25 – датчик перепада давления; 26 – топливный бак и насос с электроприводом

Входные каскады ЭБУ осуществляют подготовку поступивших от датчиков сигналов, характеризующих режимные пара-

метры. Микропроцессор обрабатывает эти данные, определяет рабочий режим двигателя и производит расчет параметров необходимых управляющих сигналов, которые передаются на выходные каскады усиления, а затем поступают к исполнительным устройствам. Исполнительные устройства воздействуют на характеристики систем питания и зажигания, обеспечивая точное дозирование топлива и оптимальный момент зажигания.

В системе применяется устройство вентиляции топливного бака, аналогичное используемому в системе «Mono-Motronic». Клапан вентиляции топливного бака с адаптивным управлением работает циклично и управляется контроллером в зависимости от оборотов и нагрузки двигателя (положения дроссельной заслонки). Пока клапан находится под напряжением (более 10 В), трубопровод, идущий к впускному коллектору, закрыт. При снятии напряжения клапан может открыться под действием разрежения во впускном коллекторе. После остановки двигателя клапан вентиляции остается под напряжением, т. е. закрытым в течение 3 с для предотвращения самовоспламенения рабочей смеси после выключения зажигания. Затем при неработающем двигателе (клапан вентиляции обесточен) закрывается пружинный обратный клапан. В результате прекращается поступление паров топлива во впускной коллектор.

При повышенной температуре наружного воздуха или температуре охлаждающей жидкости контроллер вырабатывает команды на смещение угла опережения зажигания в сторону запаздывания для предотвращения детонации.

В системе «Motronic 3.1» предусмотрена защита нейтрализатора отработавших газов. Отклонения от нормальной работы первичной цепи системы зажигания обнаруживаются контроллером, который выключает форсунку неисправного цилиндра. Благодаря этому предотвращается поступление несгоревшей рабочей смеси в нейтрализатор.

Каждый цилиндр имеет свою рабочую форсунку с электромагнитным управлением, впрыскивающую топливо перед впускным клапаном. Форсунка состоит из корпуса, крышки, электромагнита с обмоткой и сердечником (якорем), запорного клапана с иглой и штифтом, корпуса распылителя и фильтра (рис. 9.15). При работе двигателя топливо под давлением поступает в форсунку через фильтр и проходит к запорному клапану, который находится в закрытом положении под действием пружины.

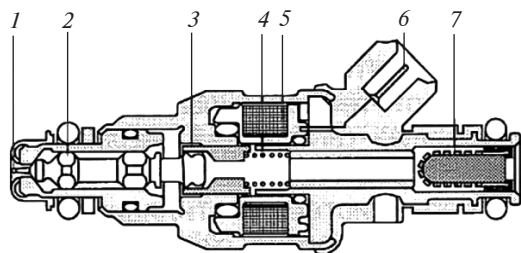


Рис. 9.15. Форсунка системы распределенного впрыска:  
1 – штифт; 2 – игла; 3 – якорь; 4 – пружина; 5 – обмотка электромагнита; 6 – электрический контакт; 7 – топливный фильтр

При поступлении электрического импульса в обмотку электромагнита возникает магнитное поле, которое притягивает сердечник и вместе с ним иглу запорного клапана. При этом отверстие в корпусе распылителя открывается, и топливо под давлением впрыскивается в распыленном виде во впускной трубопровод. После прекращения поступления тока в обмотку катушки электромагнита магнитное поле исчезает, и под действием пружины сердечник электромагнита и игла запорного клапана возвращаются в исходное положение. Отверстие в корпусе распылителя закрывается, и впрыск топлива из форсунки прекращается.

Количество поступающего в цилиндры двигателя воздуха определяют объемным или массовым датчиком.

**Объемный датчик** производит непосредственное измерение объема воздуха. Проходящий поток воздуха отклоняет заслонку, противодействуя постоянной силе возвратной пружины (рис. 9.16, а). Угловое положение заслонки регистрируется потенциометром. Напряжение с потенциометра передается на блок управления, где оно сравнивается с питающим напряжением потенциометра. Это отношение напряжений является мерой для поступающего в двигатель объема воздуха. Чтобы пульсации проходящего воздуха не приводили к колебательным движениям воздушной заслонки, ее стабилизируют компенсационной заслонкой. В целях учета изменения плотности поступающего воздуха при измерении температуры датчик расхода оснащен терморезистором. По сопротивлению терморезистора корректируют показания датчика.

**Датчиками массового расхода** (рис. 9.16, б) воздуха называют пленочные или нитевые термоанемометрические датчики. Прин-

цип действия датчиков основан на охлаждении воздушным потоком электрически нагреваемого тела. Схема регулирования тока нагрева рассчитана таким образом, что всегда имеется положительная разность температуры измерительного тела относительно проходящего воздуха. При таком методе измерения учитывается плотность воздуха, так как она также определяет величину теплоотдачи нагреваемого тела. Отсутствие в датчике подвижных частей делает его более надежным.

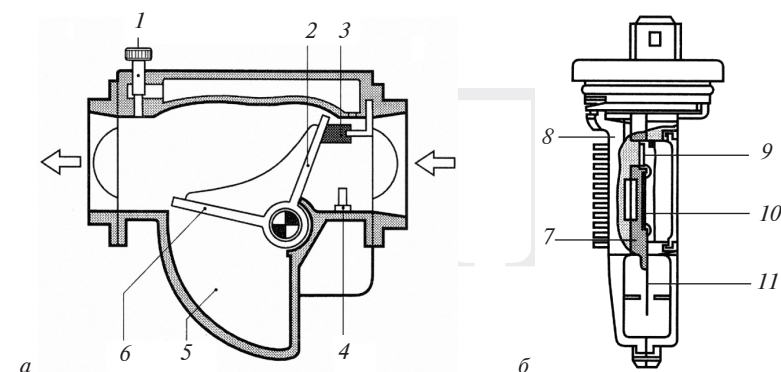


Рис. 9.16. Датчики расхода воздуха:  
а – объемный; б – массовый; 1 – винт регулирования смеси на холостом ходу; 2 – измерительная заслонка; 3 – стопор; 4 – датчик температуры воздуха; 5 – демпфирующая камера; 6 – компенсационная заслонка; 7 – распорный элемент; 8 – теплоотводящий элемент; 9 – задающая ступень; 10 – гибридная схема; 11 – пленочный измерительный элемент

У **пленочного датчика** нагреваемым элементом является пленочный платиновый резистор на керамической подложке. Температура нагреваемого элемента измеряется терморезистором, включенным в мостовую схему. Для измерения температуры воздуха используют компенсационный терморезистор, расположенный отдельно. Напряжение на нагревательном элементе является мерой для массы воздушного потока. Это напряжение преобразуется электронной схемой в напряжение, совместимое с блоком управления.

Похожую конструкцию имеет **нитевой датчик**, у которого нагреваемым элементом является платиновая нить. Для учета температуры поступающего воздуха производится ее измерение встроенным компенсационным резистором. Нагреваемая нить и

терморезистор включены в мостовую схему. Ток нагрева образует на прецизионном резисторе падение напряжения, пропорциональное массе проходящего воздуха.

В системе «Motronic 3.1» имеется отдельное исполнительное устройство управления подачей рабочей смеси в цилиндры на холостом ходу. Частоту вращения коленчатого вала на холостом ходу  $n$  определяют электронным блоком управления в зависимости от температуры охлаждающей жидкости  $T_M$ , положения (угла открытия) дроссельной заслонки  $\alpha_{DK}$ , сигналов от автоматической трансмиссии и кондиционера  $D/AC$  (рис. 9.17). Электронный блок управления сравнивает действительную частоту вращения коленчатого вала с заданной и выдает сигнал на исполнительное устройство, изменяющее дросселирование потока воздуха на входе, тем самым доводя частоту вращения коленчатого вала до требуемой.

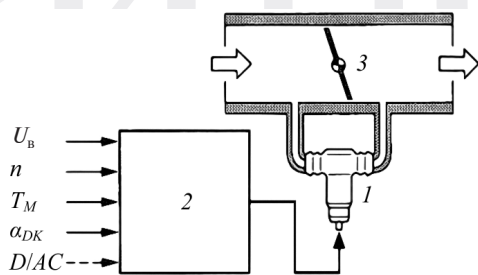


Рис. 9.17. Управление частотой вращения коленчатого вала двигателя на холостом ходу:

1 – исполнительное устройство; 2 – электронный блок управления; 3 – дроссельная заслонка

Исполнительное устройство располагается в магистрали, установленной в обход дроссельной заслонки. При подаче напряжения  $U_B$  на исполнительное устройство от блока управления шаровой затвор исполнительного устройства открывает перепускной канал для воздуха и удерживает его в открытом состоянии до тех пор, пока не достигается нужная частота вращения на холостом ходу. Шаровой затвор обеспечивает регулирование открытия перепускного канала, который соответствует так называемому коэффициенту периода импульса, т. е. отношению длительности импульса к длительности промежутка между импульсами.

*Рециркуляция отработавших газов* (EGR – Exhaust Gas Recirculation) является эффективным способом снижения содержания окислов азота ( $NO_x$ ) в отработавших газах. Добавление отработавших газов в рабочую смесь для снижения предельных температур сгорания позволяет уменьшить и выбросы окислов азота, чувствительных к температуре.

Определенная степень «внутренней» рециркуляции отработавших газов присуща всем двигателям из-за перекрытия тактов впуска и выпуска. Определенное количество остаточных отработавших газов, которое зависит от угла перекрытия клапанов, повторно поступает в камеру сгорания вместе со свежей рабочей смесью. На двигателях с изменяемыми фазами газораспределения теоретически возможно регулирование выбросов  $NO_x$  посредством изменения внутренней рециркуляции отработавших газов.

Фактически все современные системы EGR функционируют по принципу так называемой «внешней» рециркуляции отработавших газов. Определенная часть отработавших газов двигателя, пройдя из выпускного коллектора через электромагнитный клапан во впускной коллектор, разбавляет свежую рабочую смесь. Рециркуляция отработавших газов обычно управляется пневматическими или механическими системами, которые обеспечивают дозирование подаваемых в двигатель отработавших газов в соответствии с такими факторами, как частота вращения коленчатого вала двигателя  $n$ , давление во впускном трубопроводе  $p_S$  и температура двигателя  $T$  (рис. 9.18). В некоторых системах применяют ЭБУ с электропневматическим преобразователем, включающим в работу клапан EGR.

Использование EGR снижает выбросы  $NO_x$  на 60 %. Увеличенные выбросы углеводородов (СН) и рост расхода топлива вместе с менее равномерной работой двигателя накладывают ограничения на верхний предел степени рециркуляции отработавших газов. Так, в режиме холостого хода EGR отключается, поскольку при этом образование  $NO_x$  незначительно. Рециркуляцию отработавших газов обычно применяют на режимах частичных нагрузок, так как в этом случае ее эффективность оказывается наивысшей.

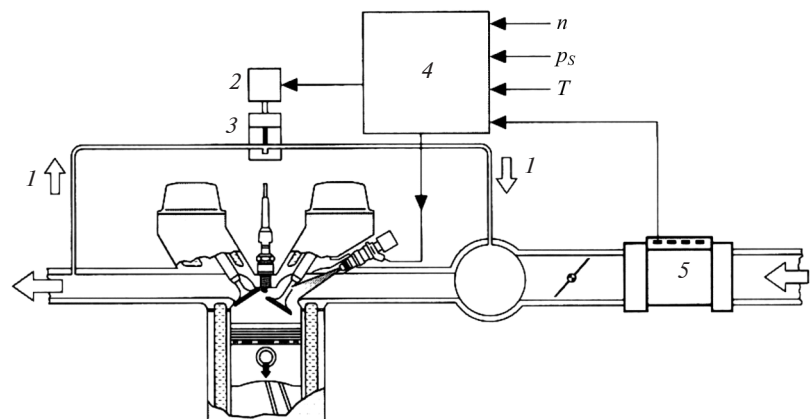


Рис. 9.18. Система рециркуляции отработавших газов:  
 1 – рециркуляция отработавших газов; 2 – электропневматический преобразователь; 3 – клапан EGR; 4 – электронный блок управления; 5 – датчик массового расхода воздуха

Одним из недостатков всех систем EGR является то, что на клапанах и трубопроводах образуются отложения в виде нагара от отработавших газов, что приводит к постепенному снижению эффективности рециркуляции (по мере выработки ресурса ДВС).

#### 9.4. Системы непосредственного впрыска топлива

В системах непосредственного впрыска топливо подается индивидуальными форсунками прямо в камеру сгорания цилиндров двигателя (рис. 9.19). Давление впрыска топлива в таких системах на порядок выше, чем у других систем.

Специфика процесса смесеобразования в системах непосредственного впрыска зависит от формы камеры сгорания, расположения форсунки, закона подачи топлива и от движения находящегося в камере воздуха. Выбор формы камеры сгорания и размещение свечи зажигания осуществляется с учетом требований обеспечения бездетонационной работы двигателя. Одновременно не менее важными являются и компоновочные соображения, так как в контур камеры сгорания должны быть вписаны седла впускных и выпускных клапанов, количество и площадь проходного сечения которых выбирают недостаточными для газообмена в двигателях с впрыском топлива.

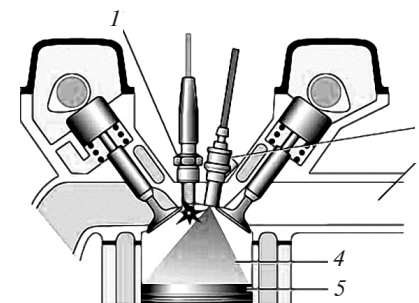


Рис. 9.19. Схема непосредственного впрыска топлива:  
 1 – свеча зажигания; 2 – форсунка; 3 – впускной трубопровод;  
 4 – впрыскиваемое топливо; 5 – поршень

При размещении форсунки во внимание принимается то, что впрыскиваемое топливо не должно выбрасываться во впускной трубопровод. Направление факела топлива в сторону выпускных клапанов дает возможность несколько улучшить их тепловой режим. Вместе с тем и сам распылитель форсунки нуждается в защите от тепловых перегрузок и сажеобразования.

Топливоподача системы DI-Motronic (рис. 9.20) состоит из двух контуров: высокого и низкого давления. В контуре низкого давления имеется модуль насоса низкого давления с электроприводом. Модуль также включает в себя регулятор низкого давления, клапан ограничения давления и запорный клапан.

Контур высокого давления включает насос высокого давления, клапан управления количеством поступающего от насоса топлива, топливную рампу, датчик давления в рампе, клапан ограничения давления в рампе. К топливной рампе подключены форсунки высокого давления.

Подача топлива в системе производится согласованно с циклом работы двигателя, причем из соображений наилучшего смесеобразования топливо впрыскивается в цилиндр либо во время такта впуска, либо в конце такта сжатия. Гомогенное (по всей камере сгорания) распределение рабочей смеси достигается путем впрыска топлива форсункой во время такта впуска, а послойное распределение – в конце такта сжатия, незадолго перед моментом зажигания. Локальное ограниченное послойное распределение смеси в камере сгорания дает возможность эксплуатации двигателя на обедненных смесях, что улучшает топливную экономичность.

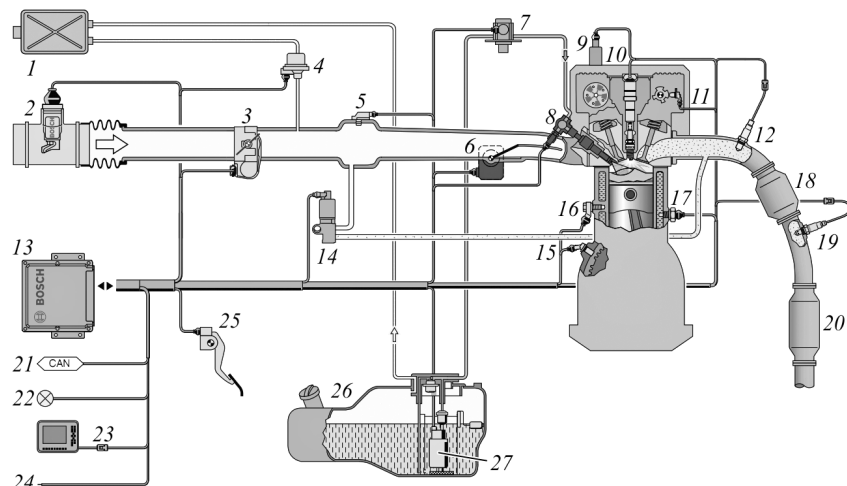


Рис. 9.20. Система DI-Motronic:

1 – сосуд с активированным углем; 2 – измеритель массового расхода воздуха; 3 – дроссельная заслонка EGAS; 4 – продувочный клапан для сосуда с активированным углем; 5 – датчик давления во впускном трубопроводе; 6 – вихревой клапан; 7 – насос высокого давления; 8 – топливная рампа с форсункой; 9 – датчик изменяемых фаз газораспределения; 10 – катушка зажигания со свечой зажигания; 11 – датчик положения распределительного вала; 12 – первый  $\lambda$ -зонд; 13 – ЭБУ; 14 – клапан EGR; 15 – датчик частоты вращения коленчатого вала; 16 – датчик детонации; 17 – датчик температуры охлаждающей жидкости; 18 – первый каталитический нейтрализатор; 19 – второй  $\lambda$ -зонд; 20 – второй каталитический нейтрализатор; 21 – интерфейс CAN; 22 – диагностическая лампочка; 23 – диагностический интерфейс; 24 – интерфейс иммобилайзера; 25 – педаль акселератора EGAS; 26 – топливный бак; 27 – топливный насос с регулятором давления топлива

Послойное распределение смеси устанавливают в диапазоне средних значений частоты вращения коленчатого вала и крутящего момента двигателя. Преимуществом непосредственного впрыска топлива на средней частоте является снижение расхода топлива. К моменту искрообразования в области свечи зажигания образовалась слоистая рабочая смесь, а остальная часть камеры сгорания заполнена воздухом или обедненной рабочей смесью.

В условиях работы двигателя на гомогенной рабочей смеси управление осуществляется за счет заданных параметров наполнения цилиндров и коэффициента избытка воздуха, а масса впрыскиваемого топлива регулируется в соответствии с уже име-

ющимся зарядом свежего воздуха. В условиях послойного распределения заряда управление осуществляется на основе данных о массе впрыскиваемого топлива, зависящей от продолжительности открытия форсунки. При этом двигатель работает с максимально возможным количеством подаваемого воздуха и минимальным количеством топлива. В условиях послойного распределения дроссельная заслонка открыта на больший угол, чем при работе на гомогенной смеси, что снижает потери на впуске.

Система электронного управления дроссельной заслонкой (EGAS) отличается от обычных механических систем тем, что гибкий тросик или рычажный механизм привода дроссельной заслонки заменен на управляемый электронным блоком электродвигатель, который поворачивает заслонку (рис. 9.21). Управление мощностью двигателя осуществляется электронным путем, поэтому массовый расход воздуха во впускном трубопроводе может устанавливаться независимо от положения педали акселератора. Положение этой педали, определяемое датчиком, служит в качестве входного параметра ЭБУ.

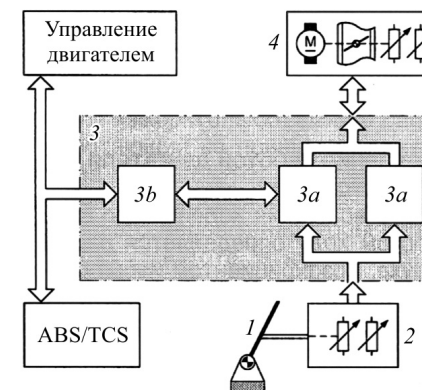


Рис. 9.21. Электронное управление дроссельной заслонкой EGAS:

1 – педаль акселератора; 2 – датчик положения педали; 3 – ЭБУ (3a – микропроцессор; 3b – шина данных), 4 – исполнительное устройство привода дроссельной заслонки

На режиме холостого хода дроссельная заслонка открывается на такой угол, что устанавливается требуемая частота вращения коленчатого вала. Дополнительный канал с клапаном холостого хода при этом не требуется.

Так как система EGAS регулирует положение дросселя электронным способом, она может выполнять и другие функции, связанные с повышением безопасности движения, удобством управления транспортным средством и улучшением характеристик двигателя. К мерам безопасности можно отнести антиблокировочную (ABS) и противобуксовочную (TCS) системы. В этих системах используется принцип программируемого открытия дроссельной заслонки для уменьшения тормозного момента двигателя (при торможении двигателем) или закрытия заслонки для уменьшения крутящего момента двигателя при трогании с места.

Очистка отработавших газов в системе DI-Motronic двухступенчатая. Первая ступень очистки осуществляется первым трехкомпонентным каталитическим нейтрализатором 18 (см. рис. 9.20), вторая – вторым каталитическим нейтрализатором 20, содержащим накопитель  $\text{NO}_x$ . Нейтрализатор 20 накапливает оксиды азота, появляющиеся в относительно большом количестве при работе двигателя на обедненных смесях (с послойным смесеобразованием). По мере накопления оксидов азота в нейтрализаторе система DI-Motronic переходит на режим гомогенной смеси, при котором оксиды азота нейтрализуются. Для контроля работы на обедненных смесях используют специальный широкополосный  $\lambda$ -зонд 19.

При непосредственном впрыске обеспечивается наиболее точное распределение топлива по цилиндрам двигателя и наименьшая токсичность отработавших газов. Применение таких систем повышает приемистость двигателя вследствие снижения отставания потока топлива от потока воздуха и облегчает пуск двигателя благодаря более точному дозированию топлива на пусковых режимах. Недостатком систем непосредственного впрыска топлива является сокращение времени на смесеобразование, что влечет за собой повышение жесткости и шумности работы двигателя.

### Контрольные вопросы и задания

1. Приведите классификацию систем впрыска топлива бензиновых двигателей.
2. Объясните назначение датчика положения дроссельной заслонки.

3. Опишите принцип работы  $\lambda$ -зонда.
4. Какие управляющие параметры использует система распределенного впрыска топлива?
5. Опишите принцип работы термоанемометрического датчика расхода воздуха.
6. Для чего нужна система рециркуляции отработавших газов?
7. Что дает послойное распределение смеси при непосредственном впрыске топлива?
8. Что представляет собой система EGAS?

РИПО

## 10. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДИЗЕЛЬНЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ

### 10.1. История развития и классификация систем управления дизельными двигателями

Эффективность управления дизельным двигателем в значительной степени определяется наличием в системе электронно-управляемой топливной системы, основное назначение которой заключается в обеспечении оптимизации рабочего процесса дизеля.

Первые топливные насосы высокого давления (ТНВД) с электронным регулированием появились в 1986 г. Это были распределительные ТНВД с аксиальным движением плунжера, разработанные фирмой BOSCH. Через 10 лет фирма выпустила электронно-управляемые насосы с радиальным движением плунжера. Системы питания типа насос-форсунка появились в США в 1938 г. (Detroit Diesel). Однако дизели с электронным управлением насосами-форсунками впервые были установлены на грузовых автомобилях в 1994 г. (Volvo), на легковых – в 1998 г. (Volkswagen). Аккумуляторные системы Common Rail начали распространение в 1997 г.

Задача системы питания для дизелей состоит в том, чтобы подавать топливо под высоким давлением в камеру сгорания в нужном количестве и в нужный момент. Впрыск топлива в камеру сгорания в любой системе питания осуществляется форсункой. Основное различие между системами состоит в механизме создания высокого давления. Электронное управление впрыском топлива реализовано во всех системах питания.

Системы питания дизельных двигателей подразделяют на системы непосредственного действия и аккумуляторные. Системы непосредственного действия в свою очередь делят на насосные (с рядным, распределительным или индивидуальным ТНВД) и насосы-форсунки. Рядные ТНВД комплектуют плунжерными

парами, количество которых равно числу цилиндров. Цикловая подача насоса изменяется путем поворота плунжеров с помощью рейки с электроприводом.

Распределительные ТНВД оснащают одним плунжером на несколько цилиндров. В аксиальных насосах величина цикловой подачи определяется либо перемещением регулирующей втулки, управляемой электронным исполнительным механизмом, либо с помощью электромагнитного клапана высокого давления. В распределительных насосах с радиальным движением плунжеров (роторных насосов) регулирование осуществляется электромагнитным клапаном.

Индивидуальный ТНВД (рис. 10.1, *а*) отличается от рядного тем, что плунжеры не имеют общего корпуса. Начало и продолжительность впрыска форсункой регулируют с помощью электромагнитного клапана высокого давления.

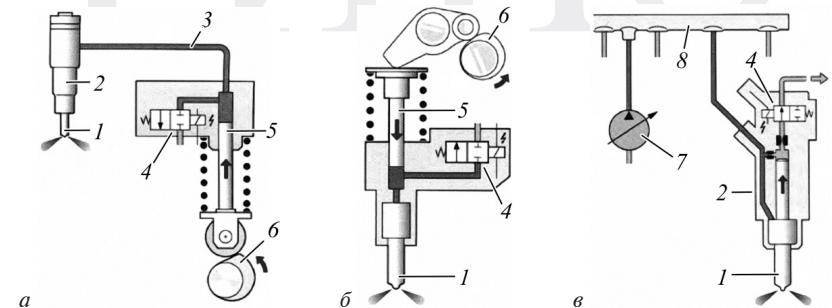


Рис. 10.1. Системы впрыска топлива дизелей:

*а* – индивидуальный ТНВД; *б* – насос-форсунка; *в* – Common Rail;  
1 – распылитель форсунки; 2 – форсунка; 3 – топливопровод высокого давления; 4 – электромагнитный клапан высокого давления; 5 – плунжер;  
6 – кулачок привода ТНВД; 7 – автономный ТНВД; 8 – аккумулятор давления

В насосе-форсунке ТНВД и форсунка объединены в единый агрегат (рис. 10.1, *б*). Насос-форсунка устанавливается на каждый цилиндр двигателя и приводится в действие от кулачка распределительного вала непосредственно толкателем или через коромысло. Впрыск регулируется электромагнитным клапаном высокого давления.

В аккумуляторной системе (общепринятое название Common Rail) (рис. 10.1, *в*) функции создания высокого давления и впрыска разделены. Давление впрыска создается и регулируется авто-

номным ТНВД независимо от частоты вращения коленчатого вала и величины цикловой подачи. Оно поддерживается в топливном аккумуляторе давления для последующего впрыска форсункой. Момент впрыска и цикловая подача регулируются ЭБУ и управляются электромагнитным клапаном высокого давления.

## 10.2. Топливные насосы высокого давления с электронным управлением

К системе питания дизелей относят топливо- и воздухоподводящую аппаратуру, выпускной трубопровод и глушитель шума отработавших газов. В четырехтактных дизелях широкое распространение получила топливоподводящая аппаратура насосного типа, у которой топливный насос высокого давления и форсунки конструктивно выполнены отдельно и соединены топливопроводами высокого давления. Топливоподача осуществляется по двум основным магистралям: низкого и высокого давления. Назначение механизмов и узлов магистрали низкого давления состоит в хранении топлива, его фильтрации и подачи под малым давлением к насосу высокого давления. Механизмы и узлы магистрали высокого давления обеспечивают подачу и впрыскивание необходимого количества топлива в цилиндры двигателя.

Электронное управление ТНВД позволяет на всех режимах работы дизеля гибко изменять скоростную характеристику регулятора топливного насоса, величину подачи и угла опережения впрыска топлива. В итоге снижаются вредные выбросы, шумность, расход топлива, улучшается пуск дизеля.

Общий вид рядного ТНВД с электронным управлением показан на рисунке 10.2.

Как и в обычном рядном ТНВД, оснащенный механическим регулятором, количество впрыскиваемого топлива является функцией положения управляющей рейки подачи топлива и частоты вращения вала привода ТНВД. Управление рейкой осуществляется с помощью специального электромагнитного регулятора количества топлива, присоединенного непосредственно к ТНВД. Электромагнитный регулятор состоит из катушки и сердечника, воздействующего на рейку ТНВД. Положение рейки насоса определяется индуктивным датчиком положения рейки, закрепленным на ней. В зависимости

от сигналов входных датчиков температуры двигателя, частоты вращения вала насоса, положения педали акселератора и других датчиков в катушку электромагнитного регулятора от ЭБУ поступает ток возбуждения различной величины. При этом сердечник регулятора, втягиваясь под воздействием магнитного поля, воздействует на рейку насоса, преодолевая усилие пружины и изменяя количество впрыскиваемого топлива. С увеличением силы тока, поступающего от ЭБУ, сердечник, втягиваясь на большую величину и воздействуя на рейку, увеличивает подачу топлива. При отключении соленоида пружина прижимает рейку в положение остановки двигателя и прекращает подачу топлива.

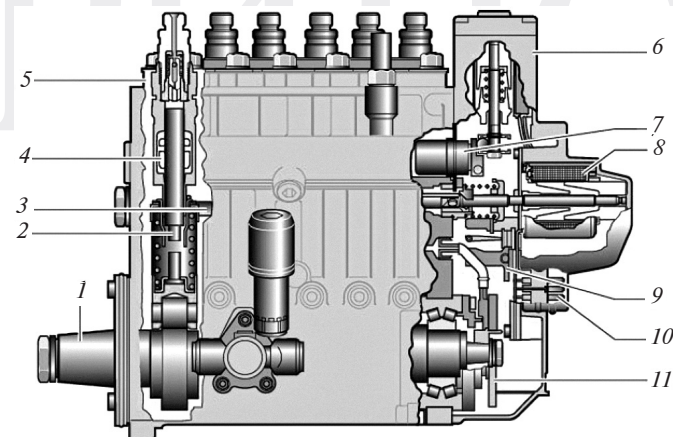


Рис. 10.2. Рядный ТНВД с электронным управлением:  
1 – кулачковый вал; 2 – плунжер; 3 – рейка подачи топлива;  
4 – втулка управления; 5 – гильза; 6 – электромагнитный клапан начала подачи топлива; 7 – вал управления регулирующей втулкой;  
8 – электромагнитный регулятор количества топлива; 9 – индуктивный датчик положения рейки; 10 – вилочное соединение; 11 – зубчатый диск

На кулачковом валу ТНВД устанавливается зубчатый диск, который при вращении подает импульсы на индуктивный измерительный преобразователь. Электронный блок управления использует импульсные интервалы для вычисления частоты вращения коленчатого вала двигателя.

Датчик положения рейки подает сигналы для различных устройств на двигателе и автомобиле: сигнал для измерения рас-

хода топлива, сигнал для запуска рециркуляции отработавших газов, сигнал о моменте переключения передач для гидравлической коробки передач, сигнал диагностики и т. д.

Схема роторного ТНВД представлена на рисунке 10.3. Насосная секция ТНВД с радиальным движением плунжеров создает требуемое для впрыскивания топлива давление.

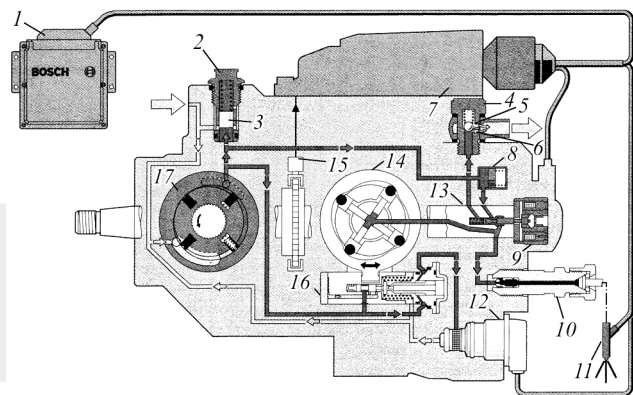


Рис. 10.3. Схема роторного ТНВД с электронным управлением:

- 1 – ЭБУ; 2 – клапан регулирования давления; 3 – поршень клапана регулирования давления; 4 – клапан дросселирования перепуска; 5 – отводной канал; 6 – дроссель; 7 – блок управления ТНВД; 8 – поршневой демпфер; 9 – электромагнитный клапан управления подачей; 10 – нагнетательный клапан; 11 – форсунка; 12 – электромагнитный клапан установки момента начала впрыска; 13 – ротор-распределитель; 14 – насосная секция; 15 – датчик угла поворота приводного вала ТНВД; 16 – устройство опережения впрыска; 17 – топливоподкачивающий насос

Для дозирования цикловой подачи в контур высокого давления ТНВД встроены электромагнитный клапан. К электромагнитному клапану по сигналу блока управления ТНВД подается напряжение, и топливо поступает только в выпускной канал высокого давления, соединенный с нагнетательным клапаном, где давление резко повышается, а от него – к форсунке. Дозирование подачи топлива определяется интервалом между моментом начала подачи и моментом открытия электромагнитного клапана и называется продолжительностью подачи. Продолжительность закрытия электромагнитного клапана, определяемая блоком управления, регулирует таким образом величину цикловой подачи топлива. После

окончания впрыска электромагнитный клапан обесточивается, при этом электромагнитный клапан высокого давления открывается, и давление в контуре снижается, прекращая подачу топлива к форсунке.

Наиболее благоприятно процесс сгорания, равно как и лучшая отдача дизеля по мощности, протекает только в том случае, когда момент начала сгорания соответствует определенному положению коленчатого вала или поршня в цилиндре. Задачей устройства опережения впрыска является увеличение угла начала подачи топлива при повышении частоты вращения коленчатого вала. Это устройство, состоящее из датчика угла поворота приводного вала ТНВД, блока управления и электромагнитного клапана установки момента начала впрыска, обеспечивает оптимальный момент начала впрыскивания соответственно условиям эксплуатации двигателя. Данный момент компенсирует временной сдвиг, определяемый сокращением периода впрыскивания и воспламенения при увеличении частоты вращения.

Особенностью системы управления дизельным двигателем (рис. 10.4), в котором система питания содержит роторный ТНВД с электронным управлением, является объединение блока управления ТНВД 4 в единую структуру с ЭБУ 8 и другими системами двигателя.

Система управления двигателем состоит из четырех элементов:

- контура низкого давления топлива с топливным баком, фильтром тонкой очистки топлива и топливоподкачивающим насосом;
- контура высокого давления с ТНВД, форсунками и другими компонентами системы впрыска;
- контура электронного регулирования работы дизеля с блоками датчиков, блоков управления и исполнительными механизмами;
- систем управления подачей воздуха, нейтрализации и рециркуляции отработавших газов.

Благодаря использованию бортового контроллера связи CAN также происходит обмен данными с другими системами и агрегатами: стартером, генератором, системой управления автоматической коробкой передач, противобуксовочной системой, системой стабилизации.

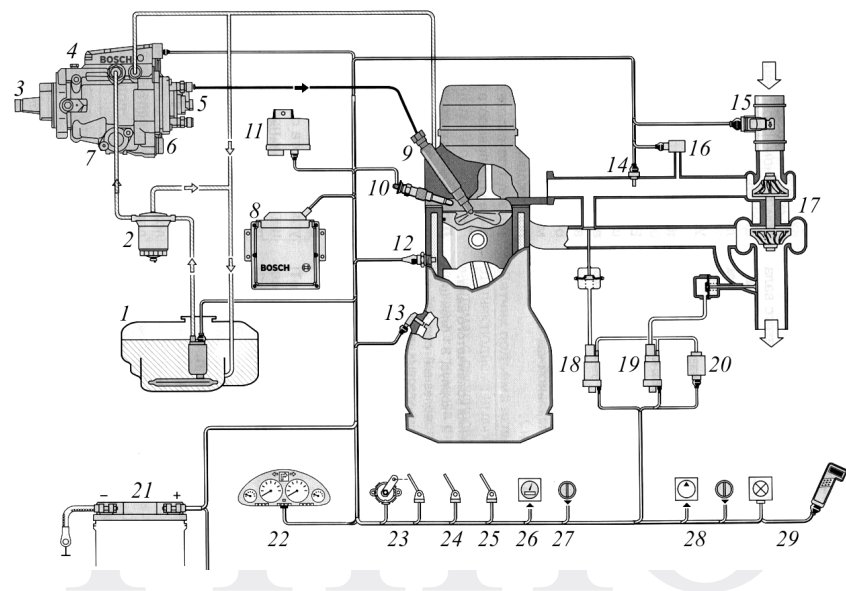


Рис. 10.4. Система управления дизельным двигателем с роторным ТНВД:  
 1 – топливный бак; 2 – фильтр тонкой очистки топлива; 3 – ТНВД;  
 4 – блок управления ТНВД; 5 – электромагнитный клапан управления подачей топлива; 6 – электромагнитный клапан угла опережения впрыска; 7 – автомат опережения впрыска; 8 – ЭБУ; 9 – форсунка с датчиком подъема иглы; 10 – свеча предпускового подогрева с закрытым нагревательным элементом; 11 – блок управления свечей накаливания; 12 – датчик температуры охлаждающей жидкости; 13 – датчик частоты вращения коленчатого вала; 14 – датчик температуры воздуха на впуске; 15 – массовый расходомер воздуха; 16 – датчик давления наддува; 17 – турбокомпрессор; 18 – привод клапана системы рециркуляции отработавших газов; 19 – привод клапана регулирования давления наддува; 20 – вакуумный насос; 21 – аккумуляторная батарея; 22 – приборная панель; 23 – датчик положения педали акселератора; 24 – концевой выключатель на педали сцепления; 25 – контакты стоп-сигнала; 26 – датчик скорости автомобиля; 27 – блок управления круиз-контролем; 28 – компрессор кондиционера; 29 – диагностический дисплей с выводами для диагностического тестера

### 10.3. Электронная система управления насосами-форсунками

В системах управления дизельными двигателями с насосами-форсунками используют принцип дозирования топлива с помощью встроенных в насосы-форсунки электромагнитных клапанов

управления подачи. Момент подачи пускового сигнала на электромагнитный клапан, т. е. момент его закрытия, означает начало подачи топлива. Продолжительность периода времени подачи пускового сигнала определяет величину цикловой подачи. Момент и продолжительность пускового сигнала определяются ЭБУ в соответствии с программируемыми матрицами характеристик, учитывающими режим работы двигателя и условия окружающей среды.

Среди прочих данных, поступающих в ЭБУ, регистрируются частота вращения коленчатого и распределительного валов, положение педали акселератора, давление и температура воздуха на впуске, температура охлаждающей жидкости и топлива, скорость движения автомобиля и др. Эти данные регистрируются датчиками и обрабатываются в ЭБУ. Используя полученную информацию, ЭБУ управляет двигателем так, как это необходимо для достижения оптимальных характеристик работы транспортного средства.

Системы питания дизельных двигателей с насосами-форсунками состоят из трех подсистем:

- подачи топлива низкого давления, необходимой для подачи топлива к насосу высокого давления и очистки топлива;
- подачи топлива высокого давления, которая служит для создания высокого давления впрыска топлива в камеру сгорания;
- подачи воздуха и выпуска отработавших газов, включающей в себя приборы для очистки воздуха, поступающего в цилиндры двигателя, и очистки отработавших газов после выпуска их из цилиндров.

Основные компоненты системы управления дизельным двигателем с насосами-форсунками показаны на рисунке 10.5.

Топливо из бака через фильтр тонкой очистки топлива подается топливоподкачивающим насосом к насосам-форсункам, которые впрыскивают топливо в камеру сгорания. Обратный клапан в насосе предотвращает слив топлива из трубопровода низкого давления в бак после остановки двигателя. Из-за высокого давления впрыска топливо нагревается, поэтому его излишки, возвращающиеся от насосов-форсунок в бак через ограничитель давления, проходят через охладитель, отдавая тепло в контуре охлаждения. Ограничитель давления удерживает давление топлива в сливном трубопроводе на заданном уровне, что снижает пульсации давления в топливной системе. Датчик температуры

топлива вырабатывает сигнал, поступающий в блок управления двигателем.

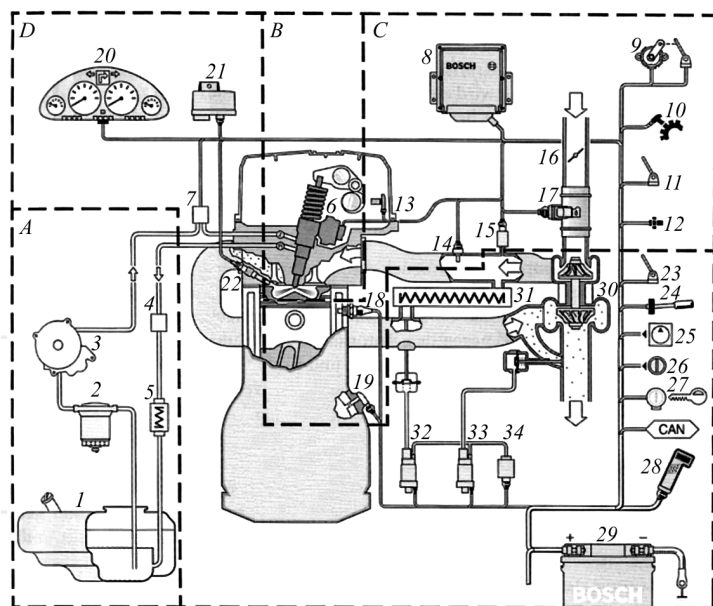


Рис. 10.5. Система управления дизельным двигателем с насосами-форсунками: *A* – подсистема подачи топлива низкого давления; *B* – подсистема подачи топлива высокого давления; *C* – система электронного управления дизелем; *D* – периферийное оборудование; 1 – топливный бак; 2 – фильтр тонкой очистки топлива; 3 – топливонасос с обратным клапаном; 4 – ограничитель давления; 5 – охладитель топлива; 6 – насос-форсунка; 7 – датчик температуры топлива; 8 – ЭБУ; 9 – датчик положения педали акселератора; 10 – датчик скорости движения автомобиля; 11 – контакты стоп-сигнала; 12 – датчик температуры воздуха; 13 – датчик частоты вращения распределительного вала; 14 – датчик температуры воздуха на впуске; 15 – датчик давления наддува; 16 – дроссельная заслонка; 17 – датчик расхода воздуха; 18 – датчик температуры охлаждающей жидкости; 19 – датчик частоты вращения коленчатого вала; 20 – приборная панель; 21 – блок управления свечами накаливания; 22 – свеча накаливания; 23 – концевой выключатель на педали сцепления; 24 – переключатель системы круиз-контроля; 25 – компрессор кондиционера; 26 – блок управления компрессором кондиционера; 27 – выключатель стартера и свечей накаливания (замок зажигания); 28 – диагностический тестер; 29 – аккумуляторная батарея; 30 – турбокомпрессор; 31 – охладитель в системе рециркуляции отработавших газов; 32 – исполнительное устройство клапана рециркуляции отработавших газов; 33 – исполнительное устройство клапана регулирования давления наддува; 34 – вакуумный насос

Насос-форсунка с электромагнитным управлением представляет собой одноцилиндровый насос высокого давления, индивидуальный для каждого цилиндра двигателя (рис. 10.6).

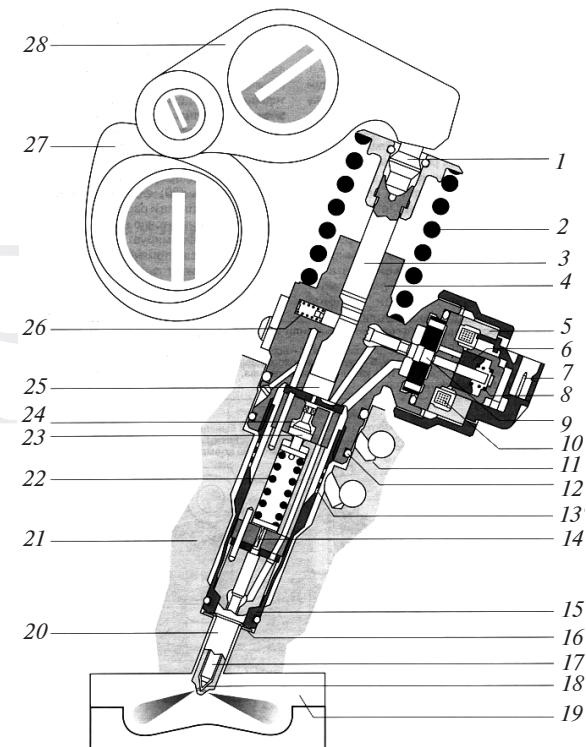


Рис. 10.6. Насос-форсунка:

1 – упор сферический; 2 – пружина возвратная; 3 – плунжер насоса; 4 – корпус; 5 – сердечник электромагнита; 6 – якорь электромагнита; 7 – штекер для подачи управляющего сигнала; 8 – пружина выравнивающая; 9 – игла соленоидного клапана; 10 – катушка электромагнита; 11 – канал обратного слива топлива; 12 – уплотнение; 13 – отверстия-фильтры подвода топлива; 14 – гидроупор; 15 – гайка распылителя; 16 – шайба уплотнительная; 17 – игла распылителя; 18 – седло иглы; 19 – камера сгорания; 20 – распылитель; 21 – головка блока; 22 – пружина распылителя; 23 – уравнивающий поршень; 24 – полость аккумуляирования топлива; 25 – полость высокого давления; 26 – пружина электромагнитного клапана; 27 – вал привода насоса-форсунки; 28 – коромысло

Внутри корпуса насоса-форсунки имеется цилиндрическая полость высокого давления. Электромагнитный клапан монти-

руют как одно целое с насосом-форсункой. Быстродействующий электромагнитный клапан в соответствии с параметрами, определяемыми блоком управления, обеспечивает регулирование момента начала впрыска топлива и продолжительность впрыска. В отключенном положении электромагнитный клапан открыт и обеспечивает полное прохождение топлива от топливopодкачивающего насоса к пространству под плунжером насоса-форсунки. Во время хода плунжера электромагнитный клапан перекрывает подачу топлива, герметизируя плунжерную пару, и при ходе плунжера вниз происходит впрыск топлива через распылитель форсунки в камеру сгорания.

Использование насоса-форсунки исключает применение топливopоводов высокого давления, благодаря чему снижаются потери давления при подаче топлива из-за периодических расширений топливopоводов в начале подачи и разгрузке в конце подачи. Электронные трехмерные параметрические характеристики в комбинации с высоким давлением впрыска приводят к снижению потребления топлива при одновременном снижении выброса токсичных веществ.

Используя управление электромагнитным клапаном, можно реализовать двухфазный впрыск топлива с предварительным и основным впрысками. Двухфазный впрыск топлива служит для снижения шума сгорания и эмиссии вредных веществ. Цикл работы насоса-форсунки при двухфазном впрыске можно разделить на четыре рабочие стадии: исходное положение, начало предварительного впрыска, конец предварительного впрыска и начало основного впрыска топлива (рис. 10.7).

В исходном положении *a* игла распылителя форсунки и плунжер аккумулятора *3* находятся в своих седлах. В начале движения плунжера *1* электромагнитный клапан открыт и давление топлива повышаться не может. Как только электромагнитный клапан закрывается, начинается повышение давления. Игла распылителя поднимается с седла, после чего начинается предварительный впрыск топлива *b*. Дальнейшее повышение давления приводит к подъему со своего седла плунжера аккумулятора, в результате чего осуществляется соединение между камерами высокого и низкого давления. Это приводит к падению давления и опусканию иглы распылителя, что означает конец предварительного впрыска *c*.

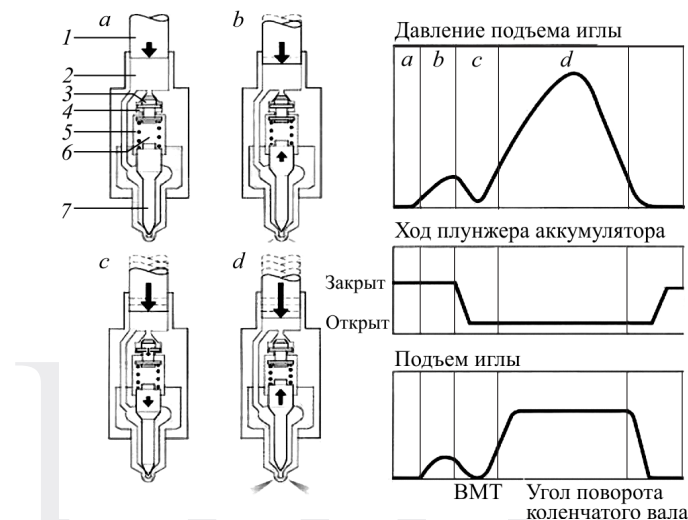


Рис. 10.7. Работа насоса-форсунки при двухфазном впрыске топлива:  
*a* – исходное положение; *b* – начало предварительного впрыска;  
*c* – конец предварительного впрыска; *d* – начало основного впрыска;  
 1 – плунжер насоса-форсунки; 2, 4 – камеры высокого и низкого давления; 3 – плунжер аккумулятора топлива; 5 – возвратная пружина; 6 – полость пружины; 7 – игла распылителя форсунки

Дальнейший ход плунжера приводит к продолжению повышения давления в камере высокого давления. Фаза основного впрыска *d* начинается, как только давление достигнет величины, соответствующей максимальному подъему иглы. Открытие электромагнитного клапана означает окончание фазы основного впрыска. Игла распылителя форсунки и плунжер аккумулятора возвращаются в свое исходное положение.

Насос-форсунка, в которой электромагнитный клапан заменен клапаном с пьезоэлектрическим управлением (пьезофорсунка), является более совершенным устройством, обеспечивающим впрыск топлива. Основное преимущество пьезофорсунки – быстродействие: она срабатывает примерно в 4 раза быстрее форсунки, управляемой электромагнитным клапаном. Это позволяет подавать в цилиндр больше топлива за время впрыска, точнее дозировать порцию топлива, а также использовать преимущества многократного впрыска.

Управление пьезофорсунками осуществляется посредством пьезоэлемента (пьезокристалла), который способен деформиро-

ваться, т. е. изменять линейные размеры под воздействием электрических импульсов. При подаче блоком управления электрического сигнала на форсунку длина пьезоэлемента изменяется и пьезокристалл воздействует на игольчатый клапан, закрывая его. Давление топлива под плунжером возрастает, в результате поднимается игла распылителя и осуществляется впрыск топлива в камеру сгорания.

Недостатки насосов-форсунок: высокая требовательность к качеству топлива, высокая стоимость, разрушение посадочных гнезд в головке цилиндров двигателя.

Основная причина ухудшения мощностных показателей двигателей с насосами-форсунками – износ клапанов управления подачи топлива, следствием чего является увеличение хода клапана и резкое снижение гидравлической плотности всей системы управления. К распространенным неисправностям насосов-форсунок относят износ распылителей. Причина выхода из строя клапанов и распылителей связана в первую очередь с плохим качеством топлива и неправильной эксплуатацией транспортного средства.

#### **10.4. Электронная система управления Common Rail**

Главной отличительной особенностью аккумуляторных топливных систем (Common Rail) с электронным управлением является разделение узла, создающего давление (ТНВД), и узла впрыска (форсунки) накопительным узлом (аккумулятором). Основу системы составляет резервуар – аккумулятор высокого давления. Давление впрыска не зависит от количества впрыскиваемого топлива и частоты вращения коленчатого вала двигателя. Запас топлива под давлением находится в аккумуляторе и готов к впрыску.

Количество впрыскиваемого топлива определяется по требованию водителя (положению педали акселератора), а давление впрыска рассчитывается электронным блоком управления на основании информации от различных датчиков. В точно установленный момент ЭБУ передает управляющий сигнал к электромагнитному клапану форсунки, означающий начало подачи топлива. Количество впрыскиваемого топлива определяется периодом открытия распылителя и давлением в системе.

На основании информации от датчиков и требования водителя ЭБУ определяет мгновенную операционную характеристику двигателя и автомобиля в целом. Блок обрабатывает сигналы, выработанные датчиками и переданные по линиям связи, и на основании этой информации управляет системой впрыска.

Измеритель расхода воздуха передает ЭБУ сигнал с данными относительно мгновенного потока воздуха, что позволяет рассчитать процесс полного сгорания топлива с минимальным содержанием вредных веществ в отработавших газах. Если двигатель оборудован турбокомпрессором и регулировкой увеличения давления наддува, дополнительный датчик также измеряет это давление. При низкой наружной температуре и «холодном» двигателе ЭБУ определяет момент впрыска и другие параметры, соответствующие особому эксплуатационному режиму. В зависимости от транспортного средства и повышения требований к безопасности и комфорту для передачи информации ЭБУ может использовать дополнительные датчики. Система CAN обеспечивает обмен данными с другими системами транспортного средства. При диагностической проверке можно извлечь данные, находящиеся в памяти данных системы.

Топливная система Common Rail (рис. 10.8) состоит из подсистемы подачи топлива под низким давлением, подсистемы подачи топлива под высоким давлением и подсистемы электронного управления.

Подсистема подачи топлива под низким давлением включает топливный бак с фильтром-топливозаборником и подкачивающим насосом, фильтр тонкой очистки топлива и топливопроводы низкого давления. Электрический подкачивающий топливный насос с фильтром-топливозаборником непрерывно подает определенное количество топлива из топливного бака к топливному насосу высокого давления. Насос не только подает топливо, но в пределах работы системы безопасности прекращает подачу топлива в случае аварии, т. е. при включенном зажигании и остановленном двигателе.

В подсистему подачи топлива под высоким давлением входят топливный насос высокого давления, топливопроводы высокого давления, аккумулятор с датчиком давления, регулятором давления, ограничителем потока, форсунками и возвратный топливопровод. Топливный насос высокого давления через топливопроводы подает топливо в аккумулятор топлива высокого давления.

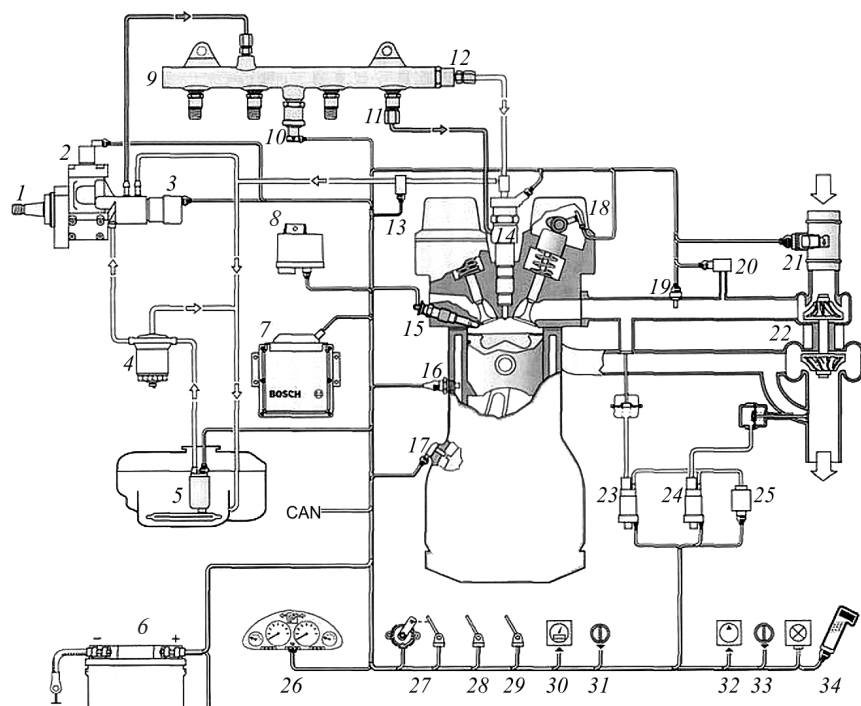


Рис. 10.8. Система управления впрыском топлива Common Rail:

1 – ТНВД; 2 – электромагнитный клапан выключения подачи; 3 – редукционный клапан ТНВД; 4 – фильтр тонкой очистки топлива; 5 – топливный бак с фильтром-топливозаборником и подкачивающим насосом; 6 – аккумуляторная батарея; 7 – ЭБУ; 8 – блок управления свечами накаливания; 9 – аккумулятор топлива высокого давления; 10 – датчик давления топлива в аккумуляторе; 11 – ограничитель потока; 12 – регулятор давления; 13 – датчик температуры топлива; 14 – форсунка; 15 – свеча накаливания с закрытым нагревательным элементом; 16 – датчик температуры охлаждающей жидкости; 17 – датчик частоты вращения коленчатого вала; 18 – датчик частоты вращения распределительного вала; 19 – датчик температуры воздуха на впуске; 20 – датчик давления наддува; 21 – массовый расходомер воздуха; 22 – турбокомпрессор; 23 – привод клапана системы рециркуляции отработавших газов; 24 – привод клапана перепуска отработавших газов; 25 – вакуумный насос; 26 – панель приборов; 27 – датчик положения педали акселератора; 28 – датчик положения педали тормоза; 29 – концевой выключатель на педали сцепления; 30 – датчик скорости автомобиля; 31 – электронный блок управления системы круиз-контроля; 32 – компрессор кондиционера; 33 – блок управления компрессором кондиционера; 34 – дисплей системы диагностики с диагностическим разъемом

Топливный насос высокого давления расположен на границе ступеней низкого и высокого давления топлива. При всех эксплуатационных режимах срок службы топливного насоса соответствует сроку службы транспортного средства. Топливный насос смазывают дизельным топливом. Топливо сжимается тремя поршнями, установленными радиально под углом  $120^\circ$  друг к другу (рис. 10.9). Насос подает три порции топлива за один оборот коленчатого вала.

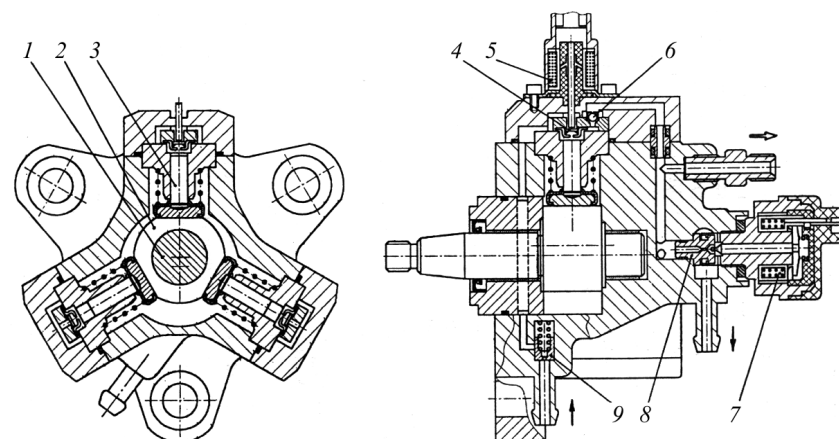


Рис. 10.9. Радиально-плунжерный ТНВД:

1 – приводной вал; 2 – эксцентриковый кулачок; 3 – плунжер; 4 – впускной клапан; 5 – электромагнит впускного клапана; 6 – выпускной клапан; 7 – электромагнит регулятора давления; 8 – седло клапана регулятора; 9 – противодренажный клапан

Приводной вал с эксцентриковыми кулачками перемещает три плунжера вверх и вниз в соответствии с формой кулачка. Подкачивающий насос подает топливо через впускной клапан в отсек насосного элемента при движении поршня вниз (такт впуска).

Впускной клапан закрывается, когда поршень насоса проходит через нижнюю мертвую точку (НМТ). Увеличивающееся давление топлива открывает выпускной клапан и, как только достигается давление, равное давлению в аккумуляторе, топливо входит в контур высокого давления. Поршень насоса продолжает поставлять топливо, пока не достигает ВМТ (такт нагнетания),

после чего давление уменьшается и выпускной клапан закрывается. Поршень насоса под действием пружины перемещается вниз. Как только давление в отсеке насосного элемента становится ниже давления, создаваемого подкачивающим насосом, выпускной клапан открывается и процесс повторяется.

Давление, создаваемое ТНВД, распространяется через аккумулятор 9 (см. рис. 10.8) и топливопроводы к форсунке 14. Одновременно за счет объема топлива в аккумуляторе уменьшаются колебания давления топлива, создаваемые топливным насосом высокого давления и открывающимися форсунками. Сжимаемость топлива как следствие высокого давления используют для достижения эффекта аккумулятора. Давление топлива измеряется датчиком 10 и поддерживается на требуемом уровне клапаном регулятора давления 12. Так как производительность насоса превышает потребление топлива двигателем, избыточное топливо под высоким давлением через клапан регулятора давления возвращается в топливный бак.

Топливо в форсунку подается через входной штуцер высокого давления и далее в канал и камеру гидроуправления через «питающий» жиклер 7 (рис. 10.10, а). Камера гидроуправления соединяется с линией возврата топлива через жиклер камеры гидроуправления, который открывается электромагнитным клапаном. При закрытом жиклере силы гидравлического давления, приложенные к управляющему плунжеру, превосходят силы давления, приложенные к заплечику иглы форсунки. В результате игла садится на седло и закрывает проход топлива под высоким давлением в камеру сгорания. При подаче пускового сигнала на электромагнитный клапан жиклер открывается, давление в камере гидроуправления падает, и в результате сила гидравлического давления на управляющий плунжер также уменьшается. Поскольку сила гидравлического давления на управляющий плунжер оказывается меньше силы, действующей на заплечик иглы форсунки, последняя открывается, и топливо через сопловые отверстия впрыскивается в камеру сгорания.

Такое косвенное управление иглой форсунки, использующее систему мультипликатора, позволяет обеспечить более быстрый подъем иглы, чем при прямом воздействии электромагнитного клапана.

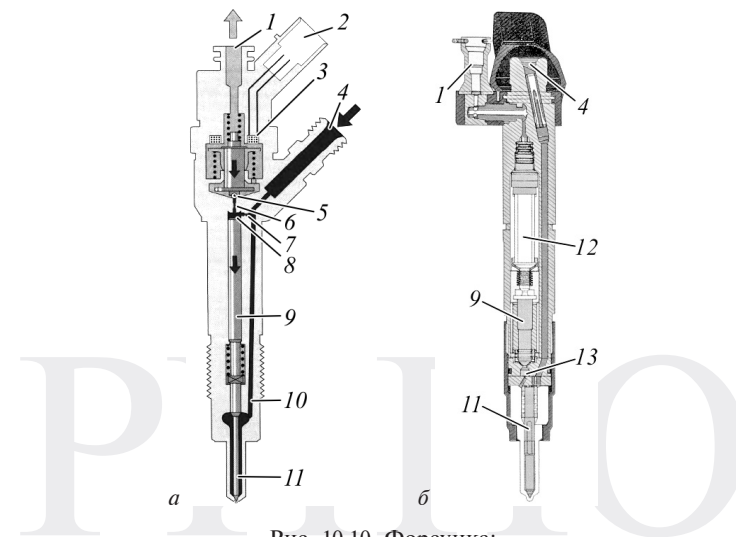


Рис. 10.10. Форсунка:

- а – с электромагнитным клапаном; б – с пьезоэлементом; 1 – возврат топлива; 2 – электрические выводы; 3 – электромагнитный клапан; 4 – вход топлива из аккумулятора; 5 – шариковый клапан; 6 – жиклер камеры гидроуправления; 7 – «питающий» жиклер; 8 – камера гидроуправления; 9 – управляющий плунжер; 10 – канал к распылителю; 11 – игла форсунки; 12 – пьезоэлектрический элемент; 13 – управляющий клапан

Одним из путей совершенствования системы Common Rail является повышение быстродействия открытия форсунки. Минимальное время открытия форсунки для электромагнита с подвижным сердечником составляет 0,5 мс, что не позволяет оперативно изменять подачу топлива. В настоящее время для ускорения срабатывания форсунки применяют пьезокерамическую форсунку, которая работает вчетверо быстрее.

Основными составляющими форсунки являются модуль исполнительного элемента, состоящего из пьезоэлектрического элемента и его составляющих, управляющего плунжера, управляющего клапана и иглы распылителя (рис. 10.10, б). Для окончательной очистки топлива применяют специальный стержневой фильтр. Поскольку для срабатывания пьезоэлемента форсунки требуется управляющее напряжения 110–150 В, в состав электронного блока управления двигателем входит высоковольтный блок питания с преобразователем напряжения, создающий напряжение до 200 В.

Топливо под давлением протекает через впускной дроссель к игле форсунки и в камеру над иглой форсунки. Благодаря этому происходит выравнивание давления над и под иглой форсунки. Игла форсунки удерживается в закрытом положении силой пружины форсунки. При подаче управляющего напряжения пьезоэлемент удлиняется и нажимает на плунжер. Плунжер перемещается и нажимает на клапан 13, который открывает канал выпускного дросселя. Топливо под давлением вытекает через выпускной дроссель и поднимает иглу форсунки, в результате происходит впрыск в камеру сгорания.

Поскольку пьезофорсунки имеют намного меньшее время срабатывания, чем традиционные электромагнитные, стало возможным разделение горючей смеси на несколько отдельных микродоз (до семи за один рабочий процесс). После многократных предварительных впрысков следуют основной впрыск, а при необходимости и несколько дополнительных впрысков. Несколько предварительных впрысков производится для равномерного распределения давления в камере сгорания и соответственно для уменьшения шума, создаваемого в процессе сгорания. В свою очередь дополнительные впрыски служат для снижения токсичности отработавших газов. Кроме того, если в выпускной системе установлен фильтр для улавливания несгоревших частиц, такая технология за счет высокой температуры способствует его очистке, что особенно актуально для двигателей с большим рабочим объемом.

На дизелях с каталитическими нейтрализаторами  $\text{NO}_x$  дополнительный впрыск топлива способствует догоранию  $\text{NO}_x$ . Этот впрыск топлива производится после ВМТ в течение рабочего хода и такта выпуска. Дополнительный впрыск топлива обеспечивает подачу определенного количества топлива в отработавшие газы. В отличие от предварительного и основного впрысков при дополнительном впрыске топливо не воспламеняется, а в виде пара забирает остаточное тепло из отработавших газов. В течение такта выпуска смесь отработавших газов и топлива через выпускные клапаны попадает в систему выпуска отработавших газов. Часть топлива через систему рециркуляции отработавших газов EGR возвращается в цилиндры для догорания и приводит к тому же эффекту, что и предварительный впрыск топлива. Каталитические нейтрализаторы  $\text{NO}_x$  используют топливо в отработавших

газах как исполнительное устройство для уменьшения содержания  $\text{NO}_x$  в отработавших газах.

### Контрольные вопросы и задания

1. Приведите классификацию систем питания дизельных двигателей.
2. Как работает электромагнитный регулятор подачи топлива в рядном ТНВД?
3. Опишите подсистемы системы питания дизельных двигателей с насосами-форсунками.
4. Расскажите о работе насоса-форсунки.
5. Из каких подсистем состоит система управления впрыском топлива Common Rail?
6. Как устроена пьезофорсунка?

# 11. СИСТЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ И СИГНАЛИЗАЦИИ

## 11.1. Внешнее освещение

Системы освещения и сигнализации определяют безопасность дорожного движения, особенно в темное время суток. На автомобилях устанавливают различные по назначению, конструкции, электрическим и световым характеристикам световые приборы. Их подразделяют на внешние (фары и фонари) и внутренние (освещение салона и приборной панели, контрольные лампы).

К внешним световым приборам транспортных средств относят фары дальнего и ближнего света; передние и задние габаритные фонари; фонари заднего хода; указатели поворота; аварийную сигнализацию; сигнал торможения (стоп-сигнал); фонарь освещения заднего номерного знака; передние противотуманные фары, задние противотуманные фонари; светоотражающие устройства.

Световые приборы маркируют в соответствии с Правилами Европейской экономической комиссии (ЕЭК) ООН. На рассеиватель прибора наносят круг, внутри которого ставят букву *E* и отличительный номер страны, выдавшей официальное утверждение на соответствие Правилам ЕЭК ООН. Если фара головного света сконструирована для левостороннего движения, под кругом наносят стрелку, направленную вправо.

Над кругом у фар головного освещения наносят прямоугольник с буквами *C* (ближний свет), *R* (дальний свет), *S* (цельностеклянная лампа-фара), *H* (галогенные лампы). Наличие сочетания букв *CR* означает, что фара рассчитана на работу ближнего и дальнего света. Для противотуманных фонарей и фар используют букву *B*, передних габаритных фонарей – букву *A*, задних – *R*, сигналов торможения – *S1* (однорежимные сигналы) или *S2* (двухрежимные сигналы). На световых приборах, имеющих

одновременно задние габаритные фонари и сигналы торможения, – сочетание букв *RS*.

Для указателей поворота принята цифровая маркировка: *1* – передние указатели поворота, *2a* (однорежимные) и *2b* (двухрежимные) – задние, *3* и *4* – боковые повторители поворота.

В качестве традиционного источника света в световых приборах используют *электрические лампы накаливания* с одной или двумя нитями накаливания. Конструкция лампы, ее форма, мощность светового потока и другие показатели зависят от применяемости ламп. На рисунке 11.1, *a, б* показаны двухнитевые лампы, используемые в двухфарных системах головного освещения, имеющих два режима освещения – дальний и ближний свет. Лампы, изображенные на рисунке 11.1, *в, г*, используют в четырехфарных системах, в которых фары дальнего и ближнего света расположены отдельно. Двухнитевые штифтовые лампы (рис. 11.1, *д*) устанавливают в фонарях, совмещающих две функции (например, габаритные огни и стоп-сигнал), однопнитевые (рис. 11.1, *е*) – во всех других фонарях.

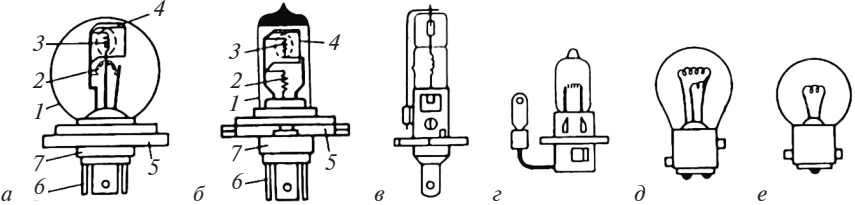


Рис. 11.1. Автомобильные лампы накаливания:

*a* – фар головного освещения с европейской асимметричной системой светораспределения; *б* – галогенная категория Н3; *в* – галогенная категория Н1; *г* – галогенная категория Н4; *д* – двухнитевая штифтовая; *е* – однопнитевая штифтовая; *1* – колба; *2* – нить дальнего света; *3* – нить ближнего света; *4* – экран; *5* – фокусирующий фланец; *6* – выводы; *7* – цоколь

Автомобильная лампа накаливания, устанавливаемая в фары головного освещения с европейской асимметричной системой светораспределения, состоит из колбы, двух нитей накаливания, цоколя с фокусирующим фланцем, выводов (см. рис. 11.1, *a*). Нить ближнего света смещена относительно точки фокуса и перекрыта металлическим экраном, который перекрывает нижнюю часть отражателя фары от попадания на него светового потока лампы. Цоколь служит для крепления лампы в патроне светового при-

бора и подведения тока от источника электроснабжения к электродам, соединяющим контакты цоколя с нитями накаливания. В лампах накаливания источником света является вольфрамовая нить, которая под воздействием проходящего через него электрического тока нагревается и начинает испускать свет.

Лампы накаливания головного освещения маркируют буквой А, после которой первое число означает напряжение, а второе и третье — мощность в ваттах, потребляемая нитями соответственно дальнего и ближнего света (например, А12-45+50). Аналогично маркируют двухнитевые (А12-21+5) и однонитевые (А12-5) лампы для фонарей.

*Галогенные лампы* также являются лампами накаливания, имеющими схожую конструкцию (см. рис. 11.1, б), но в них используют еще один наполнитель — галогенид (йод или бром), который и связывает испарившийся вольфрам, не давая ему осесть на стенки колбы. Соединение вольфрам-галогенид при попадании на горячую спираль разделяется. Таким образом, вольфрам возвращается на нить накаливания, а галогенид — в газовый наполнитель колбы. При этом происходит своеобразное восстановление нити лампы, называемое *галогенным циклом*. Галогенные лампы хотя более сложны и дороги, но и более эффективны. Они на 25–30 % ярче, чем обычные лампы накаливания.

У *ксеноновой газоразрядной лампы* нет нити накаливания. В колбе лампы, наполненной парами инертных газов, ртути и ксенона, находятся два электрода, между которыми происходит дуговой разряд. Электрическая дуга между электродами образует световое излучение. Ксеноновые лампы комплектуют пускорегулирующим устройством, которое должно генерировать напряжение до 25 кВ для розжига дуги разряда и затем поддерживать ее горение при напряжении 85–330 В. В сравнении с галогенными лампами, ксеноновые лампы значительно ярче и потребляют при этом значительно меньше энергии.

В *светодиодных фарах* и фонарях устанавливают полупроводниковые светодиоды, излучающие свет при прохождении через них электрического тока. Яркость светодиодов сопоставима с ксеноновыми газоразрядными лампами при значительно меньшем потреблении электроэнергии. Светодиоды не требуют дополнительных пусковых устройств, но требовательны к величине питающего напряжения. Для стабилизации напряже-

ния питания светодиодной оптики используют конвертеры или драйверы.

Все транспортные средства оснащают фарами головного освещения, конструкция которых зависит от типа и реализации светораспределения. В общем случае фара состоит из корпуса, отражателя, рассеивателя и источника света (лампы или светодиода). По типу светораспределения головное освещение подразделяют на европейскую и американскую системы.

В фарах с *европейской* системой лампа в параболическом отражателе установлена таким образом, что нить накаливания дальнего света (рис. 11.2, а) размещается в фокусе отражателя. В результате свет направляется вдалеку параллельным пучком. Нить ближнего света (рис. 11.2, б) расположена впереди и выше по отношению к нити дальнего света. Лучи от нити ближнего света, попадающие на верхнюю половину отражателя, отражаются вниз. Непрозрачный экран, расположенный под нитью ближнего света, исключает попадание световых лучей на нижнюю половину отражателя, поэтому световой пучок фар в режиме ближнего света имеет четко выраженную светотеневую границу.

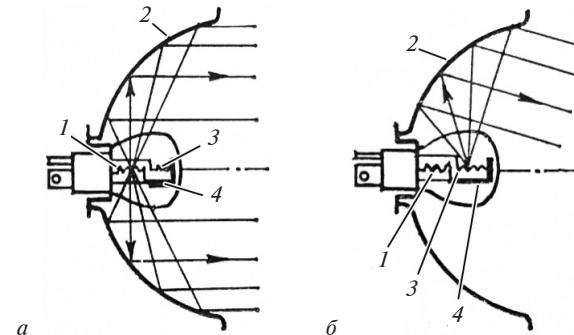


Рис. 11.2. Европейская система светораспределения:  
а — дальний свет; б — ближний свет; 1 — нить дальнего света;  
2 — отражатель; 3 — нить ближнего света; 4 — экран

В *американской* системе в лампе нить накаливания дальнего света размещают в фокусе отражателя, а нить ближнего света смещена вверх относительно фокуса. В результате пучок света фар ближнего света, направленный вниз, не имеет четкой светотеневой границы.

Фары, объединенные с фонарями, называют блок-фарами. Блок-фара (рис. 11.3) состоит из корпуса, в котором установлена

лампа головного света, имеющая два режима работы – ближнего и дальнего света фар. В блок-фаре также находится прожектор дальнего света, лампа габаритного света и лампа указателя поворота. Вместо двухрежимной лампы головного света может быть установлена лампа дальнего света, а вместо прожектора – лампа ближнего света.

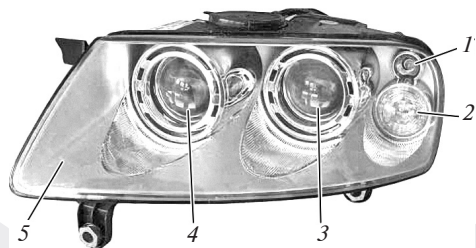


Рис. 11.3. Блок-фара:

1 – лампа габаритного света; 2 – лампа указателя поворота;  
3 – прожектор дальнего света; 4 – лампа головного света; 5 – корпус

*Адаптивные системы освещения* с ксеноновыми лампами оснащены поворотными фарами. В них фара с учетом скорости движения, угла поворота рулевого колеса и угловой скорости автомобиля вокруг вертикальной оси поворачивается вслед за рулевым колесом в пределах 15–22° наружу и на 7° внутрь. Исполнительным механизмом управляет контроллер, который анализирует скорость и угол поворота рулевого колеса. Для определения угловой скорости автомобиля к контроллеру подключен чувствительный гироскопический датчик. В дополнение к поворотным фарам могут использоваться статические (неподвижные) боковые фары, которые включают на поворотах при движении с малой скоростью.

Чтобы исключить ослепление встречных водителей, фары оснащают устройством автоматического регулирования наклона. Блок управления наклоном фар определяет степень загрузки автомобиля посредством двух сенсоров на передней и задней осях автомобиля, установленных на одной стороне. Информация о степени загрузки передается в блок управления, который изменяет напряжение в серводвигателях. Последние, автоматически поворачиваясь в зависимости от нагрузки на автомобиль, обеспечивают оптимальное освещение дороги.

*Матричная фара* объединяет матричный модуль дальнего света фар, модуль ближнего света фар, модуль дневных ходовых огней, габаритных огней и указателя поворота, дизайнерское обрамление фары, воздухопровод с вентилятором и блок управления. Модуль дальнего света фар состоит из 25 светодиодов, объединенных в группы по пять и в совокупности образующих матрицу. Каждая группа имеет свой отражатель и металлический радиатор для охлаждения. С помощью матрицы из светодиодов реализовано около одного миллиарда различных комбинаций распределения света. Модуль ближнего света фар расположен под модулем дальнего света фар и состоит из 15 светодиодов, поделенных на несколько сегментов. В самом низу фары размещен модуль дневных ходовых и габаритных огней, указателя поворота. Конструктивно модуль включает 30 последовательных светодиодов.

Все конструктивные элементы матричной фары помещены в пластмассовый корпус, который служит основой для размещения элементов и защищает их от внешних воздействий. В матричной фаре также расположен электронный блок управления. Для принудительного охлаждения светодиодов фара оснащена воздухопроводом с вентилятором.

Электронный блок управления матричными фарами состоит из входных устройств, блока управления и исполнительных элементов. Входными устройствами являются видеочамера и ряд датчиков. Видеочамера предоставляет информацию о других автомобилях на дороге. В блок управления дополнительно поступает информация от следующих датчиков: угла поворота рулевого колеса, скорости движения, дорожного просвета, освещения, датчика дождя.

Электронный блок управления обрабатывает информацию от входных устройств и в зависимости от дорожной ситуации активирует (деактивирует) определенные светодиоды. В матричных фарах в отличие от ксеноновых не используют поворотные механизмы. Все рабочие функции выполняются электроникой и статическими светодиодами.

Матричные фары способны в темноте подсвечивать пешеходов и животных, находящихся на дороге или в опасной близости от нее. Для этого фары объединены с системой ночного видения. При обнаружении пешехода фары втроекратно сигнализируют дальним светом, предупреждая как пешехода, так и водителя.

В *лазерных фарах* устанавливают лазерный модуль, который содержит блок синих лазерных диодов, зеркальную матрицу, желтый люминофор и линзу. Лазерные диоды формируют лазерные лучи длиной 450 нм, которые преломляются зеркальной матрицей, состоящей из более 100 000 микрозеркал. Матрица имеет электромеханическое управление, позволяющее каждому из микрозеркал поворачиваться в горизонтальной и вертикальной плоскости. Это дает возможность изменять площадь и интенсивность освещения с высокой скоростью в широком диапазоне. Люминофор преобразует синие лазерные лучи в белое свечение. На выходе линзы получается мощный световой пучок высокой цветовой температуры, соизмеримой с дневным светом.

Управление лазерной фарой осуществляет электронный блок, который изменяет положение микрозеркал на основании сигналов от радара и видекамеры. При низких скоростях движения свет распределяется на большой площади проекции, и дорога освещается в широком диапазоне. На высоких скоростях угол раствора уменьшается, а интенсивность света увеличивается.

Для улучшения видимости дорожного полотна, обозначения габаритов автомобиля и снижения аварийности во время тумана, дождя и снегопада применяют *противотуманные фары* и *фонари*. Противотуманные фары отличаются от обычных большим углом рассеяния светового пучка в горизонтальной плоскости и более четкой верхней светотеневой границей. Такое светораспределение в горизонтальной плоскости создается соответствующим микрорельефом внутренней поверхности рассеивателя с вертикальными цилиндрическими линзами и экраном перед лампой. Для того чтобы уменьшить рассеивающее действие тумана на световой пучок, противотуманные фары устанавливают ближе к дорожному полотну.

*Внутреннее освещение* имеют кабина водителя грузового автомобиля, салон легкового автомобиля или автобуса, подкапотное пространство, багажное отделение, вещевой ящик. Все внутренние помещения освещаются лампами небольшой мощности.

При эксплуатации автомобиля в темное время суток важна правильная *регулировка света фар*. Направление световых пучков должно быть таким, чтобы дорога перед автомобилем хорошо освещалась и в то же время водители встречного транспорта не ослеплялись светом фар вашего автомобиля. Установку фар про-

веряют и регулируют на отдельном посту или на линии технического обслуживания с помощью настенного или переносного экрана либо специальных оптических приборов.

Поверхность экрана (рис. 11.4, а) должна быть перпендикулярна рабочей площадке и находиться от нее на расстоянии  $L$  (обычно 5 или 10 м). На экране проводят горизонтальную линию на высоте  $H$ , равной высоте размещения фар  $\Phi_{\text{л}}$  и  $\Phi_{\text{п}}$  на автомобиле. Ниже этой линии проводят линию ближнего света Б на расстоянии  $h_{\text{б}}$  и линию дальнего света Д на расстоянии  $h_{\text{д}}$ . Вертикально проводят центральную линию О, которая находится на оси симметрии автомобиля; линии  $\text{Л}_{\text{б}}$  и  $\text{П}_{\text{б}}$ , расположенные напротив фар двухфарной системы или фар ближнего света четырехфарной системы (фары показаны сплошной линией); линии  $\text{Л}_{\text{д}}$  и  $\text{П}_{\text{д}}$ , расположенные напротив фар дальнего света четырехфарной системы (фары показаны пунктирной линией). Из точек пересечения линий  $\text{Л}_{\text{б}}$  и Б ( $\text{П}_{\text{б}}$  и Б) направляют вправо и вверх под углом  $15^\circ$  наклонные линии светотеневой границы ближнего света европейской системы светораспределения.

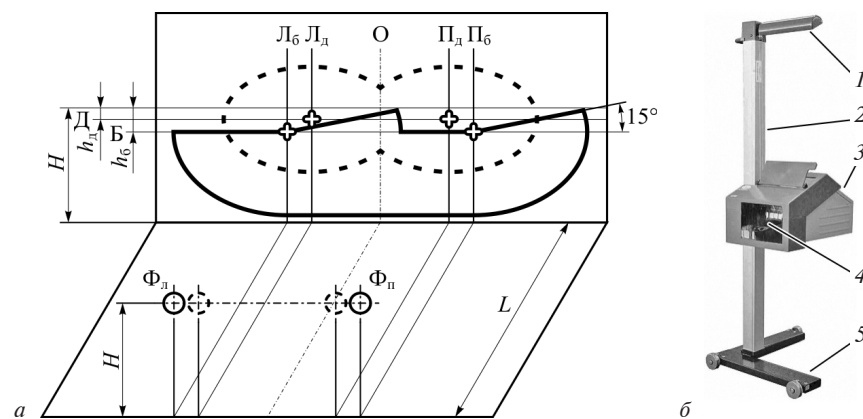


Рис. 11.4. Регулировка света фар:

а – экран для регулировки фар; б – прибор LITE 3;

1 – вращающееся направляющее зеркало; 2 – стойка;

3 – панель управления; 4 – оптическая камера; 5 – штатив

Световой поток двухфарной системы освещения с европейским светораспределением направляют с помощью регулировочных винтов таким образом, чтобы границы освещенной и не-

освещенной зон совпадали с горизонтальными и наклонными участками сплошных разметочных линий на экране. Аналогично регулируют фары ближнего света четырехфарной системы. Фары дальнего света четырехфарной системы регулируют таким образом, чтобы центры световых пятен совпадали с точками пересечения линий  $L_d$  и  $D$  ( $P_d$  и  $D$ ).

При использовании экрана для регулировки света фар требуется относительно большая площадь, поэтому целесообразнее применять малогабаритные оптические приборы. Прибор серии LITE 3 для проверки и регулировки света фар (рис. 11.4, б) оснащен цифровой видеокамерой и микропроцессором. Оптическую камеру устанавливают на стойке с передвижным штативом, по которому она может перемещаться вверх-вниз, обеспечивая возможность совмещения оптической оси линзы с осью отсчета фар по высоте. Расстояние от оптической камеры до фары должно составлять 10–30 см. После установки линзы выставляют оптическую ось прибора параллельно продольной оси автомобиля с помощью вращающегося направляющего зеркала. Свет фары, прошедший через линзу, попадает в видеокамеру, которая оцифровывает картину светораспределения и направляет полученные данные в электронный процессор прибора. Прибор оцифровывает картину светораспределения и выводит ее на жидкокристаллический дисплей в цифровом или графическом виде.

Конструкция LITE 3 позволяет подсоединять прибор к компьютеру. Результаты измерений могут быть переданы через проводной интерфейс RS-232/USB или беспроводной Bluetooth.

## 11.2. Световая и звуковая сигнализация

Для предупреждения других участников дорожного движения об изменении направления движения автомобиля и его аварийной остановке служит система световой сигнализации, в которую входят передние и задние световые указатели поворота, боковые повторители сигналов поворота, электронное реле-прерыватель и выключатели. Правые и левые указатели поворота включаются рычагом, расположенным под рулевым колесом. При этом все правые и левые сигнальные и контрольные лампочки горят мигающим светом.

*Габаритные огни* обозначают габариты транспортного средства в темное время суток и в условиях плохой видимости. *Сигналы торможения* (стоп-сигналы) предназначены для оповещения участников движения о торможении транспортного средства. *Дневные ходовые огни* служат для увеличения заметности движущегося транспортного средства в светлое время суток и включаются автоматически при запуске двигателя.

*Сигналы поворота* служат для информации о маневре (повороте или развороте) транспортного средства. Указатели поворота работают в проблесковом режиме. *Аварийную сигнализацию* включают при неисправности и вынужденной остановке на проезжей части. Аварийная сигнализация опознается миганием всех указателей поворота одновременно.

*Фонари заднего хода* включаются при включении передачи заднего хода. *Номерной знак* освещается одним или двумя фонарями. *Световозвращатели* не имеют своего источника света и создают сигнал путем отражения света фар другого транспортного средства. Они предназначены для обозначения ночью неподвижного транспортного средства с выключенным освещением.

Задние габаритные и стояночные фонари, световозвращатели и сигналы торможения красного цвета. Передние габаритные фонари и фонари заднего хода имеют белый цвет, сигналы передних, задних и боковых указателей поворота, боковые габаритные фонари и световозвращатели – оранжевый.

Задние фонари (рис. 11.5) имеют лампы габаритного света, которые включаются вместе с передними габаритными огнями, а также лампы стоп-сигналов, указателей поворота и заднего хода. В задних фонарях могут быть установлены противотуманные фонари.

Светораспределение фонаря зависит от типа его оптической системы – линзовой или смешанной. В линзовой оптической системе требуемые сила света и светораспределение обеспечиваются одним рассеивателем без отражателя. К приборам с линзовой оптической системой относят габаритные и стояночные огни, боковые повторители указателей поворота и др. В смешанных оптических системах необходимое светораспределение создается отражателем и рассеивателем, который перераспределяет световой поток от отражателя и лампы. Смешанную оптическую систему применяют в сигналах торможения и указателях поворота.

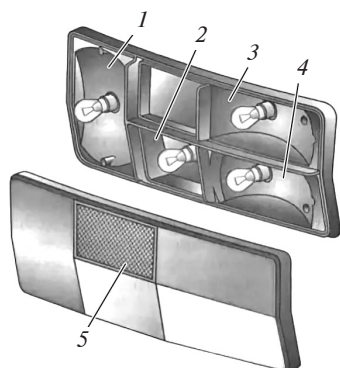


Рис. 11.5. Задний фонарь:

1 – лампа стоп-сигнала; 2 – лампа заднего хода; 3 – лампа габаритного света; 4 – лампа указателя поворота; 5 – световозвращатель

Электрическая схема включения указателей поворота и системы аварийной сигнализации представлена на рисунке 11.6.

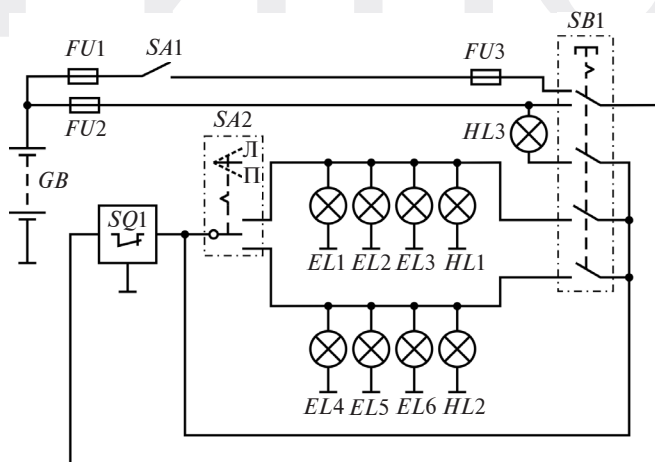


Рис. 11.6. Схема включения указателей поворота и аварийной сигнализации:

*GB* – аккумуляторная батарея; *FU1–FU3* – предохранители; *SA1* – замок зажигания; *SA2* – подрулевой переключатель указателей поворота (Л – поворот налево; П – поворот направо); *SQ1* – реле-прерыватель указателей поворота и аварийной сигнализации; *EL1–EL3* – лампы переднего, бокового и заднего указателей поворота налево; *HL1* – индикатор включения поворота налево; *EL4–EL6* – лампы переднего, бокового и заднего указателей поворота направо; *HL2* – индикатор включения поворота направо; *SB1* – выключатель аварийной сигнализации; *HL3* – индикатор включения аварийной сигнализации

Перед поворотом подрулевой переключатель указателей поворота *SA2* переводят в положение Л (поворот налево) или П (поворот направо). Ток от аккумуляторной батареи *GB* через предохранитель *FU1*, замок зажигания *SA1*, предохранитель *FU3*, верхний контакт переключателя *SA2*, выключатель аварийной сигнализации *SB1* и реле-прерыватель *SQ1* поступает на лампы *EL1–EL3* (левая сторона автомобиля) или *EL4–EL6* (правая сторона) и индикатор включения поворота *HL1* (или *HL2*), расположенный на щитке приборов. Лампы и индикатор начинают мигать с частотой, заданной реле-прерывателем *SQ1*.

После выхода автомобиля из поворота подрулевой переключатель указателей поворота автоматически возвращается в исходное положение. Если индикатор на щитке приборов мигает с удвоенной частотой, значит, реле-прерыватель неисправен или не горит одна из сигнальных ламп.

При вынужденной остановке на проезжей части дороги из-за неисправности автомобиля нажатием специальной кнопки включается аварийная сигнализация. Она включается при любом положении ключа замка зажигания, так как ее цепь проходит, минуя этот замок.

При нажатии на кнопку выключателя аварийной сигнализации *SB1* ток от аккумуляторной батареи *GB* через предохранитель *FU2*, верхний контакт выключателя *SB1*, реле-прерыватель *SQ1* и нижние контакты выключателя *SB1* поступает на лампы *EL1–EL6* и индикаторы включения поворота *HL1* и *HL2*. Следовательно, прерывистым светом будут гореть сразу все лампы указателей поворотов. Одновременно будет мигать индикатор включения аварийной сигнализации *HL3*.

При включении кнопки (клавиши) аварийной сигнализации передние указатели поворотов, боковые повторители указателей и задние указатели работают в прерывистом режиме одновременного моргания. Это сигнал предупреждения других участников движения о проблемах с автомобилем или водителем.

*Звуковые сигналы* предназначены для обеспечения безопасности движения транспортного средства. Их используют для оповещения пешеходов и водителей о приближении автомобиля или о состоянии его рабочих агрегатов. Звуковые сигналы также включают в противоугонные системы.

Конструктивно звуковые сигналы выпускают в рупорном и безрупорном исполнении. Безрупорный звуковой сигнал

(рис. 11.7, *а*) состоит из стального корпуса, на котором закреплен электромагнит, содержащий ярмо, сердечник, якорь и катушку. Якорь электромагнита жестко соединен с мембраной в ее центральной части. По периферии мембрана зажата винтами между корпусом и крышкой сигнала. На якоре закреплен также диск резонатора, обеспечивающий усиление громкости звучания сигнала и нужный частотный диапазон звукоизлучения.

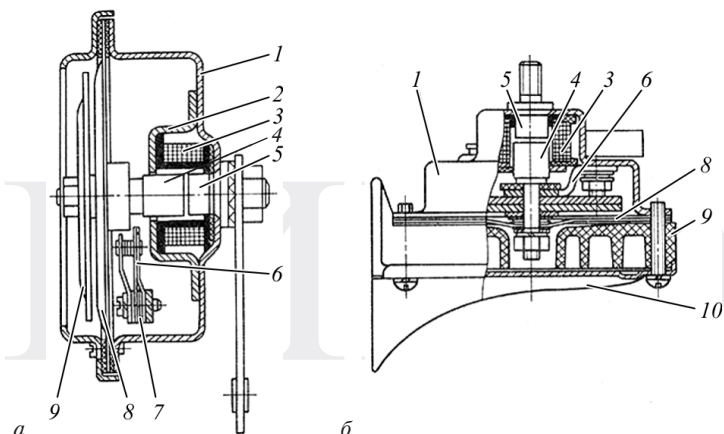


Рис. 11.7. Звуковой сигнал:

*а* – безрупорный; *б* – рупорный; 1 – корпус; 2 – ярмо;  
3 – катушка; 4 – якорь; 5 – сердечник; 6 – пластина;  
7 – прерыватель; 8 – мембрана; 9 – резонатор; 10 – рупор

Питание на катушку электромагнита подается через контакты прерывателя. Возникающий при этом магнитный поток проходит через часть корпуса, сердечник, ярмо и якорь электромагнита. В результате якорь притягивается к сердечнику. Выступ якоря, перемещаясь, действует на держатель подвижного контакта прерывателя, разрывая цепь питания катушки электромагнита. Магнитный поток исчезает, и якорь движется в обратную сторону под действием упругой силы мембраны. Далее рабочий цикл повторяется, создавая звуковые колебания заданной частоты.

Тональный рупорный сигнал отличается от безрупорного формой резонатора и наличием рупора (рис. 11.7, *б*). Резонатор в рупорном сигнале выполнен в виде улитки, в которой с частотой колебаний мембраны резонирует столб воздуха, чем достигается получение усиленного звука определенного тона.

Эффективности излучения звука способствует расширяющийся конец рупора.

Если безрупорные звуковые сигналы настроены на один музыкальный тон звучания, то тональные звуковые сигналы могут быть настроены на разную высоту звука. Изменение формы резонатора без изменения остальной конструкции сигнала приводит к изменению высоты звука. Обычно в транспортное средство устанавливают два тональных рупорных сигнала – низкого и высокого тонов.

Для включения звуковых сигналов используют кнопочный выключатель, размещенный обычно на рулевом колесе. Мало-мощные безрупорные сигналы часто включают в цепь прямого управления (рис. 11.8, *а*). Нажатие на кнопку *SB1* приводит к замыканию электрической цепи и ток от аккумуляторной батареи *GB* через предохранитель *FU1* поступает на звуковой сигнал *HA1*.

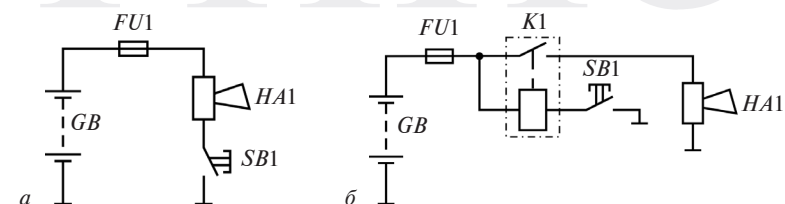


Рис. 11.8. Схема включения звукового сигнала:

*а* – цепь прямого управления; *б* – цепь релейного управления;  
*GB* – аккумуляторная батарея; *FU1* – предохранитель;  
*SB1* – выключатель звукового сигнала; *K1* – реле  
звукового сигнала; *HA1* – звуковой сигнал

Так как тональные сигналы потребляют значительный ток, недопустимый для кнопочных выключателей, подключение их к источнику тока осуществляется с помощью электромагнитного реле. Электрическая схема включения звукового сигнала в цепь релейного управления представлена на рисунке 11.8, *б*. Звуковой сигнал подключают к аккумуляторной батарее или генератору через реле звукового сигнала. При нажатии на кнопку на рулевом колесе *SB1* срабатывает реле *K1*, его контакты замыкаются, и ток на звуковой сигнал поступает через контакты реле *K1*. При наличии реле ток большой величины, питающий звуковой сигнал, не проходит через кнопку, что уменьшает износ ее контактов.

### 11.3. Релейное управление системами освещения

Управление осветительными приборами связано в единую схему, в которой для включения приборов используют всевозможные выключатели и переключатели. Прямое управление приборами системы освещения возможно только для маломощных устройств, поскольку такая коммутационная аппаратура, как выключатели и переключатели, может управлять только небольшими токами. Приборы освещения, потребляющие большой ток, включаются посредством электромагнитных реле.

Электрическая схема включения наружного освещения представлена на рисунке 11.9. Схема состоит из трех частей (сверху вниз): головного освещения, габаритных огней и противотуманных фар. Все приборы наружного освещения запитываются от аккумуляторной батареи *GB* или генератора через предохранитель *FU1*.

Для включения габаритных фонарей выключатель *SA2* переводят из положения *О* в положение *Г*. Ток через контакты выключателя *SA2.2* поступает на передние *EL3*, *EL4* и задние *EL5*, *EL6* габаритные фонари и подсветку номерного знака *EL7*. Одновременно на щитке приборов загорается индикатор включения наружного освещения *HL3* и включается подсветка приборной панели *HL2*, яркость которой регулируется переменным резистором *R1*.

Фары головного освещения включаются параллельно с габаритными фонарями при переводе выключателя *SA2* в положение *Ф* и работают только при включенном замке зажигания *SA1*. При переводе переключателя *SA3* в положение *Б* ток через замок зажигания *SA1*, выключатель *SA2.1*, переключатель *SA3.2* поступает на обмотку реле *K2*. Через замкнутые контакты реле *K2* ток, минуя контакты выключателей *SA1*–*SA3*, идет через предохранители *FU2* и *FU4* на лампы дальнего света *EL1.1* и *EL2.1*.

Если переключатель *SA3* перевести в положение *Д*, аналогичным образом сработает реле дальнего света *K1*, через контакты которого ток поступит через предохранители *FU3* и *FU5* на лампы дальнего света *EL1.2* и *EL2.2*. Одновременно на щитке приборов загорается индикатор включения дальнего света *HL1*.

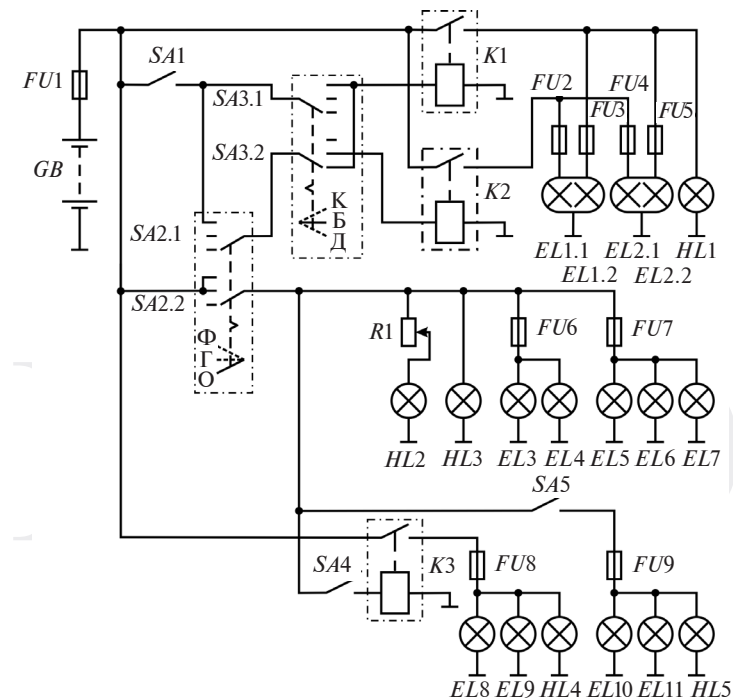


Рис. 11.9. Схема включения наружного освещения:

*GB* – аккумуляторная батарея; *FU1*–*FU9* – предохранители; *SA1* – замок зажигания; *SA2* – выключатель фар и габаритных огней (*О* – отключено; *Г* – габаритные огни; *Ф* – фары); *SA3* – переключатель ближнего и дальнего света (*Д* – дальний свет; *Б* – ближний свет; *К* – кратковременное включение дальнего света); *K1* – реле дальнего света фар; *K2* – реле ближнего света фар; *EL1.1* – передняя фара левая (ближний свет); *EL1.2* – передняя фара левая (дальний свет); *EL2.1* – передняя фара правая (ближний свет); *EL2.2* – передняя фара правая (дальний свет); *HL1* – индикатор включения дальнего света; *HL2* – подсветка приборной панели; *R1* – регулятор яркости подсветки; *HL3* – индикатор включения наружного освещения; *EL3*, *EL4* – передние габаритные фонари; *EL5*, *EL6* – задние габаритные фонари; *EL7* – подсветка номерного знака; *SA4* – выключатель передних противотуманных фар; *K3* – реле передних противотуманных фар; *EL8*, *EL9* – передние противотуманные фары; *HL4* – индикатор включения передних противотуманных фар; *SA5* – выключатель задних противотуманных фонарей; *EL10*, *EL11* – задние противотуманные фонари; *HL5* – индикатор включения задних противотуманных фонарей

Для кратковременного включения дальнего света переключатель *SA3* необходимо перевести в нефиксируемое поло-

жение К, тогда ток к реле дальнего света *K1* поступит через контакты переключателя *SA3.1* независимо от положения выключателя фар и габаритных огней *SA2*. Таким образом, моргать дальним светом можно и при выключенном наружном освещении.

Противотуманные фары и фонари можно включить независимо от положения замка зажигания, однако требуется включение габаритных фонарей. Передние противотуманные фары *EL8*, *EL9* включаются выключателем *SA4* с помощью реле *K3*, при этом также загорается индикатор *HL4*. Задние противотуманные фонари *EL10*, *EL11* совместно с индикатором *HL5* включаются выключателем *SA5* без использования промежуточного реле.

Для диагностирования исправности ламп наружного освещения используют реле контроля работоспособности ламп (на рис. 11.9 не показано). Лампы фонарей освещения номерного знака и багажника включаются одновременно с наружным освещением, но подключены в обход реле контроля ламп, поэтому их исправность не диагностируют. Лампа подсветки вещевого ящика включается при включенном зажигании выключателем под крышкой ящика. Лампа освещения салона загорается, если открыта одна из дверей и переключатель плафона находится в соответствующем положении.

#### 11.4. Цифровое управление системами освещения

Цифровое управление системой освещения транспортного средства позволяет адаптировать использование светового оборудования в различных дорожных ситуациях и погодных условиях. Наиболее сложной электронной системой является система управления головным освещением.

В корпусе блок-фары с лазерным излучателем (рис. 11.10), кроме указателя поворота, габаритных и дневных огней, расположены две адаптивные светодиодные фары головного освещения. Внутренняя фара имеет светодиодные матрицы ближнего *2* и дальнего *6* света. Дополнительно к светодиодным матрицам ближнего *3* и дальнего *5* света в наружную фару встроена лазерная фара.

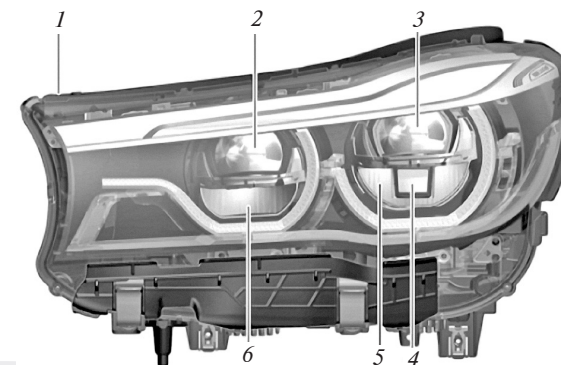


Рис. 11.10. Блок-фара с лазерным излучателем:  
 1 – корпус; 2 – находящийся внутри ближний свет; 3 – находящийся снаружи ближний свет; 4 – лазерная фара; 5 – находящийся снаружи дальний свет; 6 – находящийся внутри дальний свет

Управление светом осуществляется электронным блоком управления передней левой фарой FLEL или передней правой фарой FLER. Блок управления включает или отключает ближний и дальний свет внутренней и наружной фар по сигналу контроллера BDC (Body Domain Controller). Помимо функций освещения, блок управления фарой по запросу контроллера также активирует шаговые электродвигатели для автоматического регулирования угла наклона фар и для адаптивного освещения поворотов.

Контроллер BDC – центральный блок управления в бортовой сети. Одновременно блок управления BDC является межсетевым шлюзом для остальных блоков управления. Центральный межсетевой шлюз встроен в блок управления BDC как самостоятельный блок управления. BDC – задающий ЭБУ для функций внешнего освещения. Он определяет, какие функции освещения должны быть активированы или деактивированы. Для многих функций требуется информация от датчиков, контактов и переключателей. BDC принимает сигналы компонентов (например, от датчиков высоты дорожного просвета) и предоставляет абонентам шины соответствующую информацию. Блок управления BDC по шине K-CAN3 подключен к электронным блокам управления фарами FLEL и FLER.

Для распознавания встречных или движущихся впереди участников дорожного движения видеокамерой FLA или KAFAS контролируется область перед автомобилем на расстоянии до 1000 м. Это позволяет распознавать встречные автомобили уже на расстоянии около 1000 м, впереди идущие — около 600 м. После оценки блоком управления KAFAS по шине Ethernet выдается рекомендация контроллеру по включению или выключению света.

На рисунке 11.11 показана функциональная схема электронной системы управления светом фар. По запросу от контроллера BDC электронные блоки управления FLEL 6 и FLER 14 активирует функции светодиодных фар.

Если камера 8 или 21 распознает встречный или движущийся впереди автомобиль, находящийся внутри дальний свет 5 и 10 переключается на освещение большого пространства участка. Наружный дальний свет 3 и 12 и лазерный свет 4 и 11 образуют частичный дальний свет. Если активирована функция «безбликовая система управления дальним светом», дальний свет и лазерный свет автоматически включаются и выключаются в зависимости от скорости движения. При скоростях менее 30 км/ч дальний свет выключается. При скорости более 40 км/ч в зависимости от всех остальных параметров дальний свет включается. Если автомобиль находится в окружении с достаточным освещением, дальний свет не включается. Лазерный свет автоматически подключается начиная со скорости движения 60 км/ч. Если скорость движения снова падает ниже 55 км/ч, лазерный свет снова выключается с задержкой, но не позднее момента снижения скорости движения ниже 50 км/ч.

Система управления светом представляет собой сочетание следующих систем: динамическая регулировка угла наклона фар, автоматическое управление включением света фар, переменное распределение светового потока, адаптивное освещение поворотов. С помощью серводвигателей регулировки угла наклона фар, а также серводвигателей адаптивного освещения поворотов световые конусы фар постоянно регулируются. Обе фары можно наклонить на определенный градус как вертикально, так и горизонтально (в зависимости от оснащения).

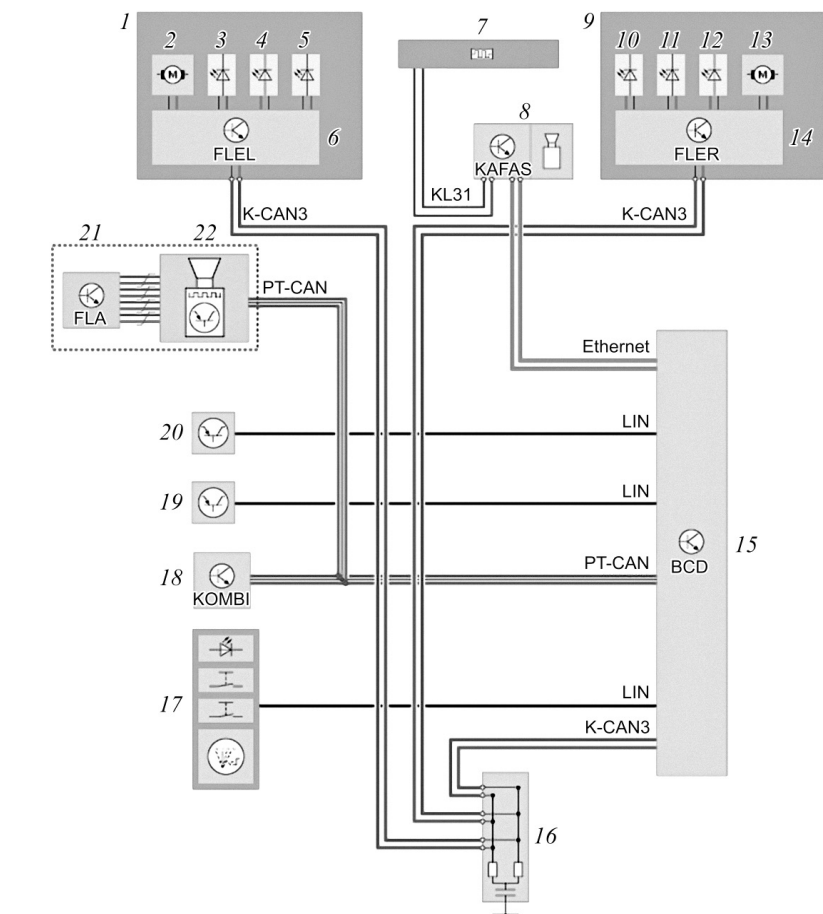


Рис. 11.11. Электронная система управления светом фар:

- 1 — левая светодиодная фара; 2, 13 — шаговый электродвигатель адаптивного освещения поворотов; 3, 12 — находящийся снаружи дальний свет;
- 4, 11 — лазерный излучатель; 5, 10 — находящийся внутри дальний свет;
- 6 — электронный блок управления передней левой фарой (FLEL);
- 7 — обогрев камеры KAFAS; 8 — блок управления KAFAS со стереокамерой;
- 9 — правая светодиодная фара; 14 — электронный блок управления передней правой фарой (FLER); 15 — контроллер BDC; 16 — терминатор шины CAN;
- 17 — панель управления светом; 18 — комбинация приборов (КОМБИ);
- 19 — коммутационный центр в рулевой колонке; 20 — датчик дождя/освещения/солнца; 21 — система управления дальним светом (FLA), не в сочетании с KAFAS; 22 — камера FLA, не в сочетании с камерой KAFAS

Система управления распознает свет встречного транспорта. При распознавании встречных участников дорожного движения система автоматически регулирует дальний свет таким образом, что они не ослепляются. Для этого обе фары поворачиваются на определенный угол. Кроме того, выключается внутренний дальний свет.

### Контрольные вопросы и задания

---

1. Как устроена галогенная лампа?
2. Как в фаре с европейской системой светораспределения формируется световой пучок в режиме ближнего света?
3. Что представляет собой матричная фара?
4. Покажите на электрической схеме путь прохождения тока по цепи: а) при включении левого поворота; б) при включении ближнего света фар.
5. Кратко опишите работу электронной системы управления светом лазерных фар.

## 12. ИНФОРМАЦИОННО-ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

---

### 12.1. Классификация контрольно-измерительных приборов

Основной функцией информационно-диагностической системы является обеспечение водителя информацией о режиме движения, работоспособности или состоянии агрегатов транспортного средства. Эта информация предоставляется водителю визуально с помощью контрольно-измерительных приборов. При этом точность предоставления данных, как правило, не так важна, как скорость и удобство восприятия этих данных. Высокая скорость считывания информации с приборов меньше отвлекает водителя от дорожной обстановки и существенно влияет на безопасность движения.

По способу отображения информации контрольно-измерительные приборы подразделяют на указывающие и сигнализирующие. Указывающие приборы имеют шкалу, на которой стрелкой отображается значение измеряемой величины (скорости движения, температуры охлаждающей жидкости, уровня топлива в баке и т. д.). Кроме аналоговой стрелочной шкалы, информация может отображаться в виде числа (цифровой спидометр) либо светодиодного столбика (чем больше топлива в баке, тем больше светодиодов загорается в столбике). Сигнализирующие приборы показывают появление какого-либо события (включение поворота, аварийное снижение давления масла, неисправность антиблокировочной системы и т. д.).

По конструктивному исполнению приборы подразделяют на механические, электрические и электронные. В механических приборах стрелка отклоняется с помощью механического, гидравлического или пневматического привода. Электрические приборы состоят из датчика и указателя, соединенных проводами. Датчик преобразует измеряемую физическую величину в электрический ток, а указатель — этот электрический ток в отклонение стрелки.

В электронных приборах сигнал, поступающий от датчика, обрабатывается аналоговой или цифровой электроникой, а затем выводится либо на стрелочный указатель, либо на дисплей.

По назначению (выполняемой функции) приборы делят на термометры (температура охлаждающей жидкости, масла и т. д.); манометры (давление масла в двигателе, воздуха в шинах); измерители уровня (уровень топлива, тормозной жидкости), скорости (спидометры), пройденного пути (одометры), частоты вращения коленчатого вала (тахометры), тока (амперметры), напряжения (вольтметры) и другие приборы (измерители влажности, освещенности, детонации, ускорения и т. д.).

Как правило, все контрольно-измерительные приборы находятся в салоне транспортного средства на панели приборов перед водителем. Пример аналоговой панели приборов представлен на рисунке 12.1.

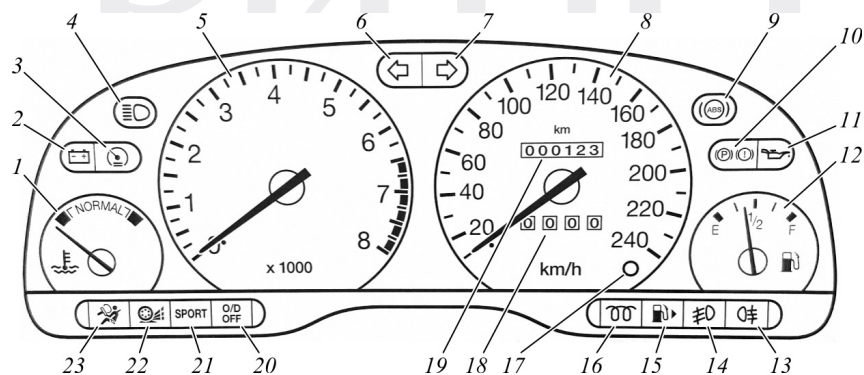


Рис. 12.1. Панель приборов:

- 1 – указатель температуры охлаждающей жидкости; 2 – контрольная лампа заряда аккумуляторной батареи; 3 – контрольная лампа круиз-контроля; 4 – контрольная лампа дальнего света фар; 5 – тахометр; 6, 7 – контрольные лампы левого и правого поворотов; 8 – спидометр; 9 – контрольная лампа ABS; 10 – контрольная лампа тормозной системы; 11 – контрольная лампа аварийного давления масла; 12 – указатель уровня топлива; 13, 14 – контрольные лампы задних и передних противотуманных фар; 15 – контрольная лампа резервного остатка топлива; 16 – контрольная лампа свечи накаливания; 17 – кнопка сброса счетчика суточного пробега; 18 – счетчик суточного пробега; 19 – счетчик общего пробега (одометр); 20 – контрольная лампа повышающей передачи; 21 – контрольная лампа спортивного режима; 22 – контрольная лампа противобуксовочной системы; 23 – контрольная лампа подушек безопасности

Контрольная лампа заряда аккумуляторной батареи загорается красным светом при включении зажигания и гаснет сразу после пуска двигателя. Если лампа не гаснет после пуска двигателя или загорается при работающем двигателе, аккумуляторная батарея не заряжается.

Контрольная лампа аварийного давления масла загорается красным светом при недостаточном давлении в системе смазки. Работа двигателя при горящей контрольной лампе не допускается.

Стрелка указателя температуры охлаждающей жидкости должна находиться в зеленой зоне (NORMAL). Красная зона шкалы указателя предупреждает о перегреве двигателя. Если стрелка перешла в красную зону, необходимо остановиться, дать двигателю остыть и устранить причину перегрева.

Контрольная лампа тормозной системы загорается красным светом при включении ручного тормоза и падении уровня жидкости в бачке главного цилиндра тормоза ниже отметки «MIN». Загорание лампы 9 свидетельствует о неисправности антиблокировочной системы. Стандартная система тормозов при этом продолжает работать.

По шкале спидометра определяют скорость автомобиля в километрах в час. В спидометр встроены счетчики общего и суточного пробега. Счетчики показывают пробег в километрах, а последняя цифра суточного пробега – в сотнях метров. Показания счетчика суточного пробега сбрасываются нажатием кнопки 17. Тахометр показывает частоту вращения коленчатого вала двигателя. Показания тахометра нужно умножить на 1000. Красная зона на шкале тахометра показывает опасную частоту, а желтая зона предупреждает о приближении к опасной частоте вращения.

По указателю уровня топлива можно приблизительно определить количество бензина в баке. На шкале указателя нанесены деления: *E* – пустой бак,  $1/2$  – половина бака, *F* – полный бак. В указатель встроена контрольная лампа резервного остатка топлива, которая загорается желтым светом, если в баке осталось менее 4–6 л бензина.

При включении левого (правого) поворота мигает зеленым светом левая 6 (правая 7) контрольная лампа. Включение дальнего света контролируется лампой 4 голубого цвета. Контроль-

ная лампа подушек безопасности загорается желтым светом при запуске двигателя и гаснет через 5 с. Если лампа мигает или не гаснет, система подушек безопасности неисправна.

Наряду с традиционными контрольно-измерительными приборами, размещенными на приборной панели, используют графические дисплеи, на которые выводится различная дополнительная информация. Графические дисплеи могут быть как аналоговыми (символами с ламповой подсветкой), так и цифровыми (цветными или монохромными жидкокристаллическими дисплеями).

По подсветке отдельных элементов контура автомобиля можно определить закрытие дверей 2 и багажника 3 (рис. 12.2, а). Передние лампы 1 загораются при повреждении предохранителей или ламп габаритных огней, фар ближнего света и стоп-сигнала. При запуске двигателя и исправном освещении загораются задние лампы 1, которые должны погаснуть после однократного нажатия на педаль тормоза.



Рис. 12.2. Графическое изображение дисплея:

- а – аналоговый; б – цифровой; 1 – повреждение лампы или предохранителя; 2 – незакрытая дверь; 3 – незакрытый багажник; 4 – низкий уровень жидкости для омывания стекол; 5 – изношены тормозные колодки; 6 – повышенная опасность гололеда; 7 – кнопка сброса интервала сервисного обслуживания; 8 – опасность гололеда; 9 – контрольная лампа интервала сервисного обслуживания; 10 – низкий уровень охлаждающей жидкости

При падении уровня охлаждающей жидкости загорается лампа 10, уровня жидкости для омывания стекол – лампа 4. При пониженной температуре воздуха от +4 до +1 °С светится желтым светом лампа 8, при дальнейшем снижении температуры (ниже нуля) красным светом загорается лампа 6.

Аналоговые графические дисплеи ограничены в объеме предоставляемой информации. Использование большого количества символов затрудняет считывание информации и занимает большую площадь. Цифровые технологии позволяют более продуктивно использовать площадь графического дисплея и показывать на нем не только различные символы, но и числовую информацию (пробег, расход топлива, температуру воздуха, время и т. д.). На дисплей также выводятся различные текстовые сообщения (рис. 12.2, б). Водитель может настраивать, какую именно информацию следует отображать на дисплее в настоящее время. При этом компьютер может перекрывать эту информацию важными сообщениями.

## 12.2. Датчики

Датчиками называют устройства, преобразующие физические величины в электрические. Физической величиной может быть давление, температура, перемещение и т. д. В качестве электрических величин используют ток, напряжение, частоту, фазу, длительность импульса и др.

В зависимости от назначения контрольно-измерительного прибора используют датчики температуры, давления, уровня топлива, скорости движения и т. д.

По выполняемым задачам датчики подразделяют на датчики для контроля за состоянием автомобиля и для информирования водителя (скорость движения, уровень тормозной жидкости или топлива в баке и т. д.); функциональные датчики, используемые для управления и регулирования (расходомер воздуха, датчик положения распределительного вала, датчик детонации и т. д.); датчики для безопасности пассажиров и защиты от угона.

По типу характеристики датчики делят на постоянные линейные, постоянные нелинейные и двухуровневые. Датчики с постоянной линейной характеристикой используют для задач управления в широком диапазоне измерений (например, датчик частоты вращения коленчатого вала). Датчики с постоянной нелинейной характеристикой служат для регулирования в узком диапазоне значений (например, λ-зонд), двухуровневые – для наблюдения за предельными параметрами величин (например, датчик аварийного давления масла).

По типу выходного сигнала различают аналоговые и цифровые датчики. На выходе аналоговых датчиков присутствует ток, напряжение, частота, длительность или другие величины, на выходе цифровых — двоичный код. Цифровые датчики представляют собой аналоговые датчики со встроенной электронной схемой, преобразующей, усиливающей и оцифровывающей аналоговый сигнал.

Датчики частоты вращения используют в системах управления двигателем для измерения частоты вращения и определения положения коленчатого и распределительного валов двигателя, валов коробки передач. Также эти датчики используют для определения частоты вращения колес и скорости движения автомобиля. Скорость рассчитывают по интервалу между сигналами датчика.

Индуктивный датчик частоты вращения монтируют в корпус двигателя 3 напротив ферромагнитного зубчатого колеса с определенным воздушным зазором (рис. 12.3, а). Датчик имеет сердечник из магнитомягкой стали (полюсный контактный штифт) с обмоткой. Полюсный контактный штифт соединен с постоянным магнитом.

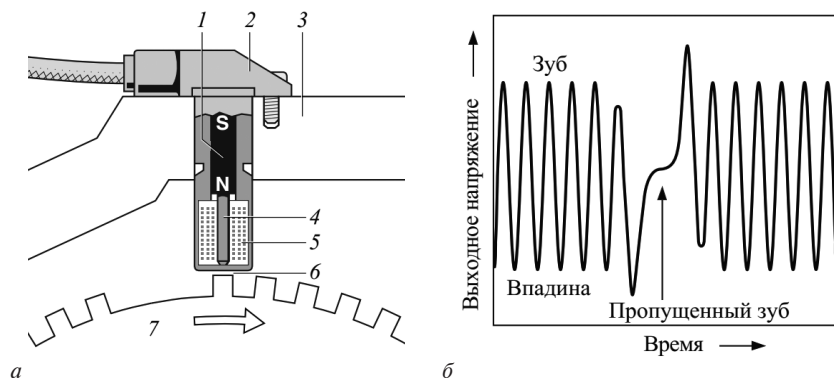


Рис. 12.3. Индуктивный датчик частоты вращения:

- а — общее устройство; б — сигнал датчика; 1 — магнит; 2 — корпус датчика;  
3 — корпус двигателя; 4 — полюсный контактный штифт; 5 — обмотка;  
6 — воздушный зазор; 7 — зубчатое колесо с пропущенным зубом

Магнитное поле распространяется через полюсный контактный штифт и зубчатое колесо. Магнитный поток, проходящий

через катушку, зависит от того, что становится напротив датчика: впадина или зуб колеса. Зуб замыкает магнитный поток и через катушку проходит усиленный поток. Впадина, наоборот, ослабляет магнитный поток. Эти изменения магнитного потока при вращении зубчатого колеса индуцируют в катушке синусоидальное выходное напряжение с частотой, пропорциональной частоте вращения коленчатого вала двигателя (рис. 12.3, б). Амплитуда переменного напряжения интенсивно возрастает с увеличением частоты вращения.

Для определения положения коленчатого вала в зубчатом колесе пропускают один зуб, которому соответствует верхняя мертвая точка первого цилиндра. На пропущенном зубе из-за увеличенной впадины характер изменения магнитного потока катушки отличается от потока на других зубьях и впадинах, что позволяет выявить это положение коленчатого вала по изменившейся длительности импульса напряжения.

Распределительный вал вращается с частотой, в 2 раза меньшей, чем коленчатый вал. По положению распределительного вала можно определить, к какой из верхних мертвых точек подходит поршень двигателя: в такте сжатия или в такте выпуска. Датчик положения распределительного вала передает эту информацию на блок управления. Она необходима, например, для систем зажигания и для последовательного впрыска топлива.

Стержневой датчик Холла устанавливают в корпус двигателя напротив колеса с зубчатым сегментом с зазором А (рис. 12.4, а). Колесо приводится во вращение от распределительного вала. Интегральная схема датчика Холла находится между колесом и постоянным магнитом, который формирует магнитное поле, перпендикулярное элементу Холла.

Если зубчатый сегмент Z попадает на сенсорный элемент датчика Холла, напряженность магнитного поля изменяется по сравнению с впадиной L. За счет этого создается сигнал по напряжению (напряжение Холла), который не зависит от относительной скорости между датчиком и колесом. Интегрированная электроника, обрабатывающая данные в микросхеме Холла, подготавливает сигнал и выдает его как сигнал прямоугольной формы (рис. 12.4, б), удобный для обработки микроконтроллером.

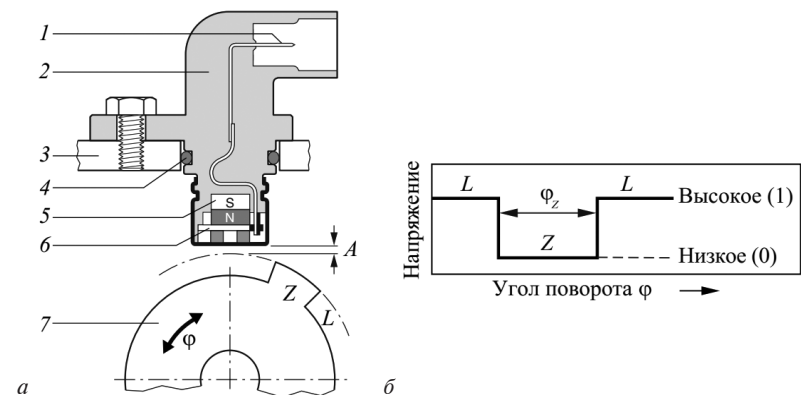


Рис. 12.4. Датчик положения распределительного вала с элементом Холла: а – общее устройство; б – сигнал датчика; 1 – штекер; 2 – корпус датчика; 3 – корпус двигателя; 4 – уплотнительное кольцо; 5 – магнит; 6 – интегральная схема датчика Холла; 7 – колесо с зубчатым сегментом

Для измерения давления воздуха во впускном трубопроводе, давления наддува, топлива или масла используют датчики давления, работающие на разных принципах.

Основной элемент пьезоэлектрического датчика (рис. 12.5) – микросхема с пьезоэлементом. К датчику подводится эталонное напряжение питания 5 В (клеммы А и В). Перепад давления между вакуумной камерой (давление в ней 0,01 МПа) и впускным трубопроводом вызывает усилие, действующее через мембрану на пьезоэлемент. Чем больше давление, тем больше пьезоэлемент вырабатывает электричества и тем меньше падение эталонного напряжения на выходе из датчика (клеммы А и С).

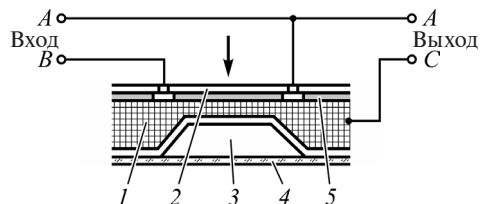


Рис. 12.5. Пьезоэлектрический датчик давления воздуха во впускном трубопроводе: 1 – пьезоэлемент; 2 – мембрана; 3 – вакуумная камера; 4 – стеклянная пластина; 5 – микросхема

При закрытой дроссельной заслонке (холостой ход) давление во впускном трубопроводе снижается до минимального (0,02–0,03 МПа). Напряжение на выходе датчика падает до  $1,3 \pm 0,2$  В. При полностью открытой дроссельной заслонке (полная нагрузка) давление во впускном трубопроводе повышается до атмосферного (0,085–0,095 МПа), а напряжение на выходе датчика будет приближаться к  $4,6 \pm 0,2$  В.

Основу датчика давления (рис. 12.6, а) составляет кремниевый чип с мембраной, в которую методом диффузии введены четыре тензорезистора  $R1$ – $R4$  (резистор  $R3$  не показан, он находится за резистором  $R2$ ). Над мембраной расположена вакуумная камера.

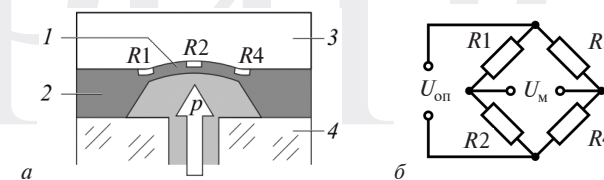


Рис. 12.6. Тензорезисторный датчик давления воздуха во впускном трубопроводе:

а – общее устройство; б – электрическая мостовая схема; 1 – мембрана с тензорезисторами; 2 – кремниевый чип; 3 – вакуумная камера; 4 – стекло

В зависимости от воздействия внешнего давления  $p$  мембрана прогибается с различной интенсивностью (10–1000 мкм). Тензорезисторы  $R1$ – $R4$  изменяют электрическое сопротивление при возникающем механическом растяжении или сжатии. Измерительные резисторы расположены на чипе таким образом, что при деформации мембраны сопротивление двух резисторов (например,  $R1$  и  $R4$ ) возрастает, а двух других ( $R2$  и  $R3$ ) уменьшается.

Тензорезисторы включают в мост Уитстона (рис. 12.6, б). Этот мост работает следующим образом. В одну диагональ моста подается опорное напряжение  $U_{оп}$ , и через резисторы протекает электрический ток. Если механическая нагрузка на резисторы отсутствует, они имеют одинаковое сопротивление, и мост оказывается сбалансированным, напряжение во второй диагонали моста  $U_M = 0$ .

При увеличении давления воздуха сопротивление резисторов  $R1$  и  $R4$  увеличивается, а резисторов  $R2$  и  $R3$  уменьшается. Это

вызывает разбаланс моста и появление в диагонали моста напряжения  $U_m$ , величина которого пропорциональна деформации мембраны и приложенному к мембране давлению. Для обработки полученной от датчика давления информации требуется специальный усилитель, который интегрируется в чип.

Температурные датчики позволяют измерять температуру охлаждающей жидкости, температуру воздуха во впускном тракте, температуру масла, топлива или отработавших газов.

Датчик температуры охлаждающей жидкости устанавливают в одном из контуров охлаждающей жидкости. Он служит для контроля температуры жидкости и управления двигателем. В корпус датчика встроен термистор — полупроводниковый резистор, сопротивление которого зависит от температуры (рис. 12.7, а).

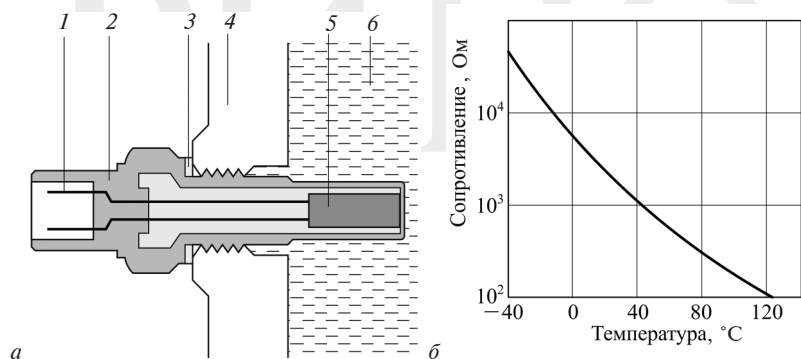


Рис. 12.7. Датчик температуры охлаждающей жидкости:  
а — общее устройство; б — температурная характеристика;  
1 — штекер; 2 — корпус датчика; 3 — уплотнительное кольцо;  
4 — корпус двигателя; 5 — термистор; 6 — охлаждающая жидкость

Обычно термистор имеет отрицательный температурный коэффициент, т. е. сопротивление термистора падает с ростом температуры (рис. 12.7, б). Датчик подключают к указателю температуры или к усилителю и аналогово-цифровому преобразователю.

### 12.3. Преобразователи

Датчики преобразуют измеряемую физическую величину в электрический сигнал, который далеко не всегда соответствует требованиям, предъявляемым информационно-диагностически-

ми системами к виду, форме, частоте и другим характеристикам сигнала. Преобразователи служат для преобразования электрического сигнала датчиков в форму, удобную для обработки.

По виду входных и выходных сигналов преобразователи подразделяют на преобразователи тока в напряжение, напряжения в ток, сопротивления в напряжение, емкости в напряжение, напряжения в частоту, частоту в напряжение, аналогового сигнала в цифровой и т. д.

Форма аналогового сигнала, который генерирует индуктивный датчик частоты вращения (см. рис. 12.3, б), не подходит для обработки цифровым ЭБУ двигателя, и этот сигнал необходимо преобразовать в цифровой. Преобразователь формы сигнала выполнен на основе компаратора  $DA$  (рис. 12.8), у которого выходной каскад выполнен по схеме с открытым коллектором. Такой каскад позволяет преобразовать выходной сигнал в логические уровни, которые используют в цифровых логических схемах. Положительная обратная связь на резисторе  $R3$  создает в компараторе два порога срабатывания, образуя схему триггера Шмитта. Делитель напряжения на резисторах  $R1$  и  $R2$ , подключенный к источнику опорного напряжения  $U_{оп}$ , определяет величину пороговых уровней. Кроме того, положительная обратная связь обеспечивает быстрое переключение выхода независимо от скорости изменения входного сигнала.

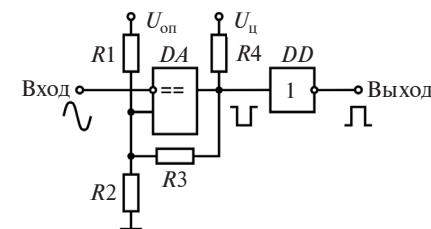


Рис. 12.8. Преобразователь формы сигнала на триггере Шмитта

Импульсы, поступающие на вход триггера Шмитта, сравнивают с верхним и нижним порогами срабатывания (рис. 12.9, а). Входной сигнал, уровень которого выше верхнего порогового уровня, становится логическим нулем, а сигнал, уровень которого меньше нижнего уровня, логической единицей. Двухуровневая

система позволяет исключить ложные срабатывания компаратора и появление лишних импульсов на выходе.

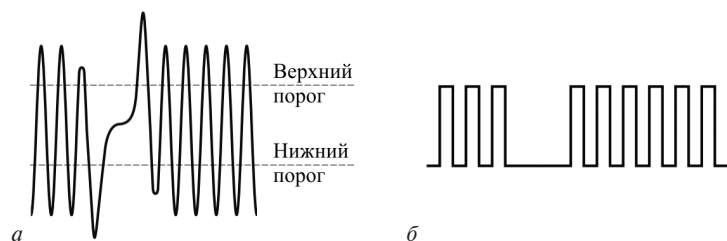


Рис. 12.9. Сигнал индуктивного датчика частоты вращения:  
а – до преобразования; б – после преобразования

Открытый коллектор выходного каскада компаратора  $DA$  через резистор  $R4$  подключен к напряжению питания  $U_{ц}$  цифровой части схемы (см. рис. 12.8), что позволяет обеспечить требуемые уровни логических «0» и «1». Поскольку входной сигнал поступает на инвертирующий вход компаратора, то для получения нужной фазы к выходу компаратора подключен логический элемент «НЕ»  $DD$ , инвертирующий сигнал. В результате фаза на входе преобразователя совпадает с фазой на его выходе (рис. 12.9, б). Кроме того, сравнивая длительность соседних импульсов, можно выявить положение верхней мертвой точки.

Для измерения величины тока в автомобильных цепях с электронным управлением вместо амперметра используют преобразователь тока в напряжение (рис. 12.10). Ток, протекающий от источника питания  $U_{п}$  в нагрузку, создает напряжение на шунте  $R1$ , который играет роль датчика тока. Это напряжение усиливается дифференциальным усилителем  $DA$ , в цепь обратной связи которого включен транзистор  $VT$ . В результате на выходе преобразователя будет напряжение, величина которого прямо пропорциональна току в нагрузке.

Преобразователи напряжения в частоту часто используют для согласования аналоговых и цифровых устройств. Схема простейшего преобразователя напряжения в частоту с линейной передаточной характеристикой показана на рисунке 12.11. В схеме использован интегратор на операционном усилителе  $DA$ , резисторе  $R1$  и конденсаторе  $C1$ .

При интегрировании входного напряжения выходное напряжение  $DA$  линейно нарастает. Когда это напряжение превышает

напряжение открытия диода  $VD$ , этот диод переключается в состояние с низким сопротивлением. При этом конденсатор  $C1$  разряжается до тех пор, пока напряжение на нем не уменьшится до напряжения восстановления диода. После этого восстанавливается исходное состояние диода  $VD$ , и цикл возобновляется. В результате переключения диода на его аноде возникает импульсный сигнал, который поступает на выход. Частота выходного сигнала прямо пропорциональна величине входного напряжения.

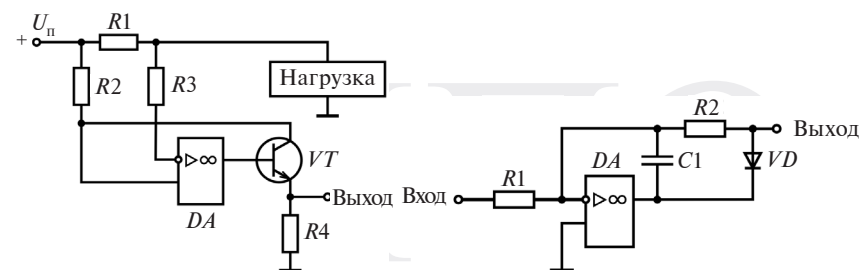


Рис. 12.10. Преобразователь тока в напряжение

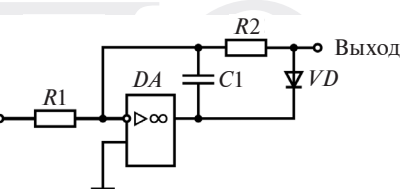


Рис. 12.11. Преобразователь напряжения в частоту

На базе преобразователей напряжения в частоту строят различные измерительные схемы, например преобразователи температуры в частоту. В таком преобразователе выходная частота будет зависеть от измеряемой температуры.

## 12.4. Усилители

Активные датчики генерируют электрический сигнал (напряжение, ток, заряд), величины которого часто недостаточно для работы указателя или обработки сигнала функциональным процессором. Пассивные датчики изменяют свое сопротивление, емкость или индуктивность и не способны создавать свой сигнал. В обоих случаях датчики подключают к электронным усилителям, на выходе которых формируется сигнал требуемой величины.

Основными характеристиками электронных усилителей сигналов датчиков информационно-диагностических систем являются коэффициент усиления и передаточная характеристика. Подробно классификация, устройство и принцип работы электронных усилителей рассмотрены в главе 2.3.

Если датчики используют совместно с преобразователями сигнала, то преобразователи часто выполняют функцию усилителя, т. е. отдельный усилитель после преобразователя может не потребоваться. Однако при подключении к датчику усилитель одновременно может выполнять преобразование одной электрической величины в другую.

Для измерения усилий, крутящего момента, давления и других физических величин часто используют тензодатчики — тензорезисторы, сопротивление которых зависит от их деформации. Тензорезисторы соединяют в электрический мост. К одной диагонали моста прикладывается опорное напряжение  $U_{оп}$ , а с другой снимается выходной сигнал моста  $U_m$ , пропорциональный деформации тензодатчиков (см. рис. 12.6, б). Уровень выходного сигнала  $U_m$  может быть измерен милливольтметром. Однако небольшая величина и месторасположение (отсутствие связи с массой автомобиля) этого сигнала делают его непригодным для непосредственного использования в информационно-диагностических системах транспортных средств.

Для преобразования сопротивления в напряжение и усиления сигнала тензорезисторный мост подключают к дифференциальному усилителю (рис. 12.12). На одну из диагоналей моста, состоящего из резисторов  $R1–R4$ , подается опорное напряжение  $U_{оп}$ , а вторая диагональ соединяется с инвертирующим и неинвертирующим входами дифференциального усилителя, собранного на операционном усилителе  $DA$ . Вследствие такого подключения усилителя происходит преобразование изменяющегося из-за деформации сопротивления тензодатчиков в напряжение, усиление этого напряжения и привязка его к массе автомобиля.

Аналогичным образом преобразуется и усиливается сигнал датчика температуры. Поскольку датчик фактически является терморезистором, сопротивление которого зависит от температуры, то он не может непосредственно генерировать какой-либо сигнал. Для получения информации от датчика через него необходимо пропустить электрический ток и измерить падение напряжения на датчике. Одна из возможных схем включения датчика показана на рисунке 12.13.

Терморезистор  $RK$  датчика включен в мост, образуемый резисторами  $R1–R3$ . При изменении температуры изменяется со-

противление терморезистора, что вызывает разбаланс моста, т. е. между противоположными плечами моста возникает напряжение, пропорциональное температуре. Это напряжение усиливается дифференциальным усилителем на микросхеме  $DA$ . Поскольку датчик температуры имеет соединение с корпусом, использовать дифференциальную схему усиления не обязательно.

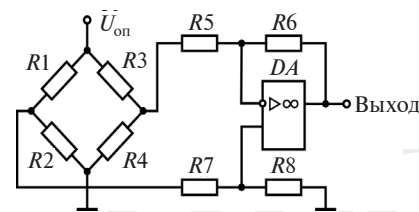


Рис. 12.12. Подключение тензорезисторного моста к усилителю

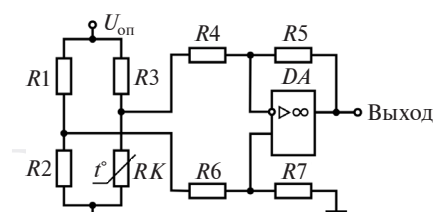


Рис. 12.13. Подключение терморезистора к усилителю

Использование пьезоэлектрических датчиков в электронных схемах имеет свою специфику. Пьезоэлектрические сенсорные элементы могут быть смоделированы как источники напряжения с емкостным внутренним сопротивлением. Поэтому для согласования сигнала пьезодатчиков с сигналом, применяемым в информационно-диагностических системах, используют два типа усилителей — электрометрический и зарядовый.

В *электрометрическом* усилителе на операционном усилителе  $DA$  пьезодатчик подключен к высокоомному неинвертирующему входу (рис. 12.14, а), поэтому усилитель практически не оказывает влияния на внутреннее сопротивление пьезодатчика и усиливает напряжение датчика. Однако емкость  $C1$  пьезоэлемента в данном случае является паразитной и вносит искажения в усиливаемый сигнал.

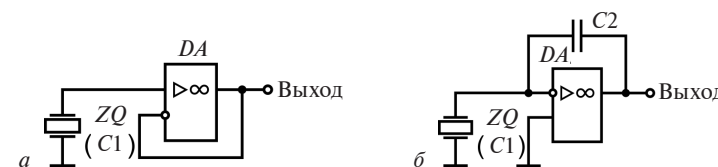


Рис. 12.14. Усилитель для пьезоэлектрического датчика: а — электрометрический; б — зарядовый

В зарядном усилителе (рис. 12.14, б) паразитная емкость  $C1$  датчика входит в передаточную функцию, поскольку она совместно с конденсатором  $C2$  определяет коэффициент усиления усилителя. В результате паразитная емкость не оказывает влияния на усиливаемый сигнал. Поскольку пьезодатчик подключен к инвертирующему входу операционного усилителя  $DA$ , имеющему низкое входное сопротивление, то происходит шунтирование пьезодатчика и искажение усиливаемого сигнала.

В обеих схемах следует принимать во внимание, что усилитель должен обеспечить необходимую передаточную функцию, поскольку сигнал пьезодатчика является нелинейным. Элементы, обеспечивающие требуемую передаточную функцию, на схемах не показаны.

## 12.5. Приборы контроля

Приборы контроля делят на две группы. Первая группа приборов информирует водителя о предельном (аварийном) значении измеряемого параметра либо об исправности контролируемой системы или узла. Вторая группа передает водителю информацию о текущем состоянии контролируемого объекта: включен или выключен, открыт или закрыт. Приборы контроля передают информацию световым или звуковым сигналом.

Приборы контроля зарядного режима аккумуляторной батареи обеспечивают контроль технического состояния системы электроснабжения в целом и отдельных ее элементов, а также позволяют судить о состоянии отдельных потребителей и проводки. Для этой цели применяют амперметры, вольтметры и контрольные лампы.

На рисунке 12.15 показана типовая схема электроснабжения автомобиля с генераторной установкой и аккумуляторной батареей. С помощью амперметра контролируется заряд или разряд аккумуляторной батареи.

Контрольная лампа сигнализирует об исправности генераторной установки. Она загорается при включении зажигания, поскольку на нее подается напряжение от аккумуляторной батареи через замок зажигания, клемму «Д» и обмотку возбуждения генератора. После запуска двигателя, когда напряжение на выходе генератора (клемма «+») достигнет номинального значения,

напряжение на клеммах «+» и «Д» станет одинаковым, и контрольная лампа погаснет.

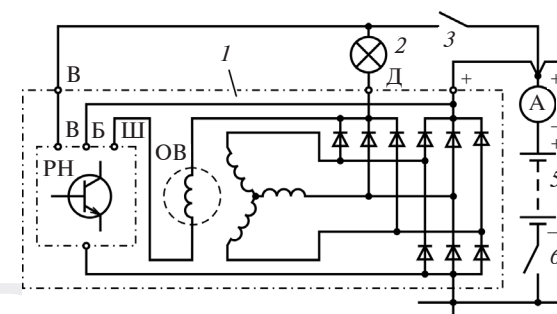


Рис. 12.15. Схема системы электроснабжения:  
1 – генераторная установка; 2 – контрольная лампа; 3 – выключатель зажигания; 4 – амперметр; 5 – аккумуляторная батарея; 6 – выключатель массы

Применение на автомобиле термометра со стрелочным указателем температуры охлаждающей жидкости не гарантирует, что нарушение теплового режима двигателя будет сразу замечено водителем. Сигнализатор аварийной температуры (рис. 12.16) устанавливают дополнительно к термометру для того, чтобы световым сигналом контрольной лампы привлечь внимание водителя к повышению температуры до критического состояния.

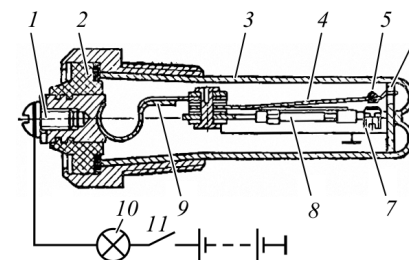


Рис. 12.16. Сигнализатор аварийной температуры:  
1 – вывод; 2 – изолятор; 3 – баллон; 4 – биметаллическая пластина;  
5, 7 – контакты; 6 – ограничитель; 8, 9 – токоведущие пластины;  
10 – контрольная лампа; 11 – выключатель зажигания

В баллоне датчика сигнализатора аварийной температуры установлена биметаллическая пластина с контактом 5, изолиро-

ванная от корпуса и соединенная с контрольной лампой через вывод. Ограничитель не допускает контакта биметаллической пластины с баллоном. Неподвижный контакт 7, закрепленный на токоведущей пластине 8, соединен с корпусом. Датчик вкручивают в одну из деталей контролируемой системы охлаждения. Баллон датчика контактирует с охлаждающей жидкостью.

С ростом температуры охлаждающей жидкости воздух внутри баллона нагревается, что вызывает деформацию (изгиб) биметаллической пластины. При увеличении температуры до критического значения деформируемая пластина замыкает контакты, что приводит к загоранию контрольной лампы.

Аналогичные датчики могут быть установлены в системе смазки двигателя или в гидросистеме автоматической коробки передач. В некоторых конструкциях датчиков аварийной температуры биметаллическую пластину соединяют с корпусом, а неподвижный контакт 7 изолируют от корпуса и соединяют с выводом датчика.

В отличие от сигнализатора аварийной температуры, предупреждающего о превышении измеряемого параметра, сигнализатор аварийного давления (рис. 12.17) предупреждает о критическом снижении давления в системе.

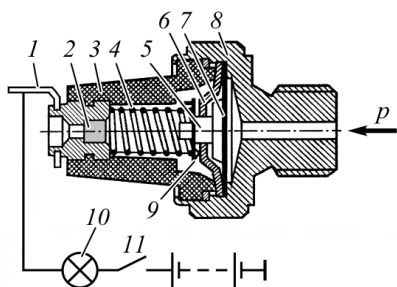


Рис. 12.17. Сигнализатор аварийного давления:

1 - вывод; 2 - фильтр; 3 - изолятор; 4 - тарированная пружина; 5 - толкатель; 6, 9 - неподвижный и подвижный контакты; 7 - диафрагма; 8 - корпус; 10 - контрольная лампа; 11 - выключатель зажигания

Датчик, установленный в контролируемую среду (например, в систему смазки двигателя), является основным элементом сигнализатора. Он содержит чувствительный элемент, преобразующий давление в перемещение. В качестве чувствительного элемента применяют диафрагму и тарированную пружину. Пружина вместе с

диафрагмой, толкателем, подвижным 9 и неподвижным 6 контактами размещена внутри корпуса с изолятором. Тарельчатый неподвижный контакт 6 соединен с корпусом, а подвижный контакт 9 с пружиной изолированы от корпуса. Корпус датчика вкручивают в корпус двигателя. Полость под диафрагмой через отверстие в корпусе датчика сообщается с системой смазки, а полость над диафрагмой через отверстие в изоляторе и фильтр - с атмосферой.

При нормальном давлении  $p$  масла в системе смазки диафрагма выгибается и воздействует на толкатель, который преодолевает усилие тарированной пружины и размыкает контакты. В случае аварийного падения давления в системе пружина прижимает подвижный контакт 9 к неподвижному 6. Контакты замыкаются и контрольная лампа загорается.

## 12.6. Приборы измерения

Основное назначение приборов измерения температуры - контроль теплового состояния двигателя, который осуществляется установкой термометров, измеряющих температуру охлаждающей жидкости и масла.

Термометр состоит из логометрического указателя и терморезисторного датчика (рис. 12.18).

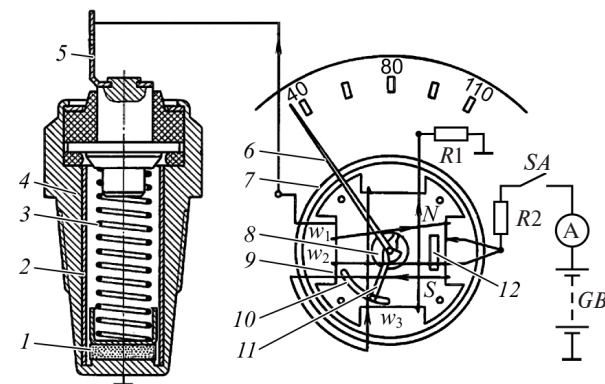


Рис. 12.18. Термометр:

1 - терморезистор; 2 - изоляционная втулка; 3 - токоведущая пружина; 4 - баллон; 5 - вывод; 6 - стрелка указателя; 7 - экранирующий цилиндр; 8 - дисковый магнит; 9 - каркас; 10 - прорезь; 11 - ограничитель; 12 - возвратный магнит

Термочувствительным элементом датчика служит таблетка терморезистора, прижатая ко дну баллона токоведущей пружиной. Пружина соединена с выводом, изолированным от латунного баллона. Баллон вкручивают в корпусную деталь двигателя и в результате через резьбу соединяют с массой транспортного средства, являющейся обратным проводом бортовой электрической сети. Принцип действия терморезисторного датчика основан на уменьшении сопротивления терморезистора при его нагреве.

Логометрический указатель представляет собой магнитоэлектрический прибор, содержащий три катушки  $w_1$ ,  $w_2$  и  $w_3$ , намотанные на пластмассовом каркасе. Катушки  $w_2$  и  $w_3$  расположены перпендикулярно друг другу и соединены между собой одним из концов катушек. Второй конец катушки  $w_3$  через термокомпенсационный резистор  $R1$  соединен с массой. Второй конец катушки  $w_2$  соединен с катушкой  $w_1$ , расположенной в одной плоскости с катушкой  $w_2$ , но намотанной в противоположном направлении. Таким образом, магнитные потоки катушек  $w_1$  и  $w_2$  направлены навстречу друг другу, а магнитный поток катушки  $w_3$  перпендикулярно первым двум магнитным потокам.

Внутри каркаса на одной оси со стрелкой указателя размещен постоянный дисковый магнит. При протекании тока по катушкам указателя магнит вместе со стрелкой поворачивается вокруг оси, ориентируясь своими полюсами вдоль магнитных силовых линий результирующего магнитного потока, создаваемого катушками. Максимальный и минимальный углы поворота стрелки устанавливаются прорезью с ограничителем.

При включении датчика и указателя в электрическую цепь ток проходит через катушки и вызывает отклонение стрелки, обратно пропорциональное сопротивлению терморезистора. Чем выше температура, тем меньше сопротивление терморезистора, больше протекающий по схеме ток и больше отклонение стрелки.

Количество топлива в топливном баке оценивают электрическими приборами для измерения уровня топлива. Эти приборы состоят из указателя, который монтируют на панели приборов, и датчика, установленного в топливном баке. Чувствительным элементом датчика является поплавков, связанный рычагом с ползунком (рис. 12.19, а). Ползунок скользит по обмотке реостата, конец которой соединен с выводом. Поскольку поплавков находится на поверхности топлива, то при изменении уровня топли-

ва в баке поплавков с рычагом поворачивается относительно оси, перемещая ползунок по реостату, изменяя его сопротивление.

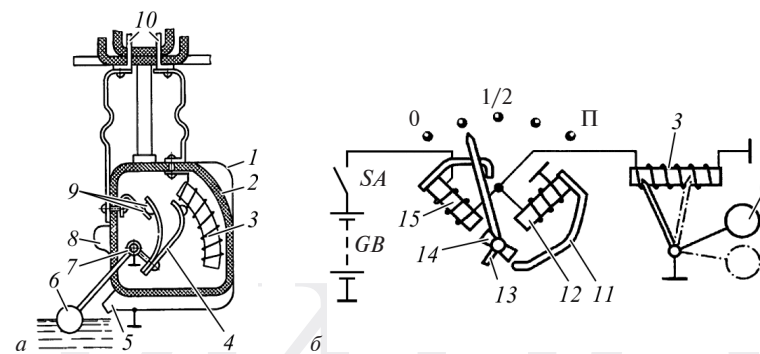


Рис. 12.19. Указатель уровня топлива:

а – датчик уровня и резерва топлива; б – электромагнитный указатель уровня топлива; 1 – металлическое основание; 2 – пластмассовый корпус; 3 – обмотка реостата; 4 – ползунок; 5, 8 – упоры рычага поплавка; 6 – поплавков; 7 – ось рычага; 9 – контактная пара; 10 – выводы; 11 – магнитопровод; 12, 15 – электромагниты; 13 – стальной яркорек; 14 – противовес

Указатель уровня топлива может быть как логометрическим, так и электромагнитным. На рисунке 12.19, б показано подключение датчика уровня топлива к электромагнитному указателю. Электромагнитный указатель состоит из двух электромагнитов 12 и 15, стрелки со стальным яркорьком и латунным противовесом. При включении замка зажигания  $SA$  через обмотки электромагнитов пойдет ток, пропорциональный величине сопротивления реостата. Результирующий магнитный поток воздействует на стальной яркорек, который поворачивает стрелку и устанавливает ее в определенной части шкалы прибора.

Датчик уровня топлива (см. рис. 12.19, а) также выполняет функцию датчика резервного (минимального) уровня. При снижении уровня топлива до минимального значения поплавков опустится до упора 5, при этом замкнутся контакты 9 и на панели приборов загорится контрольная лампа резервного остатка топлива, оповещающая водителя о необходимости заправки.

Для контроля скорости движения и частоты вращения коленчатого вала предназначены спидометры и тахометры. Принцип действия спидометра и тахометра с электроприводом одинаковый. Основу указателя составляет индукционный преобразователь,

включающий в себя постоянный магнит и металлический диск со стрелкой (рис. 12.20, *a*). Магнит вращается электродвигателем, встроенным в указатель. При вращении магнита относительно диска в диске наводятся вихревые токи. Создаваемое вихревыми токами магнитное поле взаимодействует с полем магнита, что создает поворачивающий момент, который поворачивает диск, закручивая при этом спиральную пружину. Диск поворачивается до тех пор, пока поворачивающий момент не уравновесится противодействующим моментом пружины. В результате стрелка указателя отклонится на угол, прямо пропорциональный частоте вращения магнита.

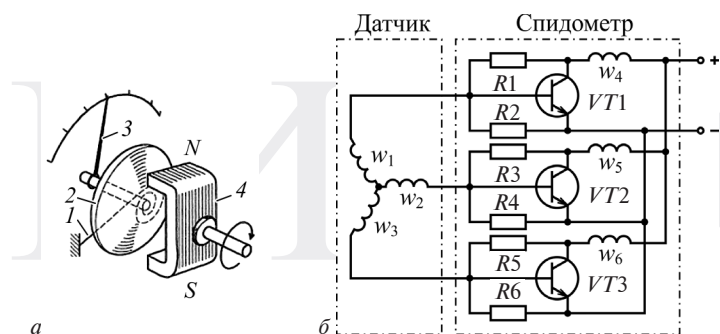


Рис. 12.20. Спидометр:

*a* – индукционный преобразователь; *б* – схема с электроприводом;  
1 – спиральная пружина; 2 – металлический диск; 3 – стрелка; 4 – магнит

Работу указателя обеспечивает трехфазный электропривод, состоящий из синхронного генератора, выполняющего функцию датчика, и синхронного электродвигателя, встроенного в указатель. Для определения скорости движения ротор генератора приводится во вращение от ведомого вала коробки передач. Фазное напряжение с обмоток статора  $w_1$ – $w_3$  подается на фазные обмотки электродвигателя спидометра  $w_4$ – $w_6$  через усилители с общим эмиттером на транзисторах  $VT1$ – $VT3$  (рис. 12.20, *б*). В результате вал электродвигателя указателя вращается с той же частотой, что и вал генератора, вызывая соответствующее отклонение стрелки спидометра. Поскольку частота вращения ведомого вала коробки передач пропорциональна скорости движения, стрелка будет показывать на шкале спидометра скорость движения.

Частоту вращения коленчатого вала двигателя можно заметить тахометром с электроприводом, схожим по конструкции со

спидометром (рис. 12.21, *a*). Основное отличие заключается в месте расположения датчика, который устанавливают на одном из валов, непосредственно связанных с коленчатым валом двигателя. В электрической схеме тахометра предусмотрен дополнительный вывод «С», предназначенный для реле блокировки стартера.

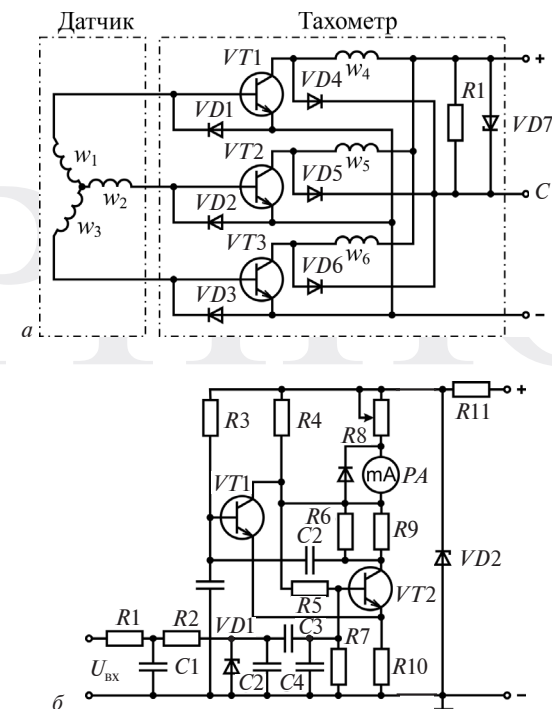


Рис. 12.21. Схема тахометра:

*a* – с электроприводом; *б* – с преобразованием сигнала системы зажигания

Электронный тахометр (рис. 12.21, *б*) принципиально отличается от тахометра с электроприводом.

Указателем частоты вращения коленчатого вала двигателя в этом тахометре является миллиамперметр *РА*. Принцип действия тахометра основан на преобразовании частоты импульсов, поступающих с прерывателя системы зажигания в ток миллиамперметра. Импульсы с прерывателя, частота которых пропорциональна частоте вращения коленчатого вала, поступают на вход тахометра ( $U_{вх}$ ). Формирователь импуль-

сов на транзисторах  $VT1$  и  $VT2$  преобразует частоту входных импульсов в выходные импульсы, проходящие через миллиамперметр, скважность которых пропорциональна частоте. Поскольку среднее эффективное значение тока, проходящего через миллиамперметр, зависит от скважности выходных импульсов, то отклонение стрелки миллиамперметра пропорционально частоте входных импульсов. Следовательно, миллиамперметр будет показывать частоту вращения коленчатого вала двигателя.

Импульсы, поступающие на электронный тахометр с системы зажигания, можно заменить импульсами, поступающими от одной из фаз генератора переменного тока. Поскольку вал генератора приводится во вращение от коленчатого вала двигателя, то частота переменного тока, вырабатываемого генератором, пропорциональна частоте вращения коленчатого вала. Такие тахометры применяют как на дизельных двигателях, у которых отсутствует система зажигания, так и на бензиновых.

### 12.7. Реализация информационно-диагностической системы в аналоговых цепях

Информационно-диагностическая система предназначена для предупреждения водителя о возникновении неисправностей или нарушении рабочих функций узлов и агрегатов. Параметрами, контролируруемыми информационно-диагностической системой, являются давление масла в двигателе, уровень охлаждающей и тормозной жидкости, износ тормозных накладок, исправность ламп и предохранителей системы освещения и сигнализации и др.

Цепи бортовой электрической сети транспортного средства, в которых отсутствуют микропроцессорные системы управления устройствами, условно называют аналоговыми цепями. В таких цепях имеются ток и напряжение и отсутствует цифровой двоичный сигнал. Аналоговые цепи контролируются аналоговыми датчиками, блоком управления и средств отображения информации.

Для контроля исправности ламп системы освещения и сигнализации используют реле контроля, которое определяет исправность ламп габаритных огней и стоп-сигнала. Реле содержит герконы, состоящие из обмоток  $L1-L5$  и контактов  $S1-S5$

(рис. 12.22). Каждая обмотка включена в цепь контролируемой лампы. Если контролируемая лампа исправна, через нее и обмотку геркона течет ток. Протекающего через обмотку геркона тока достаточно для создания магнитного поля, замыкающего контакты геркона.

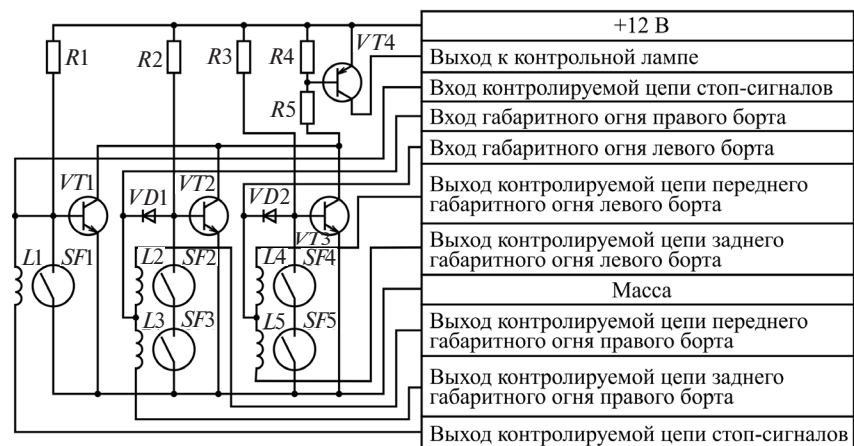


Рис. 12.22. Схема реле контроля исправности ламп системы освещения и сигнализации

Контакты герконов включены в цепь между базой и эмиттером транзисторов  $VT1-VT3$ , поэтому при замкнутых контактах всех герконов (все лампы исправны), транзисторы  $VT1-VT3$  закрыты, ток на базу выходного транзистора  $VT4$  через резистор  $R4$  не идет, и транзистор  $VT4$  закрыт. При возникновении неисправности (перегорела одна из ламп) ток через одну из обмоток снижается, и контакты соответствующего геркона размыкаются. При размыкании контактов один из транзисторов  $VT1-VT3$  открывается, ток проходит через резистор  $R4$  на базу транзистора  $VT4$ . Транзистор  $VT4$  открывается и подает напряжение на контрольную лампу, которая в результате загорается.

Блок управления и контроля объединяет отдельные контролируемые элементы в единую систему (рис. 12.23). В этом блоке каждая контрольная лампа ( $HL1-HL6$ ) включена в цепь контролируемого ею параметра и загорается при выходе параметра за допустимые пределы.



Рис. 12.23. Схема блока управления и контроля

Для проверки самих контрольных ламп служит выключатель  $S1$ . При нажатии на кнопку выключателя все контрольные лампы должны загореться.

## 12.8. Реализация информационно-диагностической системы в цифровых цепях

Цифровые системы значительно расширяют возможность информирования водителя о различных параметрах транспортных средств. Объединение различных систем транспортного средства в единую сеть с центральным межсетевым шлюзом позволяет проводить расширенное диагностирование отдельных компонентов путем обработки данных, поступающих по сети от этого оборудования.

Объединение разнообразных систем в единую информационно-диагностическую сеть вызвало необходимость использовать различные протоколы и шины обмена данными (рис. 12.24).

CAN-шина движения – высокоскоростная шина класса C, объединяющая контроллеры двигателя, трансмиссии, подвески, рулевого управления, антиблокировочной и противобуксовочной систем, системы стабилизации движения и т. д. Такой же шиной с центральным межсетевым шлюзом соединена система контроля безопасной дистанции (подробное устройство и работа CAN-шины были рассмотрены в главе 5.3).

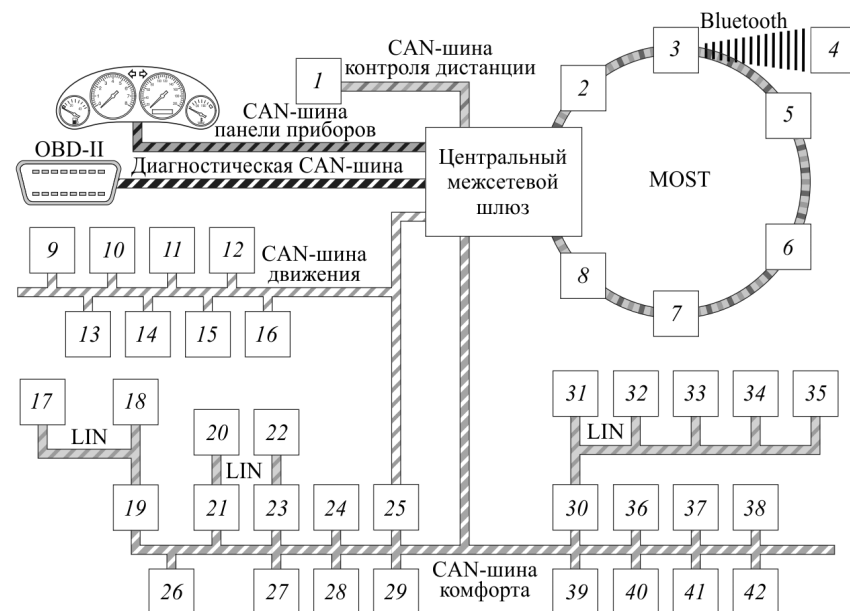


Рис. 12.24. Цифровая информационно-диагностическая система:  
 1 – система контроля безопасной дистанции; 2 – панель информационной системы; 3 – телефон; 4 – смартфон; 5 – усилитель цифровой аудиосистемы; 6 – система голосового управления; 7 – цифровой радиоприемник; 8 – система навигации; 9 – стояночный тормоз с электроприводом; 10 – блок управления фарами; 11 – блок управления полным приводом; 12 – блок ABS/ESP; 13 – блок управления двигателем; 14 – автоматическая коробка передач; 15 – блок управления подвеской; 16 – подушки безопасности; 17 – охранная система с датчиками наклона; 18 – крышка багажника; 19 – система «Комфорт»; 20 – стеклоочиститель; 21 – бортовая сеть; 22 – мультифункциональное рулевое колесо; 23 – электроника на рулевой колонке; 24 – регулировка сиденья водителя с памятью; 25 – система рулевого управления; 26 – блок управления в двери водителя; 27 – блок управления в двери переднего пассажира; 28 – блок управления в задней левой двери; 29 – блок управления в задней правой двери; 30 – климатическая установка; 31 – вентиляция салона; 32 – обогрев лобового стекла; 33 – обогрев сиденья водителя; 34 – обогрев сиденья переднего пассажира; 35 – вентиляция сиденья водителя; 36 – регулировка сиденья переднего пассажира; 37 – дополнительный отопитель; 38 – управление электроэнергетикой; 39 – контроль давления в шинах; 40 – электроника в крыше; 41 – идентификация водителя; 42 – система парковки

CAN-шина комфорта (низкоскоростная шина класса B) связывает в сеть все системы кузова и комфорта, которыми управ-

ляет блок комфорта (управление микроклиматом, подогревом сидений, стеклоподъемниками и т. д.). К этому классу относят и CAN-шину панели приборов.

Сеть LIN (Local Interconnect Network – локальная сеть) является подсистемой CAN-шины комфорта. Эта низкоскоростная однопроводная сеть работает по принципу «ведущий–ведомый» и получает команды от блока управления комфортом на включение вентилятора климатической установки, подъем стекла, регулировку сиденья и т. д. При необходимости к CAN-шине комфорта можно подключить несколько сетей LIN.

Сеть кольцевой структуры MOST (Media Oriented Systems Transport – мультимедийная сеть) соединяет своей шиной мультимедийное оборудование, телефон, навигатор, систему голосового управления, доступ в сеть Internet и т. д. Также к этой сети различные устройства можно подключать по беспроводным технологиям (Bluetooth, Wi-Fi).

Информация, поступающая в центральный межсетевой шлюз от всех систем, обрабатывается и хранится в памяти сервера. Часть этой информации выводится на панель приборов: скорость движения, уровень топлива в баке, температура в салоне, аварийное давление в системе смазки и т. д. Однако панель приборов имеет ограниченные возможности по визуализации информации даже при наличии графического дисплея.

Для информирования водителя о появлении такой неисправности в системе, которая не может быть отображена на дисплее, обычно используют контрольную лампу «Check Engine». Загорание этой лампы свидетельствует о появлении неисправности, но оно не может передать подробную информацию о неисправности. Для передачи большого объема данных предназначена диагностическая шина с разъемом, к которому можно подключать диагностический тестер (сканер) или диагностический компьютер.

Диагност-тестер считывает коды неисправностей, которые расшифровывают с помощью специальных таблиц. Компьютер с соответствующим программным обеспечением позволяет не только получить наглядную информацию о неисправностях, но и управлять информационно-диагностической системой транспортного средства: проверить работоспособность датчиков, стереть коды неисправностей, перепрограммировать ЭБУ двигателя, обновить программное обеспечение мультимедийной системы и т. д.

Наибольшее распространение для обмена данными между диагностическим оборудованием и транспортным средством получил диагностический разъем OBD-II (рис. 12.25).

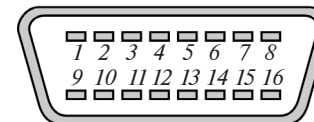


Рис. 12.25. Диагностический разъем OBD-II:  
1, 3, 8, 9, 11, 12, 13 – определяется производителем; 2 – «+» шины J1850; 4 – масса автомобиля; 5 – масса сигнала; 6 – высокий уровень CAN; 7 – линия K; 10 – «-» шины J1850; 14 – низкий уровень CAN; 15 – линия L; 16 – «+» аккумуляторной батареи

Выводы разъема стандартизированы и обеспечивают протоколы обмена данными по линиям K и L (протокол по стандарту ISO 9141-2), шине J1850 (SAE J1850) и шине CAN (ISO 15765-4). По линии K (более скоростной) проходит диагностическая информация, а линия L (менее скоростная) инициирует обмен информации с диагност-тестером. Шина J1850 обеспечивает более скоростной обмен данными, чем линии K и L. Поскольку протоколы обмена данными ISO 9141-2 и SAE J1850 несовместимы, в каждом конкретном автомобиле будут задействованы либо линии K и L, либо шина J1850. Шина CAN совместима с линиями K и L и обеспечивает наибольшую скорость обмена данными через диагностический разъем.

### Контрольные вопросы и задания

1. Приведите классификацию контрольно-измерительных приборов.
2. Расскажите о работе индуктивного датчика частоты вращения.
3. Опишите работу тензорезисторного датчика давления.
4. Как работает преобразователь формы сигнала на триггере Шмитта?
5. Опишите работу усилителя с подключенным терморезистором.
6. Как работает сигнализатор аварийного давления?
7. Как устроен датчик уровня и резерва топлива?
8. Для чего нужна контрольная лампа «Check Engine»?
9. Опишите назначение выводов диагностического разъема OBD-II.

## 13. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АГРЕГАТАМИ

### 13.1. Электронные системы управления рулевым управлением

Электроусилитель рулевого управления предназначен для уменьшения усилия, затрачиваемого водителем на поворот управляемых колес. В системе с электроприводом функции силового элемента выполняет электродвигатель, а управляющего — электронный блок управления. Возможны следующие варианты расположения электродвигателя: на валу рулевого колеса, на валу шестерни реечного механизма и непосредственно на рейке. В последнем варианте электродвигатель воздействует на рейку через винтовую гайку.

На рисунке 13.1 представлена схема электроусилителя руля с электродвигателем, приводящим во вращение дополнительную шестерню на зубчатой рейке рулевого механизма. При повороте автомобиля рулевое колесо через вал вращает шестерню, которая перемещает рейку вправо или влево, поворачивая управляемые колеса. Электродвигатель, вращая через свой редуктор шестерню, помогает перемещать рейку, снижая в результате усилие на рулевом колесе.

Для управления работой электроусилителя в системе установлен ЭБУ, который обрабатывает сигналы, поступающие от датчика частоты вращения коленчатого вала, датчиков частоты вращения колес, датчика угла поворота рулевого колеса и датчика крутящего момента на рулевом колесе. Управление усилителем производится в соответствии с многопараметровой характеристикой, сохраняемой в постоянной памяти блока управления и отражающей зависимость крутящего момента, создаваемого электродвигателем усилителя, от крутящего момента на рулевом колесе.

При повороте рулевого колеса действующий на него крутящий момент измеряется датчиком 3. Текущий угол поворота ру-

левого колеса измеряется датчиком 8, а скорость вращения рулевого колеса определяется по частоте вращения вала электродвигателя, измеряемой установленным на этом валу датчиком. Блок управления усилителем рассчитывает крутящий момент двигателя усилителя по величинам момента на рулевом колесе, скорости автомобиля, частоты вращения коленчатого вала, угла и скорости поворота рулевого колеса. При этом учитываются сохраняемые в памяти прибора характеристики. По результатам расчета блок управления изменяет крутящий момент двигателя усилителя. Таким образом, перемещение рейки происходит под действием суммы усилий, создаваемых в результате преобразования крутящего момента двигателя усилителя и крутящего момента, передаваемого с рулевого колеса.

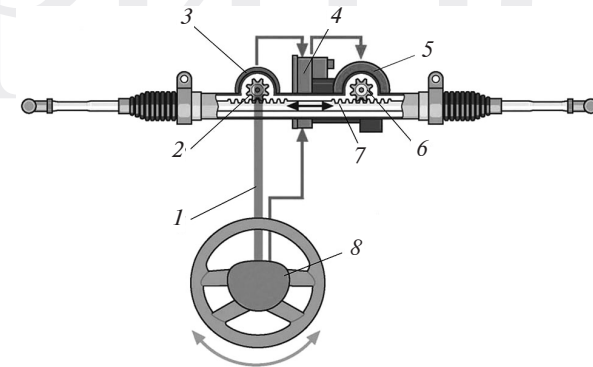


Рис. 13.1. Электроусилитель рулевого управления:  
1 — вал рулевого колеса; 2 — шестерня рулевого вала; 3 — датчик крутящего момента на рулевом колесе; 4 — блок управления;  
5 — электродвигатель; 6 — шестерня усилителя; 7 — зубчатая рейка; 8 — датчик угла поворота рулевого колеса

Для определения угла поворота рулевого колеса используют потенциометры, магниторезистивные и оптические датчики. Магниторезистивный датчик (рис. 13.2, а) включает в себя ведущее зубчатое колесо, одетое на вал рулевого колеса, ведомые зубчатые колеса 5 и 6 с числом зубьев, отличающимся на один зуб, магниты и измерительные ячейки с анизотропными магниторезистивными датчиками.

Информация об угле поворота рулевого колеса  $\varphi$  в диапазоне четырех полных оборотов формируется путем измерения угла

поворота  $\psi$  и  $\theta$  двух зубчатых колес, которые приводятся в действие зубчатым колесом, расположенным на рулевом валу. Углы поворота определяются при взаимодействии магнитов с измерительными ячейками. Поскольку зубчатые колеса различаются на один зуб ( $m$  и  $m + 1$ ), то для каждого варианта положения рулевого колеса существует однозначная пара  $\psi$  и  $\theta$  параметров угла  $\varphi$ .

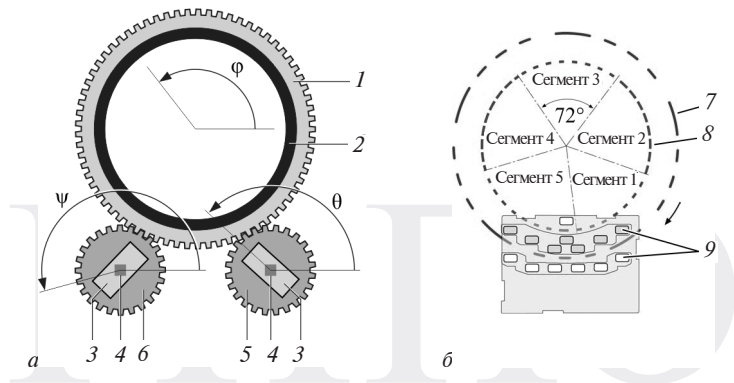


Рис. 13.2. Датчик угла поворота рулевого колеса:

*a* – магниторезистивный; *б* – оптоэлектронный; 1 – зубчатое колесо на валу рулевого колеса; 2 – вал рулевого колеса; 3 – магнит; 4 – измерительная ячейка; 5 – зубчатое колесо с  $m + 1$  зубьями; 6 – зубчатое колесо с  $m$  зубьями; 7, 8 – кольца для определения абсолютного и относительного значений угла; 9 – оптоэлектронная пара

Основными элементами оптоэлектронного датчика угла поворота являются кодировочный диск и сопряженные оптоэлектронные пары, состоящие из светодиодов и фотодиодов (рис. 13.2, б).

Кодировочный диск состоит из двух колец: наружного 7, предназначенного для абсолютного измерения угла поворота рулевого колеса, и внутреннего 8 – для определения относительных изменений угла. Кольцо для измерения относительных изменений угла разделено на пять сегментов по  $72^\circ$ , а его показания считываются с помощью оптоэлектронной пары. В пределах каждого сегмента кольца имеются прорезы. Интервалы между прорезями в пределах сегментов одинаковы, но отличаются разными сегментами. Таким образом кодируется каждый сегмент. Кольцо для абсолютного измерения определяет значение угла с помощью шести оптоэлектронных пар. Датчик угла поворота суммирует все углы поворота и может измерить угол до  $1044^\circ$ . При прохождении отметки  $360^\circ$

датчик определяет, что произведен полный оборот рулевого колеса. Сравнивая сигналы от колец 7 и 8, система может определить, на какой угол повернуты кольца. При этом исходной точкой для отсчета является показание абсолютной части датчика.

Крутящий момент на рулевом колесе измеряется датчиком, установленным непосредственно на хвостовике шестерни вала рулевого управления. Различают несколько конструкций датчиков крутящего момента: оптический, индуктивный, датчик Холла, магниторезистивный.

Датчик крутящего момента, построенный на эффекте Холла, встроен в рулевую колонку между валом рулевого колеса и валом приводной шестерни (рис. 13.3). На валу рулевого колеса установлен многополюсный магнит, имеющий несколько пар полюсов. На валу шестерни имеются два статора с зубьями особой формы. Вал рулевого колеса и вал шестерни связаны друг с другом торсионным стержнем, обладающим возможностью скручивания. Чувствительным элементом датчика крутящего момента является неподвижный датчик Холла, закрепленный на корпусе. Для повышения надежности измерений используют два датчика Холла.

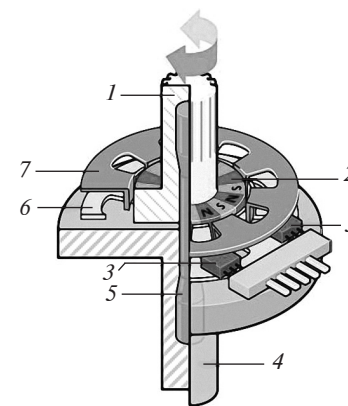


Рис. 13.3. Датчик крутящего момента на рулевом колесе:

1 – концевая часть вала рулевого колеса; 2 – магнитный диск; 3 – датчик Холла; 4 – вал; 5 – торсионный стержень; 6, 7 – первый и второй статоры

Принцип действия датчика построен на измерении угла закручивания торсиона, который пропорционален крутящему мо-

менту на рулевом колесе. В исходном положении (нейтральное положение рулевого управления) зубцы статоров расположены строго между полюсами магнитов, что соответствует минимальному сигналу датчика. При повороте рулевого колеса торсион закручивается, в результате многополюсный магнит поворачивается относительно статоров. Максимальный сигнал датчика достигается, когда зубья каждого из статоров встают напротив полюсов магнита. В этом положении создается максимальный магнитный поток, который фиксируется датчиками Холла. Соответствующий крутящему моменту сигнал датчика передается в блок управления усилителем.

### 13.2. Электронная система управления перераспределением крутящего момента

Электронная система управления перераспределением крутящего момента используется в полноприводных транспортных средствах. Система управления полным приводом перераспределяет крутящий момент между передними и задними колесами, взаимодействуя с системой стабилизации курсовой устойчивости, и повышает устойчивость автомобиля практически в любых условиях его движения.

Схема электроуправляемой полноприводной трансмиссии, оснащенной муфтой Haldex, приведена на рисунке 13.4. Блок управления системы перераспределения крутящего момента через шину CAN получает от блока управления антиблокировочной системой информацию о частоте вращения колес, продольном ускорении, сигнале торможения и включении ручного тормоза. Если автомобиль дополнительно оснащен системой курсовой устойчивости, эта система имеет приоритет перед системой перераспределения крутящего момента. Блок управления двигателем также через шину CAN выдает информацию о частоте вращения двигателя и положении педали акселератора. Наряду с входными сигналами через шину CAN блок управления Haldex получает дополнительные сигналы непосредственно от выключателя сигнала торможения ручного тормоза (муфта размыкается при включенном ручном тормозе) и от датчика температуры муфты.

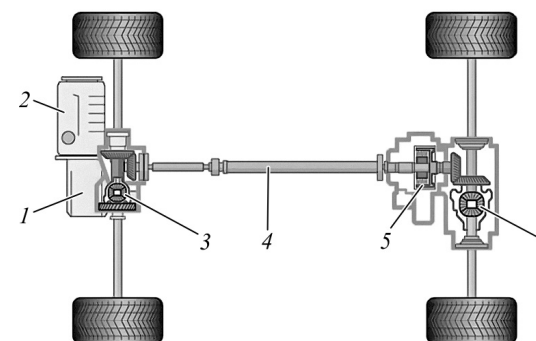


Рис. 13.4. Полный привод с муфтой Haldex:  
1 – двигатель; 2 – коробка передач; 3, 6 – передний и задний дифференциалы; 4 – карданный вал; 5 – муфта Haldex

При движении с постоянной скоростью блок управления включает муфту Haldex таким образом, что на задние колеса через муфту передается небольшой крутящий момент. При разгоне автомобиля производится включение муфты Haldex с распределением одинакового тягового усилия на все четыре колеса. При буксовании одного из передних колес вся мощность передается на задний мост, при буксовании одного из задних колес – на передний мост. В случае буксования одного переднего и одного заднего колеса вступает в действие система электронной блокировки дифференциалов, которая обеспечивает передачу мощности на колеса, не потерявшие сцепления с дорогой.

Основу муфты Haldex составляет многодисковая гидроподжимная муфта, работающая в масле (рис. 13.5, а). Оснащенный пружиной гидроаккумулятор служит для стабилизации давления масла в питающей магистрали. Электронасос постоянно подкачивает масло в питающую магистраль, поддерживая в ней давление, необходимое для быстрого замыкания муфты. Этот насос работает постоянно в процессе эксплуатации автомобиля, обеспечивая надежное заполнение гидравлической системы маслом. Нагнетательные клапаны расположены в магистрали между электронасосом и гидроподжимной муфтой. Пружины нагнетательных клапанов отрегулированы таким образом, что клапаны открываются при превышении давления под ними над давлением в питающей магистрали. После открытия клапанов на рабочий

поршень гидродожимной муфты передается давление, создаваемое поршнями электронасоса.

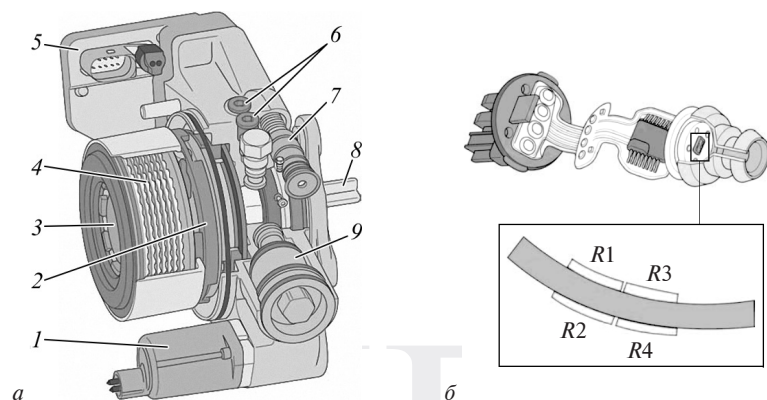


Рис. 13.5. Муфта Haldex:

- a* – общее устройство; *б* – датчики давления и температуры;  
 1 – электронасос; 2 – рабочий поршень; 3 – ведомая ступица;  
 4 – многодисковая муфта; 5 – блок управления;  
 6 – нагнетательные клапаны; 7 – гидроаккумулятор;  
 8 – ведущий вал; 9 – масляный фильтр

Блок управления получает информацию с датчика давления и температуры масла и данные о режиме движения автомобиля через шину CAN, анализирует их и устанавливает степень соответствия рабочего давления степени замыкания муфты и передаваемому крутящему моменту.

В одном общем корпусе датчика (рис. 13.5, б) находятся чувствительные элементы, реагирующие на изменение давления и температуры масла. Измерение температуры производится чувствительным элементом с отрицательным температурным коэффициентом. Давление измеряется посредством чувствительного элемента с тензорезисторами  $R1-R4$ , включенными по схеме моста Уитстона. Изменение давления приводит к изменению сопротивления тензорезисторов. В диапазоне до 10 МПа рабочее давление изменяется регулятором в соответствии с режимами движения автомобиля. Данные измерений давления и температуры масла используют при выборе режимов включения муфты.

### 13.3. Электронные системы управления трансмиссией

Системы электронного управления трансмиссией получили распространение на транспортных средствах с автоматическими коробками переключения передач (АКПП). Системы управления АКПП сочетают элементы электроники и гидравлики, причем гидравлический привод сохраняется только для включения фрикционов. В электронных системах имеется возможность устанавливать несколько различных программ переключения передач. Измерительные преобразователи системы определяют нагрузку, положение рычага переключения передач, положение педали акселератора и переключателя программ, а также частоту вращения коленчатого вала двигателя и валов коробки передач. Блок управления обрабатывает эти данные в соответствии с установленной программой и вырабатывает сигналы управления коробкой передач. Электродинамические преобразователи образуют связь между электронными и гидравлическими цепями, в то время как электромагнитные клапаны приводят в действие фрикционы.

Интеллектуальные программы переключения передач оптимизируют управление автомобилем, пополняя стандартные данные управления коробкой передач вспомогательными параметрами, такими как продольное и поперечное ускорение и скорость перемещения педалей тормоза и акселератора. Сложный алгоритм управления позволяет выбирать соответствующую программу как для текущих условий движения автомобиля, так и для стиля управления.

На рисунке 13.6 представлена схема управления АКПП с гидротрансформатором. Она состоит из гидротрансформатора, механической планетарной коробки передач с многодисковыми фрикционами и тормозными механизмами с гидроприводом, гидравлической системы, систем охлаждения и смазки, электрической системы. Система управления автоматической коробкой передач включает в себя электрогидравлический модуль, электронный блок управления, многофункциональный датчик, селектор. Блок управления связан шиной CAN с блоками управления двигателем, панелью приборов, антиблокировочной системой.



Рис. 13.6. Схема управления автоматической коробкой переключения передач

Гидроподжимные муфты механизма переключения передач приводятся в действие гидроцилиндрами, управляемыми посредством золотников-распределителей и электромагнитных клапанов, размещенных в распределительном модуле. Электромагнитные клапаны включаются блоком управления коробкой передач и управляют механизмами переключения передач и муфтой блокировки гидротрансформатора, а также регулируют давление рабочей жидкости в главной магистрали, контурах управления, гидротрансформаторе и в системе смазки коробки передач.

В системе управления применяют электромагнитные клапаны двух типов: клапаны управления переключением передач, которые могут находиться только в двух состояниях (открыты или закрыты), и регулирующие давление клапаны с широтно-импульсной модуляцией электропитания. Через электромагнитные клапаны переключения передач жидкость поступает под давлением к золотникам-распределителям, которые открывают или закрывают каналы подвода рабочей жидкости к исполнительным устройствам механизмов переключения передач. Регулирующие клапаны открываются в соответствии с проходящим через их обмотки током, изменяя давление рабочей жидкости в магистрали.

Данная АКПП управляется посредством динамической программы переключения, которая обеспечивает управление коробкой передач с учетом условий движения автомобиля (сопротивления движению, траектории движения, характера вождения).

Многофункциональный датчик соединен с рычагом селектора тросом. Он вырабатывает электрические сигналы в соответствии с перемещениями рычага селектора и передает их на блок управления АКПП.

Блок управления активизирует программы автоматического переключения передач в соответствии с положением рычага селектора. Он выполняет также функции, обеспечивающие блокировку стартера, включение ламп заднего хода и блокировку рычага селектора в позициях «Р» и «N». Кроме того, блок управления передает информацию о положении рычага селектора на шину CAN, с которой информация может быть считана другими блоками управления.

Значение частоты вращения на входе коробки передач, измеренное датчиком Холла, используют при управлении процессами переключения, адаптации и контроля, регулировании и контроле за работой муфты блокировки гидротрансформатора и при диагностике механизмов переключения.

Частота вращения на выходе коробки передач является одним из важнейших параметров, по которым электронная система управления производит переключение передач. Она однозначно связана со скоростью автомобиля и используется при выборе режимов переключения передач, действия динамической программы переключения и при диагностике механизмов переключения.

Датчик температуры рабочей жидкости расположен в распределительном модуле и омывается рабочей жидкостью. Данные о температуре поступают в блок управления коробкой передач. Температура жидкости учитывается при регулировании уровня давлений жидкости и скорости их изменения в процессе переключения передач, активизации зависящих от температуры жидкости процессов и режима защиты коробки передач от перегрева.

Датчик системы Tiptronic установлен на кулисе рычага селектора. По сигналам датчика системы Tiptronic блок управления производит переключение на высшую или низшую передачу. Посредством переключателей системы Tiptronic на рулевом колесе можно вручную производить последовательное переключение на

высшую или низшую передачу. Вырабатываемые переключателями сигналы непосредственно направляются в блок управления АКПП.

### 13.4. Электронные системы управления тормозной системой

*Антиблокировочная система* (ABS — Anti-Blocking System) препятствует блокировке колес при торможении и обеспечивает безопасность движения и быструю остановку автомобиля. Автомобильное колесо в процессе торможения движется в широком диапазоне частот вращения вплоть до полного блокирования (движения «юзом»). Для получения максимального замедления автомобиля и наименьшего тормозного пути необходимо, чтобы колеса при торможении имели проскальзывание, соответствующее максимальному значению коэффициента сцепления колеса с дорогой в продольном направлении.

Обычная тормозная система при экстренном торможении полностью блокирует колеса, что снижает эффективность торможения. Антиблокировочная система не допускает блокирования колес при торможении, поддерживая скольжение колес в зоне с максимальным коэффициентом сцепления и значительно снижая тормозной путь.

Структурная схема антиблокировочной тормозной системы представлена на рисунке 13.7. Основными компонентами ABS являются электронный блок управления, датчики частоты вращения колес и гидравлический модулятор давления, связанный с главным тормозным цилиндром.

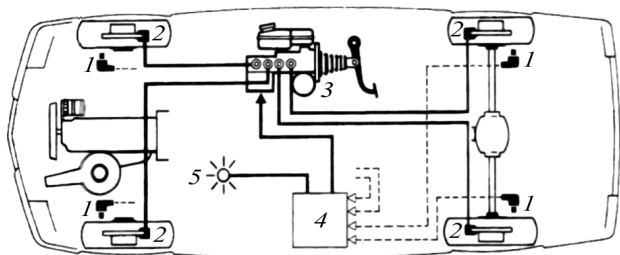


Рис. 13.7. Антиблокировочная система:

1 — датчик частоты вращения колес; 2 — рабочий тормозной цилиндр; 3 — главный тормозной цилиндр с модулятором давления ABS; 4 — ЭБУ ABS; 5 — контрольная лампа ABS

Функция ЭБУ состоит в том, чтобы получить информацию от колесных датчиков и вычислить порядок действий для гидравлического модулятора. Управляя давлением тормозной жидкости, поступающей к рабочим тормозным цилиндрам, ЭБУ с модулятором поддерживают частоту вращения колес на грани блокировки. Процесс регулирования торможения колеса является циклическим. Если колесо блокируется, ЭБУ по сигналу датчика частоты вращения подает команду модулятору, который сбрасывает давление в рабочем тормозном цилиндре, и колесо начинает вращаться с большей частотой. Увеличение частоты вращения колеса приводит к выполнению противоположной команды модулятору — увеличению давления в рабочем цилиндре. При возрастании давления колесо снова замедляется, и цикл повторяется.

Электронный блок управления также проводит самодиагностику системы после включения зажигания. При обнаружении ошибки ABS отключается и загорается контрольная лампа. Тормозная система при этом продолжает работать в обычном режиме (без ABS).

В датчиках частоты вращения колес (рис. 13.8, а) в качестве чувствительных элементов используют индуктивные датчики и датчики Холла. В индуктивном датчике вращение зубчатого колеса приводит к изменению магнитного поля, создаваемого постоянным магнитом. Переменный магнитный поток индуцирует ЭДС в катушке с частотой, пропорциональной частоте вращения диска.

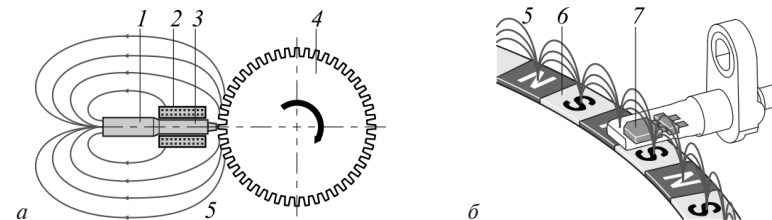


Рис. 13.8. Датчик частоты вращения колес:

а — индуктивный; б — Холла; 1 — магнит; 2 — катушка; 3 — полюсный контактный штифт; 4 — зубчатое стальное колесо; 5 — линии магнитного поля; 6 — многополюсное магнитное кольцо; 7 — датчик Холла

В датчике частоты вращения (рис. 13.8, б) вместо зубчатого диска используется многополюсное кольцо с поочередно расположенными постоянными магнитами. При вращении кольца на

интегральную схему датчика Холла действует поочередно изменяющееся магнитное поле, что приводит к появлению на выходе датчика импульсов, частота которых пропорциональна частоте вращения кольца.

*Противобуксовочная система* (TCS – Traction Control System) при трогании с места и разгоне транспортного средства препятствует буксованию ведущих колес. Для ее работы используются те же датчики вращения колес, что и в антиблокировочной системе. По причине общих функций и механизмов противобуксовочная и антиблокировочная системы создают единую систему с общим блоком управления (рис. 13.9).

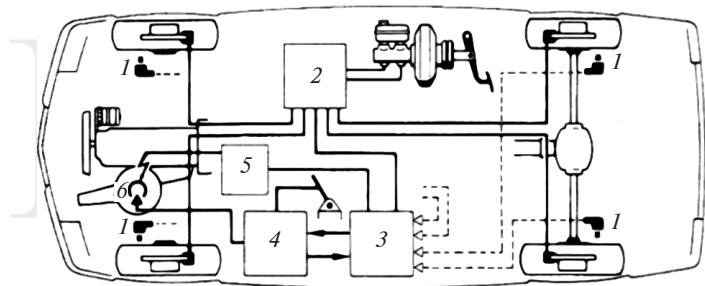


Рис. 13.9. Противобуксовочная система:

1 – датчик частоты вращения колес; 2 – модулятор давления ABS/TCS;  
3 – ЭБУ ABS/TCS; 4 – система EGAS; 5 – ЭБУ двигателя; 6 – дроссельная заслонка

Для предотвращения буксования ведущих колес блок управления 3 противобуксовочной системы осуществляет управляющее воздействие по трем направлениям: на тормозную систему, систему управления двигателем и систему управления дроссельной заслонкой.

Датчики частоты вращения колес позволяют обнаружить буксование ведущих колес. При возникновении буксования тормозное управляющее воздействие производится с помощью модулятора давления путем подтормаживания буксующего колеса. Воздействие на двигатель осуществляется посредством ЭБУ двигателя. Блок управления двигателем устанавливает более позднее зажигание и снижает длительность впрыска топлива. Для управления дроссельной заслонкой ЭБУ ABS/TCS подает команду системе EGAS, и заслонка несколько прикрывается.

*Система стабилизации движения* (ESP – Electronic Stability Program) представляет собой систему с обратной связью, которая позволяет сохранить курсовую устойчивость во время движения автомобиля. Она объединяется с тормозной системой и силовой передачей, контролируя не только продольное движение автомобиля, как система ABS/TCS, но и поперечное, например при заносе или объезде препятствия. Для оценки движения в системе устанавливаются датчики 9 для определения угловой скорости поворота автомобиля вокруг вертикальной оси и определения поперечной составляющей ускорения (рис. 13.10). Для определения намерений водителя во время движения в систему стабилизации поступает сигнал от датчика угла поворота рулевого колеса системы управления электроусилителем руля.

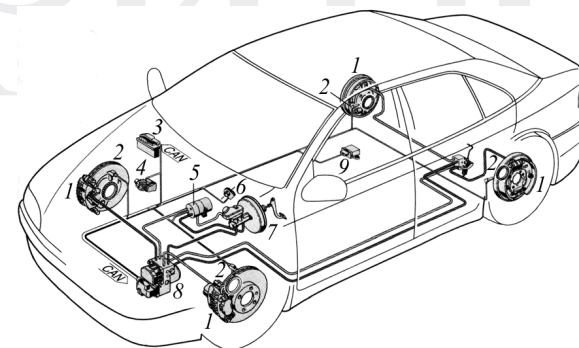


Рис. 13.10. Система стабилизации движения:

1 – рабочий тормозной цилиндр; 2 – датчики частоты вращения колес;  
3 – ЭБУ двигателем; 4 – система EGAS; 5 – нагнетательный насос;  
6 – датчик угла поворота рулевого колеса; 7 – главный тормозной цилиндр;  
8 – блок ABS/ESP; 9 – датчик угловой скорости и поперечного ускорения

Если существуют различия в намерениях водителя и поведении автомобиля (например, при недостаточном или избыточном повороте), то система ESP вносит изменения в его поведение посредством автоматического торможения отдельных колес. Данная система управляет работой антиблокировочной и противобуксовочной систем, контролирует работу двигателя и управление дроссельной заслонкой. Блок управления ABS/ESP использует информацию от датчиков, которые отслеживают скорость движения, работу двигателя и трансмиссии, частоту вращения каждого

колеса, давление в тормозной системе, угол поворота руля и поперечное ускорение автомобиля. После обработки информации вычисляют усилие торможения для каждого колеса, и исполнительные механизмы получают соответствующую команду от ЭБУ ABS/ESP.

При недостаточной поворачиваемости немного подтормаживается внутреннее (находящееся ближе к центру поворота) переднее колесо и больше – заднее внутреннее. В результате создается момент, доворачивающий автомобиль в сторону поворота (рис. 13.11, *а*). При избыточной поворачиваемости возникает опасность заноса задней оси, поэтому слегка подтормаживается внешнее (находящееся дальше от центра поворота) заднее колесо и больше – внешнее переднее. Поворачивающий момент, созданный подтормаживанием колес, направляется в противоположную сторону и стабилизирует движение автомобиля (рис. 13.11, *б*).

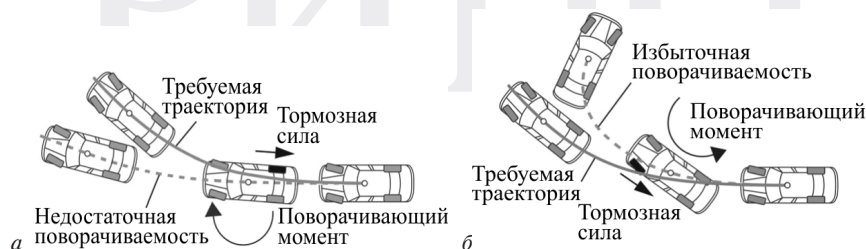


Рис. 13.11. Стабилизация движения:

*а* – недостаточная поворачиваемость; *б* – избыточная поворачиваемость

Если принятых мер для возврата автомобиля на требуемую траекторию недостаточно, система стабилизации движения по шине CAN передает управляющую информацию блоку управления двигателем и системе EGAS. Это позволяет скорректировать крутящий момент двигателя и частоту вращения коленчатого вала, снизив скорость движения.

### 13.5. Круиз-контроль

Круиз-контроль автоматически поддерживает выбранную скорость движения автомобиля без участия водителя. Необходимая скорость движения задается водителем с помощью multifunctional steering wheel or a button on the dashboard.

После этого блок управления постоянно сравнивает заданную скорость движения с фактической и корректирует ее посредством исполнительных устройств. Воздействие водителя на педаль акселератора приводит к временному отключению круиз-контроля. Нажатие на педаль тормоза приводит к немедленному постоянному отключению круиз-контроля. Это сделано в целях безопасности, чтобы автомобиль после торможения не стал снова ускоряться.

*Адаптивный круиз-контроль* (ACC – Adaptive Cruise Control) – усовершенствованная система круиз-контроля, которая может автоматически поддерживать не только скорость, но и безопасную дистанцию до впереди идущего автомобиля. С помощью расположенного спереди радара (рис. 13.12) система измеряет расстояние до находящегося впереди автомобиля и при сокращении дистанции сбавляет скорость, а при необходимости слегка притормаживает. Как только расстояние увеличивается, автомобиль опять набирает заданную скорость. Если расстояние до препятствия сокращается очень быстро, система звуковым сигналом сообщает водителю о необходимости принудительного торможения.

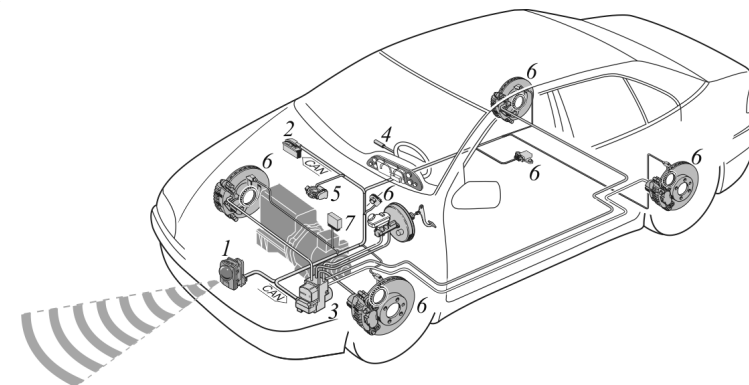


Рис. 13.12. Компоненты адаптивного круиз-контроля:

1 – блок ACC с радаром; 2 – ЭБУ двигателя; 3 – блок ABS/ESP; 4 – панель приборов; 5 – система EGAS; 6 – датчики; 7 – ЭБУ коробки передач

Блок ACC с радаром является основным компонентом адаптивного круиз-контроля и имеет приемопередающее устройство для измерения дистанции, электронный блок обработки инфор-

мации и микропроцессор для определения полосы движения и распознавания объекта, регулирования дистанции и скорости, а также для управления связанными с ACC системами. Система адаптивного круиз-контроля не работает как независимая система. Она объединена посредством шины CAN с ЭБУ двигателем (Motronic), системой управления дроссельной заслонкой (EGAS), системой стабилизации движения (ESP), системой управления АКПП, системой управления усилителем руля, панелью приборов (рис. 13.13).

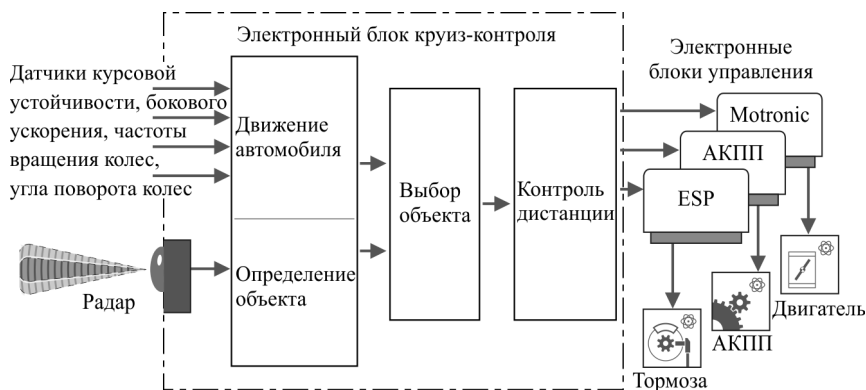


Рис. 13.13. Базовая структура адаптивного круиз-контроля

Информация, поступающая в автомобиль от датчиков курсовой устойчивости, бокового ускорения, частоты вращения колес, угла поворота колес, обрабатывается электронным блоком управления круиз-контроля. После обработки полученных данных с учетом показаний радара электронный блок круиз-контроля посылает управляющие сигналы другим электронным блокам.

### 13.6. Электронные системы управления подвеской

Электронные системы управления подвеской позволяют повысить плавность хода и безопасность движения транспортных средств. Этого достигают за счет введения в подвеску исполнительных механизмов, управляемых с помощью электронных устройств, которые изменяют жесткость упругих элементов и характеристики амортизаторов. Применение электроуправляемых элементов подвески позво-

ляет уменьшить поперечный наклон кузова на повороте, продольный — при разгоне и торможении, а также обеспечить горизонтальное положение кузова при движении по неровностям дороги.

Жесткость упругих элементов подвески (рессор, пружин, торсионов) изменяется путем установки в подвеску пневматических элементов, в которых давление воздуха регулируется электронной системой управления. Электронное управление характеристиками амортизаторов основано либо на применении в амортизаторах магнитореологической жидкости, изменяющей свою вязкость под действием магнитного поля, либо на использовании специальных перепускных клапанов, изменяющих степень демпфирования амортизаторов.

Система адаптивного управления подвеской (рис. 13.14), управляет амортизаторами автомобиля в зависимости от качества дорожного покрытия, текущей ситуации на дороге (торможение, ускорение, движение на повороте) и запросов водителя (нормальный, комфортный, спортивный режим). Контроллер CAN обеспечивает обмен данными между блоком управления подвеской и блоками управления двигателем, усилителем рулевого управления, системой стабилизации движения.

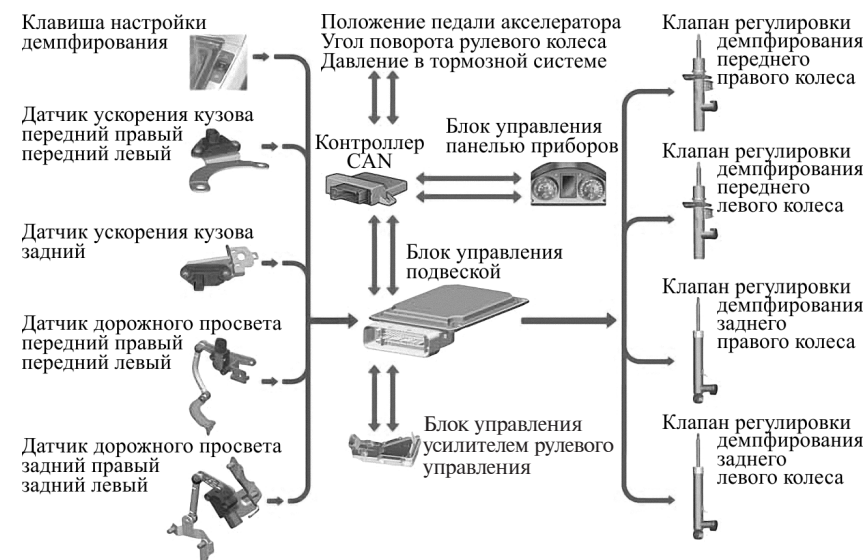


Рис. 13.14. Схема управления подвеской

Система адаптивного управления подвеской использует телескопические амортизаторы, в которых регулировка демпфирования осуществляется с помощью установленного на амортизатор регулируемого клапана с электроприводом. Путем изменения напряжения на клапане можно за несколько миллисекунд изменить степень демпфирования, приспособившись к выбранному режиму движения. Электронный блок управления подвеской обрабатывает сигналы датчиков дорожного просвета автомобиля и датчиков ускорения кузова, постоянно рассчитывает оптимальное напряжение для клапанов каждого из четырех амортизаторов.

Клапан регулировки демпфирования установлен снаружи амортизатора таким образом, что масло из кольцевого канала амортизатора течет к клапану, а вытекающее из клапана масло подается в рабочую камеру амортизатора (рис. 13.15). Перемещение клапана осуществляется за счет подачи напряжения питания  $U$  на катушку и возникающих в связи с этим изменениями внутри клапана. Количество проходящего через клапан масла зависит от перемещения главной заслонки в нужное положение. Перемещение главной заслонки обеспечивается путем регулирования разности давлений во внутреннем управляющем объеме. Разность давлений регулируется с помощью предварительно заданного усилия открывания проходного сечения между головкой толкателя и управляющей заслонкой. Если предварительное натяжение увеличивается, то количество вытекающего через главную заслонку масла уменьшается, что приводит к увеличению степени демпфирования. Уменьшение предварительного натяжения вызывает обратную реакцию системы: степень демпфирования уменьшается.

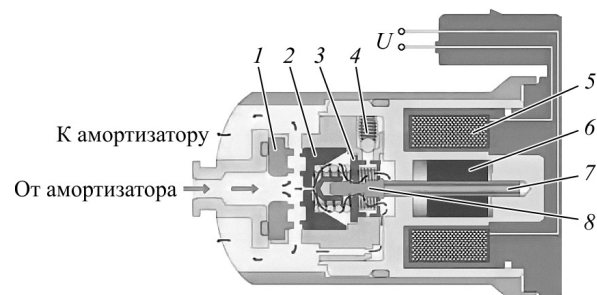


Рис. 13.15. Клапан регулировки демпфирования:

1 — нажимная пластина; 2 — главная заслонка; 3 — управляющая заслонка;  
4 — клапан; 5 — катушка; 6 — якорь; 7 — стержень толкателя; 8 — головка толкателя

Датчики дорожного просвета автомобиля совместно с датчиками ускорения кузова передают сигналы, которые требуются для расчета необходимого режима демпфирования. Параметрические поля всех режимов демпфирования занесены в блок управления системой электронного регулирования демпфирования.

Датчики дорожного просвета автомобиля представляют собой так называемые датчики угла поворота. Они установлены рядом с соответствующими амортизаторами и подвижно соединены с помощью соединительных тяг с поперечными рычагами подвески. Ход пружины колес передается через перемещение поперечных рычагов передней и задней подвесок, соединительные тяги на датчики и пересчитывается в угол поворота. Принцип работы устанавливаемого датчика угла поворота основан на использовании статических электромагнитных полей и эффекта Холла. На выходе обеспечивается пропорциональный углу поворота сигнал широтно-импульсной модуляции для регулировки демпфирования.

Датчики ускорения кузова измеряют вертикальное ускорение кузова.

Емкостный датчик состоит из верхней, центральной и нижней кремниевых пластин, изолированных друг от друга слоем оксида кремния (рис. 13.16, а). Центральная пластина является сейсмической массой, изгибающейся под действием ускорения. Пары пластин 1–2 и 2–4 образуют два последовательно соединенных конденсатора, которые подключают к источнику переменного напряжения. В состоянии покоя емкость этих конденсаторов одинаковая. При возникновении ускорения пластина 2 изгибается, что приводит к изменению расстояний между пластинами и, следовательно, к изменению емкости конденсаторов. Это изменение преобразуется электроникой в кодированный цифровой сигнал и посылается в блок управления системой.

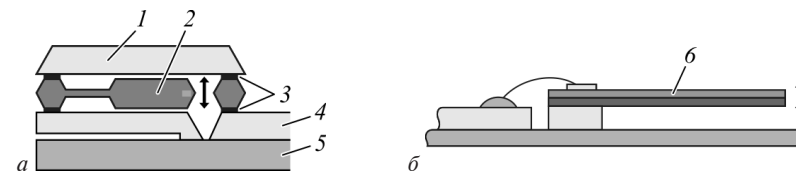


Рис. 13.16. Датчик ускорения:

а — емкостный; б — пьезоэлектрический; 1 — кремниевая верхняя пластина;  
2 — кремниевая центральная пластина; 3 — оксид кремния; 4 — кремниевая нижняя пластина; 5 — стеклянная подложка; 6 — двухслойный пьезоэлектрический элемент

Основной пьезоэлектрического датчика ускорений является элемент б (рис. 13.16, б), состоящий из двух противоположно поляризованных пьезоэлектрических слоев, склеенных друг с другом. Сейсмической массой этого датчика является сам пьезоэлемент, работающий на изгиб. Ускорение, воздействующее на элемент, изгибает его и вызывает в одном из слоев механическое напряжение растяжения, а во втором — напряжение сжатия. В результате в датчике образуется ЭДС, которая обрабатывается встроенной электронной схемой для использования блоком управления.

Датчики ускорения применяют в системах стабилизации движения, системах управления подвеской, электронных блоках ремней и подушек безопасности.

### Контрольные вопросы и задания

1. Опишите работу оптоэлектронного датчика угла поворота рулевого колеса.
2. Что представляет собой муфта Haldex?
3. Опишите функции системы управления АКПП.
4. Объясните принцип действия ABS.
5. Как работает противобуксовочная система?
6. Поясните назначение системы стабилизации движения.
7. Как функционирует адаптивный круиз-контроль?
8. Опишите общее устройство системы управления подвеской.
9. Как работает емкостный датчик ускорений?

## 14. СИСТЕМЫ КОМФОРТА И БЕЗОПАСНОСТИ

### 14.1. Системы кондиционирования воздуха

Традиционная система отопления и вентиляции салона автомобиля при высокой наружной температуре воздуха не способна обеспечить необходимый температурный режим. Система кондиционирования воздуха предназначена для охлаждения воздуха и создания комфортных условий водителю и пассажирам. Кроме охлаждения, система кондиционирования также очищает и осушает воздух в салоне. Дополнительная очистка воздуха достигается при помощи микрофильтра и фильтра с активированным углем.

Основу системы кондиционирования воздуха (рис. 14.1) составляют компрессор, конденсатор, испаритель, редуцирующий клапан и фильтр-осушитель.

Систему заполняют хладагентом R134a, который в зависимости от температуры и давления может переходить из газообразного в жидкое состояние и наоборот. Компрессор, приводимый от двигателя через электромагнитную муфту, сжимает парообразный хладагент и подает его под высоким давлением в конденсатор. В конденсаторе хладагент конденсируется и переходит в жидкое состояние. При конденсации жидкость нагревается, поэтому она охлаждается вентилятором системы охлаждения, обдувающим решетку конденсатора. Жидкий хладагент под давлением поступает в фильтр-осушитель, где происходит очистка хладагента и удаление из него влаги с помощью специального абсорбента.

Далее хладагент поступает в редуцирующий клапан, который снижает давление хладагента и подает его в испаритель. В испарителе хладагент переходит из жидкого состояния в парообразное. Испарение хладагента приводит к снижению его температуры и охлаждению испарителя. Теплый воздух, нагнетаемый вентилятором, проходит через холодную решетку испарителя и уже охлажденным поступает в салон автомобиля. Парообразный

хладагент, забравший тепло у воздуха, поступает в компрессор, и цикл повторяется.

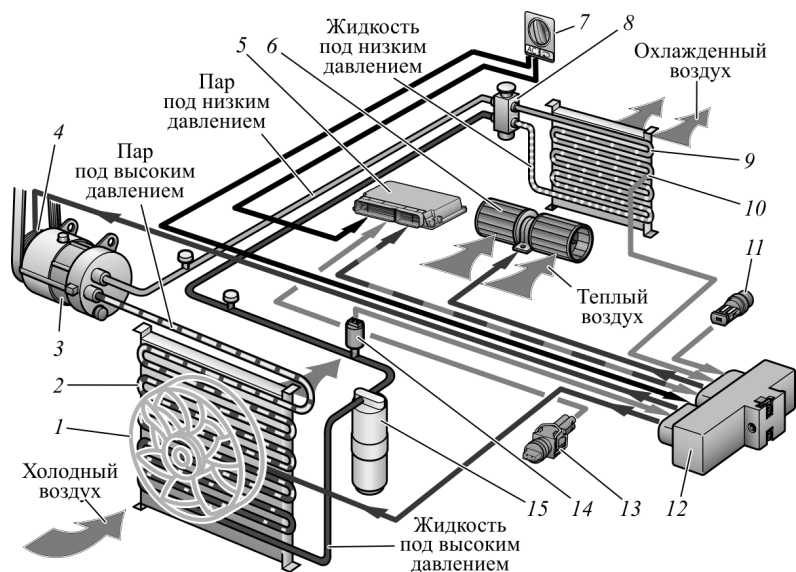


Рис. 14.1. Система кондиционирования воздуха:

1 – вентилятор охлаждающей жидкости; 2 – конденсатор; 3 – компрессор; 4 – электромагнитная муфта; 5 – ЭБУ двигателем; 6 – вентилятор испарителя; 7 – выключатель системы кондиционирования воздуха; 8 – редукционный клапан; 9 – испаритель; 10 – датчик температуры испарителя; 11 – термовыключатель вентилятора системы охлаждения; 12 – блок управления системой кондиционирования воздуха; 13 – датчик температуры охлаждающей жидкости; 14 – манометрический выключатель системы кондиционирования воздуха; 15 – фильтр-осушитель

Блок управления системой кондиционирования воздуха обрабатывает сигналы датчиков температуры испарителя и температуры охлаждающей жидкости и управляет включением электромагнитной муфты компрессора и режимом работы вентилятора. Манометрический выключатель отключает компрессор при недопустимой величине давления хладагента в системе.

При включении компрессора блок управления системой подает соответствующий сигнал блоку управления двигателем, который включает вентилятор системы охлаждения и повышает частоту вращения коленчатого вала, компенсируя возросшую на двигатель нагрузку в связи с включением компрессора.

Электронная система климат-контроля ориентирована на автоматическую работу, т. е. на поддержание заданной температуры и режима работы независимо от внешних условий. Система климат-контроля считывает информацию с датчиков и определяет, соответствует ли микроклимат в салоне параметрам комфорта, заданным водителем. В случае несоответствия он начинает самостоятельно функционировать в соответствии с заданной программой.

В состав системы входят блок управления, датчики температуры наружного воздуха и воздуха в салоне, дополнительные датчики (интенсивности солнечного излучения, влажности воздуха, инфракрасного излучения и т. д.), исполнительные механизмы (рис 14.2).

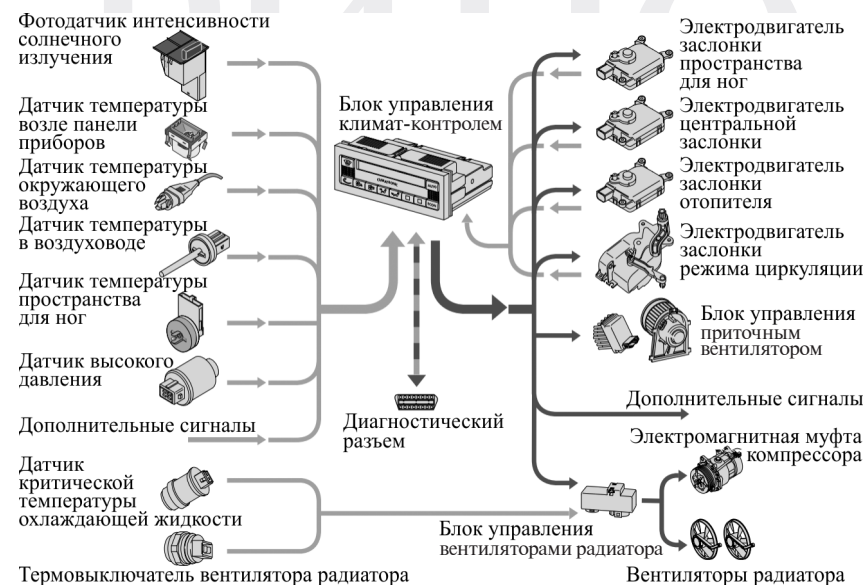


Рис. 14.2. Электронная система климат-контроля

Блок управления проводит обработку всех входных сигналов от датчиков, рассчитывает выходные сигналы в соответствии с предварительно заданными величинами и передает их исполнительным механизмам. Исполнительными механизмами являются электродвигатели, предназначенные для перемещения соответствующих заслонок, электродвигатели вентиляторов, электромагнитная муфта компрессора и т. д.

Блок управления климат-контролем связан с другими блоками управления через шину CAN. Таким образом передаются данные о скорости движения, частоте вращения коленчатого вала двигателя и времени нахождения автомобиля на стоянке для использования их в блоке управления климат-контролем.

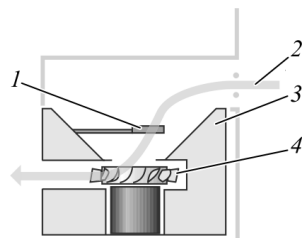


Рис. 14.3. Вентилируемый датчик температуры воздуха в салоне:  
1 – измерительный элемент; 2 – воздушный поток; 3 – корпус; 4 – внутренний вентилятор

Вентилируемый датчик температуры воздуха в салоне (рис. 14.3) размещают на панели приборов. Он предоставляет в блок управления информацию о температуре воздуха в салоне. В корпусе датчика находится измерительный элемент с отрицательным температурным коэффициентом. Миниатюрный вентилятор забирает воздух из салона и подает его к датчику, который измеряет температуру привходящего воздуха. Благодаря такой конструкции датчика предотвращается вредное воздействие местного нагрева на результаты измерений. Вентилятор и измерительный элемент датчика находятся в общем корпусе.

Фотоэлектрический датчик интенсивности солнечного излучения располагается между дефлекторами обогрева лобового стекла за светофильтром (рис. 14.4, а) из темной пластмассы, прозрачной для солнечных лучей. Датчик определяет направление и интенсивность солнечного излучения. В корпусе датчика находится двухкамерный оптический элемент, в каждой камере которого размещен фотодиод.

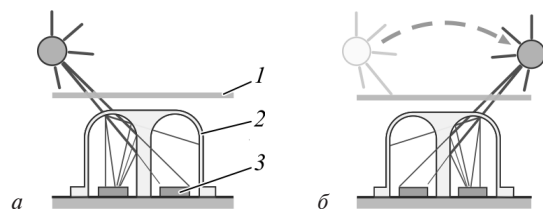


Рис. 14.4. Датчик интенсивности солнечного излучения:  
а – солнце светит слева; б – солнце светит справа;  
1 – светофильтр; 2 – оптический элемент; 3 – фотодиод

Например, солнечные лучи освещают датчик слева (см. рис. 14.4, а), то благодаря свойствам оптического элемента лучи

собираются в пучок. Этот пучок направляется на левый фотодиод, в котором, в отличие от правого, ток резко возрастает. Если солнечные лучи освещают датчик справа (рис. 14.4, б), ток усиливается в правом фотодиоде. В результате блок управления получает сигнал о том, что солнечные лучи прогревают воздух в салоне, и определяет их направление.

Система климат-контроля обеспечивает автоматический обдув и обогрев лобового стекла, предотвращая его запотевание. Система непрерывно измеряет температуру лобового стекла, влажность воздуха и температуру в точке определения влажности. По результатам измерений оценивается возможность запотевания стекла. Все три параметра измеряет психрометрический датчик. Его обычно устанавливают в основании салонного зеркала. Он генерирует соответствующие сигналы.

При измерении влажности определяют концентрацию водяных паров (т. е. воды, находящейся в газообразной фазе) в воздухе салона. Поскольку способность воздуха накапливать водяные пары зависит от температуры, то одновременно с влажностью измеряют и температуру. Для определения влажности используют тонкопленочный емкостный датчик. Он работает на принципе пластинчатого электрического конденсатора, емкость которого зависит от влажности воздуха между пластинами.

Температуру лобового стекла измеряют датчиком инфракрасного излучения. Вместе с температурой стекла изменяется и доля инфракрасных лучей в составе теплового излучения, исходящего от стекла.

Датчик загрязнения воздуха предназначен для определения в окружающей среде наличия вредных веществ. Датчик устанавливают в зоне воздухозабора совместно с датчиком температуры окружающей среды. Если от датчика загрязнения воздуха на блок управления поступает сигнал о наличии в окружающей среде вредных веществ, то происходит автоматическое переключение климатической установки с вентиляции на рециркуляцию. При этом заслонка воздухоприемника закрывается, а рециркуляционная заслонка открывается.

## 14.2. Системы отопления

Для обогрева салона автомобиля при неработающем двигателе в холодное время года применяют дополнительные автоном-

ные *отопители*. Их также можно использовать в автомобилях с высокоэффективными малолитражными двигателями, у которых отвод тепла от двигателя недостаточен для обогрева салона при низких температурах окружающей среды.

Для облегчения пуска двигателя при отрицательных температурах используют *предпусковые подогреватели*, которые служат для прогрева двигателя перед пуском и могут подогревать жидкость в системе охлаждения, масло в системе смазки и воздух во впускном трубопроводе. Часто автономный отопитель и предпусковой подогреватель объединяют в общую систему, которую называют *подогревателем-отопителем* или просто *отопителем*.

По способу отопления различают воздушные отопители, нагревающие проходящий через них воздух, и жидкостные, нагревающие охлаждающую жидкость системы охлаждения двигателя. В последних используют специальный теплообменник, включенный в систему охлаждения двигателя. По виду энергии, преобразуемой в тепловую, применяют электрические отопители с нагревательным элементом и топливные отопители, работающие за счет сгораемого в них топлива. Топливо для них может быть взято из топливного бака автомобиля либо из собственного топливного бачка.

Наибольшее распространение получили жидкостные отопители. По способу включения теплообменника отопителя в систему охлаждения различают три разновидности систем.

В *магистральной* системе теплообменник отопителя встраивают в систему охлаждения последовательно с рубашкой охлаждения двигателя и теплообменником системы отопления салона. В таком случае нагревается весь контур охлаждения, включая двигатель и салон. При запуске двигателя это позволяет уменьшить расход топлива и выбросы вредных веществ, а двигатель быстрее выйдет на рабочий режим. Однако такое соединение требует более продолжительного прогрева салона и оттаивания стекол, что увеличивает нагрузку на аккумуляторную батарею.

При *байпасном* соединении теплообменник отопителя нагревает только охлаждающую жидкость, находящуюся в теплообменнике системы отопления салона, благодаря чему обеспечивается быстрый прогрев воздуха в салоне и оттаивание стекол. Двигатель при этом не прогревается.

*Система комфорта* представляет собой комбинацию магистральной и байпасной систем. В ней сначала отапливается салон, а затем при достижении определенной температуры охлаждающей жидкости через специальный термостат обеспечивается поступление нагреваемой жидкости в рубашку охлаждения двигателя.

Топливный жидкостный подогреватель-отопитель (рис. 14.5) представляет собой компактный прибор, который устанавливают, как правило, в моторном отсеке. Теплообменник подогревателя-отопителя подсоединяют к охлаждающему контуру двигателя, электронный блок управления 11 – к бортовой сети, а систему подачи топлива – к топливному баку автомобиля. В состав подогревателя-отопителя также входят дозировочный насос, жидкостный подогреватель с камерой сгорания, вентилятором и теплообменником, глушители на впуске 6 и выпуске 5, пульт управления.

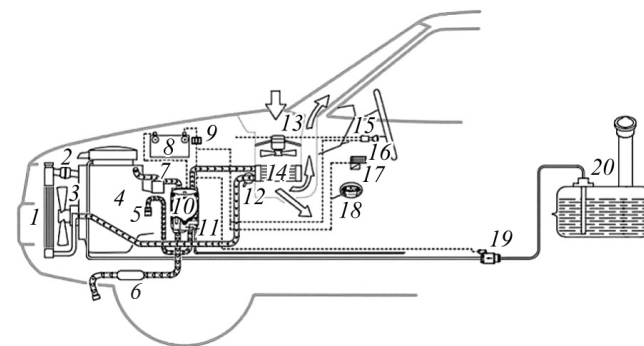


Рис. 14.5. Подогреватель-отопитель:

- 1 – радиатор системы охлаждения; 2 – термостат системы охлаждения; 3 – жидкостный насос системы охлаждения; 4 – двигатель; 6 – глушитель отработавших газов; 5 – глушитель и впускной трубопровод воздуха для горения; 7 – циркуляционный насос; 8 – аккумуляторная батарея; 9, 16 – блок предохранителей; 10 – жидкостный подогреватель; 11 – блок управления подогревателя-отопителя; 12 – механический запорный вентиль; 13 – вентилятор системы отопления; 14 – теплообменник системы отопления; 15 – выключатель вентилятора системы отопления; 17 – реле вентилятора системы охлаждения; 18 – пульт управления; 19 – дозировочный насос; 20 – топливный бак

Вентилятор, встроенный в жидкостный подогреватель, направляет воздушный поток в камеру сгорания подогревателя.

Из топливного бака с помощью дозирочного насоса топливо подается к распылителю или испарителю, где смешивается с воздухом, образуя топливовоздушную смесь. Распыленное или испарившееся топливо в момент запуска подогревателя-отопителя поджигается свечой накалывания. Образовавшийся фронт пламени нагревает жидкость в теплообменнике подогревателя. Нагретая жидкость посредством циркуляционного насоса подается в систему охлаждения двигателя, включая теплообменник системы отопления. Блок управления подогревателем-отопителем запускает вентилятор, подающий через теплообменник теплый воздух в салон.

Блок управления автоматически поддерживает необходимую температуру. Если температура в системе превышает пороговое значение, подогреватель-отопитель снижает степень подогрева вплоть до полного выключения подогревателя. При падении температуры ниже порогового значения подогреватель-отопитель запускается снова. При чрезмерном нагревании подогревателя-отопителя срабатывает датчик перегрева, блок управления выключает дозирочный насос. При этом подача топлива прекращается и происходит аварийное выключение отопителя.

Подогреватель-отопитель можно запускать при помощи запрограммированного таймера, расположенного в салоне, либо при помощи пульта дистанционного управления. Также управление подогревателем-отопителем можно осуществлять с мобильного телефона специальным мобильным приложением.

### 14.3. Системы управления компонентами комфорта салона

К электрическим и электронным устройствам обеспечения комфорта в салоне относят устройства, в которых для удобства водителя и пассажиров вместо ручного управления используют электрическое.

*Электрические стеклоподъемники* обеспечивают подъем или опускание оконных стекол с помощью электродвигателей. Электрический стеклоподъемник устанавливают внутри корпуса двери. Он состоит из электродвигателя с редуктором, механизма подъ-

ема и системы управления. По типу механизма подъема различают тросовый, реечный и рычажный стеклоподъемники (рис 14.6).

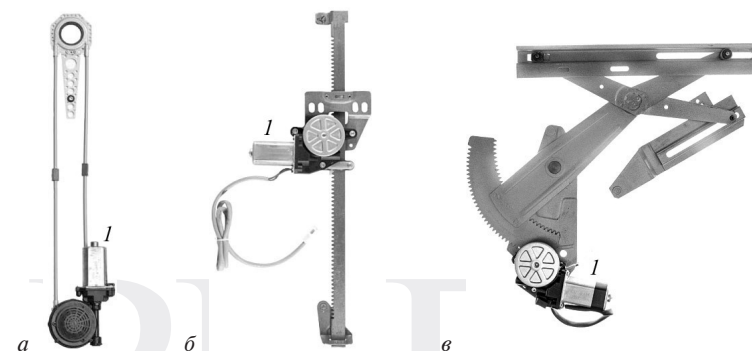


Рис. 14.6. Механизм подъема электрического стеклоподъемника: а – тросовый; б – реечный; в – рычажный; 1 – электродвигатель

Независимо от типа механизма подъема управление подъемом/опусканием стекол осуществляется с помощью клавишных переключателей или команды с пульта дистанционного управления. Блок комфорта для электрических стеклоподъемников обеспечивает возможность открывания и закрывания окон одним коротким нажатием клавиши, остановку и переключение направления движения, если между стеклом и рамкой оказался какой-либо предмет, – автоматическую защиту от перегрузки электродвигателя (например, если стекло примерзло к уплотнителю).

Электронное управление стеклоподъемниками (рис. 14.7) включает в себя входные устройства, электронный блок управления и блок электропривода. К входным устройствам относят трехпозиционные переключатели, переключатель режимов работы и датчики положения стекла. Перемещение трехпозиционного переключателя формирует определенные позиционные команды для блока управления. При перемещении переключателя в одну сторону от нейтрального положения электродвигатель вращается в

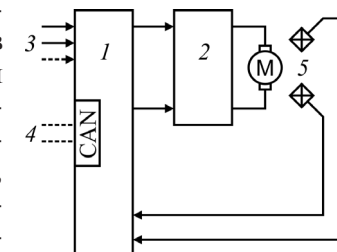


Рис. 14.7. Схема управления подъемом стекла: 1 – блок управления; 2 – блок электропривода; 3 – позиционные команды; 4 – шина CAN; 5 – датчик Холла

одном направлении, при перемещении в другую сторону происходит смена полярности и соответственно изменение направления вращения электродвигателя. Функция автоматического открывания и закрывания окон основана на продолжительности нажатия переключателя. Кратковременное нажатие на переключатель инициирует подъем (опускание) стекла, продолжительное нажатие – автоматическое закрывание (открывание) окна.

В качестве датчиков положения стекла используют датчики Холла, которые устанавливаются на блоке электропривода. Электронный блок управления учитывает число импульсов при определении величины подъема/опускания стекла, продолжительность импульсов при включении блокировки движения стекла, сдвиг импульсов от двух датчиков при установлении направления движения.

Каждый стеклоподъемник, как правило, имеет свой электронный блок управления. Блок управления преобразует сигналы входящих устройств в управляющее воздействие на исполнительное устройство – электродвигатель постоянного тока. Все блоки связаны между собой через центральный блок управления системами комфорта. На водительской двери или центральной консоли устанавливают блок переключателей, с помощью которого можно управлять стеклоподъемниками всех дверей. Для обеспечения безопасности при перевозке детей предусмотрена блокировка электростеклоподъемников задних дверей.

Важной функцией, с точки зрения безопасности, является реверсирование движения стекла при встрече препятствия на подъеме. Данная функция реализуется путем контроля скорости вращения приводного механизма. Как только скорость механизма уменьшается (датчики Холла подают сигналы большей продолжительности), электронный блок управления меняет направление вращения электродвигателя на противоположное, а стекло начинает двигаться вниз.

Точная настройка наружных зеркал (особенно со стороны пассажира) для водителя в соответствии с его положением на сиденье весьма затруднительна. *Электропривод зеркал* значительно облегчает их регулировку. Положение каждого зеркала регулируется двумя реверсивными электродвигателями постоянного тока, направление вращения которых зависит от направления тока, подаваемого на электродвигатель. Один электродвигатель

обеспечивает регулировку зеркала по горизонтали, другой – по вертикали.

Подача тока на электродвигатели левого или правого зеркала обеспечивается трехпозиционным переключателем привода зеркал (рис. 14.8). Этим переключателем регулируется левое или правое зеркало. В среднем положении регулировка зеркал отключена.

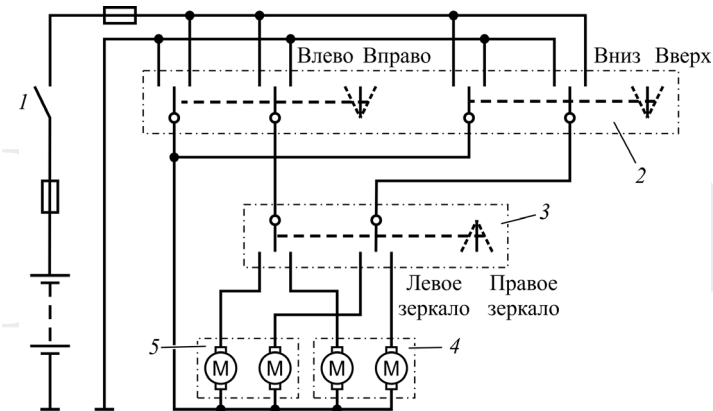


Рис. 14.8. Схема электрической регулировки зеркал:

1 – выключатель зажигания; 2 – переключатель положения зеркал; 3 – переключатель привода зеркал; 4 – правое зеркало; 5 – левое зеркало

Переключатель положения зеркал имеет пять положений. В среднем положении переключателя электродвигатели привода зеркала обесточены. При перемещении переключателя вправо или влево один из электродвигателей вращается в том или ином направлении, поворачивая зеркало соответственно вправо или влево. Если переключатель переместить вперед или назад, вращение другого электродвигателя обеспечит поворот зеркала вверх или вниз.

*Сиденья с электроприводом* позволяют регулировать продольное перемещение сиденья, наклон спинки сиденья, высоту и угол наклона подушки сиденья, положение поясничной опоры, высоту подголовника и т. д. Для управления всеми этими функциями используют электронный блок управления с электрическими исполнительными механизмами (рис. 14.9). Сиденье с электроприводом имеет несколько электродвигателей: продольной регулировки сиденья 11, регулировки сиденья по высоте 12, наклону 13, подголовника 9 и положения поясничной опоры 21 и 22.

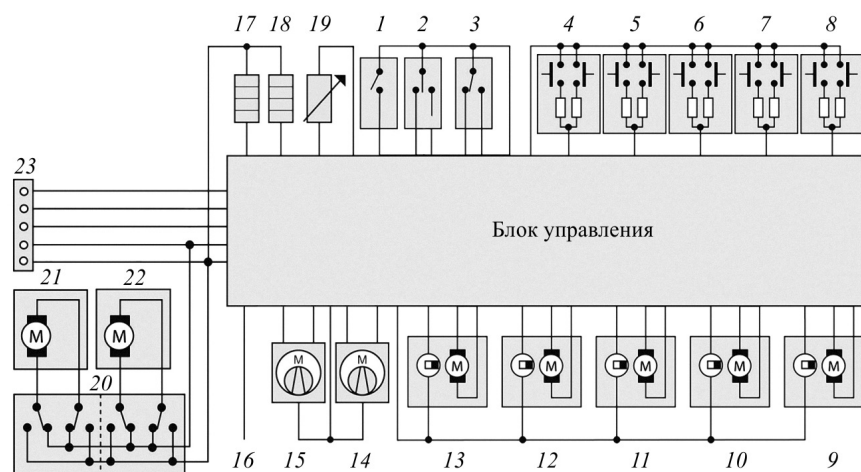


Рис. 14.9. Схема электрической регулировки сиденья и рулевой колонки:  
 1 — концевой выключатель спинки сиденья; 2 — кнопка облегчения посадки на задние сиденья; 3 — выключатель для распознавания разблокированной спинки сиденья; 4 — двойной выключатель регулировки наклона сиденья; 5 — двойной выключатель регулировки сиденья по высоте; 6 — двойной выключатель продольной регулировки сиденья; 7 — двойной выключатель перемещения спинки заднего сиденья; 8 — двойной выключатель перемещения подголовника; 9 — электродвигатель перемещения подголовника с датчиком Холла; 10 — электродвигатель перемещения спинки заднего сиденья с датчиком Холла; 11 — электродвигатель продольной регулировки сиденья с датчиком Холла; 12 — электродвигатель регулировки сиденья по высоте с датчиком Холла; 13 — электродвигатель регулировки наклона сиденья с датчиком Холла; 14 — вентилятор в подушке сиденья; 15 — вентилятор в спинке сиденья; 16 — провод для кодировки (блок управления сиденьем водителя или переднего пассажира); 17 — нагревательный мат в подушке сиденья; 18 — нагревательный мат в валиках боковой поддержки; 19 — термозонд системы обогрева сиденья; 20 — панель переключателей регулировки опоры поясничных позвонков; 21 — электродвигатель регулировки опоры поясничных позвонков по высоте; 22 — электродвигатель регулировки выпуклости опоры поясничных позвонков; 23 — интерфейс с CAN-шиной

Блок управления имеет функцию памяти сидений, которая позволяет запомнить различные положения сиденья водителя и обоих наружных зеркал. При нажатии кнопки запоминания на блоке переключателей или при запираии автомобиля брелоком дистанционного управления сохраняется фактическое положение электродвигателей сиденья и зеркал.

Блок управления обеспечивает также регулируемый обогрев подушки и валиков боковой поддержки сиденья. Температура сиденья контролируется термозондом.

Электропривод сдвижного люка имеет собственный блок управления (рис. 14.10). Блок управления соединен по шине LIN с центральным блоком управления систем комфорта, который соединен с остальными электронными компонентами по CAN-шине комфорта. Электродвигатель подъемного люка и блок управления объединены в один модуль.

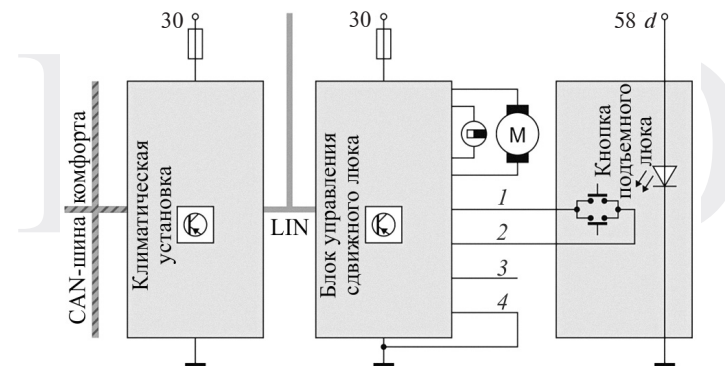


Рис. 14.10. Схема электронного управления положением люка:  
 1 — сигнал на открывание/закрывание; 2 — переключатель на массу; 3 — бит кодирования 1; 4 — бит кодирования 2

Блок управления люком считывает сигналы, поступающие с кнопки подъемного люка и открывает или закрывает люк в зависимости от положения кнопки. Управление люком можно осуществлять в ручном режиме (в течение всего процесса кнопка остается нажатой) или в режиме автоматического движения (достаточно однократного нажатия на кнопку).

Датчик дождя и освещенности также можно отнести к устройствам обеспечения комфорта. Благодаря этому датчику водитель не отвлекается на включение (выключение) стеклоочистителей или переключение наружного освещения. Датчик дождя и освещенности предназначен для включения стеклоочистителя в зависимости от количества осадков и включения фар в зависимости от условий освещения. Подключение элементов датчика к системе управления стеклоочистителем или к системе управле-

ния наружным освещением осуществляется определенными рычагами или выключателями.

Датчик дождя и освещенности устанавливают внутри салона на лобовом стекле на наибольшей высоте в зоне перекрытия стеклоочистителей. Датчик состоит из оптического элемента, комбинации фотодиодов 7–9 и светодиода (рис. 14.11). Оптический элемент расположен между корпусом датчика и лобовым стеклом. Задачей оптического элемента является фокусирование и выравнивание исходящего и входящего света. Для распознавания дождя используют светодиод и фотодиод.

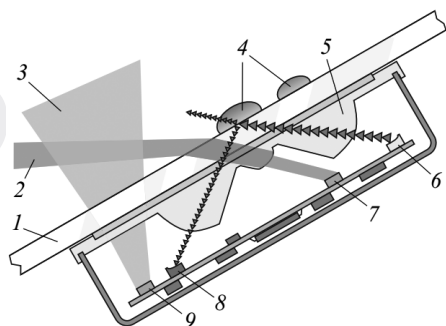


Рис. 14.11. Датчик дождя и освещенности:

- 1 – лобовое стекло; 2 – свет удаленного источника;  
3 – проникающий внешний свет; 4 – капли дождя; 5 – оптический элемент; 6 – светодиод; 7 – дистанционный фотодиод-датчик;  
8 – фотодиод; 9 – фотодиод-датчик внешнего освещения

Принцип работы датчика дождя состоит в том, что свет, исходящий от светодиода, частично отражается на поверхности стекла и, сфокусировавшись через оптический элемент, попадает на фотодиод. Если на улице сухо, весь свет отражается обратно и попадает на фотоприемник. Поскольку луч модулирован кодированными импульсами, на посторонний свет датчик не реагирует. Если стекло покрыто каплями воды или имеет водяную пленку, степень отражения и преломления света от светодиода и количество света, попадающего на фотодиод, изменяется. Чем сильнее увлажнение, тем меньше отражение преломленного света. По величине выходного сигнала фотодиода блок управления стеклоочистителем определяет количество осадков и рассчитывает подходящий режим работы стеклоочистителя. Частоту движения

щеток можно настраивать, изменяя чувствительность датчика регулятором, расположенным на рычаге управления режимами работы стеклоочистителя.

Для распознавания света применяют дистанционный фотодиод и датчик внешнего освещения. Датчик 9 измеряет освещенность вокруг автомобиля и служит для автоматического включения фар, а дистанционный датчик определяет освещенность на расстоянии до трех длин автомобиля по направлению движения. Система управления наружным освещением распознает изменение освещенности и включает или выключает свет фар.

## 14.4. Охранные и противоугонные системы

*Охранные системы* реализуют защиту транспортного средства по периметру (отслеживание несанкционированного открытия дверей, капота или багажника) и объему (определение движения в салоне). При попытке проникновения в автомобиль охранные системы могут как подавать световой и звуковой сигналы, так и отправлять оповещение на брелок, мобильный телефон или в диспетчерский пункт службы охраны.

*Противоугонные системы* запрещают пуск двигателя по сигналу охранной системы или при использовании несоответствующего ключа зажигания. Устройства, блокирующие пуск двигателя, называют *иммобилайзерами*. Как правило, их объединяют с электронным блоком управления двигателем, который запрещает включение стартера, отключает подачу топлива и прерывает работу системы зажигания.

Электронные охранную и противоугонную системы объединяют в единую систему – *противоугонную*.

Противоугонная система включается и выключается передатчиком, размещенным в брелоке или ключе зажигания, при послышке соответствующего цифрового кода. Код передается последовательно, при этом используется инфракрасное излучение или радиосигнал в высокочастотном диапазоне. Системы, применяющие инфракрасное излучение, имеют малый радиус действия, требуют точного наведения луча передатчика, но не создают электромагнитных помех. Радиосистемы обладают большим радиусом действия, но их сигнал может быть перехвачен и декодирован угонщиками соответствующей электронной аппарату-

рой. Для повышения секретности линий связи многие противоугонные системы применяют динамический шифрованный набор кодов, который дешифруется в приемнике. В результате при каждом нажатии кнопки передатчика используется новый код, который не соответствует предыдущему.

На рисунке 14.12 представлена схема противоугонной системы с тремя видами защиты: по периметру, объемной и с иммобилайзером. Система включает в себя электронный блок управления, управляющий также центральным замком, датчик объемной защиты и микропереключатели на дверях, капоте и багажнике. В рабочее состояние система приводится по радиосигналу с дистанционного пульта управления после запираания дверей автомобиля.

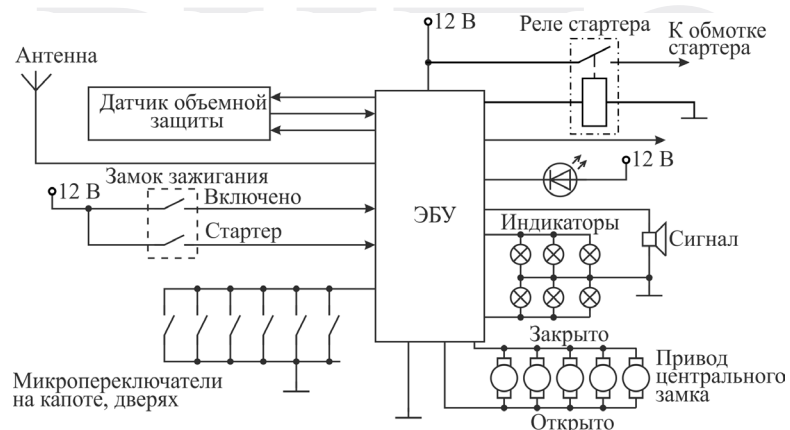


Рис. 14.12. Схема противоугонной системы

После активации противоугонная система способна реагировать на открывание дверей, капота или багажника, попытку отпереть дверной замок, включить замок зажигания и запустить стартер, а также реагировать на движение в салоне автомобиля.

Если противоугонная система зафиксировала попытку несанкционированного проникновения в автомобиль, то блок управления на 30 с включает звуковой сигнал и мигание приборами наружного освещения. Иммобилайзер отключает цепи управления стартером, электронным зажиганием и впрыском топлива, после чего запуск двигателя становится невозможным.

## 14.5. Системы парковки

Системы парковки помогают водителю управлять автомобилем при постановке его на стоянку. Их подразделяют на пассивные и активные. Пассивные системы являются информационными, предупреждающими водителя о наличии препятствий и расстоянии до них, а также помогающими выдерживать траекторию движения при парковке, но не вмешивающимися в действия водителя. Такие системы часто называют парктрониками или ассистентами парковки. Активные системы — это системы автоматической парковки. Автоматическая парковка осуществляется блоком управления без участия водителя за счет согласованного управления углом поворота рулевого колеса и скоростью движения автомобиля. Эти системы называют парковочными автопилотами. Если автопилот не справляется с парковкой, он переходит в ручной режим и выполняет функции интеллектуального ассистента парковки.

Функционирование любой системы парковки основано на информации, поступающей с ультразвуковых датчиков на блок управления. В основу работы ультразвуковых датчиков положен принцип эхолокации — измерения расстояния до предметов с помощью отраженного ультразвука. Датчики испускают ультразвуковые волны короткими пакетами, и если на пути волн оказывается препятствие (стена, другая машина и т. д.), они отражаются, возвращаясь обратно к датчику. По времени, пройденному звуковыми волнами с момента излучения до момента приема после отражения, измеряется расстояние до препятствия. В системе парковки может быть от двух до восьми датчиков, которые располагают на заднем и переднем бамперах.

В информационных системах используют следующие типы индикаторов:

- звуковые индикаторы, изменяющие тональность звука в зависимости от расстояния до объекта;
- светодиодные или жидкокристаллические шкалы, показывающие условное расстояние до препятствия. Шкал может быть две — для правой и левой сторон автомобиля;
- цифровые индикаторы, показывающие расстояние до объекта в цифровом виде;
- комбинированные индикаторы, содержащие шкалу и цифровой индикатор;

- ЖК-дисплеи, на которых отображается информация в удобном виде (рис. 14.13, *a*);
- проекционные дисплеи на лобовом стекле.



Рис. 14.13. Система парковки с камерой заднего вида:

*a* – отображение расстояния от датчиков парковки до препятствия;  
*б* – помощь при поперечной парковке; *в* – помощь при параллельной парковке

С помощью камеры заднего вида водитель лучше видит препятствия и поэтому может увереннее маневрировать в непосредственной близости от них. При этом он лучше контролирует ситуацию спереди, потому что ему не нужно все время смотреть назад.

Оборудование автомобиля камерой заднего вида позволяет объединить информацию с камеры и датчиков парковки в единую систему, называемую ассистентом парковки. На видеоизображение накладываются статические и динамические вспомогательные линии, которые дополнительно помогают водителю парковаться задним ходом. Кроме изображения с камеры заднего вида, на ЖК-дисплей выводится условная шкала расстояний до заднего бампера (основанная на показаниях датчиков парковки) и предполагаемая траектория движения автомобиля (основанная на показаниях датчика угла поворота колес).

Ассистент парковки имеет два режима: поперечной и параллельной парковки. Режим поперечной парковки помогает водителю парковать автомобиль задним ходом перпендикулярно (рис. 14.13, *б*), параллельно – задним ходом вдоль бордюра (рис. 14.13, *в*).

Блок управления камерой заднего вида обменивается информацией с другими блоками управления (рис. 14.14).

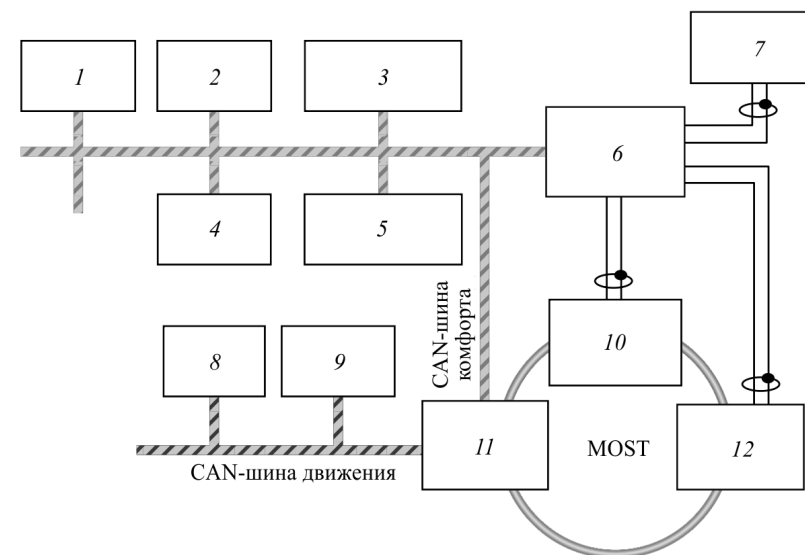


Рис. 14.14. Схема системы парковки с камерой заднего вида:

1 – блок управления бортовой сетью; 2 – блок управления парковочным ассистентом; 3 – центральный блок управления системами комфорта; 4 – блок управления распознаванием прицепа; 5 – блок управления системами санкционирования доступа и пуска двигателя; 6 – блок управления камерой заднего вида; 7 – камера заднего вида; 8 – блок управления ABS/ESP; 9 – система рулевого управления; 10 – панель информационной системы; 11 – центральный межсетевой шлюз; 12 – ТВ-тюнер

Датчик угла поворота рулевого колеса предоставляет информацию о текущем угле поворота рулевого колеса, которая необходима для расчета динамических вспомогательных линий. Блок управления парковочным ассистентом предоставляет информацию о своем включении. Блок управления распознаванием прицепа сообщает о наличии или отсутствии прицепа. При наличии прицепа вспомогательные линии и поля не отображаются.

Центральный блок управления системами комфорта передает информацию о том, закрыта ли дверь багажного отсека. Если дверь багажного отсека открыта, то вспомогательные линии и поля не отображаются. Блок управления системами санкциони-

рования доступа и пуска двигателя сообщает камере заднего вида о текущем состоянии клеммы «15» (силовой линии бортовой сети после замка зажигания).

Блок управления передней панелью управления, индикации и выдачи информации выводит на дисплей изображение с камеры заднего вида и позволяет выполнять настройки камеры заднего вида. Блок управления бортовой сетью посылает информацию о том, включена ли камера заднего вида в данный момент. Информация блока управления ABS о текущей скорости автомобиля требуется для определения условий включения и выключения камеры заднего вида.

Центральный межсетевой шлюз передает необходимые сообщения из других шин на CAN-шину комфорта.

## 14.6. Навигационные системы

Автомобильные навигационные системы предназначены для определения положения транспортного средства, выбора и сопровождения маршрута движения. Различают несколько видов автомобильных навигационных систем: штатную, автономную и мобильную.

Штатную навигационную систему устанавливают на заводе-изготовителе автомобиля и, как правило, она является частью мультимедийной системы. Автономная навигационная система представляет собой портативное навигационное устройство, которое приобретают отдельно и устанавливают на лобовом стекле или приборной панели. Мобильная навигационная система фактически является смартфоном с соответствующим программным обеспечением.

Основные функции навигационной системы: определение текущего положения автомобиля, ввод пункта назначения, расчет маршрута и сопровождение по маршруту.

Определение положения (позиционирование) автомобиля осуществляется по сигналам навигационных спутников. Для того чтобы определить положение (широту и долготу) его на местности, нужно принять сигналы минимум трех спутников. Сигнал одного спутника определяет, что искомый объект (автомобиль) находится на поверхности сферы, описанной вокруг точки местоположения спутника и имеющей радиус, равный

расстоянию до объекта (рис. 14.15, а). Совмещение сигналов от двух спутников дает окружность (рис. 14.15, б), на которой находится объект.

Сфера, очерченная вокруг третьего видимого спутника (рис. 14.15, в), пересекает окружность в двух точках, одна из которых является паразитной, так как находится либо в недрах земли, либо в верхних слоях атмосферы. Оставшаяся точка и характеризует координаты объекта.

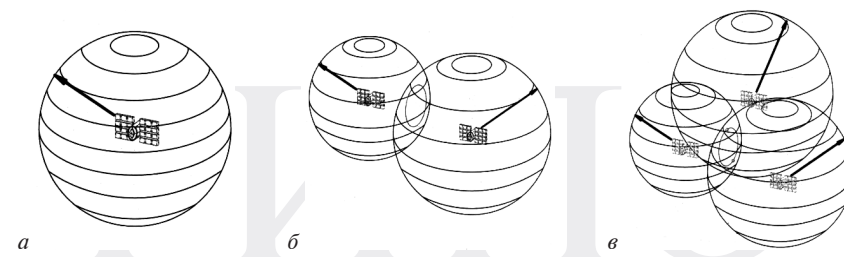


Рис. 14.15. Обнаружение объекта спутниками:  
а – сфера от одного спутника; б – пересечение сфер от двух спутников; в – пересечение сфер от трех спутников

Сигнал от четвертого спутника позволяет дополнительно определить высоту над уровнем моря. При получении сигналов навигатор вычисляет расстояние до каждого спутника, на основании которого определяют пространственные координаты автомобиля.

Получили распространение две спутниковые навигационные системы: американская Navstar GPS (глобальная система позиционирования) и российская ГЛОНАСС (Глобальная навигационная спутниковая система). В настоящее время точность позиционирования системы GPS составляет 2–4 м, ГЛОНАСС – 3–6 м. Наибольшую точность (2–3 м) дает совместное использование GPS и ГЛОНАСС, которое реализовано в ряде навигаторов. При определенных условиях (движение в городе, тоннеле) получение сигналов от спутников становится проблематичным.

В штатной навигационной системе для позиционирования в условиях плохого сигнала используют датчики частоты вращения колес (ABS) и датчики продольного и поперечного ускорения автомобиля (ESP), с помощью которых оценивается скорость и направление движения. В автономных системах данную функцию

выполняет навигационная программа, которая при потере сигнала считает, что автомобиль движется по заданному маршруту с постоянной скоростью.

Ввод пункта назначения в навигационной системе осуществляется несколькими способами: по адресу, названию, координатам и непосредственно точкой на карте. Для удобства в навигационных системах реализован голосовой ввод пункта назначения. В случае недостаточной информации о местонахождении пункта назначения система навигации может производить поиск по адресу, почтовому индексу, географической широте и долготе, карте, перекресткам и въездам-съездам с автострады. Дорожные карты могут храниться на CD-дисках, жестких дисках, SD-картах; возможно также прямое считывание карт с сети Internet.

После ввода пункта назначения система производит расчет маршрута с учетом множества факторов (улицы с односторонним движением, мосты, тупики и др.). В ряде навигационных систем предлагается несколько вариантов маршрута, рассчитанных по различным критериям (расстояние, время, деньги). Например, короткий маршрут будет состоять из возможно более коротких участков и не учитывать ограничения скорости. Быстрый маршрут строится с учетом класса дороги (магистраль, городская улица) и ограничений скорости на этих дорогах. Экономичный маршрут учитывает время и расстояние, отдавая предпочтение времени.

Рассчитанные маршруты не учитывают текущую ситуацию на дороге (пробки, аварии, ремонт и др.), поэтому навигационные системы используют динамический расчет маршрута с учетом дорожной обстановки. Информация о дорожной обстановке в режиме реального времени может передаваться по радиосвязи (канал сообщений о ситуации на дороге TMC – Traffic Message Channel) и по сети Internet. При возникновении автомобильных пробок или затрудненном дорожном движении на пути следования выбранного маршрута система рассчитывает и предлагает альтернативный маршрут.

Сопровождение по маршруту реализуется с помощью визуальных и голосовых указаний, которые выдаются последовательно от перекрестка к перекрестку.

## 14.7. Ассистент торможения

*Ассистент торможения* (BA – Brake Assist) является усилителем экстренного торможения. В аварийной ситуации он, по сравнению с водителем, относительно медленно и с недостаточным усилием нажимает на педаль тормоза, повышает усилие торможения до максимально возможного значения с наибольшей скоростью. Таким образом, достигаются наилучшая по данным условиям эффективность торможения и минимально возможный тормозной путь.

Распространение получили два вида ассистентов торможения – механические и гидравлические.

В *механических* ассистентах срабатывание при экстренном торможении определяется взаимодействием двух величин – скорости перемещения педали тормоза и силы нажатия на педаль. Это достигается использованием в главном тормозном цилиндре с вакуумным усилителем дополнительного механизма.

*Гидравлический* ассистент торможения – это не отдельная система, а часть антиблокировочной системы (ABS) и системы стабилизации движения (ESP). В этом случае гидравлический насос ABS служит для повышения давления в тормозной системе, благодаря чему происходит экстренное торможение.

Основным узлом ассистента торможения является гидравлический модуль с нагнетательным насосом и блоком управления ABS/ESP (см. главу 13.4). Датчик давления тормозной жидкости в гидромодуле, датчики частоты вращения колес и выключатель стоп-сигналов подают в ассистент торможения определенные сигналы. По этим сигналам ассистент опознает аварийную ситуацию, требующую немедленной остановки автомобиля. Повышение давления в тормозной системе осуществляется подачей управляющего сигнала на насос.

На автомобиле без ассистента торможения давление  $p$  в тормозной системе достигает диапазона регулирования ABS позднее, чем на автомобиле с ассистентом (рис. 14.16, а), вследствие чего тормозной путь удлиняется.

Срабатывание усилителя экстренного торможения происходит при опознавании критической ситуации по определенным сигналам:

- сигнал от выключателя стоп-сигналов торможения, который показывает, что нажата педаль тормоза;

- сигналы от колесных датчиков частоты вращения, показывающие, с какой скоростью движется автомобиль;
- сигнал от датчика давления в тормозной системе, показывающий, как быстро и с какой силой водитель воздействует на педаль тормоза.

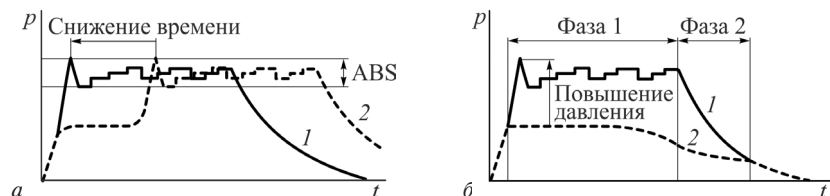


Рис. 14.16. Работа тормозной системы:

*a* – ускорение срабатывания тормозов; *б* – увеличение тормозного усилия;  
1 – с ассистентом торможения; 2 – без ассистента торможения

Скорость и сила воздействия на тормозную педаль оцениваются скоростью повышения давления в главном тормозном цилиндре. Это означает, что блок управления посредством датчика давления в гидромодуле оценивает изменение давления в определенный промежуток времени. Решающим фактором срабатывания усилителя экстренного торможения является скорость изменения давления в тормозной системе.

Действие усилителя экстренного торможения осуществляется в две фазы: фаза 1 – начало действия усилителя, фаза 2 – окончание действия усилителя. Если все условия срабатывания усилителя экстренного торможения выполнены, усилитель повышает давление в тормозной системе, и оно быстро достигает зоны регулирования ABS.

В фазе 1 усилитель экстренного торможения как можно быстро повышает давление до максимально возможного уровня (рис. 14.16, б). Система ABS, задача которой состоит в предотвращении блокировки колес, ограничивает величину давления в тормозной системе.

Когда водитель уменьшает давление на тормозную педаль, условия срабатывания усилителя экстренного торможения больше не выполняются. Усилитель опознает, что критическая ситуация завершилась, и переходит в фазу 2. При этом усилитель постепенно снижает свою долю в суммарном давлении в тормозной системе, и давление в тормозных цилиндрах начинает соответствовать давлению водителя на педаль. Когда доля усилителя

достигает нуля, процесс торможения начинает осуществляться в обычном режиме. Усилитель экстренного торможения прекращает свое действие также при снижении скорости движения автомобиля до определенной величины.

Ассистент торможения не вступает в действие, когда выполняются следующие требования:

- педаль тормоза нажимается слишком медленно;
- изменение давления остается ниже порога срабатывания;
- скорость автомобиля невысокая;
- водитель нажал тормозную педаль достаточно сильно.

## 14.8. Мультимедийные системы

*Автомобильная мультимедийная система* объединяет различные средства развлечения, информации и связи с помощью интерактивного интерфейса управления. Различают штатные (встроенные) мультимедийные системы и оборудование, устанавливаемое после приобретения транспортного средства.

Автомобильная мультимедийная система состоит из устройств приема, хранения и воспроизведения данных, усилителя с акустической системой, электронного блока управления. В состав системы могут входить радиоприемник (FM/AM-тюнер), TV-тюнер, CD/DVD-плеер, CD-чейнджер, жесткий диск (HDD) или твердотельный накопитель (SSD), модуль GPS-навигации, а также устройства ввода (клавиатура, тачпад, устройство голосового ввода) и вывода (ЖК-дисплей, проекционный экран) информации. Сенсорный ЖК-дисплей является одновременно устройством ввода и вывода.

Для обмена информацией в зависимости от конструкции системы могут предусматриваться разъемы для проводного подключения внешних устройств (линейный вход AUX-IN, USB-порт, слоты для карт памяти SD), модуль мобильной связи (GSM) и радиоканалы для связи по Bluetooth и Wi-Fi. В мультимедийную систему может быть встроено специальное программное обеспечение для связи автомобильной электроники со смартфонами iPhone (Apple CarPlay) и Android (Android Auto).

Наряду с внутренним объединением различных аппаратных компонентов системы, таких, как радиоприемник или CD-привод, мультимедийная система связана по CAN-шине с другими блоками управления автомобиля (рис. 14.17). Таким образом, полный

спектр функций мультимедийной системы реализуется с помощью нескольких блоков управления.

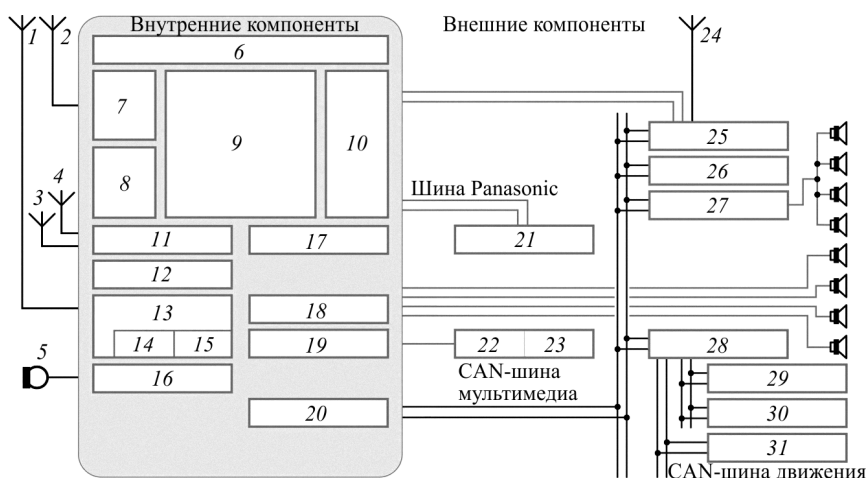


Рис. 14.17. Мультимедийная система:

1 – антенна GPS; 2 – антенна DAB; 3 – антенна FM; 4 – антенна FM/AM; 5 – микрофон; 6 – привод CD/DVD; 7 – тюнер DAB; 8 – жесткий диск; 9 – сенсорная панель информационной системы; 10 – модуль клавиатуры; 11 – тюнер FM/AM; 12 – тюнер TMS; 13 – система навигации; 14 – модуль GPS; 15 – модуль гироскопа; 16 – система голосового управления; 17 – устройство считывания SD-карт; 18 – усилитель аудиосигнала; 19 – вход аудио/видео; 20 – интерфейс с CAN-шиной; 21 – CD-чейнджер; 22 – камера заднего вида; 23 – ТВ-тюнер; 24 – антенна GSM; 25 – блок управления телефоном; 26 – интерфейс MDI; 27 – усилитель цифровой аудиосистемы; 28 – центральный межсетевой шлюз; 29 – климатическая установка; 30 – мультифункциональное рулевое колесо; 31 – блок ABS/ESP

Прием радиосигналов обеспечивает аналоговый тюнер FM/AM и цифровой тюнер DAB. Для каждой распознанной станции система запоминает все частоты ее вещания. При смене радиостанции аппарат выбирает из списка ту частоту, на которой обеспечивается наилучший прием этой радиостанции. Подстройка на частоту с лучшим качеством приема производится в основном при включении и выключении аппарата, а также при смене радиостанций.

Воспроизведение аудио- и видеофайлов возможно с CD/DVD-дисков, Flash-накопителей, внешних плееров (аудио- и видеофайлов через разъем MDI и аудиофайлов через AUX-IN), мобильных телефонов (через USB или Bluetooth).

Для работы навигатора в мультимедийной системе предусмотрен модуль GPS и тюнер для приема сигналов TMS (см. главу 11.6). Хранение картографической информации производится на жестком диске, CD-дисках или SD-картах.

Для управления системой используются аппаратные клавиши, расположенные на головном устройстве и мультифункциональном руле, программируемые виртуальные клавиши на сенсорном экране и модуль голосового ввода.

## 14.9. Подушки безопасности

Пассивная безопасность – это конструктивные меры, принимаемые для защиты пассажиров внутри салона от получения травм при аварии либо для снижения опасности травмирования.

Основные элементы систем пассивной безопасности салона – ремни безопасности с натяжителями и подушки безопасности.

Подушки безопасности являются дополнительным средством безопасности (SRS – Supplementary Restraint System), используемым совместно с ремнями безопасности для предотвращения травмирования водителя и пассажиров. Подушки безопасности представляют собой воздушные мешки (Airbag) и в случае аварии надуваются специальным газом.

По месту расположения подушки безопасности бывают фронтальные (передние), боковые («шторки»), верхние (головные) и нижние (коленные). Фронтальные и нижние подушки защищают водителя и переднего пассажира в случае фронтального или фронтально-диагонального удара. Боковые и головные подушки срабатывают при фронтально-диагональном и боковом ударе.

Система безопасности состоит из входных датчиков, блока управления и исполнительных устройств (рис. 14.18). В системе имеются датчики фронтального удара, датчики боковых ударов в передних дверях и задних стойках кузова, датчик наличия пассажира на переднем сиденье. Исполнительными устройствами являются пиропатроны преднатяжителей ремней безопасности, газогенераторов подушек безопасности и аварийного отключения аккумуляторной батареи. Кроме того, в систему безопасности входят выключатели в замках ремней безопасности передних сидений, выключатель фронтальной подушки безопасности переднего пассажира и активные подголовники в передних сиденьях.

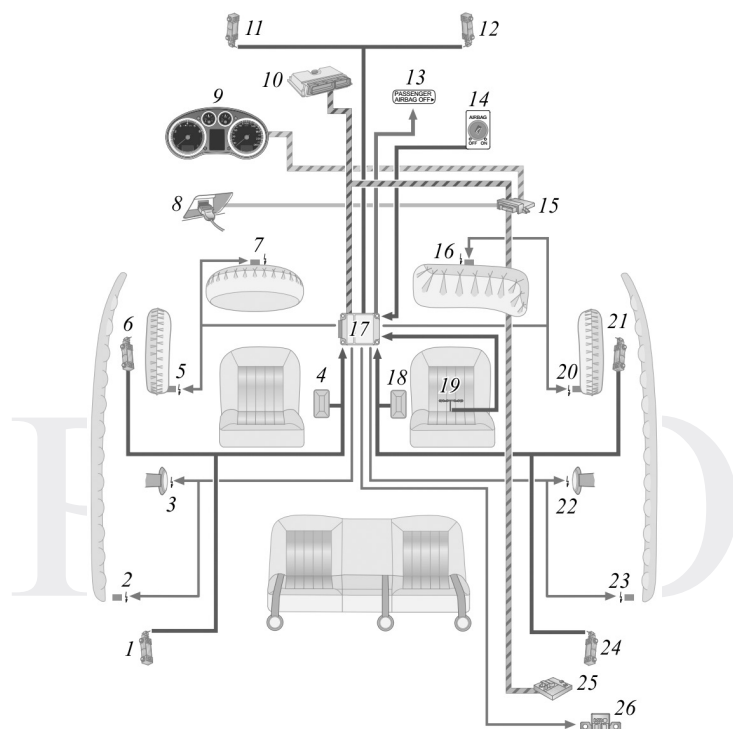


Рис. 14.18. Система пассивной безопасности:

1 – датчик удара боковой подушки безопасности за водителем; 2 – пиропатрон верхней подушки безопасности водителя; 3 – пиропатрон натяжителя ремня безопасности водителя; 4 – выключатель в замке ремня безопасности водителя; 5 – пиропатрон боковой подушки безопасности водителя; 6 – датчик удара боковой подушки безопасности со стороны водителя; 7 – пиропатрон подушки безопасности водителя; 8 – диагностический разъем; 9 – панель приборов; 10 – блок управления двигателем; 11 – датчик удара фронтальной подушки безопасности водителя; 12 – датчик удара фронтальной подушки безопасности переднего пассажира; 13 – контрольная лампа отключения подушки безопасности переднего пассажира; 14 – выключатель для отключения подушки безопасности переднего пассажира; 15 – диагностический интерфейс шины данных; 16 – пиропатрон подушки безопасности переднего пассажира; 17 – блок управления подушками безопасности; 18 – выключатель в замке ремня безопасности переднего пассажира; 19 – датчик наличия пассажира на переднем сиденье; 20 – пиропатрон боковой подушки безопасности переднего пассажира; 21 – датчик удара боковой подушки безопасности со стороны переднего пассажира; 22 – пиропатрон натяжителя ремня безопасности переднего пассажира; 23 – пиропатрон верхней подушки безопасности переднего пассажира; 24 – датчик удара боковой подушки безопасности за передним пассажиром; 25 – центральный блок управления системами комфорта; 26 – пиропатрон отключения аккумуляторной батареи

Использование ремней безопасности – обязательное условие при срабатывании подушки безопасности. Для быстрого натяжения ремня при столкновении применяют пиротехнические натяжители, которые срабатывают по сигналу блока управления. При этом включается детонатор пиротехнического патрона. При взрыве патрона выделяется газ, давление которого действует на поршень, соединенный с ремнем безопасности. Поршень быстро перемещается и натягивает ремень, блокируя тело человека. Чтобы избежать превышения нагрузки на грудь, ремни имеют ограничители усилия натяжения.

Система безопасности предупреждает водителя и переднего пассажира о необходимости пристегнуть передние ремни безопасности. После включения зажигания блок управления подушками безопасности анализирует показания датчиков замков ремней безопасности водителя и переднего пассажира совместно с показаниями датчика занятости переднего пассажирского сиденья. Если водитель или передний пассажир не пристегнул ремни безопасности, на панели приборов загорится контрольная лампа и одновременно раздастся звуковой сигнал.

Наполнение подушки безопасности газом осуществляется при помощи газогенератора, который устанавливают как в одноступенчатом, так и в двухступенчатом исполнении. На одноступенчатом газогенераторе срабатывание всего выталкивающего заряда происходит в один этап. Такие генераторы применяют в боковых и верхних подушках безопасности.

Для фронтальных подушек безопасности используют двухступенчатые газогенераторы, в которых оба выталкивающих заряда активируются по очереди, через определенный промежуток времени. С учетом степени тяжести и типа аварии блок управления подушек безопасности рассчитывает промежуток времени между двумя этапами срабатывания. Таким образом снижается вероятность того, что после срабатывания подушки безопасности выталкивающий заряд подушки останется активным.

Задача блока управления подушками безопасности состоит в том, чтобы по регистрируемому замедлению или ускорению автомобиля определять необходимость срабатывания систем защиты. Для определения замедления или ускорения во время аварии наряду с внутренними датчиками в блоке управления подушек безопасности устанавливают внешние датчики. Только после

обработки данных всех датчиков блок управления подушками безопасности определяет необходимость и время активирования компонентов системы безопасности. В зависимости от типа и степени тяжести аварии срабатывают, например, только натяжители ремней безопасности или натяжители ремней безопасности вместе с подушками безопасности.

В блоке управления подушками безопасности в качестве внутренних датчиков установлены датчик удара и дублирующий микромеханический выключатель. Датчик удара представляет собой датчик ускорения в блоке управления, который регистрирует замедление и ускорение как по продольной, так и по поперечной оси автомобиля. Микромеханический выключатель регистрирует замедление и ускорение автомобиля в продольном направлении.

К внешним датчикам относят датчики удара фронтальной подушки безопасности водителя и переднего пассажира, датчики удара боковой подушки безопасности водителя и переднего пассажира, датчики удара задней боковой подушки безопасности водителя и переднего пассажира.

Датчики удара фронтальной подушки безопасности представляют собой датчики ускорения, которые измеряют замедление и ускорение автомобиля в продольном направлении. В качестве датчиков удара боковой подушки безопасности можно устанавливать как датчики ускорения, так и датчики давления. Датчики ускорения, смонтированные в зоне соединения стойки и порога, измеряют поперечное ускорение автомобиля. Датчики давления установлены в правой и левой передней двери. При деформации дверей на некоторое время повышается давление воздуха, которое регистрируется датчиком и передается в блок управления подушками безопасности.

Датчик ускорения является емкостным датчиком, сопряженные детали которого работают как сейсмическая масса. Датчики давления могут быть как емкостными, так и пьезоэлектрическими. Сенсорный элемент датчика находится в одном корпусе с электронным блоком обработки данных.

Контрольная лампа подушек безопасности отображает рабочий статус всей системы пассивной безопасности, определяемый блоком управления подушками безопасности. О неисправности сигнализирует продолжительное горение контрольной лампы. Если от блока управления подушками безопасности по CAN-

шине не поступает никаких сообщений, контрольная лампа автоматически включается блоком управления панелью приборов.

### Контрольные вопросы и задания

1. Опишите структуры электронной системы климат-контроля.
2. Как работает блок управления топливным жидкостным подогревателем-отопителем.
3. Опишите работу электропривода зеркал.
4. Как работает противоугонная система?
5. Как определяют положение автомобиля по сигналу спутников?
6. Как работает ассистент торможения при увеличении тормозного усилия?
7. Перечислите способы подключения устройств для обмена информацией с мультимедийной системой.
8. Опишите функционирование блока управления подушками безопасности.

## ЛИТЕРАТУРА

---

- Акимов, С.В.** Электрооборудование автомобилей : учеб. / С.В. Акимов, Ю.П. Чижков. М., 2007.
- Диагностирование** автомобилей. Практикум : учеб. пособие / А.Н. Карташевич [и др.] ; под ред. А.Н. Карташевича. Минск, 2011.
- Карташевич, А.Н.** Теория автомобилей и двигателей : учеб. пособие / А.Н. Карташевич, Г.М. Кухаренок, А.А. Рудашко. Минск, 2018.
- Коваленко, О.Л.** Электронные системы автомобилей : учеб. пособие / О.Л. Коваленко. Архангельск, 2013.
- Немцов, М.В.** Электротехника и электроника : учеб. / М.В. Немцов, М.Л. Немцова. М., 2013.
- Пузаков, А.В.** Системы электроснабжения транспортных средств : учеб. пособие / А.В. Пузаков. М., 2019.
- Райф, К.** Датчики в автомобиле / К. Райф. М., 2013.
- Савич, Е.Л.** Легковые автомобили : учеб. / Е.Л. Савич. Минск; М., 2013.
- Синдеев, Ю.Г.** Электротехника с основами электроники : учеб. пособие / Ю.Г. Синдеев. Ростов н/Д, 2005.
- Системы** управления бензиновыми двигателями / BOSCH. М., 2005.
- Системы** управления дизельными двигателями / BOSCH. М., 2004.
- Соснин, Д.А.** Электрическое, электронное и автотронное оборудование легковых автомобилей (Автотроника-3) : учеб. / Д.А. Соснин. М., 2010.
- Хернер, А.** Автомобильная электрика и электроника / А. Хернер, Х.-Ю. Риль. М., 2013.
- Чумаченко, Ю.Т.** Автомобильный электрик. Электрооборудование и электронные системы автомобилей : учеб. пособие / Ю.Т. Чумаченко, А.А. Федорченко. Ростов н/Д, 2006.
- Электротехника** и электроника : учеб. / Б.И. Петленко [и др.] ; под ред. Б.И. Петленко. М., 2003.
- Ютт, В.Е.** Электрооборудование автомобилей : учеб. / В.Е. Ютт. М., 2006.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

---

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	3
<b>1. ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ</b> .....	6
1.1. Электрическое поле .....	6
1.2. Электрические цепи постоянного тока .....	11
1.3. Электромагнетизм .....	14
1.4. Электрические измерения .....	18
1.5. Электрические цепи переменного тока .....	25
1.6. Трансформаторы .....	31
1.7. Электрические машины переменного тока .....	34
1.8. Электрические машины постоянного тока .....	41
<b>2. ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОНИКИ</b> .....	49
2.1. Полупроводниковые приборы .....	49
2.2. Полупроводниковые выпрямители .....	58
2.3. Электронные усилители .....	64
2.4. Электронные генераторы .....	68
<b>3. ОСНОВЫ ЦИФРОВОЙ ТЕХНИКИ</b> .....	73
3.1. Системы счисления и цифровые сигналы .....	73
3.2. Основы алгебры логики и логические элементы .....	76
3.3. Аналого-цифровые преобразователи .....	79
3.4. Запоминающие устройства .....	82
<b>4. ЭЛЕКТРОСХЕМЫ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ</b> .....	86
4.1. Состав и условные обозначения элементов электросхем .....	86
4.2. Представление электросхем в технической документации изготовителя транспортных средств .....	90
<b>5. ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ БОРТОВЫХ ЦЕПЕЙ</b> .....	96
5.1. Цепи с прямым управлением .....	96
5.2. Цепи с релейным управлением .....	99

5.3. Цепи с использованием соединения электронных блоков управления и цифровым предоставлением информации.....	101
<b>6. СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ.....</b>	<b>107</b>
6.1. Источники и потребители электроэнергии транспортного средства .....	107
6.2. Аккумуляторные батареи .....	109
6.3. Генераторы .....	117
6.4. Регулирование напряжения бортовой сети .....	121
6.5. Системы управления электроснабжением .....	125
<b>7. СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСТАРТЕРНОГО ПУСКА.....</b>	<b>128</b>
7.1. Стартеры .....	128
7.2. Схемы систем управления электростартерным пуском .....	135
<b>8. СИСТЕМЫ ЗАЖИГАНИЯ .....</b>	<b>139</b>
8.1. Классификация систем зажигания.....	139
8.2. Контактная система зажигания.....	140
8.3. Контактно-транзисторная система зажигания .....	146
8.4. Бесконтактно-транзисторная система зажигания .....	147
8.5. Микропроцессорные системы зажигания .....	150
8.6. Компоненты систем зажигания.....	154
<b>9. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БЕНЗИНОВЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ.....</b>	<b>161</b>
9.1. История развития и классификация систем управления бензиновыми двигателями.....	161
9.2. Системы центрального впрыска топлива .....	165
9.3. Системы распределенного впрыска топлива .....	173
9.4. Системы непосредственного впрыска топлива .....	182
<b>10. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДИЗЕЛЬНЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ.....</b>	<b>188</b>
10.1. История развития и классификация .....	188
10.2. Топливные насосы высокого давления с электронным управлением.....	190

10.3. Электронная система управления насосами-форсунками .....	194
10.4. Электронная система управления Common Rail.....	200
<b>11. СИСТЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ И СИГНАЛИЗАЦИИ .....</b>	<b>208</b>
11.1. Внешнее освещение .....	208
11.2. Световая и звуковая сигнализация.....	216
11.3. Релейное управление системами освещения .....	222
11.4. Цифровое управление системами освещения.....	224
<b>12. ИНФОРМАЦИОННО-ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ.....</b>	<b>229</b>
12.1. Классификация контрольно-измерительных приборов.....	229
12.2. Датчики .....	233
12.3. Преобразователи.....	238
12.4. Усилители.....	241
12.5. Приборы контроля .....	244
12.6. Приборы измерения .....	247
12.7. Реализация информационно-диагностической системы в аналоговых цепях.....	252
12.8. Реализация информационно-диагностической системы в цифровых цепях .....	254
<b>13. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АГРЕГАТАМИ .....</b>	<b>258</b>
13.1. Электронные системы управления рулевым управлением .....	258
13.2. Электронная система управления перераспределением крутящего момента.....	262
13.3. Электронные системы управления трансмиссией.....	265
13.4. Электронные системы управления тормозной системой .....	268
13.5. Круиз-контроль.....	272
13.6. Электронные системы управления подвеской.....	274
<b>14. СИСТЕМЫ КОМФОРТА И БЕЗОПАСНОСТИ .....</b>	<b>279</b>
14.1. Системы кондиционирования воздуха.....	279
14.2. Системы отопления.....	283

14.3. Системы управления компонентами комфорта салона.....	286
14.4. Охранные и противоугонные системы.....	293
14.5. Системы парковки.....	295
14.6. Навигационные системы.....	298
14.7. Ассистент торможения.....	301
14.8. Мультимедийные системы.....	303
14.9. Подушки безопасности.....	305
<b>ЛИТЕРАТУРА.....</b>	<b>310</b>

РИПО

*Учебное издание*

**Карташевич Анатолий Николаевич  
Рудашко Александр Александрович**

## **ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ**

*Учебное пособие*

Редактор *Л.В. Рутковская*  
Корректор *Е.В. Потапейко*  
Компьютерная верстка, дизайн обложки *Е.Н. Самусевич*

Подписано в печать 28.05.2021.  
Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Цифровая печать.  
Усл. печ. л. 18,4. Уч.-изд. л. 15,82.  
Тираж 500 экз. Заказ 292.

Республиканский институт профессионального образования.  
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий №1/245 от 27.03.2014  
Ул. К. Либкнехта, 32, 220004, Минск. Тел.: 374-41-00, 373-43-90.

Отпечатано в Республиканском институте  
профессионального образования. Тел. 373-69-45.



220004, г. Минск,  
ул. К. Либкнехта, 32  
Тел./факс (017) 374 41 00  
www.ripo.unibel.by

**ЦЕНТР УЧЕБНОЙ КНИГИ И СРЕДСТВ ОБУЧЕНИЯ  
Республиканского института профессионального образования**

**ОКАЗЫВАЕТ УСЛУГИ**

- ✓ **Реализация** учебной и методической литературы за наличный и безналичный расчет.
- ✓ **Организация экспертизы** учебных изданий для присвоения грифа Министерства образования Республики Беларусь, Республиканского института профессионального образования.
- ✓ **Редакционно-издательская подготовка:** редактирование научной и учебной литературы, верстка и дизайн книжной, журнальной, полиграфической продукции.
- ✓ **Полиграфические услуги:** журналы, брошюры, бланки, грамоты, дипломы, календари, буклеты, визитки и др.
- ✓ Организация и проведение тематических **выставок-продаж, обучающих семинаров** для авторов учебной литературы.

**ПРИГЛАШАЕМ К СОТРУДНИЧЕСТВУ  
АВТОРОВ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ  
ДЛЯ УЧАЩИХСЯ УЧРЕЖДЕНИЙ ПТО И ССО**

Тел. 8(017) 373 62 23, 272 43 90.