

В.Е.ЮТТ

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ АВТОМОБИЛЕЙ

***4-е издание,
переработанное
и дополненное***

*Допущено Министерством образования
Российской Федерации в качестве учебника
для студентов автомобильных специальностей
высших учебных заведений.*

Москва
Горячая линия – Телеком
2006

УДК 629.113.066
ББК 39.33-04
Ю 92

Рецензент: доктор техн. наук, профессор И. М. Опарин

Ютт В. Е.

Ю 92 Электрооборудование автомобилей. Учебник для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М: Горячая линия–Телеком, 2006. – 440 с.: ил.

ISBN 5-93517-243-7.

Рассмотрены основы теории, принцип действия, конструкция, основные характеристики, методы диагностирования изделий и систем электрооборудования автомобилей. Особое внимание уделено электронным и микропроцессорным системам зажигания, системам автоматического управления двигателем и трансмиссией, информационно-диагностическим системам. Подробно рассмотрены конструкции и характеристики приборов системы освещения и сигнализации, определяющей безопасность дорожного движения.

Для студентов автомобильных специальностей высших учебных заведений.

ББК 39.33-04

Адрес издательства в Интернет www.TECHBOOK.RU
e-mail: radios_hl@mtu-net.ru

Учебное издание

Ютт Владимир Евсеевич

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ АВТОМОБИЛЕЙ

Учебник

Редактор Е. П. Стариков

Корректор Е. Н. Михайлова

Художник Л. Г. Летинов

Подготовка оригинал-макета Ю. Н. Рысева

Лицензия ЛР № 071825 от 16.03.99 г.
Подписано к печати 02.04.2005. Формат 60 × 90/16.
Усл. изд. л. 27,5. Изд. № 6243. Тираж 3000 экз.
Заказ № 5996.

Отпечатано с готовых диапозитивов в ОАО ордена «Знак Почета»
«Смоленская областная типография им. В. И. Смирнова».
214000, г. Смоленск, проспект им. Ю. Гагарина, 2.

ISBN 5-93517-243-7

© В. Е. Ютт, 2000, 2006
© Оформление издательства
«Горячая линия–Телеком», 2006

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.....	3
Глава 1. Система электроснабжения	5
1.1. Общие сведения.....	5
1.2. Автомобильные генераторы	6
1.3. Конструкция автомобильных генераторов переменного тока.....	17
1.4. Регулирование напряжения в бортовой сети автомобиля	27
1.5. Аккумуляторные батареи.....	43
1.6. Выбор пределов регулируемого напряжения.....	74
1.7. Система электроснабжения на два уровня напряжения	75
1.8. Техническая эксплуатация системы электроснабжения. Методы диагностирования	77
Глава 2. Система пуска.....	83
2.1. Общие сведения.....	83
2.2. Основные характеристики аккумуляторной батареи в режиме пуска.....	85
2.3. Устройство и принцип действия стартера	91
2.4. Электромеханические характеристики стартерного электродвигателя	118
2.5. Анализ работы системы электростартерного пуска	123
2.6. Средства облегчения пуска двигателей	129
2.7. Техническое обслуживание и методы диагностирования системы пуска	132
Глава 3. Система зажигания	134
3.1. Общие сведения.....	134
3.2. Классификация батарейных систем зажигания	136
3.3. Требования к системам зажигания. Основные параметры.....	139
3.4. Классическая система зажигания.....	143
3.5. Рабочий процесс батарейной системы зажигания	155
3.6. Характеристики классической системы зажигания.....	163
3.7. Электронные системы зажигания.....	169
3.8. Искровые свечи зажигания	211
3.9. Диагностирование систем зажигания.....	216
Глава 4. Системы освещения и сигнализации	220
4.1. Общие сведения.....	220
4.2. Основные принципы формирования светораспределения систем освещения и сигнализации	221
4.3. Классификация систем освещения.....	223

ПРЕДИСЛОВИЕ

Эксплуатационная надежность, экономичность, активная безопасность и экологические качества автомобиля в значительной степени определяются работой его электрооборудования. Электрооборудование современного автомобиля представляет собой очень сложную систему, включающую более 100 изделий, а его стоимость составляет примерно 30% стоимости автомобиля.

С точки зрения системного подхода электрооборудование автомобиля может быть представлено в виде ряда самостоятельных функциональных систем – электроснабжения, пуска, зажигания, освещения и сигнализации, информации и диагностирования, автоматического управления двигателем и трансмиссией и др. Ряд изделий электрооборудования, например, стеклоочиститель, электродвигатели отопления, вентиляции, звуковые сигналы, радиооборудование, трудно отнести к какой-либо из систем. Поэтому все они могут быть объединены и условно названы вспомогательным электрооборудованием. Суммарная длина электропроводки автомобиля достигает 250...600 м. Определенную сложность представляют прокладка проводов, объединение их в жгуты, построение принципиальных и монтажных схем. Поэтому представляется целесообразным отдельно рассмотреть построение общей схемы, коммутационной и защитной аппаратуры.

Электрооборудование автомобилей постоянно и существенно изменяется. Генераторы переменного тока с бесконтактными электронными регуляторами напряжения практически полностью заменили генераторы постоянного тока с вибрационными регуляторами. Появились бесконтактные электронные и микропроцессорные системы зажигания и автоматического управления топливоподачей. Нашли самое широкое применение так называемые необслуживаемые аккумуляторные батареи. В системе пуска двигателя внутреннего сгорания активно используется стартер с редуктором. Существенно изменились светооптические приборы системы освещения и сигнализации, занимающие особое место в электрооборудовании автомобиля, так как эта система определяет безопасность дорожного движения. Значительно улучшилась информация водителя о режимах работы и состоянии узлов и агрегатов автомобиля, чему способствовало появление бортовой системы контроля и системы встроенной диагностики.

Продолжает расширяться применение электронных приборов и систем на автомобиле. Сейчас практически любая система электрооборудования включает элементы электроники: всевозможные реле, контроллеры, регуляторы, датчики и др.

Применение электроники и микропроцессорной техники способствовало разработке систем автоматического управления двигателем и трансмиссией. В первую очередь это касается создания систем управления зажиганием и впрыском топлива, антиблокировочных систем тормозов, электронного управления коробкой передач, разработки маршрутного компьютера, системы блокировки дверей и др. Ведущие автомобильные фирмы разработали и внедряют интегрированные системы управления силовым агрегатом, электронные системы рулевого управления и управления четырьмя колесами. Находят применение активная подвеска, дисплеи на лобовом стекле, интегрированные информационно-диагностические системы. Основной тенденцией развития электронных систем следует считать создание комплексных многофункциональных систем управления и контроля.

Внедрение электронных устройств связано с созданием специальной элементной базы, так как условия работы изделий электрооборудования автомобилей весьма специфичны. Это и широкий диапазон изменения температур ($-60 \dots +125^\circ\text{C}$), и вибрации, и подверженность агрессивному действию окружающей среды и др.

Усложнение электрооборудования автомобилей имеет и отрицательную сторону, связанную с увеличением числа отказов. В современном автомобиле уже более 30% отказов приходится на электрооборудование. Поэтому остро стоит проблема своевременной разработки методов и средств диагностирования новых систем и узлов.

В 4-м издании учебника автор стремился учесть замечания и рекомендации, сделанные специалистами в области электрооборудования автомобилей по предыдущему изданию, а также устранить досадные опечатки. В книге рассмотрены новые конструкции изделий, входящих в различные функциональные системы, появившиеся в последнее время. Расширены разделы, посвященные антиблокировочным системам тормозов, системе освещения и сигнализации, электронным системам управления двигателем. Введен раздел, посвященный противогололедным системам.

ГЛАВА 1. СИСТЕМА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

1.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Система электроснабжения предназначена для питания электрической энергией всех потребителей. Источниками электрической энергии на автомобиле являются генератор и аккумуляторная батарея, включенные параллельно.

При работающем двигателе генератор является основным источником электроэнергии и обеспечивает электроснабжение потребителей и заряд аккумуляторной батареи. При неработающем двигателе функции источника электроэнергии переходят к аккумуляторной батарее, которая также должна обеспечивать надежный пуск двигателя.

Автомобильные генераторы работают в режимах переменных частот вращения и нагрузок, изменяющихся в широких пределах. Для автоматического поддержания напряжения генератора на заданном уровне при изменении частоты вращения и нагрузки предназначен регулятор напряжения.

Для приведенной на рис. 1.1 структурной схемы справедлива следующая взаимосвязь токов при различных соотношениях напряжений генератора и аккумуляторной батареи:

$$I_r = I_{бз} + I_n \text{ при } U_r > E_б;$$

$$I_r = I_n \text{ при } U_r = E_б;$$

$$I_r + I_{бр} = I_n \text{ при } U_r < E_б;$$

$$I_{бр} = I_n \text{ при } U_r = 0,$$

где I_r – ток генератора; $I_{бз}$ – ток, потребляемый батареей при заряде; I_n – ток, потребляемый потребителями; U_r – напряжение генератора; $E_б$ – ЭДС аккумуляторной батареи; $I_{бр}$ – ток, отдаваемый батареей при разряде.

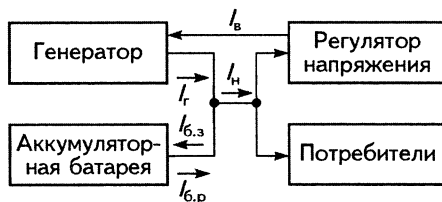


Рис. 1.1. Структурная схема системы электроснабжения:
 I_b – ток возбуждения

1.2. АВТОМОБИЛЬНЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ

1.2.1. Тенденции развития

Долгое время основным источником электрической энергии на автомобилях являлись генераторы постоянного тока, которые обеспечивали требования эксплуатации автомобилей выпуска до 60-х годов по максимальной мощности, характеристикам и сроку службы. Начало 60-х годов в отечественном автомобилестроении характеризовалось значительным увеличением срока службы автомобилей, снижением эксплуатационных затрат на обслуживание и ремонт, повышением требований к безопасности дорожного движения и комфорту пассажиров. В связи с этим выявилась необходимость значительного увеличения мощности генератора, срока его службы, улучшения характеристик и снижения эксплуатационных затрат. Одновременно существенно повысились требования к максимальной частоте вращения и габаритным размерам генератора исходя из условий его компоновки в ограниченном подкапотном пространстве автомобиля.

Удовлетворение указанным требованиям путем совершенствования конструкции и технологии производства генераторов постоянного тока, учитывая низкую надежность работы в эксплуатации щеточно-коллекторного узла и малый срок его службы, а также большие габариты и массу генератора, практически оказалось неосуществимо. С помощью научного поиска и исследований было определено новое направление в развитии автомобильных генераторов. Ими явились генераторы переменного тока.

Название «генератор переменного тока» несколько условно и касается в основном особенностей внутренней его конструкции, так как этот генератор имеет встроенный полупроводниковый выпрямитель и питает потребителей постоянным (выпрямленным) током.

В генераторах постоянного тока таким выпрямителем является щеточно-коллекторный узел, выпрямляющий переменный ток, полученный в обмотках якоря. Развитие полупроводниковой техники позволило применить в генераторах переменного тока более совершенный выпрямитель на полупроводниковых вентилях (диодах). При этом генератор получил качества, которые обеспечили ему широкое распространение в автомобилестроении.

Основными технико-экономическими преимуществами генераторов переменного тока перед генераторами постоянного тока являются: уменьшение в 1,8...2,5 раза массы генератора при той же мощности и примерно в 3 раза расхода меди; большая максималь-

ная мощность при равных габаритах; меньшее значение начальных частот вращения и обеспечение более высокой степени заряженности аккумуляторных батарей; значительное упрощение схемы и конструкции регулирующего устройства вследствие исключения из него элемента ограничения тока и реле обратного тока; уменьшение стоимости эксплуатационных затрат в связи с большей надежностью работы и повышенным сроком службы.

Первые автомобильные генераторы переменного тока были спроектированы для работы с отдельными селеновыми выпрямителями и вибрационными регуляторами напряжения. Селеновые выпрямители имели значительные размеры и их приходилось размещать отдельно от генератора в местах, где обеспечивалось хорошее охлаждение. Для соединения селенового выпрямителя с генератором требовалась дополнительная проводка.

Кроме того, селеновые выпрямители недостаточно теплостойки и допускают максимальную рабочую температуру не выше $+ 80^{\circ}\text{C}$. Поэтому в дальнейшем селеновые выпрямители были заменены выпрямителями, состоящими из кремниевых диодов, которые более теплостойки и имеют значительно меньшие размеры, что позволяет размещать их внутри генератора.

На смену вибрационным регуляторам напряжения пришли сначала контактно-транзисторные, а затем бесконтактные на дискретных элементах и бесконтактные интегральные регуляторы. Габариты интегральных регуляторов позволяют встраивать их в генератор, который со встроенным регулятором и выпрямительным блоком называется *генераторной установкой*.

Для автомобильных генераторов надежность и срок службы определяются в основном тремя факторами: качеством электрической изоляции; качеством подшипниковых узлов; надежностью щеточно-контактных устройств.

Первые два фактора зависят от уровня развития смежных производств. Третий фактор может быть исключен посредством разработки бесконтактных генераторов, имеющих более высокую надежность и, следовательно, больший ресурс, чем контактные. Это обстоятельство стимулировало создание автомобильных бесконтактных генераторов переменного тока с электромагнитным возбуждением – индукторных генераторов и генераторов с укороченными полюсами.

Индукторные генераторы нашли широкое применение на тракторах и сельхозмашинах благодаря простоте конструкции, надежности при работе в тяжелых условиях эксплуатации (пыль, грязь, влага, вибрации) и невысокой стоимости.

Применение на автомобилях существующих конструкций индукторных генераторов сдерживается из-за их основных недостатков:

- невысоких удельных показателей;
- повышенного уровня пульсации выпрямленного напряжения;
- повышенного магнитного шума.

Дальнейшее совершенствование конструкции и устранение вышеперечисленных недостатков позволят применять индукторные генераторы на автомобилях.

Производство бесщеточных генераторов с укороченными полюсами только начинается, а первыми моделями этого семейства являются генераторы 45.3701 и 49.3701, которые планируется устанавливать на автомобили семейства УАЗ.

1.2.2. Принцип действия генераторов переменного тока

Упрощенная схема устройства автомобильного генератора переменного тока с клювообразным ротором представлена на рис. 1.2.

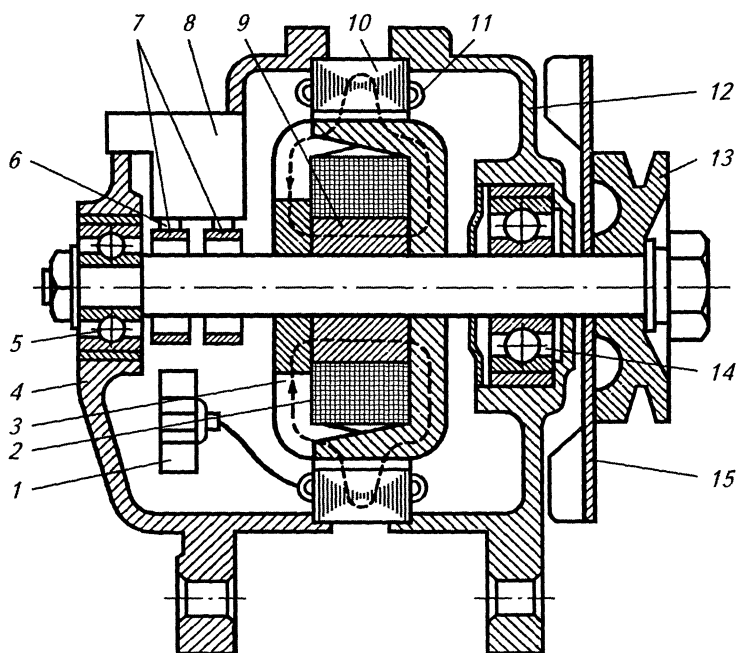


Рис. 1.2. Автомобильный генератор переменного тока с клювообразным ротором

В крышке 4 со стороны контактных колец установлены пластмассовый щеткодержатель 8 с двумя прямоугольными медно-графитовыми щетками 6 и выпрямительный блок 1. При помощи крыльчатки 15 создается притяжная вентиляция для охлаждения генератора. Привод генератора осуществляется при помощи шкива 13.

Принцип действия генератора заключается в следующем. При включении замка зажигания на обмотку возбуждения 2 подается напряжение аккумуляторной батареи, которое вызывает появление тока возбуждения. Ток возбуждения, проходя по обмотке возбуждения, создает магнитный поток, рабочая часть которого распределяется по клювообразным полюсам одной полярности. Выходя из полюсов, магнитный поток пересекает воздушный зазор, проходит по зубцам и спинке статора 10, еще раз пересекает воздушный зазор, входит в клювообразные полюсы другой полярности и замыкается через втулку и вал.

При вращении ротора 3 под каждым зубцом статора 10 проходит попеременно то положительный, то отрицательный полюс, т. е. магнитный поток, пересекающий обмотку статора 11, изменяется по величине и направлению (рис. 1.3). При этом в обмотках фаз будет индуцироваться переменная по величине и направлению ЭДС, действующее значение которой

$$E_{\phi} = 4,4fwk_{\phi}\Phi, \quad (1.1)$$

где f – частота; w – число витков обмотки одной фазы; k_{ϕ} – обмоточный коэффициент; Φ – магнитный поток.

Частота

$$f = pn/60,$$

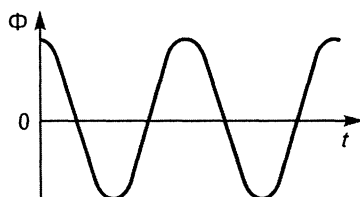
где p – число пар полюсов; n – частота вращения.

Значение обмоточного коэффициента k_{ϕ} зависит от числа пазов статора, приходящихся на полюс и фазу

$$q = z/(2pm)$$

где z – число пазов; m – число фаз.

Рис. 1.3. Изменение во времени магнитного потока в генераторе переменного тока с клювообразным ротором



Для отечественных генераторов характерны следующие параметры:

z	18	36	72
$k_{об}$	0,866	1	0,966
q	0,5	1,0	2

В фазах обмотки статора синхронного генератора индуцируется ЭДС, описываемая зависимостью (1.1), которую можно переписать в более простом виде:

$$E = C_e n \Phi, \quad (1.2)$$

где $C_e = 4,44 \text{ } \pi w k_{об} / 60$ – постоянный коэффициент.

Характер изменения ЭДС в проводниках обмотки статора зависит от кривой распределения магнитной индукции в зазоре, которая определяется формой полюса. Форму полюса делают такой, чтобы форма ЭДС приближалась к синусоиде.

В автомобильных генераторах наибольшее применение нашли трехфазные мостовые двухполупериодные схемы выпрямления. В этих схемах наиболее благоприятное соотношение между выпрямленной мощностью P_d и мощностью генератора P_r (теоретически $P_r = 1,045 P_d$). Трехфазная мостовая схема выпрямления обеспечивает относительно небольшие пульсации выпрямленного напряжения, что является одним из важных требований к автомобильным генераторам в связи с широким применением электроники на автомобиле.

Работает мостовая трехфазная схема выпрямления следующим образом. Предположим, что обмотки статора генератора соединены по схеме «звезда» (рис. 1.4,а). В каждый данный момент времени работает тот диод первой группы, у которого анодный вывод в это время имеет наибольший положительный потенциал относительно нейтральной точки N генератора, а вместе с ним – диод второй группы, у которого катодный вывод имеет наибольший по абсолютному значению отрицательный потенциал относительно этой же точки. Частота пульсации выпрямленного напряжения при такой схеме выпрямления равна удвоенному числу фаз генератора, т. е. шесть пульсаций за период (рис. 1.4,б).

Для повышения мощности генератора в выпрямителе могут использоваться диоды, подключенные к нейтрали трехфазной обмотки статора, соединенного по схеме «звезда». Этот эффект достигается тем, что в реальных условиях форма напряжения, вырабаты-

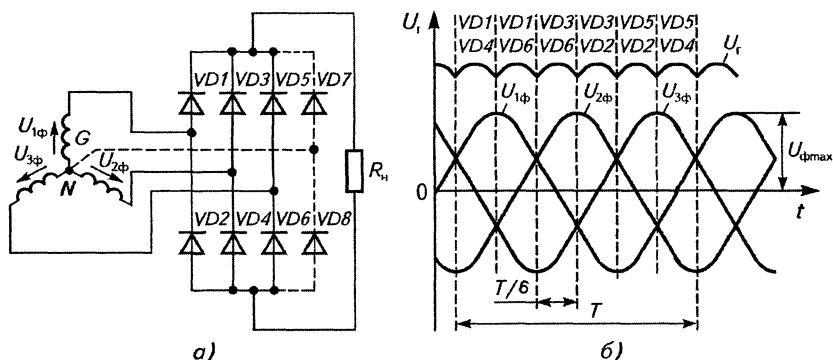


Рис. 1.4. Мостовая трехфазная схема выпрямления:
а – электрическая схема; б – осциллограммы фазных и выпрямленного напряжений

ваемого генератором, отлична от синусоиды и потенциал нейтральной точки периодически отличается от нуля.

На современных генераторах для питания обмотки возбуждения применяется отдельный выпрямитель. Он состоит из трех дополнительных маломощных диодов (типа Д 223 А с номинальным током 2 А) и трех диодов, общих с силовым выпрямителем (см. рис. 1.11). Принцип действия выпрямителя для питания обмотки возбуждения такой же, как и у силового выпрямителя. Применение диодов с меньшим падением напряжения в прямом направлении позволяет повысить ток отдачи генератора. Кроме того, подключение обмотки возбуждения к дополнительному выпрямителю препятствует протеканию через нее тока разрядки аккумуляторной батареи при неработающем двигателе.

В выпрямительных блоках генераторов последних конструкций, например, в компактных генераторах Bosch, вместо обычных силовых диодов используются стабилитроны. Применение силовых стабилитронов позволяет ограничить пики напряжения генератора.

Для соединения фазных обмоток по схеме «звезда» справедливы следующие соотношения:

$$U_{\text{л}} = \sqrt{3}U_{\text{ф}}; I_{\text{л}} = I_{\text{ф}},$$

где $U_{\text{л}}$ и $U_{\text{ф}}$ – соответственно линейное и фазное напряжение; $I_{\text{л}}$, $I_{\text{ф}}$ – соответственно линейная и фазная сила тока.

К выпрямителю подается линейное напряжение генератора. Выпрямленное напряжение $U_{\text{д}}$ пульсирует с частотой $f_{\text{н}}$, в 6 раз боль-

шей частоты переменного напряжения генератора, т. е.

$$f_n = 6f = 6pn/60 = 0,1pn.$$

Минимальное значение выпрямленного напряжения равно $1,5 U_{\phi\max}$, а максимальное $1,73 U_{\phi\max}$. Пульсация выпрямленного напряжения при соединении обмоток генератора по схеме «звезда»

$$\Delta U_d = (1,73 - 1,5) U_{\phi\max} = 0,23 U_{\phi\max},$$

где $U_{\phi\max}$ – амплитудное значение фазного напряжения (рис. 1.4.б.)

Среднее значение выпрямленного напряжения (период пульсации $T/6$)

$$U_d = \frac{6}{T} \int_{-T/12}^{T/12} I_{\phi\max} \cos \omega t dt = 1,65 U_{\phi\max}.$$

где T – период времени; ω – угловая частота.

Следовательно, пульсация выпрямленного напряжения

$$\Delta U_d = \frac{0,23}{1,65} U_d = 0,139 U_d.$$

Например, при среднем значении выпрямленного напряжения 14 В пульсация равна 1,95 В. При этом максимальное значение выпрямленного напряжения 14,65 В, а минимальное 12,7 В.

Ток при подключении к выпрямителю активной нагрузки

$$I_d = U_d / R_n,$$

где R_n – сопротивление нагрузки.

Форма выпрямленного тока имеет такой же вид, как и выпрямленного напряжения, т. е. выпрямленный ток будет пульсирующим с амплитудой

$$I_{d\max} = U_{d\max} / R_n$$

Среднее значение выпрямленного тока

$$I_d = \frac{6}{T} \int_{-T/12}^{T/12} I_{d\max} \cos \omega t dt = 0,955 I_{d\max}.$$

Действующее значение фазного тока

$$I_{\Phi} = \sqrt{\frac{4}{T} \int_{-T/3}^{T/3} I_{d\max}^2 \sin^2 \omega t dt} = 0,775 I_{d\max},$$

или

$$I_{\Phi} = 0,815 I_d.$$

При рассмотрении соотношений напряжений и токов генератора переменного тока со встроенным выпрямителем следует учитывать, что диоды выпрямителя не являются идеальными ключами и что форма кривой напряжения отлична от синусоиды. Поэтому в реальных условиях значения выпрямленного тока и напряжения будут отличаться от теоретических.

1.2.3. Характеристики генераторов переменного тока

Внешняя характеристика, т. е. зависимость напряжения генератора от тока $U_r(I_r)$ при $n = \text{const}$, может определяться при самовозбуждении и независимом возбуждении. Аналитическое выражение зависимости напряжения от тока для фазных величин имеет следующий вид:

$$U = 4,4 f \omega k_{\text{об}} \Phi - Z_0 I, \quad (1.1)$$

где Z_0 – полное сопротивление генератора.

Снижение напряжения при увеличении нагрузки (рис. 1.5) происходит из-за падения напряжения в активном и индуктивном сопротивлениях обмоток статора, размагничивающего действия реакции якоря, уменьшающей магнитный поток в воздушном зазоре, из-за па-

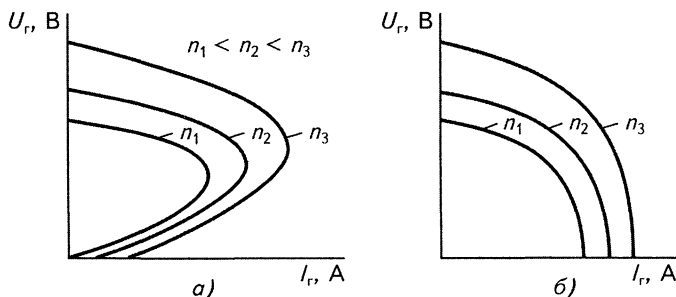


Рис. 1.5. Внешняя характеристика генератора переменного тока: а – с самовозбуждением; б – с независимым возбуждением

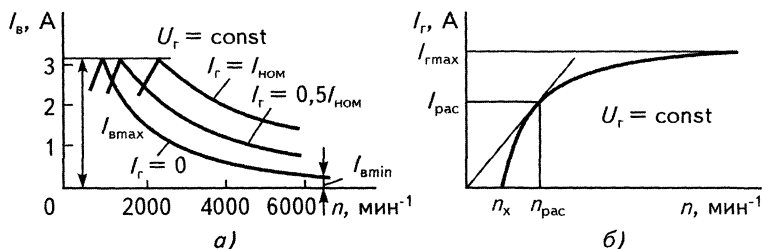


Рис. 1.6. Характеристики генератора переменного тока:
а – скоростная регулировочная; б – токоскоростная

дения напряжения в цепи выпрямителя, а в случае самовозбуждения прибавляется падение напряжения на обмотке возбуждения. Из семейства внешних характеристик определяется максимальный ток, который обеспечивается при заданном или регулируемом значении напряжения.

Скоростная регулировочная характеристика $I_b(n)$ (рис. 1.6,а) обычно определяется при нескольких значениях тока нагрузки. Минимальное значение тока возбуждения определяется при токе нагрузки генератора, равном нулю, и максимальной частоте вращения. Скоростные регулировочные характеристики позволяют определить диапазон изменения тока возбуждения с изменением нагрузки при постоянном напряжении.

Токоскоростная характеристика $I_r(n)$ (рис. 1.6,б) имеет важное значение при разработке и выборе генератора.

Все современные автомобильные генераторы обладают свойством самоограничения максимального тока. Это связано с тем, что с увеличением частоты вращения ротора генератора, а следовательно, с увеличением частоты индуцированного в обмотке статора переменного тока увеличивается индуктивное сопротивление обмотки статора генератора, пропорциональное квадрату числа витков в фазе. Вследствие этого с увеличением частоты вращения ток генератора увеличивается медленнее, асимптотически стремясь к некоторому предельному значению. При замыкании внешней цепи на сопротивление нагрузки индуцированная в обмотке статора электродвижущая сила вызывает ток

$$I = \frac{E}{\sqrt{(R_a + R_H)^2 + X_L^2}}, \quad (1.2)$$

где R_a , и X_L – соответственно активное и индуктивное сопротивление обмотки статора.

Выразив индуктивное сопротивление обмотки статора через частоту и индуктивность, а затем через частоту вращения и индуктивность:

$$X_L = 2\pi fL = 2\pi \frac{pn}{60} L = C_x n,$$

где L – индуктивность обмотки статора; C_x – постоянный коэффициент; $C_x = \frac{2\pi p}{60} L$, и учитывая зависимость (1.2), получим следующее выражение для тока генератора:

$$I = \frac{C_e n \Phi}{\sqrt{(R_a + R_n)^2 + (C_x n)^2}}.$$

При малой частоте вращения индуктивная составляющая сопротивления $(C_x n)^2$ мала по сравнению с активной составляющей $(R_a + R_n)^2$ и ею можно пренебречь. При этом ток будет возрастать пропорционально частоте вращения (начальная часть характеристики на рис. 1.6,б):

$$I = \frac{C_e \Phi}{\sqrt{(R_a + R_n)^2}} = n \frac{C_e \Phi}{R_a + R_n} n.$$

С увеличением частоты вращения индуктивная составляющая возрастает и становится значительно больше активной составляющей, следовательно, последней можно пренебречь. При этом ток будет постоянным, не зависящим от частоты вращения, а определяемым параметрами обмоток генератора и магнитным потоком:

$$I = \frac{C_e n \Phi}{\sqrt{(C_x n)^2}} = \frac{C_e n \Phi}{C_x n} = \frac{C_e \Phi}{C_x} = \text{const.}$$

1.2.4. Бесконтактные генераторы с электромагнитным возбуждением

К бесконтактным генераторам с электромагнитным возбуждением относятся индукторные генераторы и генераторы с укороченными ключами. Упрощенная схема устройства индукторного генератора представлена на рис. 1.7.

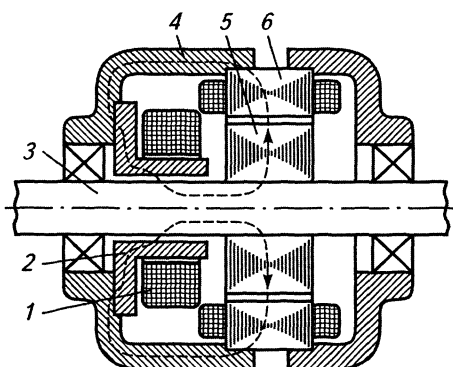


Рис. 1.7. Индукторный генератор

Работает генератор следующим образом. Обмотка возбуждения 1, по которой протекает постоянный ток, создает в магнитной системе поток (показан пунктиром), который при вращении ротора изменяется по величине без изменения знака. Этот поток замыкается, проходя через воздушный зазор между втулкой 2 и валом 3, ротор 5, зубцы которого вы-

полнены в виде звездочки, воздушный зазор между ротором и статором, магнитопровод статора 6 и крышку 4.

Изменение магнитного потока в якоре при вращении ротора происходит за счет изменения магнитного сопротивления воздушного зазора между зубцами статора и ротора. Магнитный поток Φ у индукторных генераторов пульсирующий (рис. 1.8). Магнитный поток в воздушном зазоре периодически изменяется от $\Phi_{\max}$, когда оси зубцов ротора и статора совпадают, до $\Phi_{\min}$, когда оси зубцов ротора и статора смещены на угол 180 электрических градусов. Таким образом, магнитный поток имеет среднюю постоянную $\Phi_{\text{ср}} = 0,5(\Phi_{\max} + \Phi_{\min})$ и переменную составляющую с амплитудой $\Phi_{\text{пер}} = 0,5(\Phi_{\max} - \Phi_{\min})$.

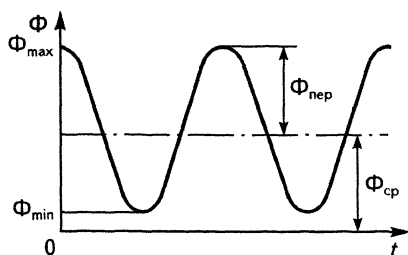


Рис. 1.8. Изменение магнитного потока в индукторном генераторе

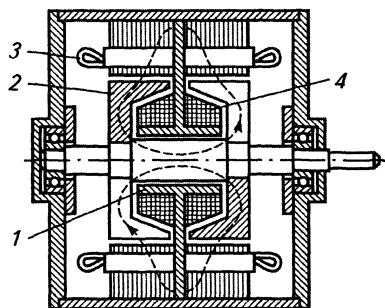


Рис. 1.9. Генератор с укороченными полюсами

Если принять изменение переменной составляющей магнитного потока в зубце по синусоидальному закону

$$\Phi_a = 0,5(\Phi_{\max} - \Phi_{\min}) \cos \omega t,$$

где $\omega = 2\pi f$ угловая частота, то ЭДС холостого хода, наводимая в обмотке якоря, определится выражением

$$e_0 = \omega w_k z_s \cdot 0,5(\Phi_{\max} - \Phi_{\min}) \cos \omega t,$$

где w_k – число витков в катушке; z_s – число последовательно включенных катушек фазы якоря.

Действующее значение ЭДС холостого хода

$$E_0 = 2,22 f z_s w_k (\Phi_{\max} - \Phi_{\min}) = 4,44 f z_s w_k \Phi_{\text{пер}}.$$

Зубец и впадина ротора (индуктора) генератора образуют пару полюсов, поэтому частота тока якоря в индукторе генератора

$$f = zn/60,$$

где z – число зубцов ротора.

В генераторах с укороченными полюсами бесконтактность достигается за счет неподвижного крепления обмотки возбуждения 4 (рис. 1.9) с помощью немагнитной обоймы 1. Полюсы 2 клювообразной формы имеют длину меньше половины длины активной части ротора. В процессе вращения ротора магнитный поток возбуждения пересекает витки обмотки статора 3, индуцируя в них ЭДС. Эти генераторы просты по конструкции, технологичны. Роторы имеют малое рассеяние. К недостаткам можно отнести несколько большую, чем у контактных генераторов, массу при той же мощности. Также следует отметить трудность крепления обмотки возбуждения и обеспечения жесткости и механической прочности ее крепления.

1.3. КОНСТРУКЦИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Типичным генератором переменного тока с контактными кольцами является генератор 37.3701 (рис. 1.10), устанавливаемый на автомобилях ВАЗ-2108 и их модификациях. По габаритным, присоединительным и установочным размерам он взаимозаменяем с генераторами Г221 и Г222, но конструктивно от них отличен. Генератор имеет мощность 750 Вт и рассчитан на номинальное напряжение 14 В и номинальный ток 55 А. Ресурс не менее 125 000 км пробега автомобиля, масса без шкива 4,4 кг.

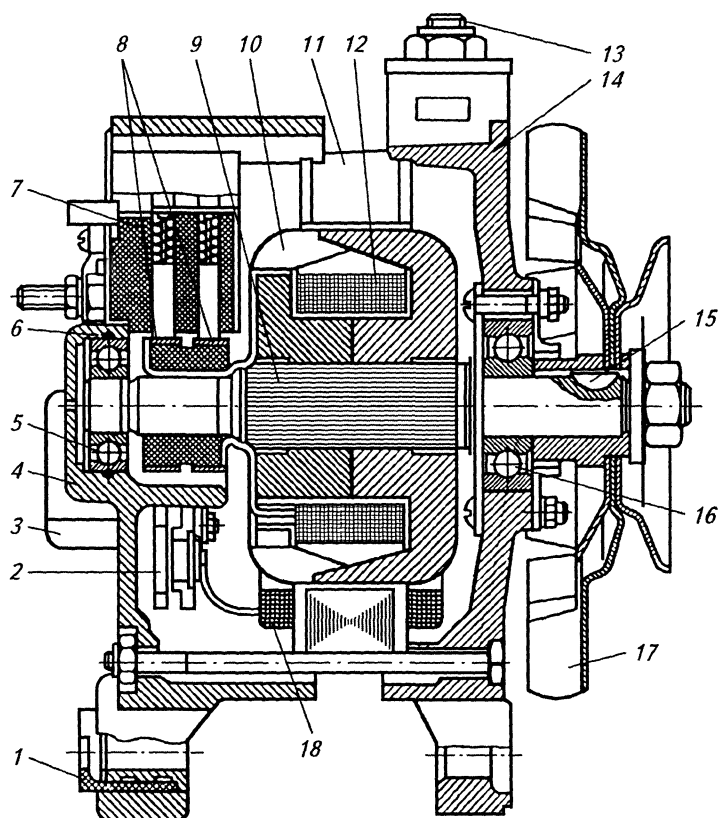


Рис. 1.10. Генератор 37.3701

Генератор состоит из статора 11 (рис. 1.10), ротора 10, крышки 14 со стороны привода, крышки 4 со стороны контактных колец с выпрямительным блоком 2 и шкива с вентилятором 17.

Пакет статора набран из пластин электротехнической стали толщиной 1 мм, соединенных при помощи сварки в четырех точках. Трехфазная обмотка 18 статора расположена в пазах полузакрытой формы. Обмотка трехплоскостная, двухслойная, с числом пазов на полюс и фазу, равным 1. Фазовые обмотки соединены в двойную «звезду». Число витков в фазе 54. Диаметр провода фазы 0,95 мм, сопротивление фазы в холодном состоянии 0,155 Ом.

Ротор включает в себя вал 9, обмотку возбуждения 12, клювооб-

разные полюсы и контактные кольца 8. Обмотка возбуждения изолирована от полюсов пластмассовым каркасом. Концы обмотки возбуждения припаяны к контактным кольцам. Для предотвращения проворачивания и междувиткового замыкания обмотка пропитана лаком, а ротор в сборе для снижения вибрации сбалансирован в двух плоскостях. Обмотка имеет следующие параметры: число витков 420, диаметр медного провода 0,8 мм и сопротивление обмотки в холодном состоянии 2,6 Ом.

Крышки генератора 4 и 14 литые, выполнены из алюминиевого сплава. В крышках установлены шарикоподшипники 5 и 16, причём в канавке крышки со стороны контактных колец для предотвращения проворачивания наружной обоймы шарикоподшипника установлено резиновое кольцо 6. Крышки имеют вентиляционные окна. Со стороны привода крышка имеет стальной болт 13 крепления натяжной планки генератора и армированную стальную втулку в крепежной лапе генератора. В крепежной лапе со стороны контактных колец вставлена резиновая армированная втулка 1, позволяющая выбирать осевой зазор при креплении генератора на двигателе. На крышке со стороны контактных колец расположены щеткодержатель 7 с двумя щетками, конструктивно объединённый с интегральным регулятором напряжения, выпрямительный блок стремя дополнительными диодами для питания обмотки возбуждения помехоподавительный конденсатор 3 ёмкостью 2,2 мкФ подсоединённый к генератору с помощью флажкового штекера.

Интегральный регулятор напряжения и конденсатор имеют герметичное исполнение. Протяжная вентиляция генератора осуществляется центробежным вентилятором 17, насаженным через сегментную шпонку 15 на вал ротора.

Электрическая схема генератора 37.3701 показана на рис. 1.11.

Показатели использования материалов генератора 37.3701 улучшены по сравнению с генераторами Г221 (14 В, 590 Вт) и Г222 (14 В, 660 Вт) за счёт совершенствования электромагнитной системы и увеличения тока возбуждения, что позволило получить требуемое повышение мощности практически без увеличения массы и основных размеров генератора.

Для оценки использования материалов генераторов применяют коэффициент использования (максимальный)

$$K_{\max} = P_{\text{г max}} / G_{\text{г}},$$

где $P_{\text{г max}}$ – максимальная мощность генератора, Вт; $G_{\text{г}}$ – масса генератора (без шкива), кг.

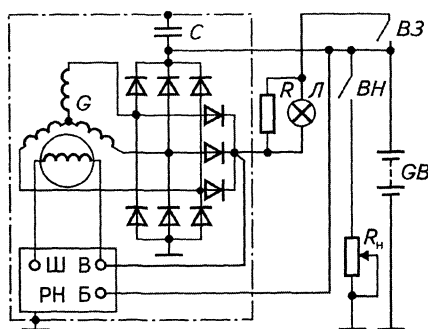


Рис 1.11. Электрическая схема генератора 37.3701

Максимальная мощность генератора переменного тока

$$P_{г\max} = U_n I_{г\max},$$

где U_n – номинальное выпрямленное напряжение (14 или 28 В); $I_{г\max}$ – максимальный ток нагрузки генератора.

Учитывая, что масса электрических машин зависит не от их мощности, а от момента (т.е. мощности, деленной на частоту вращения), пользоваться коэффициентом $K_{\max}$

можно только для сравнения технического уровня генераторов с одинаковой или близкой частотой вращения. Для более объективной оценки технического уровня генератора с точки зрения использования материалов применяется удельный коэффициент использования, учитывающий различную частоту вращения,

$$K_{уд} = U_n I_{рас} / (G n_{рас}),$$

где $I_{рас}$ – расчетный ток, соответствующий 70... 75 % $I_{г\max}$; $n_{рас}$ – частота вращения, соответствующая $I_{рас}$. Параметры $I_{рас}$ и $n_{рас}$ можно определить, проводя из начала координат касательную к токоскоростной характеристике (см. рис. 1.6,б). Точка касания определяет расчетные значения $I_{рас}$ и $n_{рас}$.

На практике в случаях, когда токоскоростная характеристика неизвестна и определить значения $I_{рас}$ и $n_{рас}$ невозможно, пользуются удельным коэффициентом использования по холостому ходу

$$K_x = U_n I_{г} / (G_{г\max} n_x),$$

где n_x – начальная частота вращения при холостом ходе.

Сравнительная оценка генераторов Г221, Г222 и 37.3701 по этим показателям приведена в табл. 1.1.

Генератор 2102.3701 (рис. 1.12) относится к семейству индукторных генераторов и предназначен для установки на автомобилях КамАЗ и «Урал». Генератор представляет собой одноименнополюсную семифазную индукторную машину с односторонним электромагнитным возбуждением и встроенным кремниевым выпрямителем.

Таблица 1.1

Тип генератора	K_{max} , Вт/кг	$K_{\text{уд}}$, Вт·мин/кг·10 ⁻³	$K_{\text{х}}$, Вт·мин/кг·10 ⁻³
Г221	140	37,0	121,7
Г222	179	51,9	153,0
37.3701	189	58,0	189,0
19.3771	182	57,4	182,0
94.3701	233	66,4	212,1

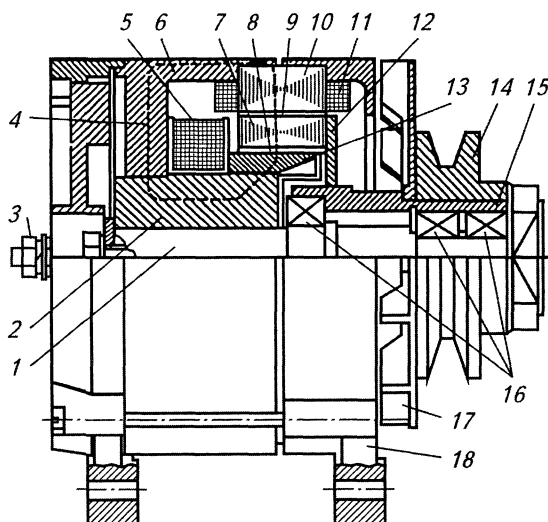


Рис. 1.12. Генератор 2102.3701

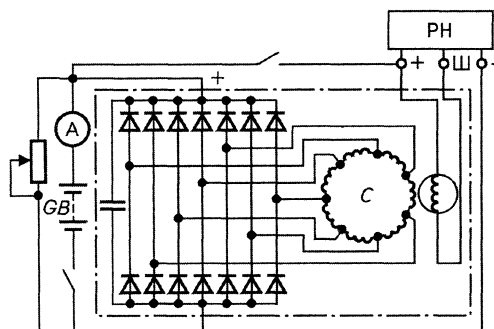


Рис. 1.13. Электрическая схема генератора 2102.3701

Статор 10 имеет 14 зубцов, на которых закреплены катушки семифазной обмотки 11. Обмотка – катушечная однослойная, одноплоскостная, имеет по две последовательно соединенные катушки в фазе. Фазы соединены в семиугольник (рис. 1.13).

Ротор 7 (см. рис. 1.12) представляет собой цилиндрический пакет с зубцами снаружи (10 зубцов) и цилиндрическими отверстиями внутри. Ротор соединен с приводом консольно с помощью стального фланца. Система возбуждения состоит из обмотки возбуждения 5 и внешнезамкнутого магнитопровода, наружная часть которого – магнитопроводная стальная крышка 6, внутренняя – центральная втулка 2, ось 1, переходная втулка 13.

Магнитопроводная стальная крышка 6 состоит из трубы с приваренным фланцем-звездочкой с секторами для забора воздуха по периферии и центральным отверстием, в котором приварена стальная центральная втулка-магнитопровод 2. Внутри этой втулки проходит ось 1 генератора, а снаружи расположена обмотка возбуждения 5. С торца, обращенного к ротору, на центральную втулку насажена переходная втулка 13, поддерживающая обмотку возбуждения 5 и входящая во внутреннюю расточку пакета ротора 7. Указанные узлы образуют замкнутую магнитную цепь генератора.

Созданный обмоткой возбуждения магнитный поток 4 циркулирует по пути: пакет статора 10 – наружная часть стальной крышки 6 – фланец стальной крышки 6 – центральная втулка 2 – переходная втулка 13 – вспомогательный воздушный зазор 8 – пакет ротора 7 – основной воздушный зазор 9 – пакет статора 10.

При вращении ротора 7 в зубах статора 10 пульсирует магнитный поток 4, вызывая появление ЭДС в катушках обмотки статора, охватывающих зубцы. Фланец 12 пакета ротора 7 соединен сваркой с втулкой 15, на которой с помощью шпонки и гайки укреплен шкив 14 привода генератора и центробежный вентилятор 17. Втулка 15 опирается внутренней расточкой на наружные обоймы подшипников 16, установленных внутренними обоймами на неподвижной оси 1, пропущенной через отверстие в центральной втулке 2 и зафиксированной от продольного перемещения болтом 3. Расположение подшипников на одной оси и в одном гнезде исключает их перекосы при сборке. Один из подшипников 16 расположен под ручьем шкива, что сводит к минимуму радиальную нагрузку и увеличивает срок службы подшипников.

Передняя крышка 18 генератора выполнена в виде кольца с лапой, надевается на статор и соединяется с задней крышкой болтами, притягивая статор 10 к стальной крышке 6.

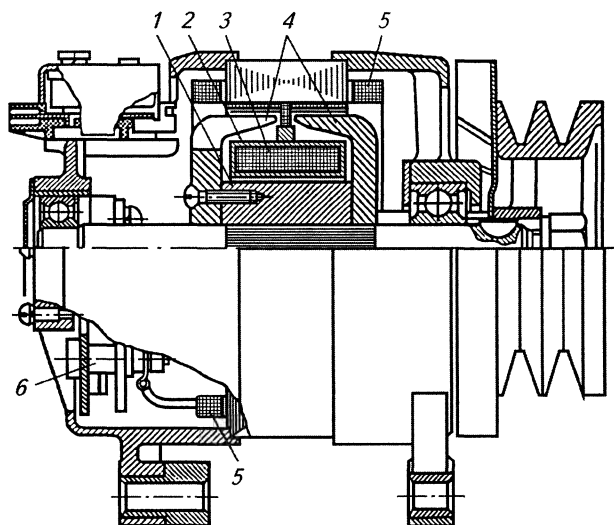


Рис. 1.14. Генератор 49.3701

Максимальная мощность генератора 1680 Вт, ресурс 400 000 км пробега для автомобиля и 16 тыс. мото-ч для гусеничного тягача, масса 14,3 кг.

Представителем семейства бесконтактных генераторов с укороченными полюсами является генератор 49.3701 (рис. 1.14). Ротор генератора состоит из двух клювообразных полюсных половин 4, между которыми размещена втулка 1 с обмоткой возбуждения 3. Полюсные половины и втулка напрессованы на рифленный вал. Обмотка возбуждения крепится на алюминиевом каркасе 2, который закреплен в канавке посередине статора. Обмотка статора 5 трехфазная, соединенная «звездой», размещена в равномерно распределенных по окружности 18 пазах.

Концы обмотки статора соединены со встроенным в генератор выпрямительным блоком БПВ 4-60-02 б. Блок БПВ 4-60-02 (рис. 1.15) имеет отрицательную сборную шину 1, в которую запрессованы три диода 2 типа ВА-20 обратной полярности, и положительную сборную шину 4, в которую запрессованы три диода 3 того же типа, но прямой полярности. Сборные шины электрически полностью изолированы друг от друга и являются токоведущими элементами, одновременно их используют для теплоотвода.

В сборных шинах имеются вентиляционные отверстия. Шесть диодов блока соединены между собой и образуют трехфазную двух-

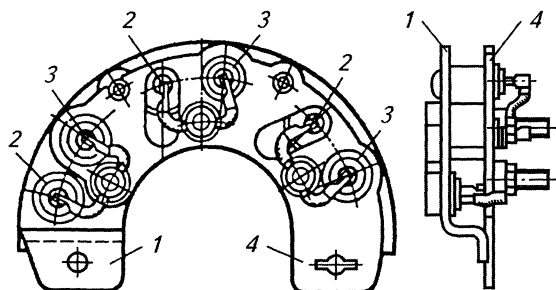


Рис. 1.15. Выпрямительный блок БПВ 4-60-02

полупериодную схему выпрямления. В местах соединения разнополярных диодов имеются клеммы для присоединения фазных обмоток генератора.

Трудоемкость технического обслуживания генераторов 49.3701 сведена к минимуму, так как они не нуждаются в замене щеток, зачистке и проточке контактных колец и в периодической очистке каналов щеткодержателя.

На современных легковых автомобилях, у которых объем подкапотного пространства, как правило, ограничен, нашли применение генераторы так называемой компактной конструкции. Главной отличительной чертой таких генераторов является принципиально другая система вентиляции.

В генераторе обычной конструкции (рис. 1.16,а) воздух засасывается через отверстия в крышке со стороны контактных колец, проходит через выпрямительный блок, статор и ротор и, выходя через отверстия в крышке со стороны привода, попадает на лопасти вентилятора, откуда подается в разные стороны.

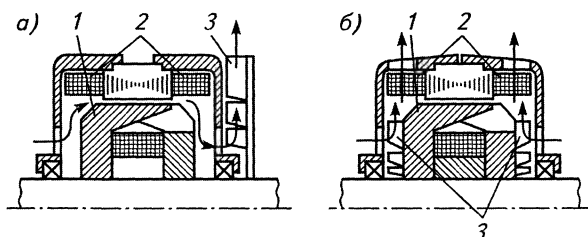


Рис. 1.16. Направление потока охлаждающего воздуха в генераторах обычной (а) и компактной (б) конструкций:
1 – ротор; 2 – обмотка статора; 3 – вентилятор

Генератор компактной конструкции (рис. 1.16,б) засасывает воздух через отверстия в обеих крышках двумя установленными на роторе вентиляторами, лопатки которых подают воздух на обмотки статора. Охладив статор, воздух выходит наружу через отверстия в цилиндрических поверхностях обеих крышек.

Вентиляторы генераторов компактной, конструкции имеют меньший диаметр, нежели традиционные, поэтому для нормального охлаждения требуется большая частота вращения ротора. Это вынуждает конструкторов использовать передачи с поликлиновыми ремнями, которые способны работать со шкивами меньшего диаметра, необходимыми для повышения передаточного числа. Кроме того, компактные генераторы имеют контактные кольца меньшего диаметра для снижения скорости в точке трения кольца с щеткой. Часто контактные кольца имеют диаметр, равный диаметру вала ротора, поэтому из конструктивных соображений их располагают на валу консольно (рис. 1.17).

Использование генераторов компактной конструкции на автомобилях, эксплуатирующихся в тяжелых дорожных условиях, нежелательно из-за их низкой пылеустойчивости.

Эта проблема решается разработкой бесконтактных (бесщеточных) генераторов имеющих конструкцию ротора, показанную на рис. 1.18.

На вал ротора, являющийся также магнитопроводом 1, посажена левая клювообразная полюсная половина 4, а правая выполнена в виде короны 2 и жестко связана с левой посредством кольца из немагнитного материала 3.

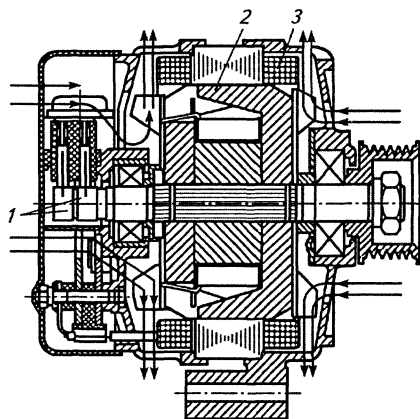


Рис. 1.17. Генератор компактной конструкции:

1 – контактные кольца; 2 – ротор;
3 – статор.

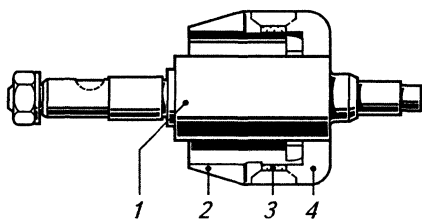


Рис.1.18. Безобмоточный ротор

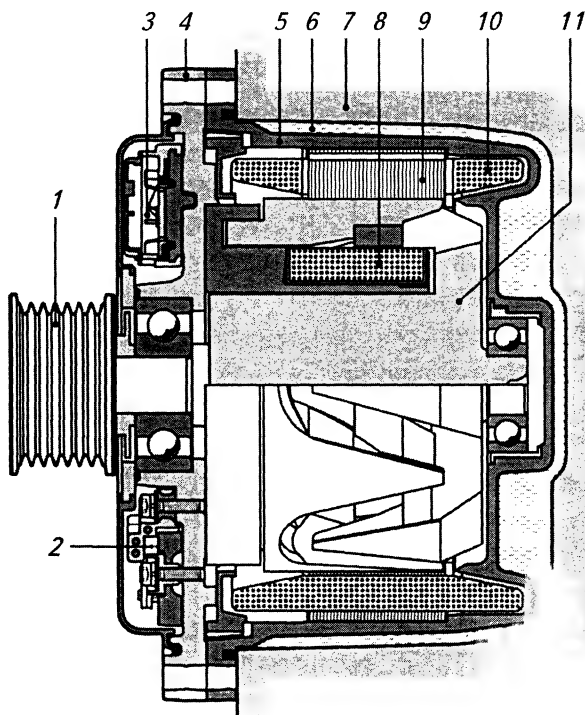


Рис.1.19. Генератор Bosch с жидкостным охлаждением:

1 – шкив; 2 – выпрямитель; 3 – регулятор напряжения; 4 – крышка со стороны привода; 5 – корпус генератора; 6 – охлаждающая жидкость; 7 – ниша двигателя; 8 – неподвижная обмотка возбуждения; 9 – магнитопровод; 10 – обмотка статора; 11 – безобмоточный ротор

Обмотка возбуждения генераторов этого типа располагается на магнитопроводе, закрепленном неподвижно на крышке генератора. Эта конструкция находит применение, как в генераторах традиционного исполнения, так и в компактных генераторах с жидкостным охлаждением.

На рис. 1.19 представлен генератор Bosch с жидкостным охлаждением, устанавливаемый на современные автомобили представительского класса. Основным преимуществом генератора этого типа является снижение шума возникающего в традиционных генераторах при прохождении воздуха через вентиляторы с большой скоростью. Генератор располагается в специальной нише, сообщаемой с системой охлаждения двигателя. Клеммы для подключения генератора к бортовой сети располагаются на крышке со стороны привода.

1.4. РЕГУЛИРОВАНИЕ НАПЯЖЕНИЯ В БОРТОВОЙ СЕТИ АВТОМОБИЛЯ

1.4.1. Основы процесса автоматического регулирования напряжения

Независимо от типа генератора в системе электроснабжения необходим регулирующий элемент. Поддержание постоянного напряжения при увеличении частоты вращения ротора генератора возможно лишь при уменьшении магнитного потока. Уменьшить ток возбуждения, а следовательно, и магнитный поток можно замыканием обмотки возбуждения, прерыванием цепи возбуждения или включением последовательно с обмоткой возбуждения добавочного резистора.

С увеличением частоты вращения ротора возрастает ЭДС и напряжение генератора превышает регулируемое значение. При этом регулятор напряжения одним из указанных способов уменьшает ток возбуждения, что приводит к уменьшению магнитного потока, ЭДС и напряжения генератора. Снижение напряжения приводит к необходимости увеличения тока возбуждения. Этот процесс повторяется периодически, благодаря чему напряжение генератора колеблется около регулируемого значения.

В систему автоматического регулирования напряжения (рис. 1.20) входит объект регулирования – генератор и регулятор напряжения, состоящий из чувствительного элемента, регулирующего органа и задающего элемента. Обратная связь в системе регулирования осуществляется через чувствительный элемент.

Рассмотрим рабочий процесс автоматического регулирования напряжения на примере включения последовательно с обмоткой возбуждения добавочного резистора R_d . Скорость нарастания напряжения при отсутствии в цепи возбуждения добавочного резистора, а также скорость убывания напряжения при подключении добавочного резистора зависят от частоты вращения ротора генера-

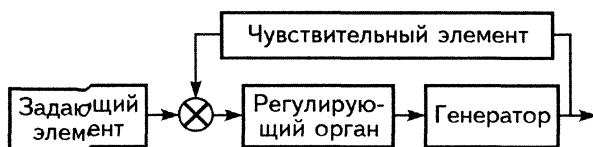


Рис. 1.20. Функциональная схема системы автоматического регулирования напряжения в бортовой сети автомобиля

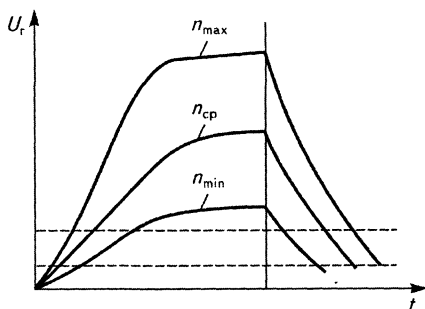


Рис. 1.21. Характер изменения регулируемого напряжения U_r при включении добавочного резистора

ратора. Чем больше частота вращения ротора генератора, тем выше скоростью нарастания напряжения при отсутствии добавочного резистора (рис. 1.21).

При подключении добавочного резистора наблюдается противоположная зависимость — с увеличением частоты вращения понижается скорость спада напряжения.

При выключенном резисторе сопротивление цепи возбуждения равно сопротивлению

обмотки возбуждения R_B , а при включенном резисторе сопротивление цепи возбуждения равно сумме сопротивлений добавочного резистора и обмотки возбуждения.

Изобразим изменение пульсирующего напряжения и соответствующее ему изменение сопротивления цепи возбуждения для различных частот вращения $n_1 < n_2 < n_3$ (рис. 1.22). Из рис. 1.22 видно, что время t_0 , в течение которого резистор выключен, с ростом частоты вращения уменьшается, а время t_B , в течение которого он включен, увеличивается. При этом сопротивление цепи возбуждения изменяется скачкообразно от R_B , до $R_B + R_D$.

Большая частота включения и выключения резистора приводит к тому, что фактическое сопротивление эквивалентно некоторому постоянному значению $R_{эф}$, которое равно среднему арифметическому значению пульсирующего сопротивления:

$$R_{эф} = \frac{R_B t_0 + (R_B + R_D) t_B}{t_0 + t_B} = \frac{R_B t_0 + R_B t_B + R_D t_B}{t_0 + t_B} =$$

$$\frac{R_B (t_0 + t_B) + R_D t_B}{t_0 + t_B} = R_B + \tau_B R_D,$$

где $\tau_B = t_B / (t_0 + t_B)$ — относительная продолжительность включения резистора;

Тогда ток возбуждения $I_B = U / R_{эф} = U / (R_B + \tau_B R_D)$. Рассмотрим скоростную характеристику генератора при работе с регулятором напряжения (рис. 1.23). При увеличении частоты вращения от 0 до n_s ,

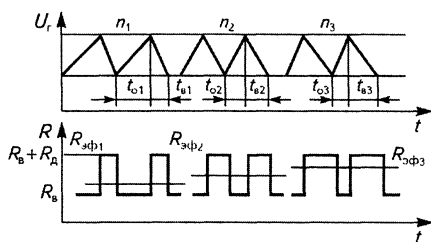


Рис. 1.22. Процесс регулирования напряжения при разных значениях частоты вращения генератора

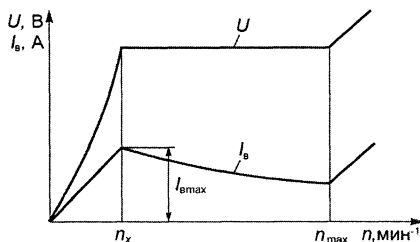


Рис. 1.23. Скоростная характеристика при разных значениях частоты вращения генератора при работе с регулятором напряжения

т. е. пока регулятор напряжения не работает ($\tau_b = 0$) ток возбуждения $I_b = U/R_b$, возрастает до максимального значения.

При дальнейшем возрастании частоты вращения регулятор напряжения начинает работать, поддерживая заданное напряжение. При этом τ_b возрастает от 0 до 1, а ток возбуждения уменьшается до значения, соответствующего постоянно включенному резистору:

$$I_b = U / (R_b + R_d) .$$

При дальнейшем увеличении частоты вращения напряжение и ток возбуждения начнут возрастать. Таким образом, сопротивление добавочного резистора определяет максимальную частоту вращения ротора генератора, при которой возможно регулирование напряжения.

1.4.2. Регуляторы напряжения

Описанный в подразделе 1.4.1 принцип регулирования может быть реализован устройствами различного типа. На автомобилях нашли широкое применение регуляторы напряжения электромагнитного, электронного и смешанного типов. С переходом на системы электроснабжения с генератором переменного тока регуляторы электронного и смешанного типов практически вытеснили электромагнитные регуляторы, которые широко применялись в основном с генераторами постоянного тока. Причиной этому явились следующие обстоятельства:

- ток возбуждения генераторов переменного тока в 1,5 ... 2,0 раза выше, чем генераторов постоянного тока. Контакты электромагнитного регулятора напряжения при таких токах имеют низкую надежность и небольшой срок службы;

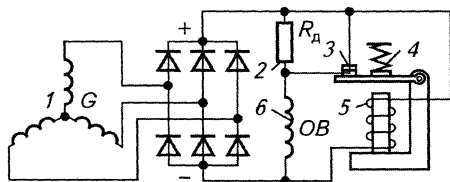


Рис. 1.24. Принципиальная схема регулирования напряжения генератора электромагнитным регулятором

– одной из основных задач, решаемых при переходе на генераторы переменного тока, является повышение срока службы генераторной установки. Электронный регулятор имеет ресурс до 200 ... 250 тыс. км пробега, в то время как средний срок службы электромагнитного

регулятора 120 ... 150 тыс. км пробега;

– электронный регулятор не содержит подвижных частей, подгорающих контактных поверхностей и пружин и поэтому не подвержен разрегулировкам в процессе эксплуатации, что характерно для электромагнитного регулятора.

Однако на некоторых моделях автомобилей еще устанавливают электромагнитные регуляторы, учитывая их невысокую стоимость.

На рис. 1.24 представлена принципиальная схема регулирования напряжения электромагнитным регулятором. Последовательно с обмоткой возбуждения 6 включен добавочный резистор 2, сопротивление которого обеспечивает регулирование на номинальное напряжение при достижении максимальной частоты вращения. Параллельно добавочному резистору включены контакты 3. При неработающем генераторе под действием пружины 4 контакты замкнуты, тем самым добавочный резистор выключается из цепи возбуждения.

Обмотка электромагнита 5 включена параллельно генератору 1. Сила притяжения электромагнита зависит от тока

$$I_a = U_f / R_o,$$

где R_o – сопротивление обмотки электромагнита.

При постоянном сопротивлении ток пропорционален напряжению, т.е. сила притяжения зависит от напряжения генератора. Притяжению электромагнита противодействует усилие пружины.

С увеличением частоты вращения возрастает ЭДС, и напряжение генератора превышает регулируемое значение. При этом ток в обмотке электромагнита возрастает, усилие притяжения увеличивается и контакты размыкаются. В цепь возбуждения включается сопротивление добавочного резистора, что приводит к уменьшению тока возбуждения, магнитного потока, ЭДС и напряжения генератора. Снижение напряжения приводит к ослаблению усилия притяжения электромагнита и пружины.

жина замыкает контакты. Добавочный резистор выключается и напряжение опять возрастает, пока контакты вновь не разомкнутся.

Для контактов электромагнитного регулятора напряжения характерно искрение, которое оказывает на них разрушающее воздействие. Степень этого воздействия характеризуется разрывной мощностью P_k , равной произведению напряжения на контактах на ток возбуждения. Напряжение на контактах в свою очередь равно произведению тока возбуждения на сопротивление добавочного резистора, поэтому разрывная мощность

$$P_k = I_B^2 R_d.$$

Для надежной работы контактов разрывная мощность должна находиться в пределах 150...200 В·А.

В рассмотренных регуляторах напряжения сопротивление добавочного резистора нельзя уменьшить, так как оно определяет максимальную частоту вращения, при которой возможно регулирование напряжения. Уменьшение тока возбуждения ведет к увеличению габаритов и массы генератора. С возрастанием мощности генератора искусственное ограничение тока возбуждения становится все более затруднительным, поэтому либо применяют двухступенчатый регулятор, либо разделяют обмотку генератора на две параллельные ветви.

В качестве примера двухступенчатого регулятора напряжения электромагнитного типа может быть представлен реле-регулятор РР380 (рис. 1.25).

Этот реле-регулятор устанавливался совместно с генератором Г221 на автомобилях семейства ВАЗ. Контактная группа РР380 содержит нормально разомкнутую и нормально замкнутую пары, причем перекидывающий контакт расположен на якоре. Первая ступень контактной группы – нормально замкнутые контакты РН1 – включены между «плюсом» и клеммой «Ш». Вторая ступень контактной группы – нормально разомкнутые контакты РН2 – включены между клеммой «Ш» и «минусом».

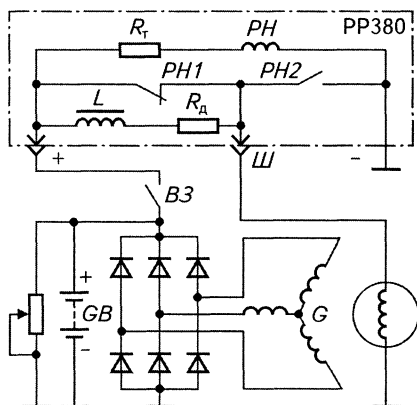


Рис. 1.25. Реле-регулятор РР380

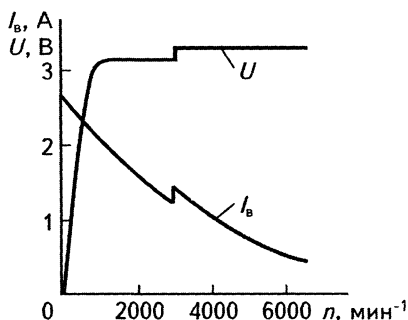


Рис. 1.26. Регулировочная характеристика реле-регулятора РР380

Электромагнитный регулятор напряжения содержит одну обмотку RH , включенную через резистор температурной компенсации R_t непосредственно на напряжение генератора. Параллельно контактам первой ступени включены добавочный резистор R_d и дроссель L . Дроссель служит для замедления скорости нарастания тока через контакты второй ступени $RH2$, облегчая их работу.

До момента достижения регулируемого напряжения якорек реле находится в исходном положении, т. е. контакты $RH1$ замкнуты, и ток возбуждения определяется лишь напряжением генератора и сопротивлением обмотки возбуждения. При достижении регулируемого напряжения электромагнитное усилие, созданное обмоткой RH , преодолевает усилие пружины и контакты размыкаются. При этом ток возбуждения пройдет по добавочному резистору, сила его уменьшится, следовательно, уменьшится и напряжение. Таким образом, работа первой ступени аналогична работе обыкновенного электромагнитного регулятора.

Отличительная особенность схемы двухступенчатого регулятора состоит в том, что параллельно контактам $RH1$ включается резистор, сопротивление которого в 10...15 раз меньше, чем у одноступенчатых регуляторов.

Сопротивление добавочного резистора вместе с незначительным сопротивлением дросселя рассчитано таким образом, чтобы при частоте вращения, равной половине максимальной, контакты первой ступени перестали замыкаться, т. е. регулирование напряжения прекратилось. При этом ток возбуждения уменьшается до 1,2... 1,3 А.

При дальнейшем увеличении частоты вращения генератора напряжение будет возрастать до того момента, пока не замкнутся контакты $RH2$.

При их замыкании обмотка возбуждения шунтируется (т. е. замыкается накоротко). Токи возбуждения и напряжения упадут, при этом контакты $RH2$ снова разомкнутся. Этот процесс будет повторяться с достаточно большой частотой. Регулировочная характеристика регулятора напряжения РР380 представлена на рис. 1.26.

Уменьшение сопротивления добавочного резистора оказывает двоякое действие. С одной стороны, сужается диапазон частот вращения, при которых контакты первой группы обеспечивают стабильность напряжения, с другой – резко снижается напряжение на этих контактах, при этом уменьшается разрывная мощность, что позволяет повысить максимальный ток возбуждения до 2,7 А.

Повышение регулируемого напряжения при переходе с первой ступени на вторую обусловлено перебросом якоря реле. Этот скачок находится в пределах 0,2...0,7 В.

Для увеличения тока возбуждения и срока службы регулятора напряжения были разработаны регуляторы смешанного типа – контактно-транзисторные (рис. 1.27), в которых основной ток – ток возбуждения – проходит через силовой транзистор, а роль контактов сводится к коммутированию небольшого тока управления транзистором. Транзистор $VT1$ работает в режиме ключа. Управляющим органом являются контакты, включенные в цепь базы. Чувствительный элемент – обмотка электромагнита, включенная на напряжение генератора.

При напряжении генератора, меньшем регулируемого, транзистор $VT1$ открыт, так как имеется его ток базы. Сопротивление цепи возбуждения определяется лишь сопротивлением обмотки и с увеличением частоты вращения ротора напряжение генератора возрастает. При напряжении генератора выше регулируемого усилие электромагнита преодолевает сопротивление пружины и контакты замыкаются. В результате этого шунтируется переход «эмиттер – база», транзистор закрывается и сопротивление цепи возбуждения увеличивается, так как ток возбуждения проходит по добавочному резистору R_d . Уменьшение тока возбуждения вызывает уменьшение магнитного потока, ЭДС напряжения, что в свою очередь приводит к ослаблению усилия электромагнита, и контакты разомкнутся. Этот процесс повторяется периодически и напряжение генератора колеблется около регулируемого значения.

Примером регулятора напряжения смешанного типа может служить реле-регулятор РР362 (рис. 1.28), который применяется на автомобилях ГАЗ-53А, ГАЗ-52-04 и на некоторых моделях автомо-

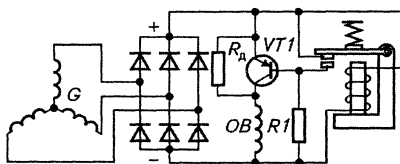


Рис. 1.27. Принципиальная схема регулятора напряжения смешанного типа

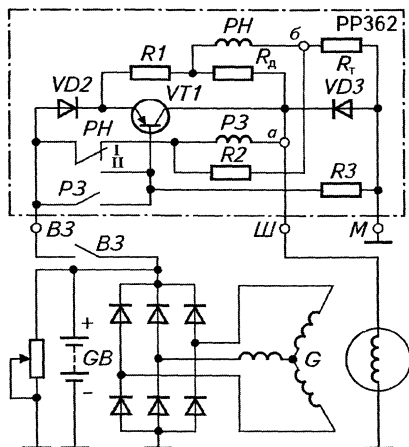


Рис. 1.28. Реле-регулятор PP362

PH, которая включена по схеме с ускоряющим резистором *R1*. Эмиттерная цепь включает диод *VD2*. Этот диод служит для обеспечения необходимого закрывающего напряжения на входе транзистора.

После включения замка зажигания *B3* до момента срабатывания регулятора напряжения, т. е. до достижения генератором регулируемого напряжения, ток проходит по следующим цепям:

цепь базы: клемма «*B3*» → диод *VD2* → «эмиттер – база» *VT1* → резистор *R3* → клемма «*М*» → «масса»;

цепь тока возбуждения: клемма «*B3*» → диод *VD2* → «эмиттер – коллектор» *VT1* → клемма «*Ш*» → обмотка возбуждения → «масса».

Сопротивления *VD2* и эмиттерно-коллекторного перехода *VT1* невелики, поэтому ток возбуждения определяется в основном сопротивлением обмотки возбуждения.

Помимо указанных цепей, ток идет по обмотке *PH*: клемма «*B3*» → диод *VD2* → ускоряющий резистор *R1* → обмотка *HP* → термокомпенсационный резистор *R_т* → клемма «*М*» → «масса».

При достижении регулируемого напряжения контакты *PH2* замкнутся. При этом на базу транзистора будет подан потенциал батареи (положительный). Потенциал эмиттера становится несколько ниже потенциала базы за счет падения напряжения на диоде *VD2*. Транзистор закрывается. В этом случае ток возбуждения, протекая

билей «Москвич». Этот реле-регулятор имеет регулятор напряжения *PH* с германиевым транзистором *VT1* и реле защиты *P3*. Регулятор напряжения имеет две пары контактов: нормально разомкнутую *PH2* и нормально замкнутую *PH1*. Реле защиты имеет одну обмотку *P3*.

Транзистор *VT1*, эмиттерно-коллекторная цепь которого включена последовательно с обмоткой возбуждения генератора, управляется по базовой цепи управляющим органом, имеющим нормально разомкнутые контакты *PH2*. Чувствительным элементом является обмотка

по последовательно соединенным резисторам $R1$ и R_d , уменьшается, что приводит к уменьшению магнитного потока обмотки возбуждения и напряжения генератора. При этом контакты $PH2$ размыкаются, транзистор открывается и описанный процесс повторяется, обеспечивая постоянство регулируемого напряжения. При изменении тока в обмотке возбуждения индуцируется ЭДС самоиндукции, достигающая нескольких сотен вольт. Для устранения перенапряжения применяется гасящий диод $VD3$. Ток самоиндукции замыкается по цепи: «—» обмотки возбуждения → гасящий диод $VD3$ → клемма «М» → «+» обмотки возбуждения.

При малой частоте вращения ротора генератора потенциал точки a выше потенциала точки b и ток идет от a к b по обмотке реле защиты $P3$ и резистору обратной связи $R2$. С увеличением частоты вращения разность потенциалов между точками a и b уменьшается, а затем меняется на противоположную. Однако сила тока, протекающего по $P3$ как в прямом, так и в обратном направлении, незначительна, поэтому контакты $P3$ остаются разомкнутыми. При коротком замыкании обмотки возбуждения на «массу» напряжение генератора падает и замыкаются контакты $PH1$. При этом обмотка $P3$ попадает под полное напряжение батареи, что приводит к замыканию контактов $P3$. В этом случае на базу транзистора подается «+» батареи и транзистор закрывается, что предохраняет его от перегрузки током.

Преимущество контактно-транзисторных регуляторов заключается в том, что контакты, будучи нагружены малым током, работают в гораздо более легких условиях — не подгорают и не изнашиваются. Кроме того, сила тока возбуждения определяется лишь характеристиками транзистора и не влияет на работоспособность контактов.

Недостатком регулятора смешанного типа является нестабильность регулируемого напряжения, так как вследствие старения изменяются характеристики возвратной пружины регулятора. Поэтому в эксплуатации данный регулятор, так же как и электромагнитный, должен периодически проверяться. Эти недостатки полностью исключены в электронных регуляторах напряжения (рис. 1.29), где в цепь возбуждения также включен транзистор, работающий в режиме ключа. Функцию чувствительного элемента выполняет стабилитрон $VD3$. Задающими элементами являются резисторы $R1$ и $R3$.

При напряжении генератора ниже регулируемого стабилитрон $VD3$ закрыт, закрыт транзистор $VT2$, а транзистор $VT1$ открыт. Сопротивление цепи возбуждения минимально и с увеличением частоты вращения ротора напряжение генератора увеличивается.

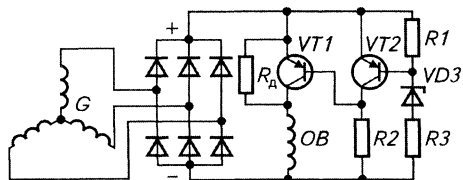


Рис. 1.29. Принципиальная схема регулятора напряжения электронного (бесконтактного) типа

При напряжении генератора выше регулируемого стабилитрон пробивается, транзистор $VT2$ открывается, что приводит к закрытию транзистора $VT1$, так как на его базу подается положительный потенциал. В цепь возбуждения включается добавочный резистор и напряжение генератора падает. Уменьшение напряжения вызывает закрытие стабилитрона, закрытие транзистора $VT2$ и открытие транзистора $VT1$. Этот процесс повторяется с большой частотой, в результате напряжение генератора колеблется около регулируемого значения.

Электронные регуляторы обладают более высокой надежностью и стабильностью регулируемого напряжения, чем электромагнитные и смешанные. Недостатком таких устройств является сложность изменения регулируемого напряжения в условиях эксплуатации.

К типичным электронным регуляторам напряжения можно отнести регулятор 201.3702, работающий в комплекте с генераторами Г250 или 32.3701 на автомобилях ЗИЛ-431410, УАЗ-3962 и др. Он содержит пять транзисторов и стабилитрон в качестве чувствительного элемента (рис. 1.30). Отличительной особенностью схемы регулятора 201.3702 является то, что стабилитрон $VD1$ расположен не в базовой, а в эмиттерной цепи входного транзистора $VT1$. Поскольку ток в эмиттерной цепи транзистора больше, чем в базовой, такое схематическое решение способствует более стабильной работе регулятора по уровню поддерживаемого им напряжения. С целью снижения рассеиваемой мощности в регуляторе, а следовательно, уменьшения его габаритов в выходной цепи регулятора транзисторы $VT4$ и $VT5$ включены по схеме составного транзистора (схема Дарлингтона).

При напряжении на зажимах регулятора ниже регулируемого напряжения на стабилитроне $VD1$ не достигается величины пробоя. Стабилитрон закрыт, значит закрыт входной транзистор (так как отсутствует ток цепи базы). Управляющий транзистор $VT3$ также закрыт из-за отсутствия тока базы. Составной транзистор $VT4 - VT5$ открыт, так как имеет место ток базы, протекающий по цепи: клемма «+» → переход «эмиттер – база» транзистора $VT5$ → переход «эмиттер – база» транзистора $VT4$ → резисторы $R14, R13, R12$ → клемма «-» → «масса». Через открытый транзистор $VT5$ протекает ток возбуждения, и напряжение генератора возрастает.

При напряжении на зажимах регулятора ниже регулируемого напряжения на стабилитроне $VD1$ не достигается величины пробоя. Стабилитрон закрыт, значит закрыт входной транзистор (так как отсутствует ток цепи базы). Управляющий транзистор $VT3$ также закрыт из-за отсутствия тока базы. Составной транзистор $VT4 - VT5$ открыт, так как имеет место ток базы, протекающий по цепи: клемма «+» → переход «эмиттер – база» транзистора $VT5$ → переход «эмиттер – база» транзистора $VT4$ → резисторы $R14, R13, R12$ → клемма «-» → «масса». Через открытый транзистор $VT5$ протекает ток возбуждения, и напряжение генератора возрастает.

При достижении регулируемого напряжения генератора напряжение на стабилитроне $VD1$ становится равным напряжению стабилизации. Стабилитрон пробивается, при этом возникает цепь тока базы входного транзистора $VT1$: клемма «+» → резисторы $R4$, $R3$ → переход «база-эмиттер» транзистора $VT1$ → стабилитрон $VD1$ → клемма «-» → «масса». Транзистор $VT1$ открывается, а следовательно, будет открыт транзистор $VT3$, так как его ток базы протекает через переход «коллектор – эмиттер» транзистора $VT1$: клемма «+» → переход «эмиттер-база» транзистора $VT3$ → клемма «-» → «масса». Открытый транзистор $VT3$ своим переходом «эмиттер-коллектор» шунтирует переход «эмиттер-база» составного транзистора $VT4 - VT5$ и последний закрывается. Закрытое состояние транзисторов $VT4$, $VT5$ приводит к прерыванию тока возбуждения, а следовательно, к уменьшению напряжения генератора. Как только оно становится ниже регулируемого, стабилитрон $VD1$ переходит в непроводящее состояние, транзисторы $VT1$ и $VT3$ закрываются, а транзисторы $VT4$, $VT5$ открываются. При этом напряжение генератора вновь возрастает, т.е. процесс периодически повторяется.

Назначение отдельных элементов регулятора напряжения 201.3702 следующее.

Транзистор $VT2$ выполняет в схеме регулятора две функции. При периодических переключениях схемы регулятора в нормальных условиях эксплуатации транзистор $VT2$ вместе с конденсатором $C2$ и резистором $R9$ выполняет функцию элемента, форсирующего процесс перехода транзисторов $VT3$, $VT4$, $VT5$ регулятора из закрытого состояния в открытое и обратно, вследствие чего сни-

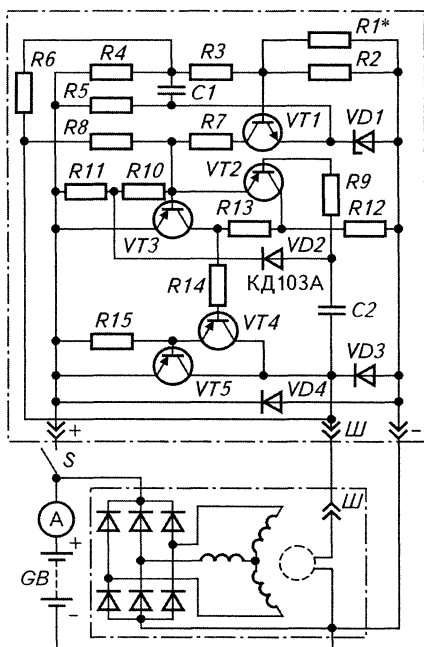


Рис. 1.30. Схема генераторной установки с генератором Г250 (32.3701) и регулятором напряжения 201.3702

жаются потери мощности в них при переключении. При закрытии составного транзистора в цепи конденсатора $C2$ протекает зарядный ток, открывающий транзистор $VT2$, благодаря чему существенно ускоряется процесс открывания транзистора $VT3$ и закрывания составного транзистора $VT4 - VT5$. Когда составной транзистор $VT4 - VT5$ открывается, ранее заряженный конденсатор $C2$ начинает разряжаться по цепи: диод $VD2 \rightarrow$ резистор $R11 \rightarrow$ переход «эмиттер-коллектор» транзистора $VT5$. При этом к базе транзистора $VT3$ через резистор $R10$ прикладывается закрывающее напряжение. В результате этого ускоряется закрывание транзистора $VT3$ и сокращается время открывания составного транзистора $VT4 - VT5$.

В режиме короткого замыкания клемм «Ш» и «—» схема на транзисторе $VT2$ защищает транзистор $VT4 - VT5$ регулятора от перегрузки. При замыкании клеммы «Ш» на «массу» в момент времени, когда транзистор $VT3$ закрыт, а составной транзистор $VT4 - VT5$ открыт, потенциал коллектора транзистора $VT5$ уменьшается. При этом конденсатор $C2$ заряжается по цепи: переход «эмиттер – база» транзистора $VT2 \rightarrow$ резистор $R9 \rightarrow$ конденсатор $C2$. Транзистор $VT2$ открывается, следовательно, открывается транзистор $VT3$ и закрывается транзистор $VT4 - VT5$. В таком состоянии схема находится в течение времени, определяемого в основном постоянной времени $R9C2$. После заряда конденсатора $C2$ ток в его цепи пропадает, транзисторы $VT2$, $VT3$ закрываются, а составной транзистор $VT4 - VT5$ открывается. Конденсатор $C2$, быстро разрядившись по цепи: диод $VD2 \rightarrow$ резистор $R11 \rightarrow$ переход «эмиттер-коллектор» транзистора $VT5$, вновь начинает заряжаться через базовую цепь транзистора $VT2$, который при этом открывается. Процесс повторяется, а выходной транзистор переходит в автоколебательный режим. В данном режиме через силовой транзистор $VT5$ протекает импульсивный ток, среднее значение которого 0,05...0,07 А, а активная мощность, рассеиваемая на переходе «эмиттер-коллектор» транзистора $VT5$, не превышает 0,5 Вт. Так как теплотвод регулятора напряжения 201.3702 позволяет рассеивать активную мощность 5 Вт, то при коротком замыкании клеммы «Ш» на «массу» силовой транзистор $VT5$ по мощности не перегружается. После устранения замыкания клемм «Ш» и «—» регулятор напряжения включается в работу автоматически. Объясняется это тем, что после заряда конденсатора $C2$ силовой транзистор $VT5$ остается в режиме насыщения, поэтому в цепи возбуждения генератора протекает ток. Напряжение на зажимах генератора повышается до тех

пор, пока не откроется входной транзистор $VT1$. Далее протекает процесс регулирования напряжения в сети автомобиля в нормативных условиях эксплуатации регулятора.

Резистор $R6$ является элементом цепи общей отрицательной обратной связи, а резистор $R8$ – элементом цепи местной положительной обратной связи. Введение в схему регулятора резистора $R6$, включенного между клеммой «Ш» и точкой соединения резисторов $R3$, $R4$ входного делителя, позволяет установить зависимость коэффициента передачи делителя от состояния составного транзистора. Так, в процессе работы регулятора при открытом составном транзисторе $VT4 - VT5$ из-за шунтирования резистором $R6$ резистора $R4$ коэффициент передачи входного делителя увеличивается, что приводит к скачкообразному повышению напряжения на стабилитроне $VD1$, его ускоренному открыванию и соответственно ускоренному открыванию $VT1$, $VT3$ и закрыванию транзисторов $VT4$, $VT5$. И, наоборот, при закрытом составном транзисторе $VT4 - VT5$ резистор $R6$ отключается от резистора $R4$, что обуславливает уменьшение коэффициента передачи входного делителя, а следовательно, способствует скачкообразному уменьшению напряжения на стабилитроне $VD1$, его ускоренному закрыванию, а соответственно уменьшает время нахождения транзисторов $VT1$, $VT3$ в открытом, а составного транзистора $VT4 - VT5$ в закрытом состоянии. Таким образом, за счет введения резистора $R6$ повышается частота переключения регулятора напряжения, а следовательно, качество электрической энергии в системе электроснабжения автомобиля.

Конденсатор $C1$ осуществляет фильтрацию пульсаций входного напряжения и исключает их влияние на работу регулятора напряжения.

Диод $VD3$ является в схеме регулятора гасящим диодом.

Диод $VD4$ защищает транзисторы $VT3$, $VT4$, $VT5$ от импульсов напряжения обратной полярности. Наиболее мощные импульсы напряжения обратной полярности возникают при включении контактно-транзисторной системы зажигания. Исходя из этого выбран соответствующий тип диода $VD4$ ($KD209A$), благодаря шунтирующему действию которого к схеме регулятора прикладывается безопасное для транзисторов инверсное напряжение 1,0...1,5 В.

В регуляторе напряжения 201.3702 защита маломощных транзисторов $VT1$, $VT2$, $VT3$ от импульсов перенапряжения осуществляется схематически, а защита выходного составного транзистора $VT4 - VT5$ – применением транзистора КТ 837Х с постоянным напряжением перехода «коллектор-эмиттер» 80 В. Так, при отключенной от

бортовой сети автомобиля аккумуляторной батареи элементы регулятора подвергаются воздействиям импульсивных перенапряжений. На интервале действия импульса перенапряжения входной транзистор $VT1$ и управляющий транзистор $VT3$ открываются, а составной транзистор $VT4 - VT5$ закрывается. При этом транзистор защиты $VT2$ сначала открывается током заряда конденсатора $C2$, а затем при формировании вершины и заднего фронта импульса перенапряжения закрывается. Однако напряжение на его коллекторе в этот момент не превышает 7,5 В, так как коэффициент деления резистивного делителя $R12, R13$ равен 1:10.

Для защиты от выхода из строя элементов регулятора при неправильном присоединении клемм «Ш» и «+» приняты следующие схемотехнические решения:

в коллекторные цепи транзисторов $VT1$ и $VT2$ включены ограничительные резисторы $R7$ и $R12$ с достаточно большим сопротивлением;

между коллектором транзистора $VT3$ и базой транзистора $VT4$ включен резистор $R14$, ограничивающий ток в коллекторной цепи управляющего транзистора до 0,1 А;

в качестве транзисторов $VT5, VT4$ использован транзистор КТ 837Х с постоянным обратным напряжением перехода «база – эмиттер» 15 В.

В любых режимах генераторной установки ток возбуждения генератора при неправильно соединенных выводах «+» и «Ш» не превышает 0,2 А, а напряжение в бортсети автомобиля не превышает напряжения аккумуляторной батареи.

Конструкция регулятора напряжения 201.3702 обеспечивает его взаимозаменяемость с ранее выпускаемым реле-регулятором РР350.

Дальнейшим совершенствованием электронных регуляторов явилось создание интегральных регуляторов – первых изделий на автомобиле, в которых использовались элементы микроэлектроники. В нашей стране эти регуляторы стали внедряться с середины 1970-х годов и заняли прочное место среди изделий электрооборудования благодаря значительно меньшим габаритным размерам и массе, чем у их предшественников. Интегральные регуляторы имеют повышенные допустимые рабочие температуры, что позволило встраивать их в генератор и, следовательно, упростить схему электропроводки автомобиля и повысить надежность генераторной установки за счет выполнения соединений между генератором и регулятором напряжения внутри генератора. Интегральные регулято-

ры обеспечивают высокую стабильность и точность регулирования напряжения в бортовой сети. Немаловажно и то обстоятельство, что переход на интегральные регуляторы дает значительную экономию металлов, в том числе дефицитных цветных.

В настоящее время выпускаются интегральные регуляторы напряжения: Я112, Я212 и др. на номинальное напряжение 14 В и Я120 – на 28 В. Их габаритные размеры и масса в 9...24 раза меньше по сравнению с рассмотренными регуляторами РР362 и 201.3702, а наибольшая допустимая рабочая температура в 1,6 раза больше.

Регулятор напряжения Я112-А (рис. 131) устанавливается на автомобилях «Москвич», автобусах ПАЗ, ЛАЗ, ЛиАЗ и др. Конструктивно он выполнен следующим образом. На металлической пластине – основании регулятора – смонтированы все элементы схемы. Активные элементы выполнены в виде защищенных блоков, пассивные – по толстопленочной технологии на керамической подложке с двусторонним исполнением схемы.

При изготовлении схему настраивают на требуемый уровень напряжения методом лазерной подгонки. Схема заливается специальным герметиком и закрывается пластмассовой крышкой. Регулятор имеет два ввода: «Б» и «Ш», «минус» на корпусе. Конструкция щеткодержателя генератора изменена, обе щетки изолированы от «массы».

Выходная цепь регулятора состоит из транзистора VT5, переключающегося с помощью управляющего транзистора VT2 и промежуточного транзистора VT4. Роль чувствительного элемента выполняет стабилитрон VD1, подключенный к входному высокоомному делителю напряжения R1, R2.

Схема содержит цепочку обратной связи R4, C1 для повышения четкости переключения

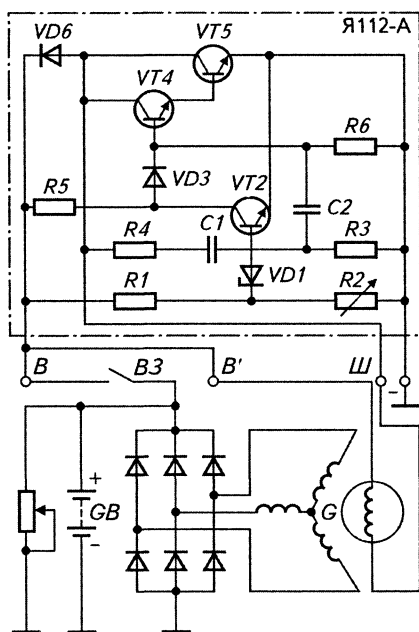


Рис. 1.31. Регулятор напряжения Я112-А

транзисторов и уменьшения времени перехода схемы из одного состояния в другое. Конденсатор $C2$ служит для фильтрации входного напряжения, поступающего на транзистор $VT2$.

При напряжении в бортовой сети ниже регулируемого транзисторы $VT5$ и $VT4$ открыты, так как имеется ток их баз, протекающий по следующей цепи: клемма «В» → резистор $R5$ → диод $VD3$ → база-эмиттер транзистора $VT4$ → база-эмиттер транзистора $VT5$ → клемма «—» → «масса». При этом ток возбуждения переходит по следующей цепи: клемма «В» → клемма «В'» → обмотка возбуждения генератора → клемма «Ш» → коллекторно-эмиттерный переход транзистора $VT5$ → клемма «—» → «масса».

Как только напряжение достигает заданного уровня, стабилитрон $VD1$ пробивается и транзистор $VT2$ открывается. Сопротивление этого транзистора становится минимальным и шунтирует эмиттерно-базовый переход транзисторов $VT5$ и $VT4$, что приводит к их закрыванию. Схема регулятора напряжения переключается в состояние, при котором транзистор $VT2$ открыт, а $VT5$ и $VT4$ заперты. Ток возбуждения генератора и выпрямленное напряжение начинают падать. При этом стабилитрон и транзистор $VT2$ закрываются, транзисторы $VT5$ и $VT4$ открываются и процесс повторяется.

Диод $VD3$ служит для улучшения закрывания основного транзистора при открытом транзисторе $VT2$ благодаря дополнительному падению напряжения на этом диоде.

Диод $VD6$ служит для гашения ЭДС самоиндукции обмотки возбуждения генератора и защиты транзистора от перенапряжения в момент его закрывания.

Опыт массового использования микроэлектронных интегральных регуляторов свидетельствует, что для обеспечения надежной работы подобного устройства в сложных условиях эксплуатации необходимо выполнение ряда требований. В частности, все элементы схемы должны допускать воздействие наибольших перенапряжений и токовых перегрузок, возможных в системе электрооборудования не только в нормальных режимах, но и в так называемых аномальных режимах (отключение батареи, длительная работа без батареи и т. п.); число контактов, выполненных путем термокомпрессии или ультразвуковой сварки, должно быть минимальным, для повышения надежности соединений их следует дублировать. Регуляторы должны быть герметичны, но изменение объема герметика при температурных воздействиях, в том числе при термодарах, допустимо в пределах, при которых не нарушаются элементы схемы и не ухудшается герметичность изделия. При выпуске

ных испытаниях каждое изделие, помимо работы (тренировки) в предельном режиме, необходимо подвергать более длительному, чем в случае «традиционных» регуляторов, воздействию положительной температуры, чередованию положительной и отрицательной температур (термоциклов) и т. д.

Дальнейшее развитие интегральных регуляторов направлено на полное удовлетворение перечисленных требований. Например, надежность регуляторов будет обеспечена за счет выходных транзисторов, допускающих импульсные перенапряжения до 150...200 В, специальной твердотельной схемы управляющей цепи и улучшенного теплового контакта между элементами схемы и корпусом теплоотводом. В некоторых регуляторах перспективных типов предусматриваются тонкопленочные резисторы, обладающие более высокой, чем толстопленочные, стабильностью, небольшим разбросом номиналов сопротивлений и практически не изменяющие своих параметров при воздействии влаги, напряжения и других факторов; в генераторах – совмещение регуляторов со щеткодержателями, что упрощает конструкцию узла, делает более надежным соединение регулятора с цепью обмотки возбуждения. Такими генераторами будут комплектоваться практически все новые грузовые и легковые автомобили. Что касается замены на автомобилях действующего парка дискретных регуляторов напряжения на интегральные, то это весьма сложно и экономически нецелесообразно.

1.5. АККУМУЛЯТОРНЫЕ БАТАРЕИ

1.5.1. Общие сведения

Аккумуляторные батареи, применяемые в системе электрооборудования, являются источниками электрической энергии, обеспечивающими питание потребителей при неработающем ДВС или при недостаточной мощности, развиваемой генератором. Тип и конструкция аккумуляторной батареи определяются условиями ее разряда в стартерном режиме при пуске двигателя. Поскольку эти режимы наиболее тяжелые (максимальный ток и мощность), автомобильные аккумуляторные батареи называются *стартерными*.

Стартерный аккумулятор представляет собой химический источник тока, т. е. устройство, в котором происходит непосредственное преобразование энергии химической реакции двух реагентов (окислителя и восстановителя) в электрическую энергию. Причем он является так называемым вторичным химическим источником тока, допускающим многократное использование. После разряда произ-

водится его повторный заряд путем пропуска тока от внешней зарядной цепи в обратном направлении. При этом из продуктов реакции разряженного аккумулятора регенерируются исходные активные материалы. Таким образом, при заряде в аккумуляторе с некоторым КПД, зависящим от физико-химических процессов, аккумулируется энергия от внешнего источника. В отличие от аккумуляторов первичные химические источники тока (гальванические элементы) допускают лишь однократный разряд и в дальнейшем не восстанавливаются.

К стартерным аккумуляторным батареям предъявляются следующие основные требования:

- максимальное рабочее напряжение, которое определяется ЭДС одного аккумулятора батареи и их количеством в последовательном соединении;
- минимальная общая масса;
- минимальное внутреннее сопротивление (особенно при пониженных температурах);
- малое изменение напряжения в процессе разряда;
- максимальное количество энергии, отдаваемой с единицы массы;
- быстрое восстановление емкости в процессе заряда;
- малые габаритные размеры и большая механическая прочность;
- надежность и простота обслуживания в эксплуатации;
- малая стоимость при массовом производстве.

Наиболее полно перечисленным требованиям удовлетворяют свинцово-кислотные аккумуляторы, получившие самое широкое распространение в качестве стартерных для автомобилей. Помимо них, в различных областях техники также применяются щелочные аккумуляторы: никель-кадмиевые, никель-железные, никель-цинковые, серебряно-цинковые и т.д.

Щелочные аккумуляторы имеют на 20...25 % меньшую ЭДС по сравнению со свинцово-кислотными и немного меньший КПД. В качестве электролита в них используется 35 %-ный раствор едкого кали (KOH) в дистиллированной воде. По сравнению с электролитом свинцово-кислотных батарей (30 %-ный раствор кислоты H_2SO_4) при одинаковых температурах он имеет меньшую удельную проводимость, что приводит к более высокому внутреннему сопротивлению щелочного аккумулятора.

В свинцово-кислотном аккумуляторе плотность электролита однозначно связана со степенью его заряженности при заданной температуре, что используется для контроля степени заряженности с помощью денсиметров. В щелочных аккумуляторах такой однозначной зависимости не существует, поэтому определение степени

его заряженности затруднено. Кроме того, они более сложны в эксплуатации, так как требуют большего объема технического обслуживания и разнообразных контрольных операций, связанных с частой заменой электролита (никель-железные батареи), периодическим уравнительным доразрядом (никель-цинковые), добавкой в электролит специальных присадок при смене времен года, а также более точным контролем процесса заряда (особенно момента его окончания). Некоторые щелочные аккумуляторы (серебряно-цинковые, никель-кадмиевые и др.) имеют большую стоимость или используют дефицитные реагенты, что не позволяет организовать их массовое производство.

1.5.2. Физико-химические процессы в свинцово-кислотном аккумуляторе

Химический источник тока создается на основе определенной электрохимической системы, которой называется совокупность реагентов (окислителя и восстановителя) и электролита. Восстановитель электрохимической системы в процессе рабочей реакции (называемой также токообразующей) отдает электроны и окисляется (отрицательный электрод), а окислитель восстанавливается (положительный электрод). Электролитом служит, как правило, жидкостное химическое соединение, обладающее хорошей ионной проводимостью и крайне малой электронной.

Условная запись электрохимической системы:

(–) Восстановитель | Электролит | Окислитель (+).

В свинцово-кислотных аккумуляторах восстановителем служит губчатый свинец Pb , а окислителем – двуокись свинца PbO_2 . Электролит – водный раствор серной кислоты H_2SO_4 с массовой концентрацией 28...40%. Таким образом, условная запись рассматриваемой электрохимической системы

$(-)Pb|H_2SO_4|PbO_2(+)$.

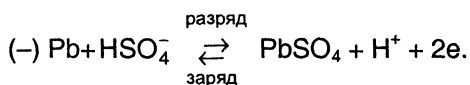
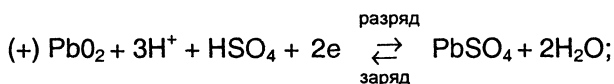
Физические процессы, происходящие в аккумуляторе, связаны со свойством электролитического растворения металлов, которое заключается в переходе положительно заряженных ионов металла в раствор. Причем легкоокисляющиеся металлы (свинец) обладают этим свойством в большей степени, чем трудноокисляющиеся. При погружении электрода, на котором образовался свинец, в раствор электролита от свинца начнут отщепляться положительно заряженные ионы свинца и переходить в раствор, при этом электрод будет заряжаться отрицательно. По мере протекания процесса

возрастает разность потенциалов раствора и электрода, следовательно, возрастает и осмотическое давление положительных ионов раствора. Вследствие этого переход ионов свинца в раствор не может продолжаться долго и при какой-то определенной разности потенциалов электрода и раствора наступит равновесие между силой электролитической упругости растворения свинца, с одной стороны, и силами электростатического поля и осмотического давления – с другой. В результате растворение свинца прекратится.

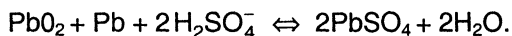
При погружении положительного электрода в раствор серной кислоты происходит то же явление, но результат получается иной. Двуокись свинца положительного электрода в ограниченном количестве переходит в раствор, где при соединении с водой ионизируется на четырехвалентные ионы свинца Pb^{4+} и одновалентные ионы гидроксила OH^- . Четырехвалентные ионы свинца, осаждаясь на электроде, создают положительный потенциал относительно раствора.

Химические процессы в свинцово-кислотном аккумуляторе описываются теорией «двойной сульфатации», разработанной еще в 1883 г. Дж. Гладстоном и А. Трайбом.

При указанных концентрациях серная кислота диссоциирует в воде практически только на ионы H^+ и HSO_4^- . Поэтому реакции на электродах описываются следующими уравнениями:



Общая токообразующая реакция в аккумуляторе:



Таким образом, при разряде аккумулятора расходуется серная кислота, образуется вода, а на обоих электродах – сульфат свинца. При заряде процессы протекают в обратном направлении.

Большое значение для работы электродов имеет их пористая структура, обеспечивающая доступ электролита в глубину электрода. Средний диаметр пор положительного электрода равен 1...2 мкм, отрицательного – 10 мкм. В ходе разряда пористость сильно уменьшается, так как удельный объем сульфата свинца больше удельных объемов свинца и двуокиси свинца.

Для свинцово-кислотных аккумуляторов характерно сильное разбавление электролита во время разряда из-за потребления серной кислоты и образования воды. Поэтому измерение плотности или концентрации электролита служит удобным и точным средством определения степени зараженности аккумулятора.

Помимо основных рабочих реакций, в аккумуляторах протекают также и побочные реакции, уменьшающие КПД рабочих процессов и, как правило, отрицательно сказывающиеся на работоспособности батареи. Одной из основных побочных реакций является электролиз воды и связанное с ним газовыделение кислорода и водорода. Выделение газов на электродах происходит главным образом при заряде, а также в процессе разряда и хранения батареи; при этом выделение кислорода происходит на положительном электроде, а водорода – на отрицательном. Этот процесс определяется разностью между потенциалом электрода и напряжением начала выделения газа (так называемое «перенапряжение газа»). Чем больше «перенапряжение», тем больше интенсивность газовыделения, и наоборот. На напряжение начала газовыделения значительное влияние оказывают примеси, содержащиеся в активных материалах, а также в конструкционных материалах электродов. Примеси, понижающие напряжение начала газовыделения, увеличивают его интенсивность, что приводит к быстрому снижению уровня электролита в аккумуляторе из-за «выкипания» и требует частого долива дистиллированной воды в процессе эксплуатации.

1.5.3. Устройство стартерных аккумуляторных батарей

Как у большинства аккумуляторных батарей других типов, устройство стартерных свинцово-кислотных батарей основано на последовательном соединении отдельных аккумуляторов. Используемые конструкционные материалы должны быть стойки к длительному воздействию серной кислоты. Одним из немногих стойких к такому воздействию металлов является свинец, поэтому все токоведущие детали изготавливаются из свинца или свинцовых сплавов.

В стартерных батареях электроды с активными веществами конструктивно выполняются в виде электродов, состоящих из профилированных решеток, в которые вмазана паста, образующая при формировании пластины активную массу. Решетки отливают из свинцовых сплавов.

Паста для электродов состоит из свинцового порошка, замешанного в водном растворе H_2SO_4 . Для упрочнения активного вещества в пасту для положительных электродов добавляется поли-

пропиленовое волокно. Для предотвращения уплотнения активного вещества отрицательных электродов в пасту добавляют расширители (сажу, дубитель БНФ, гумматы, вырабатываемые из торфа) в смеси с сернокислым барием.

Масса решетки составляет до 50 % массы электрода. Решетки положительных электродов, более подверженные коррозии, имеют более толстое сечение. Общая толщина пастированных электродов зависит от режимов работы и установленного срока службы аккумуляторной батареи и составляет 1,5...2 мм для аккумуляторных батарей, устанавливаемых на легковых автомобилях, и 2,4...2,6 мм для батарей, устанавливаемых на тракторах. Одинаковое количество активных материалов может быть заложено в малом числе электродов большей толщины или в большем числе электродов малой толщины. Во втором случае увеличиваются суммарная площадь поверхности активной массы и максимально допустимая сила тока разряда, но снижается механическая прочность электродов. Стартерные характеристики батарей лучше при малой толщине электродов.

Решетка должна обеспечивать равномерное распределение тока по всей массе активных материалов, поэтому электрод имеет форму, близкую к квадратной. В стартерных аккумуляторах применяют электроды шириной 143 мм и высотой 119 и 133,5 мм.

С помощью бареток 5 (рис. 1.32) собираются полублоки положительных 4 и отрицательных электродов. Баретка имеет борн и мостик 8. К мостику припаиваются ушки электродов, и он определяет расстояние между ними. Борн является токоотводом полублока электродов.

Электроды в полублоке соединены параллельно. Число электродов зависит от требуемой емкости аккумуляторной батареи. Полублоки объединяются в блок электродов 9. Число отрицательных электродов в блоках обычно на один больше, чем положительных, и они являются в блоках крайними.

Это связано с тем, что активное вещество положительных электродов относительно в большей степени участвует в химических превращениях. Поэтому при симметричном двустороннем изменении активной массы в процессе заряда и разряда они меньше деформируются.

Между электродами в блоках устанавливаются сепараторы 2 – разделители из кислотостойкого пористого материала. Они предназначены для предотвращения соприкосновения разноименных электродов и короткого замыкания между ними. Благодаря высокой

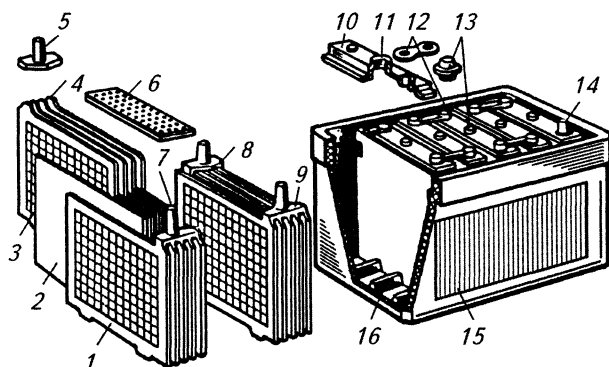


Рис. 1.32. Стартерная аккумуляторная батарея с открытыми межэлементными соединениями:

- 1 и 3 – соответственно отрицательный и положительный электроды;
- 2 – сепаратор; 4 и 7 – соответственно полублоки положительных и отрицательных электродов; 5 – баретка; 6 – предохранительный щиток;
- 8 – мостик; 9 – блок электродов; 10 – крышка; 11 – заливное отверстие;
- 12 – межэлементное соединение; 13 – пробка; 14 – полюсный вывод;
- 15 – моноблок; 16 – опорная призма

пористости и хорошей смачиваемости сепараторы не препятствуют свободному доступу электролита к активной поверхности электродов.

От качества сепараторов в значительной степени зависят эксплуатационные характеристики батареи. Сепараторы должны обладать механической прочностью, эластичностью, сохранять свои свойства в широком диапазоне температур в течение всего срока службы батареи.

В качестве материалов сепараторов в современных конструкциях стартерных батарей используются мипор, мипласт, пластипор, винипор и поровинил. Мипор, или микропористый эбонит, получают в результате сложного технологического процесса вулканизации смеси натурального каучука с различными добавками. Промышленность выпускает сепараторы из мипора толщиной 1,1; 1,5 и 1,9 мм. Мипласт, или микропористый полихлорвинил, получают из полихлорвиниловой смолы методом спекания. Выпускаемые промышленностью сепараторы из мипласта имеют толщину 1,1; 1,3; 1,5; 1,7 и 1,9 мм. Высокими эксплуатационными свойствами обладают сепараторы из поровинила, которые изготавливают из полихлорвиниловой смолы с использованием циклогексана и крахмала. Применение поровинила позволяет на 10...15 % повысить мощность батарей при низких температурах.

Блоки электродов в сборе с сепараторами устанавливаются в ячейках моноблока 15 (см. рис. 1.32). Моноблок – это единый корпус батареи, разделенный герметичными изоляционными перегородками на 3 или 6 ячеек (по числу аккумуляторов, соответственно для батарей на 6 и 12 В). Моноблоки стартерных батарей изготавливаются из эбонита, термопласта (наполненного полиэтилена), полипропилена и полистирола. Эти материалы обеспечивают тепло- и морозоустойчивость, кислотостойкость и механическую прочность, особенно в условиях вибрации.

Электроды блока имеют в нижней части «ножки», которые после сборки опираются на специальные выступы на дне моноблока – донные призмы 16. В результате в нижней части батареи образуется так называемое шламовое пространство, в котором накапливается постепенно осыпавшаяся с электродов активная масса. Это предотвращает преждевременный выход из строя аккумулятора из-за короткого замыкания этими частицами разноименных электродов.

Крышки 10 из эбонита или пластмассы могут закрывать отдельные аккумуляторные отсеки. На современных батареях применяют единые крышки, привариваемые или приклеиваемые к моноблоку. Крышки имеют отверстия 11 для вывода борнов и заливки электролита. Заливные горловины закрываются пробками с вентиляционными отверстиями.

Специальные отражатели в пробках препятствуют выплескиванию электролита через вентиляционные отверстия. Электролит не должен выплескиваться при наклоне батарей от нормального рабочего положения на угол 45°.

Герметизация индивидуальных крышек производится заливкой специальной битумной мастикой. При применении пластмассовых моноблоков на 20...25 % повышается удельная энергия аккумуляторной батареи. Моноблоки из полипропилена и полиэтилена в несколько раз прочнее эбонитовых моноблоков. Аккумуляторная батарея 6СТ-55П с прозрачным корпусом, из полипропилена устанавливается на автомобилях ВАЗ (рис. 1.33).

Отдельные аккумуляторы соединяются в батарею с помощью перемычек 1 (рис. 1.34), которые могут иметь различную конструкцию. В батареях с индивидуальными крышками перемычки проходят сверху (рис. 1.34,а). В случае применения общей крышки (монокрышки) перемычки располагаются над перегородками моноблока (рис. 1.34,б). При изготовлении новых конструкций моноблоков из пластмасс (полиэтилен, полипропилен) межэлементные соединения пропускаются сквозь отверстия в перегородках (рис. 1.34,в).

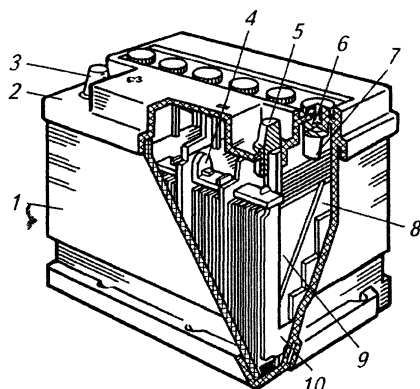


Рис. 1.33. Стартерная аккумуляторная батарея с закрытыми межэлементными соединениями:

1 – моноблок; 2 – крышка; 3 и 5 – соответственно положительный и отрицательный полюсные выводы, 4 – межэлементное соединение; 6 – пробка; 7 – индикатор уровня жидкости; 8 – сепаратор; 9 и 10 – соответственно положительный и отрицательный электроды

Укороченные межэлементные соединения, кроме уменьшения омического сопротивления, позволяют сократить расход свинца при изготовлении батареи, а следовательно, ее массу.

Расстояние между верхними кромками электродов и крышкой составляет не менее 20 мм. Это расстояние необходимо для компенсации колебания уровня электролита и для отделения капель электролита при сильном газовыделении («кипении») в конце заряда.

Большая часть недостатков, присущих обычным аккумуляторным батареям (снижение уровня электролита, ускоренная коррозия

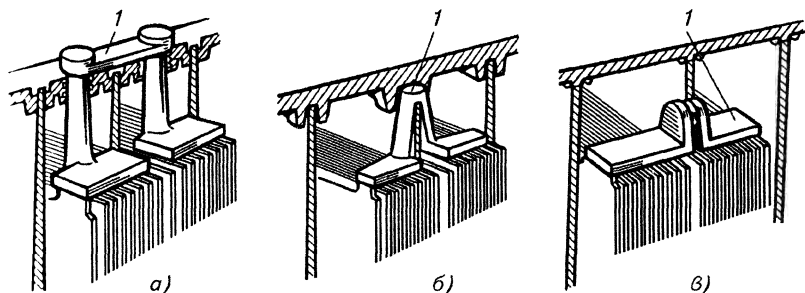


Рис. 1.34. Способы соединения аккумуляторов:

а – с наружным расположением перемычек; б – через перегородку под общей крышкой; в – сквозь отверстие в перегородке под общей крышкой

решетки положительного электрода, саморазряд и некоторые другие), обусловлена наличием 4,5...6 % сурьмы в сплаве свинца, используемого для изготовления решеток электродов. Согласно требованиям по уходу за стартерными аккумуляторными батареями через каждые 2500 км пробега необходимо проверять уровень электролита и при его уменьшении доливать дистиллированную воду.

Указанные недостатки привели к появлению так называемых необслуживаемых батарей. Основной задачей при разработке необслуживаемых батарей является ограничение электролиза воды в аккумуляторе и, как следствие, газовыделения. Наличие сурьмы в сплавах решеток приводит к значительному снижению перенапряжения, иначе говоря, к интенсивному газовыделению задолго до полного заряда батареи.

Таким образом, для создания необслуживаемых батарей необходимо заменить материал, применяемый при изготовлении решеток. В настоящее время для изготовления решеток применяются следующие материалы: свинцово-кальциево-оловянистый сплав; модифицированный свинцово-сурьмянистый сплав с уменьшенным содержанием сурьмы; сплав с малым содержанием сурьмы и кадмия для положительных электродов и свинцово-кальциево-оловянистый сплав для отрицательных.

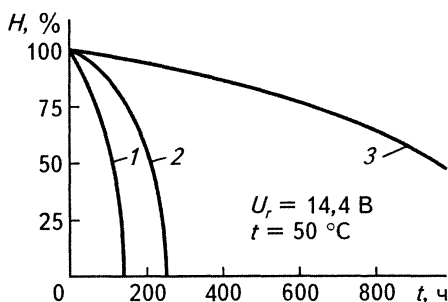
Исследования батарей с решетками из свинцово-кальциево-оловянистых сплавов показали их высокую чувствительность к глубоким разрядам. По этой причине были разработаны батареи, в которых решетки положительных электродов изготавливаются из свинца, легированного сурьмой (1,25 %) и кадмием (1,5 %), а решетки отрицательных – из свинцово-кальциево-оловянистого сплава. При этом также повышается напряжение начала газовыделения до 2,45 В и в 15...17 раз снижается потеря воды от электролиза.

Применение свинцово-кальциевых сплавов приводит к необходимости изменения технологии производства, поэтому некоторые зарубежные фирмы разработали технологию изготовления решеток с уменьшенным содержанием сурьмы и легирующими добавками. Батареи, собранные на этих решетках, получили название малообслуживаемых – их срок службы соответствует сроку службы обычных, но они не чувствительны к глубоким разрядам, а газовыделение в несколько раз меньше.

На рис. 1.35 представлена графическая иллюстрация скорости «выкипания» воды электролита в течение времени t функционирования на автомобилях батарей различных типов. По оси ординат отложен уровень электролита H над верхними кромок электродов.

Рис. 1.35. Снижение уровня электролита в процессе эксплуатации аккумуляторной батареи на автомобиле:

- 1 – батарея с обычными свинцово-сурьмянистыми решетками;
- 2 – малообслуживаемая батарея;
- 3 – необслуживаемая батарея с решетками из свинцово-кальциево-оловянистых сплавов



В необслуживаемые и малообслуживаемые батареи, помимо замены материала решеток, введены следующие конструктивные изменения:

- положительные электроды помещены в сепаратор – конверт;
- блок электродов помещен на дно моноблока, тем самым увеличено количество электролита при сохранении габаритов батареи;
- толщина электродов не превышает 1,9 мм, что позволяет увеличить их число, т.е. снизить удельные токи, не меняя габариты батареи;
- применены сепараторы с меньшим удельным сопротивлением и более тонкие;
- соединение аккумуляторов осуществлено через перегородки моноблока.

Сопротивление батареи уменьшается за счет того, что удельное сопротивление решеток из свинцово-кальциево-оловянистых сплавов, а также малосурьмянистых сплавов меньше, чем у решеток из обычного свинцово-сурьмянистого сплава.

Необслуживаемые батареи имеют следующие достоинства: лучшие пусковые качества (более высокое напряжение при неизменном токе); увеличенный срок службы; улучшенные зарядные характеристики; меньший саморазряд; уменьшение коррозии положительных электродов; отсутствие необходимости доливки воды в процессе эксплуатации.

Полностью необслуживаемые батареи выпускаются в герметичном исполнении. Они не имеют заливных горловин и оборудованы специальным индикатором заряженности. При достижении определенного минимального уровня заряженности меняется цвет индикатора.

К борнам крайних блоков решеток аккумуляторов привариваются конусные полюсные выводы (см. поз. 14 на рис. 1.32 и поз. 3, 5 на рис. 1.33). На выводах или рядом с ними на крышке отмечена полярность. В эксплуатации необходимо полностью исключить воз-

возможность неправильного включения батареи в систему электрооборудования и, кроме того, обеспечить унификацию этого узла. Поэтому размеры положительного и отрицательного выводов стандартизированы и различны.

Конструкция и параметры каждой стартерной батареи должны удовлетворять соответствующим государственным стандартам или техническим условиям, в соответствии с которыми производится маркировка батарей. Первая цифра маркировки (3 или 6) характеризует число последовательно соединенных аккумуляторов (блоков электродов) в батарее, определяющее ее номинальное напряжение (6 или 12 В). Буквы СТ означают, что батарея стартерная. Последующие цифры определяют номинальную емкость в 20-часовом режиме разряда, а буквы – материал моноблока (Э – эбонит, Т – термопласт, П – полиэтилен), материал сепараторов (М – мипласт, Р – мипор, П – пластипор, С – стекловолокно совместно с каким-либо из сепараторов) и исполнение (Н – несухозаряженная, А – с общей крышкой, З – залитая электролитом и полностью заряженная необслуживаемая аккумуляторная батарея). Например, обозначение 6СТ-75ЭМ означает, что батарея стартерная с номинальным напряжением 12 В, емкостью в 20-часовом режиме заряда 75 А·ч, материал моноблока – эбонит, сепараторов – мипласт, исполнение – сухозаряженное.

Для некоторых стартерных батарей специальных типов в маркировку вводятся дополнительные условные обозначения, указывающие, например, на применение специального наружного металлического каркаса (МК), определенного типа электродов и т. д.

Европейским союзом производителей аккумуляторных батарей разработана и применяется система идентификации аккумуляторов ETN. Эта система разработана с целью обеспечения однозначной международной маркировки аккумуляторных батарей, что важно как для производителей так и для потребителей.

Номер ETN – это система из 9 цифр, разделенных на три группы. Каждая группа состоит из 3 цифр. Например аккумулятор 12 В 55 А·ч для автомобилей ВАЗ имеет номер EN 555 065 042, где первые три цифры – группа А (555); следующие три цифры – группа В (065); последние три цифры – группа С (042).

Группа А определяет напряжение и номинальную емкость. Для 6-вольтовых батарей 3 цифры данной группы представляют номинальную емкость (от 1 до 499 А·ч). Для 12-вольтовых батарей номинальную емкость можно получить вычитая 500 из трехзначного числа (если первая цифра 5, то емкость от 5 до 99 А·ч, 6 – емкость

от 100 до 199 А·ч или 7 – емкость от 5 до 99 А·ч).

Группа В – идентификационный номер, определяющий габариты, полярность, тип крышки, тип крепления, наличие ручек, тип системы газоотвода, виброустойчивость и другие специфические параметры, которые можно уточнить в каталоге.

Группа С определяет ток холодной прокрутки при -18°C по европейскому стандарту EN. Значение в этой группе, умноженное на 10 дает значение тока заряда (330, 420, 540 или 1050 А).

Ток холодной прокрутки по стандарту EN измеряется по методике отличной от отечественного стандарта и DIN. Для пересчета разрядного тока EN в DIN необходимо разделить значение тока EN на коэффициент 1,7.

1.5.4. Основные параметры аккумуляторной батареи

Основным параметром, характеризующим аккумуляторную батарею, является ее *электродвижущая сила* (ЭДС) E_6 . Электродвижущая сила батареи, состоящей из n последовательно соединенных аккумуляторов, $E_6 = nE$, где E – ЭДС одного аккумулятора. Значение ЭДС свинцового аккумулятора, как и любого другого химического источника тока, зависит только от химических и физических свойств веществ, участвующих в электродных процессах, и совершенно не зависит от размеров электродов и количества активных материалов.

Электродвижущая сила одного аккумулятора определяется как разность равновесных потенциалов положительного и отрицательного электродов $E = \varphi_+ - \varphi_-$, т. е. она определяется в отсутствие тока и всегда положительна.

Потенциалом электрода φ называется разность потенциалов между данным электродом и условным электродом сравнения. В качестве электродов сравнения в основном используется так называемый нормальный водородный электрод, представляющий собой электрод из платины, частично погруженный в раствор серной кислоты определенной концентрации, имеющий определенное давление и температуру. Значения электродных потенциалов табулированы.

Электродвижущая сила свинцового аккумулятора

$$E = 2,047 + \frac{RT}{F} \ln \left[\frac{\alpha(\text{H}_2\text{SO}_4)}{\alpha(\text{H}_2\text{O})} \right], \quad (1.3)$$

где R – универсальная газовая постоянная; T – абсолютная температура; F – число Фарадея; $\alpha(\text{H}_2\text{SO}_4)$ и $\alpha(\text{H}_2\text{O})$ – активности соответственно серной кислоты и воды.

Значение RT/F при температуре $+25^\circ\text{C}$ равно $0,02565\text{ В}$.

Активность электролита зависит от его концентрации, т. е. от плотности γ . Поскольку электролит свинцового аккумулятора, принимая участие в электрохимических процессах, изменяет свою плотность, изменяются потенциалы электродов φ и соответственно ЭДС (рис. 1.36). При плотности $\gamma = 1,3\text{ г/см}^3$ и $T = +25^\circ\text{C}$, $E = 2,154\text{ В}$.

Для практических целей ЭДС может быть определена по эмпирической формуле, дающей хорошее приближение,

$$E = 0,84 + \gamma_{25},$$

где γ_{25} — плотность электролита, измеренная, например, денсиметром при температуре $+25^\circ\text{C}$.

Если измерения проводились при температуре, отличной от $+25^\circ\text{C}$, то необходимо привести плотность γ_t к температуре $+25^\circ\text{C}$:

$$\gamma_{25} = \gamma_t + 0,00075(T - 25).$$

Продифференцировав выражение (1.3) по температуре, получим температурный коэффициент $dE/dT = 0,000407\text{ В/}^\circ\text{C}$. Практически можно считать, что ЭДС почти не зависит от температуры, так как при изменении температуры на 100°C она изменится только на $0,04\text{ В}$.

На практике более важным параметром является напряжение аккумулятора, которое при разряде всегда ниже, а при заряде выше значения ЭДС. Это отличие обусловлено падением напряжения на внутреннем активном сопротивлении аккумулятора R_0 , а также электродной поляризацией.

Поляризацией называется явление изменения потенциала электрода под действием прохождения тока от исходного равновесного φ (без тока) до нового φ' . Мерой поляризации служит модуль разности потенциалов электрода под током и равновесного:

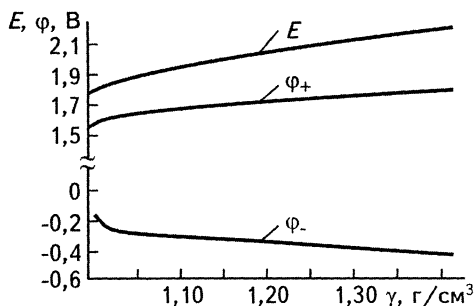


Рис. 1.36. Изменение ЭДС и потенциалов электродов свинцового аккумулятора в зависимости от плотности электролита при $T = 25^\circ\text{C}$

$$\eta = |\varphi' - \varphi|.$$

При разряде аккумулятора потенциалы электродов за счет поляризации сближаются, а при заряде раздвигаются, т. е. напряжение соответственно уменьшается или увеличивается. Таким образом, напряжения разряда U_p и заряда U_z выражаются формулами:

$$U_p = E - \eta_{(+)} - \eta_{(-)} - R_o I_p; \quad (1.4)$$

$$U_z = E + \eta_{(+)} + \eta_{(-)} + R_o I_z, \quad (1.5)$$

где I_p, I_z – соответственно токи разряда и заряда.

Поляризация является одним из основных факторов, вызывающих электрические потери в аккумуляторах и химических источниках тока вообще. Она зависит от относительной скорости токообразующей реакции, т. е. плотности тока на электродах $J = I/S$, где S – площадь контакта реагирующих компонентов. Поляризация может быть обусловлена рядом причин, важнейшие из которых: концентрационные изменения в растворе вблизи поверхности электрода (концентрационная поляризация); образование на поверхности электрода слоя сульфата свинца, имеющего большое удельное сопротивление и экранирующего активную поверхность электродов (пассивация электродов); затраты энергии на образование кристаллов при восстановлении окисных электродов (кристаллизационная поляризация); затраты энергии на поддержание электродной реакции на границе фазового раздела при прохождении тока (активационная поляризация) и т. д.

Так как процесс поляризации при прохождении тока через батарею приводит к дополнительным потерям энергии, его удобно представлять как потери на некотором дополнительном активном сопротивлении поляризации R_n .

Представим формулы (1.4) и (1.5) в виде:

$$U_p = E - I_p (R_o + \frac{\eta_{(+)} + \eta_{(-)}}{I_p}) = E - I_p (R_o + R_{np});$$

$$U_z = E + I_z (R_o + \frac{\eta_{(+)} + \eta_{(-)}}{I_z}) = E + I_z (R_o + R_{nz});$$

где R_{np} и R_{nz} – сопротивления поляризации соответственно при разряде и заряде; $R_{np} = \frac{\eta_{(+)} + \eta_{(-)}}{I_p}$, $R_{nz} = \frac{\eta_{(+)} + \eta_{(-)}}{I_z}$.

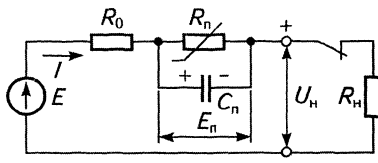


Рис. 1.37. Эквивалентная электрическая схема замещения свинцового аккумулятора

Сумму поляризаций $E_p = \eta_{(+)} + \eta_{(-)}$ иногда называют ЭДС поляризации.

Поляризация является переходным процессом. Его длительность после включения батареи на разряд зависит от силы тока и температуры электролита. Пока батарея не работает, концентрация электролита во всех точках

одинакова. При включении тока нагрузки концентрация в приэлектродном слое начинает изменяться и распределение концентрации становится неравномерным. Это изменение продолжается до тех пор, пока не наступит некоторое стационарное распределение концентраций. Для стартерных разрядов и температуры до -30°C время этого процесса не превышает 10 с, с увеличением тока разряда время поляризации и сопротивление R_n уменьшаются.

Аккумулятор удобно представлять приближенной эквивалентной электрической схемой замещения, которая отражает основные процессы, происходящие в нем как в элементе электрической цепи (рис. 1.37). Схема представляет собой последовательное соединение источника равновесной ЭДС E и двух активных сопротивлений: линейного R_0 и зависящего от тока нелинейного R_n . Для учета инерционности (реактивности) процесса поляризации параллельно R_n включена электрическая емкость поляризации C_n , моделирующая переходные процессы при включении и отключении нагрузки R_n . В установившемся режиме конденсатор C_n заряжен до напряжения $E_p = R_n I$ и выполняется равенство

$$U_n = E - I_n (R_0 + R_n) = E - E_p - I_n R_0$$

(U_n — напряжение на нагрузке).

Зависимость сопротивления поляризации R_n от тока разряда показана на рис. 1.38.

Омическое сопротивление батареи R_0 является суммой сопротивлений электролита $R_{эл}$, сепараторов R_c , активной массы R_m , решеток и соединительных элементов R_s . Под сопротивлением электролита подразумевается сопротивление той его части, которая находится между электродами. Таким образом, общее омическое сопротивление батареи при разряде

$$R_0 = R_{эл} + R_c + R_m + R_s.$$

Одним из важнейших параметров, характеризующих батарею, является ее емкость.

Разрядной емкостью C_p называется максимальное количество электричества $Q_{p\max}$ (т.е. максимальный электрический заряд), которое аккумулятор может сообщить во внешнюю цепь при полном разряде от начального напряжения $U_{\text{нач}}$ до конечного $U_{\text{кон}}$ за время $t_{\text{кон}}$.

Поскольку

$$Q_p = \int_0^t I_p(t) dt,$$

то по определению

$$C_p \equiv Q_{p\max} = \int_0^{t_{\text{кон}}} I_p(t) dt.$$

Обычно разрядная емкость аккумуляторных батарей определяется при постоянном токе I_p . Тогда

$$C_p = I_p t_{\text{кон}}.$$

Номинальная разрядная емкость аккумуляторной батареи C_{20} определяется при 20-часовом режиме разряда током $I = 0,05C_{20}$ при температуре $+25^\circ\text{C}$. Разряд должен прекращаться после достижения конечного напряжения на выводных клеммах: 5,25 В у батареи на 6 В и 10,5 В у батареи на 12 В. Аналогично определяется зарядная емкость батареи C_3 . При постоянном зарядном токе $C_3 = I_3 t_{\text{кон}}$.

Единицей заряда в системе СИ является кулон (1 Кл = 1 А·с). Поэтому емкость стартерных батарей можно измерять в кулонах. Однако эта единица очень мелкая. Поэтому на практике используют внесистемную единицу ампер-час (1 А·ч = 3600 Кл).

Энергозапасом аккумуляторной батареи W_p называется максимальное количество энергии, которое выделяется во внешней цепи при разряде за время $t_{\text{кон}}$

$$W_p = \int_0^{t_{\text{кон}}} U_p(t) I_p(t) dt. \quad (1.6)$$

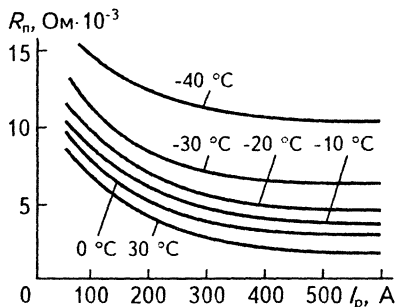


Рис. 1.38. Изменение сопротивления поляризации R_n батареи 6СТ-90 в зависимости от силы разрядного тока I_p при различной температуре

Так как напряжение U_p батареи в процессе разряда не остается постоянным даже при постоянном токе I_p , то функцию $U_p(t)$ нельзя вынести за знак интеграла. Однако, воспользовавшись выражением для среднего напряжения $\bar{U}_p$ за время $t_{\text{кон}}$

$$\bar{U}_p = \frac{1}{t_{\text{кон}}} \int_0^{t_{\text{кон}}} U_p(t) dt,$$

можно при постоянном разрядном токе выражение (1.6) записать в виде

$$W_p = \bar{U}_p I_p t_{\text{кон}} = \bar{U}_p C_p.$$

Аналогично определяется энергия заряда: $W_3 = \bar{U}_3 C_3$.

Для электропотребителей автомобиля как нагрузки аккумуляторной батареи (особенно для системы пуска) более важным показателем является энергозапас W_p , а не емкость C_p . Однако при разряде контролировать ток разряда значительно проще, чем мощность; также проще определять ожидаемую длительность разряда по емкости, а не по энергозапасу. При этом энергозапас можно определить, проводя через равные промежутки времени дополнительно измерения напряжения разряда U_{pi} и вычислив $\bar{U}_p$ приближенно как

$$\bar{U}_p \approx \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N U_{pi},$$

где N – количество замеров за время $t_{\text{кон}}$.

Непостоянство напряжения батареи в процессе разряда постоянным током объясняется изменением различных компонентов его внутреннего сопротивления.

Поскольку при разряде аккумулятора губчатый свинец и двуокись свинца превращаются в сульфат свинца с высоким электрическим сопротивлением, а плотность электролита уменьшается примерно от 1,28 до 1,1 и ниже, то омическое сопротивление аккумулятора по мере разряда увеличивается. В разряженном состоянии сопротивление может достигать значения, превышающего более чем в 2 раза его величину до начала разряда.

Сильное влияние на внутреннее сопротивление аккумулятора оказывает также его температура (рис. 1.39).

Так как сопротивление электродов и соединительных свинцовых деталей с изменением температуры меняется незначительно, определяющим фактором увеличения внутреннего сопротивления аккумулятора является сопротивление электролита. С понижением температуры удельное сопротивление электролита возрастает и при -40°C становится примерно в 8 раз больше, чем при $+30^\circ\text{C}$.

Совершенство конструкции аккумулятора характеризуют коэффициенты отдачи по емкости μ_C и энергии μ_W :

$$\mu_C = \frac{C_p}{C_3}; \mu_W = \frac{W_p}{W_3}.$$

В идеальном аккумуляторе зарядная емкость C_3 равна разрядной C_p . Однако, как было отмечено ранее, при заряде протекают также побочные электрохимические процессы, на которые тратится часть потребляемого зарядного тока I_3 . Поэтому для реального аккумулятора $\mu_C < 1$. Отдача по энергии может быть определена как

$$\mu_W = \frac{\bar{U}_p C_p}{\bar{U}_3 C_3} = \mu_C \frac{\bar{U}_p}{\bar{U}_3}.$$

Так как среднее напряжение разряда всегда меньше среднего напряжения заряда, что следует из выражений (1.4) и (1.5), отдача по энергии меньше отдачи по емкости и даже для идеального аккумулятора $\mu_W < 1$.

1.5.5. Факторы, влияющие на емкость аккумуляторной батареи

Емкость аккумулятора в первую очередь зависит от количества активной массы и электролита, а также от коэффициента их использования. Теоретически необходимое количество активных материалов на 1 А·ч емкости, рассчитанное исходя из значений электрохимических эквивалентов, составляет 4,46 г двуокиси свинца, 3,87 г губчатого свинца и 3,66 г серной кислоты. Однако количество активных

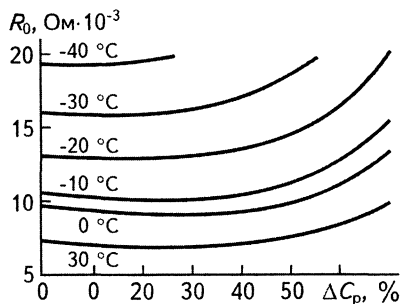


Рис. 1.39. Изменение омического сопротивления R_0 батареи 6СТ-90 от степени разреженности ΔC_p при различной температуре

веществ в стартерных аккумуляторных батареях даже при номинальных разрядных токах в 2...3 раза превышает теоретически необходимое. Использование активных веществ ограничено из-за отложения сульфата свинца на поверхности электродов, что вызывает обеднение электролита в порах и быстрое снижение напряжения. В результате остаются неизрасходованными внутренние слои активных масс электродов и серная кислота электролита. Для работы в заданном диапазоне концентраций необходимо избыточное количество электролита. Уменьшение объема электролита при неизменном количестве активных веществ приводит к резкому снижению концентрации в нем серной кислоты при разряде и быстрому уменьшению напряжения до предельного значения $U_{\text{кон}}$, т. е. к уменьшению емкости.

Емкость аккумуляторной батареи существенно снижается с увеличением силы разрядного тока (рис. 1.40, а). Использование активных веществ при большой силе тока составляет 5...10%. Снижение емкости при этом связано в основном с резким уменьшением концентрации серной кислоты в порах пластин из-за большого количества сульфата свинца, который оседает на поверхности электродов и изолирует активную массу от контакта с электролитом, т. е. решающее значение играют поляризационные процессы в аккумуляторе.

При разряде, например, батареи 6СТ-75 номинальным током 3,75 А при температуре 25°C емкость составляет 75 А·ч, а при разряде током 250 А емкость резко падает и составляет всего 25 А·ч (см. рис. 1.40, а).

Имеются эмпирические уравнения, выражающие эту зависимость, из которых наиболее распространенным является уравнение Пейкерта:

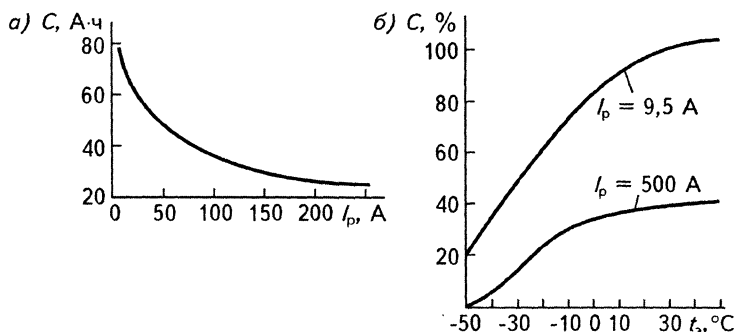


Рис. 1.40. Зависимость емкости аккумуляторной батареи:
а – от разрядного тока I_p при температуре 25°C (батарея 6СТ-75); б – от температуры электролита и режима разряда (батарея 6СТ-90)

$$I_p^n t_{\text{кон}} = k,$$

где I_p – разрядный ток; n, k – постоянные для данного типа батареи.

Значение константы n колеблется от 1,2 до 1,7, причем чем ниже конечное напряжение $U_{\text{кон}}$, тем меньше n . «Идеальному» аккумулятору соответствует $n = 1$ (емкость не зависит от I_p).

Емкость аккумуляторной батареи уменьшается с понижением температуры (рис. 1.40,б). При низких температурах увеличивается вязкость электролита и замедляется скорость поступления серной кислоты в поры активной массы. Кроме того, наблюдается понижение разрядного напряжения из-за ухудшения электролитической диссоциации и увеличения сопротивления электролита.

Вследствие влияния температуры на емкость аккумуляторной батареи емкость, полученную в процессе испытаний на разряд током $0,05C_{20}$ при средней температуре T ($C_T = 0,05C_{20}t_{\text{кон}}$), приводят к температуре 25°C по формуле

$$C = \frac{C_T}{1 + 0,01(T - 25)},$$

где C – емкость, приведенная к температуре 25°C ; 0,01 – температурный коэффициент изменения емкости в интервале температур $18...27^\circ\text{C}$.

Кроме того, на емкость аккумулятора оказывают влияние такие факторы, как пористость активной массы и материала сепараторов, толщина электродов, начальная плотность электролита. С увеличением пористости активных масс, а также материала сепараторов улучшаются процессы диффузии электролита. С уменьшением толщины электродов коэффициент использования активных масс увеличивается, так как это способствует более равномерной работе наружных и внутренних слоев активной массы.

Как уже отмечалось, плотность электролита свинцовых аккумуляторов может служить критерием степени заряженности. По мере изменения от 100% до нуля плотность линейно уменьшается на $0,16 \text{ г/см}^3$. Таким образом, при известной начальной плотности γ_3 степень разряженности

$$\Delta C_p = \frac{\gamma_3 - \gamma_{25}}{0,16} 100\%,$$

γ_{25} – измеренная плотность электролита, приведенная к температуре 25°C .

1.5.6. Характеристика заряда и разряда аккумулятора

Все характеристики батареи можно разделить на разрядные, зарядные и зарядно-разрядные. Разрядные характеристики снимают в двух режимах: осветительном (ток разряда до $0,5C_{20}$) и стартерном (ток разряда от $1,5C_{20}$ до $7C_{20}$). Разрядные характеристики условно делятся на следующие группы:

- *временные*, выражающие зависимость напряжения от продолжительности разряда;
- *вольт-амперные*, выражающие зависимость напряжения от тока;
- *емкостные, мощностные и энергетические*, которые рассчитываются на основе временных. Вольт-амперные характеристики будут рассмотрены в гл. 2 при анализе работы стартерной батареи в режиме пуска двигателя.

Напряжение аккумулятора в процессе разряда постоянным током I_p изменяется сложным образом (рис. 1.41). Это объясняется нелинейностью и непостоянством во времени его внутреннего сопротивления, особенно поляризационной составляющей. Временные разрядные и зарядные характеристики удобно анализировать совместно с эквивалентными электрическими схемами замещения аккумулятора на различных стадиях процесса.

Длительность **I стадии** процесса разряда аккумулятора составляет несколько десятков секунд. Она начинается при включении нагрузки R_n (точка 1) и заканчивается в точке 3 после завершения переходного процесса, определяемого поляризационными явлениями. Точка 1 соответствует равновесной ЭДС E аккумулятора, а участок 1 – 2 кривой $U_p(t)$ – падению напряжения на омическом сопротивлении R_o . На участке 2 – 3 происходит нарастание ЭДС поляризации E_n , определяющееся в основном концентрационным сдвигом потенциалов электродов. На эквивалентной схеме это соответствует заряду конденсатора C_n , который заканчивается в точке 3. Поскольку процесс разряда на этой стадии происходит практически на постоянное сопротивление R_n , а U_p быстро падает на величину $E_n(t)$ от точки 2 к точке 3, на кривой $I_p(t)$ также будет наблюдаться некоторое падение тока разряда. После точки 3 постоянство I_p обеспечивается за счет уменьшения переменного сопротивления нагрузки R_n .

Начиная с точки 3, процесс разряда переходит во **II стадию**, характеризующуюся постоянством ЭДС поляризации $E_n = I_p R_n$ и линейным уменьшением напряжения U_p в связи с линейным паде-

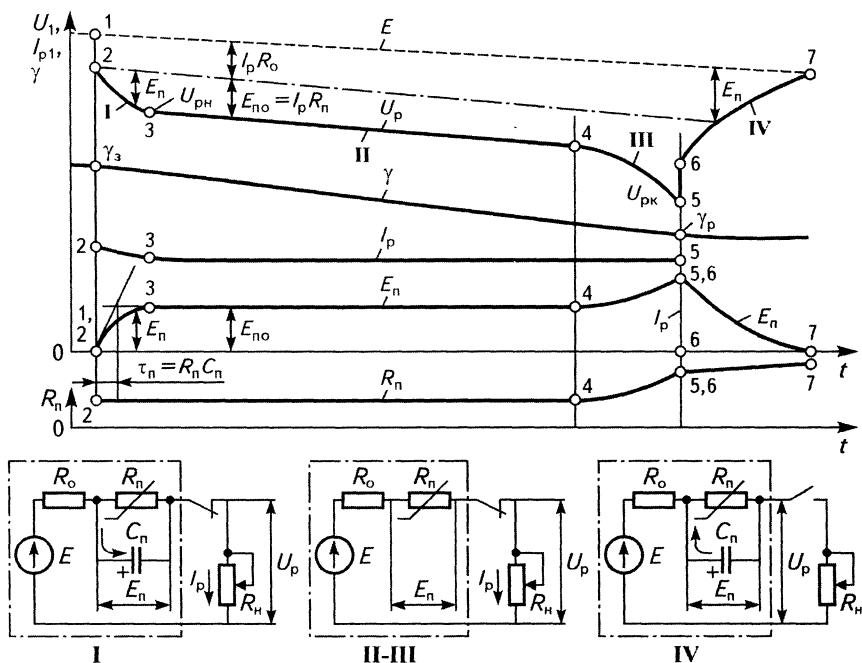


Рис. 1.41. Временные характеристики разряда аккумуляторной батареи и ее эквивалентные электрические схемы замещения на различных стадиях разряда

нием равновесной ЭДС E (на рис. 1.41 выделена штриховой линией). В ходе токообразующей реакции из-за образования воды и поглощения серной кислоты из раствора электролита происходит линейное уменьшение плотности электролита γ . Продолжительность **II стадии**, ограниченной на разрядных характеристиках точками 3 и 4, наибольшая и составляет при разряде $I_p = 0,05 C_{20}$ (осветительный режим) 80...90% общего времени разряда. На эквивалентной схеме замещения в этой стадии конденсатор C_n не показан, так как переходные поляризационные процессы отсутствуют, внутреннее сопротивление аккумулятора имеет чисто активный характер и $R_B = R_o + R_n$.

Разряд переходит в **III стадию**, когда существенным становится процесс пассивации активной массы электродов (точка 4). Начинается увеличение поляризационного сопротивления R_n и, следовательно, увеличение ЭДС E_n . Кроме того, увеличивается и омиче-

ское сопротивление R_o в связи с падением плотности электролита γ (см. рис. 1.41). Химические реакции, протекающие при недостатке кислоты из-за пассивации сульфатом свинца после точки 5, являются необратимыми. Следовательно, глубокий разряд приводит к порче электродов. Поэтому при снятии временной характеристики необходимо прекращать разряд при определенном напряжении U_{pk} . Обычно принимается $U_{pk} \approx 0,75 U_{pn}$, где U_{pn} – начальное разрядное напряжение после завершения переходного процесса в точке 3 (примерно на десятой секунде разряда).

После отключения нагрузки в точке 5 напряжение U_p резко возрастает на величину падения напряжения на омическом сопротивлении $I_p R_o$, но оно не достигает значения равновесной ЭДС E из-за

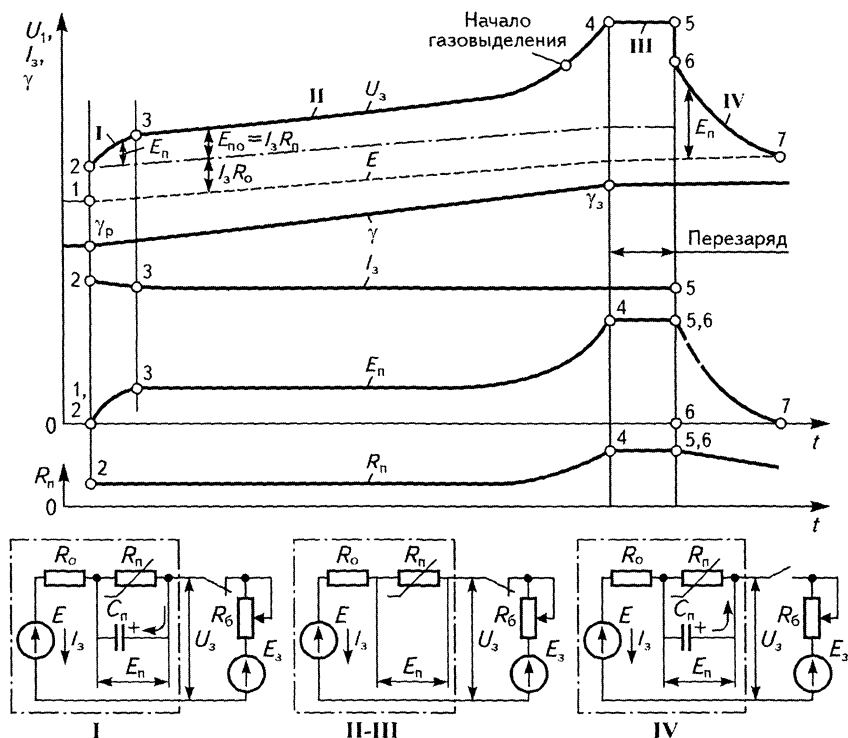


Рис. 1.42. Временные характеристики заряда аккумуляторной батареи и ее эквивалентные электрические схемы замещения на различных стадиях заряда

неравномерного распределения плотности электролита по толщине электродов. Это соответствует на эквивалентной схеме наличию заряда на конденсаторе C_n . В течение некоторого времени переходного процесса распределение плотности γ становится равномерным и напряжение на аккумуляторе повышается до величины E . На эквивалентной схеме это соответствует разряду конденсатора C_n на сопротивление поляризации R_n . **Стадия IV** (точки 5 – 7), описывающая этот процесс, является завершающей.

Площадь, ограниченная осью времени t и кривой $I_p(t)$, пропорциональна разрядной емкости аккумулятора в данном режиме разряда.

Аналогичные процессы происходят при заряде аккумулятора постоянным током I_3 (рис. 1.42).

Схема заряда состоит из источника E_3 , батареи, выключателя и переменного балластного сопротивления R_6 , которое присоединяется последовательно с батареей для обеспечения постоянного тока. Постоянство зарядного тока может также обеспечиваться регулированием напряжения зарядного устройства.

На **I стадии**, как и в процессе разряда, относительно равновесной ЭДС E происходит скачок напряжению U_3 на размер омических потерь в аккумуляторе (участок 1 – 2), а затем переходный процесс 2 – 3 стабилизации неравномерного распределения концентрации электролита вблизи электродов (заряд конденсатора C_n на эквивалентной схеме замещения).

Стадия II для упрощения объединяет линейный и нелинейный участки нарастания U_3 . За счет формирования активной массы, повышения плотности электролита γ на этой стадии происходят повышение ЭДС батареи E и рост зарядного напряжения U_3 , необходимого для поддержания постоянного зарядного тока I_3 .

В процессе заряда активная масса восстанавливается в направлении от поверхности электродов внутрь, во все более глубокие слои, в результате чего все более и более затрудняется выравнивание плотности электролита. При завершении процесса заряда, когда почти вся активная масса электродов окажется восстановленной (напряжение на аккумуляторе достигает 2,3 В), зарядный ток начинает частично, а затем полностью расходоваться на разложение воды с выделением водорода и кислорода. При этом напряжение резко повышается и достигает 2,7 В, что объясняется более высоким напряжением для разложения воды. Момент начала газовыделения отмечен на рис. 1.42. После достижения указанного значения напряжение заряда перестает возрастать. Начинается **III стадия** процесса заряда, так называемый перезаряд, когда в тече-

ние 2...3 ч напряжение U_3 и плотность γ не изменяются. При этом наблюдается обильное газовыделение – «кипение» электролита. На этой стадии происходят окончательная регенерация глубинных слоев активных масс электродов и полное электрическое разложение сульфата $PbSO_4$.

Следует отметить, что этого участка нет у необслуживаемых батарей, так как в них значительно повышено напряжение начала газовыделения. В этом случае после полного восстановления исходных реагентов электрохимические процессы прекращаются и ток заряда резко падает. Батарея перестает «принимать» заряд.

После отключения зарядной цепи на **IV стадии** плотность электролита у электродов и между ними выравнивается. Соответственно понижается и напряжение аккумулятора до значения равновесной ЭДС E , соответствующей достигнутой плотности электролита γ_3 . На схеме замещения это соответствует разряду заряженного до напряжения E_n конденсатора C_n на сопротивление поляризации R_n . Отрезок 5 – 6 соответствует падению напряжения на активном сопротивлении в конце заряда $I_3 R_6$.

На практике продолжительность зарядно-разрядных процессов зависит от протекающего через аккумулятор тока, температуры электролита, состояния аккумулятора, а также степени его разряженности и предпускового разряда на устройства облегчения пуска холодного двигателя.

1.5.7. Способы заряда аккумуляторных батарей

Аккумуляторные батареи можно заряжать от любого источника постоянного тока при условии, что его напряжение больше, чем напряжение заряжаемой батареи. Для заряда положительный полюс источника тока должен быть соединен с положительным полюсом заряжаемой батареи, а отрицательный – с отрицательным.

Для любого момента заряда

$$I = \frac{U_{\text{ист}} - U_6}{R},$$

где $U_{\text{ист}}$ – напряжение источника тока, В; U_6 – напряжение батареи в данный момент заряда, В; R – общее сопротивление зарядной цепи, Ом.

Из этой формулы следует, что при равенстве напряжений зарядного устройства и батареи зарядный ток равен нулю. Если напряжение батареи меньше напряжения зарядного устройства, за-

рядный ток больше нуля. Если напряжение батареи больше напряжения зарядного устройства, ток меняет первоначальное направление и батарея будет разряжаться.

Зарядные устройства имеют, как правило, падающую вольт-амперную характеристику – чем больше вызываемый ими ток, тем меньше их напряжение. Поэтому, если не применять специальных регулирующих устройств, с ростом напряжения аккумулятора при заряде ток заряда уменьшается. В большинстве случаев зарядные устройства снабжены системами, позволяющими регулировать и поддерживать постоянным один из электрических параметров – напряжение или ток заряда. В зависимости от того, какой электрический параметр регулируется, различают два основных способа заряда: при постоянном токе и при постоянном напряжении.

Заряд при постоянном токе (рис. 1.43,а) характеризуется сравнительной простотой аппаратного оформления, так как устройства для поддержания постоянного тока обычно проще, чем устройства для поддержания постоянного напряжения. Процессы, происходящие в аккумуляторе в этом режиме, были подробно рассмотрены в подразделе 1.5.6. Удобством этого способа является простота расчета количества электричества, сообщенного батарее, как произведение тока и времени заряда.

Этот способ заряда имеет и свои недостатки. При малом токе время заряда велико. При большом токе к концу заряда ухудшается заряжаемость и наблюдается значительное повышение температуры электролита, что снижает срок службы аккумуляторных батарей. В связи с этим определена оптимальная сила тока заряда

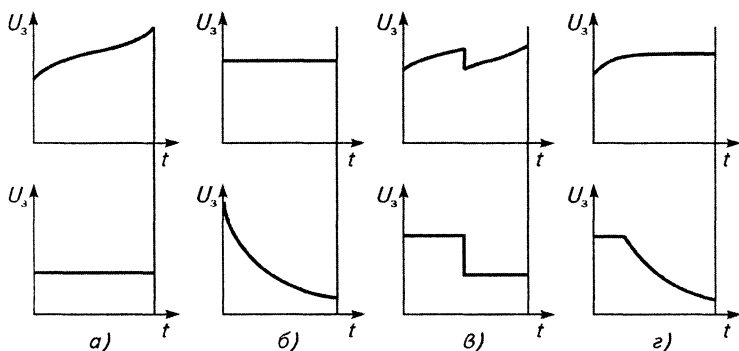


Рис. 1.43. Способы заряда аккумуляторных батарей:

● – при постоянном токе; б – при постоянном напряжении; в – ступенчатым током; г – смешанный

$I_3 = 0,1C_{20} \text{ A}^1$. Для малообслуживаемых и необслуживаемых батарей $I_3 = 0,05C_{20}$. Кроме того, Инструкцией по эксплуатации рекомендовано при повышении температуры электролита до 45°C снижать зарядный ток в 2 раза или прервать заряд для охлаждения электролита до $30...35^\circ\text{C}$.

Методом заряда при постоянном токе можно заряжать большое количество батарей. При этом общее число n последовательно включенных аккумуляторов не должно превышать $U_3/2,7$, где U_3 – напряжение на зажимах зарядного устройства.

Заряд при постоянном напряжении характеризуется тем, что в первый момент зарядный ток достигает больших значений (рис. 1.43,б). Для полностью разряженных батарей он может составлять $(1...1,5)C_{20}$. В процессе заряда, когда напряжение батареи постепенно возрастает, сила тока понижается и к концу заряда становится заметно меньше, чем сила тока при заряде постоянным током. Средняя сила тока при правильно выбранном напряжении приблизительно равна $0,1C_{20} \text{ A}$. Несмотря на различие в значениях силы тока при данном и предыдущем методах заряда на различных его этапах, общая продолжительность полного заряда батарей при обоих методах приблизительно одинаковая. Недостатком этого метода является также перегрев аккумулятора из-за большого начального тока.

На автомобиле заряд происходит при постоянном напряжении, поэтому при разряженной батарее в начале заряда может возникнуть большой ток, превышающий номинальный ток генератора. В этом случае для предохранения генератора от перегрузки устанавливают специальные ограничители тока либо это ограничение осуществляется за счет внутренних свойств самого генератора (самоограничение).

Для преодоления недостатков, присущих простым способам заряда – при постоянном токе или напряжении, используются также комбинированные способы заряда (рис. 1.43,в и г).

Заряд ступенчатым током (ступенчатый заряд) является сравнительно простым способом: сначала заряд проводят при номинальном токе до заданного конечного напряжения, затем снижают ток в 2...3 раза и продолжают заряд опять до достижения заданного напряжения (см. рис. 1.43,в). Возможны также трех- и четырехступенчатые режимы заряда.

Смешанный способ предусматривает ограниченное время заряда при постоянном токе, а затем перевод в режим заряда при по-

¹ Здесь и далее в соотношениях между силой тока и емкостью подразумевается равенство численных значений показателей.

стоянном напряжении (см. рис. 1.43,з). Возможны и разнообразные комбинации этих режимов. Во всех этих способах с целью сокращения времени заряда и уменьшения газовыделения используют в начальной стадии большие токи заряда, а в конечной – небольшие.

В процессе длительной эксплуатации плотность электролита и степень заряженности отдельных аккумуляторов в батарее могут быть различными. Поэтому необходимо (особенно перед началом зимней эксплуатации) провести так называемый *уравнительный заряд*. Он обеспечивается при постоянной силе тока, численно равной 10% номинальной емкости, как и заряд при постоянном токе, но в течение несколько большего времени, чем обычно. Его цель – обеспечить в аккумуляторной батарее полное восстановление активных масс во всех электродах всех аккумуляторов. Уравнительный заряд нейтрализует действие глубоких разрядов на отрицательные электроды и рекомендуется как мера, устраняющая сульфатацию электродов. Заряд продолжается до тех пор, пока во всех аккумуляторах не будет наблюдаться постоянство плотности электролита и напряжения в течение 3 ч.

При необходимости в короткое время быстро восстановить работоспособность сильно разряженной аккумуляторной батареи применяют так называемый *форсированный заряд*. Такой заряд может производиться токами, численно равными до 70% номинальной емкости, но в течение короткого времени – тем меньшего, чем больше ток.

Практически при токе $0,7C_{20}$ А продолжительность заряда не должна быть более 30 мин, при токе $0,5C_{20}$ А – 45 мин, при токе $0,3C_{20}$ А – 90 мин. В процессе форсированного заряда необходимо контролировать температуру электролита, и при достижении 45°C дальнейший заряд прекращать. Следует отметить, что применение форсированного заряда должно быть исключением, так как его систематическое многократное повторение для одной и той же аккумуляторной батареи заметно сокращает срок ее службы.

1.5.8. Параллельная работа генератора и аккумуляторной батареи. Зарядный баланс

На автомобиле генератор и аккумуляторная батарея включены параллельно и работают совместно, дополняя друг друга в зависимости от нагрузки.

Основным источником электроэнергии является генератор, который при работе обеспечивает электропитание всех потребителей и заряд батареи. При неработающем двигателе электропитание осу-

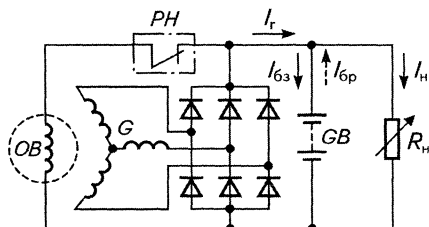


Рис. 1.44. Схема совместной работы генератора переменного тока с аккумуляторной батареей

существляется от батареи. При работе автомобиля возможен режим, когда мощность подключенных потребителей превышает мощность, развиваемую генератором. В этом случае недостающую мощность компенсирует батарея, работая параллельно с генератором.

Применявшиеся ранее генераторы постоянного тока на холостом ходу двигателя не

обеспечивали потребители электроэнергией, и в этом режиме источником являлась аккумуляторная батарея, что отрицательно сказывалось на степени ее заряженности. В соответствии с существующими требованиями на холостом ходу двигателя генератор должен обеспечивать питание системы зажигания, приборов, габаритных и номерных фонарей и отопителя при малой частоте вращения его вентилятора для автомобилей особо малого класса и грузовых автомобилей, а для автомобилей среднего класса добавляется обогреватель стекла на половинной мощности, для автобусов – плафоны внутреннего освещения.

Поскольку на современных автомобилях устанавливают генераторы переменного тока, будем рассматривать работу аккумуляторной батареи только с такими генераторами (рис. 1.44). Характеристики совместной работы зависят от режима работы двигателя и от нагрузки.

При номинальной частоте вращения генератора анализ совместной работы в зависимости от нагрузки целесообразно проводить графическим методом, совмещая внешнюю характеристику генератора $U_r(I_r)$ при $n_r = \text{const}$ и зарядно-разрядную характеристику батареи $U_b(I_b)$ (рис. 1.45). Сопротивлением соединительных проводов пренебрегаем, т. е. допускаем, что напряжения на генераторе и батарее равны ($U_r \approx U_b$). В зависимости от нагрузки при параллельной работе возможны следующие характерные случаи (см. рис. 1.44).

Нагрузка отсутствует и весь ток, вырабатываемый генератором, идет на заряд батареи; $I_r = I_{бз}$ (точка 1, см. рис. 1.45).

Нагрузка включена, напряжение генератора равно регулируемому $U_r = U_{\text{пер}}$. Ток генератора идет на заряд батареи и питание нагрузки $I_r = I_{бз} + I_n$ (точка 2).

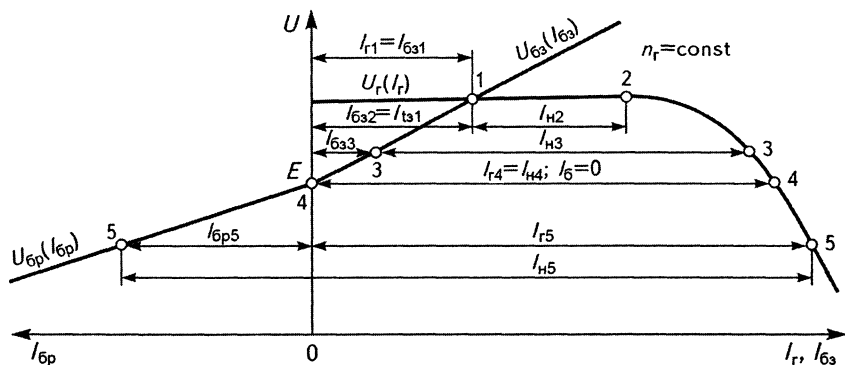


Рис. 1.45. Анализ совместной работы генератора и аккумуляторной батареи по внешним характеристикам генератора и зарядно-разрядной характеристике батареи

Возрастание нагрузки приводит к тому, что напряжение генератора становится ниже регулируемого, но оно остается выше ЭДС батареи $E_b < U_{ген} < U_{рег}$ (точка 3). В этом случае также генератор питает нагрузку и заряжает батарею: $I_r = I_{b3} + I_{H1}$, но зарядный ток уменьшается. Нагрузка возросла до значения, при котором $U_r = E_b$. При этом весь ток генератора идет в нагрузку. Ток заряда отсутствует: $I_r = I_{H1}$, $I_{b3} = 0$ (точка 4).

Дальнейшее возрастание нагрузки приводит к тому, что напряжение генератора становится ниже ЭДС батареи, и она питает нагрузку совместно с генератором: $I_H = I_r + I_{gp}$ (точка 5).

При учете падения напряжения в соединительных проводах между генератором и батареей напряжение генератора будет линейно уменьшаться с увеличением тока генератора, что приведет к разряду батареи при напряжении генератора большем, чем ЭДС батареи. Поэтому в эксплуатации необходимо следить за состоянием соединительных проводов и их клеммных соединений.

Зарядный ток батареи можно также увеличить или уменьшить за счет изменения регулируемого напряжения. Факторы, приводящие к увеличению внутреннего сопротивления аккумуляторной батареи (понижение температуры, увеличение износа батареи, уменьшение емкости), приводят к уменьшению зарядного тока, так как зарядная характеристика при этом будет изменяться более круто.

Из приведенного анализа совместной работы двух источников электроэнергии автомобиля ясно, что существуют режимы, когда аккумуляторная батарея отдает накопленную энергию потребите-

лям; в то же время она восстанавливает ее, когда генератор обеспечивает подзаряд батареи.

Интенсивность этого подзаряда зависит от частоты вращения генератора и тока нагрузки. При этом мощность установленного генератора должна быть такой, чтобы был обеспечен *положительный зарядный баланс* аккумуляторной батареи, т. е. количество электричества, полученное при заряде, должно полностью компенсировать количество электричества, отданное при разряде.

Необходимая мощность генератора при этом

$$P_r = U_n I_{r\max},$$

где U_n – номинальное напряжение (14 или 28 В); $I_{r\max}$ – требуемый максимальный ток генератора.

Сила тока $I_{r\max}$ зависит от числа потребителей и режима движения автомобиля. Для легковых автомобилей $I_{r\max} = 1,15I_n$, а для грузовых $I_{r\max} = 1,25I_n$, где I_n – расчетный ток нагрузки от потребителей, определяемый для режима движения по шоссе ночью зимой.

Найденные значения тока и мощности генератора являются минимальными значениями, обеспечивающими при езде по шоссе ночью зимой практически нулевой баланс электроэнергии, т.е. такой баланс, при котором степень заряженности батареи сохраняется неизменной.

На основании значений P_r и $I_{r\max}$ предварительно выбирают конкретный тип генератора и передаточное число его привода, после чего поверочным расчетом баланса электроэнергии, учитывая скоростной режим генератора, проверяют его соответствие условиям движения по городу зимой.

Передаточное число привода генератора выбирают с учетом тока отдачи генератора на холостом ходу двигателя.

1.6. ВЫБОР ПРЕДЕЛОВ РЕГУЛИРУЕМОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Регулируемое напряжение выбирают исходя из условий влияния на срок службы батарей, обеспечения необходимой интенсивности подзаряда и влияния на срок службы и качество работы потребителей.

При рассмотрении аккумуляторных батарей отмечалась зависимость срока службы батарей от тока подзаряда, который определяется температурой электролита и регулируемым напряжением. Регулируемое напряжение также оказывает значительное влияние на

срок службы автомобильных ламп, точность показаний контрольно-измерительных приборов, на характеристики электродвигателей и срок службы радиооборудования.

Зависимость срока службы и светового потока автомобильных ламп от регулируемого напряжения следующая, % расчетного значения:

Напряжение на лампе.....	85	90	100	110	115
Световой поток.....	52	68	100	140	225
Срок службы лампы.....	420	275	100	45	17

Однако в эксплуатации регулируемое напряжение, как правило, определяется возможностью обеспечения подзаряда аккумуляторной батареи.

Рекомендуемые значения регулируемого напряжения в зависимости от места установки батареи, климатической зоны и времени года приведены в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Климатическая зона	Время года	Рекомендуемые значения регулируемого напряжения, В, при установке батареи	
		наружной	подкапотной
Холодная	Зима	14,5...15,5	14,2...15,0
	Лето	13,8...14,8	13,2...14,2
Умеренная	Круглый год	13,8...14,8	13,2...14,2
Жаркая и теплая влажная	То же	13,2...14,0	13,0...14,0

1.7. СИСТЕМА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА ДВА УРОВНЯ НАПЯЖЕНИЯ

Рост мощностей ДВС автомобилей, особенно дизельных, требует увеличения мощностей электропусковых систем. Создание электростартеров большой мощности, работающих в системе электроснабжения с уровнем напряжения 12 В, затруднительно из-за больших значений токов в момент пуска, что обуславливает увеличение габаритов электростартеров, затрудняющих их компоновку на двигателе и ухудшает коммутацию. Расчеты и опыт проектирования показывают, что вопросы обеспечения пуска легко решаются при переходе к системе электроснабжения с уровнем напряжения 24 В, так как в этом случае требуются в 2 раза меньшие пусковые токи. Такие системы электроснабжения находят применение на больше-

грузных автомобилях МАЗ, КамАЗ, КрАЗ. Однако существует ряд причин, исходя из которых нецелесообразно переводить все электрооборудование автомобилей на напряжение 24 В. Более целесообразным является перевод на 24 В электростартеров и некоторых потребителей, а для всего другого электрооборудования – сохранить уровень напряжения 12 В. Основными причинами для такого режима являются: большая надежность и срок службы 12-вольтных ламп накаливания системы освещения и сигнализации в условиях уменьшения номенклатуры изделий электрооборудования, удобство сборки на автозаводах, упрощение технического обслуживания и ремонта.

Существует несколько конструкций систем электроснабжения на два уровня напряжения. Каждая из этих конструкций обладает своими преимуществами и недостатками. В настоящее время на автомобилях ЗИЛ-4331, ЗИЛ-53014 и ЗИЛ-133ГЯ нашла применение система, в которой используется трансформаторно-выпрямительный блок (ТВБ). К преимуществам этой конструкции можно отнести простоту исполнения, надежность, возможность использовать разработанные генераторные установки без существенных их изменений.

Электрическая схема системы электроснабжения на два уровня напряжения, включающая генераторы 3812.3701 и ТВБ1212.3759, представлена на рис. 1.46. Генератор 3812.3701 ($U_H = 14$ В; $I_{\max} = 95$ А) предназначен для работы совместно с регулятором напряжения РР132 и ТВБ1212.3759. Для подсоединения ТВБ у генератора предусмотрены три вывода непосредственно с каждой фазы генератора минуя выпрямительный блок. Подключение ТВБ к генератору осуществляется посредством штекерного разъема. В генераторе установлен выпрямительный блок БПВ100. Масса генератора без шкива 10 кг. Генератор с ТВБ1212.3759 ($U_H = 14$ В; $I_H = 8$ А) имеет

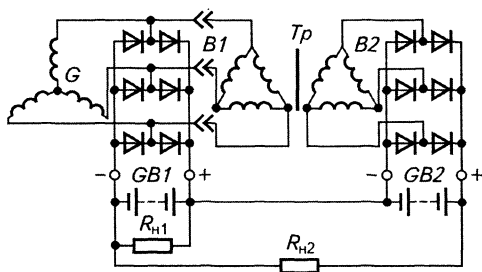


Рис. 1.46. Электрическая схема системы энергоснабжения на два уровня напряжения

трехфазные обмотки трансформатора, соединенные по схеме «треугольник» – «треугольник» (Δ/Δ). В качестве выпрямителя используется блок БПВ4-60. Масса ТВБ – 3,3 кг.

Система электроснабжения на два уровня напряжения работает следующим образом. Основной уровень напряжения 12 В постоянного тока для потребителей автомобиля и заряда аккумуляторной батареи *GB1* (см. рис. 1.46) обеспечивается от генератора через выпрямитель *B1*. Постоянство этого напряжения при изменении нагрузки $R_{н1}$ и частоты вращения генератора достигается за счет применения регулятора напряжения, воздействующего на обмотку возбуждения генератора. ТВБ, состоящий из выпрямителя *B2* и трансформатора *T*, служит для заряда аккумуляторной батареи *GB2*. Последовательное включение аккумуляторных батарей *GB1* и *GB2* обеспечивает питание стартера ($R_{н2}$) номинальным напряжением 24 В.

1.8. ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ. МЕТОДЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ

Интерес к вопросу о качестве напряжения в последние годы возрос. Связано это в первую очередь с широким применением на автомобиле электроники, требующей строгого соблюдения рекомендуемых режимов эксплуатации и имеющей незначительную перегрузочную способность. Повышенная пульсация создает значительную разницу между средним и действующим напряжениями и, следовательно, разные условия работы для потребителей, реагирующих на то или другое значение напряжения. При этом также возрастает статическая ошибка регулирования и ухудшаются условия работы потребителей и аккумуляторной батареи. Так, например, при уменьшении напряжения на 5% световой поток ламп уменьшается на 20%, а при таком же увеличении напряжения срок службы ламп светосигнальной аппаратуры уменьшается в 2 раза. Повышение регулируемого напряжения на 10...12% приводит к снижению срока службы аккумуляторной батареи в 2...2,5 раза.

На современных отечественных автомобилях для контроля за уровнем регулируемого напряжения и зарядом батареи применяются стрелочные приборы – амперметры, вольтметры, а также ламповые индикаторы, устанавливаемые на панели приборов. Амперметр подключают последовательно с батареей таким образом, чтобы через него проходил только зарядный или разрядный ток батареи (за исключением тока мощных потребителей электроэнергии

кратковременного действия – стартера, звукового сигнала, прикуривателя и т. д.). Вольтметр непосредственно измеряет напряжение в бортовой сети автомобиля. Ламповый индикатор, контролирующий заряд батареи, управляется специальным реле, включенным между «плюсом» генератора и нулевой точкой фазных обмоток генератора (РС702 для автомобилей ВА3-2101, -2102 и др.), либо функции управления совмещены в одном узле с блокировкой стартера (РБ для автомобилей ЗА3, ЛуАЗ).

Большинство зарубежных фирм для контроля исправности генераторных установок включают контрольную лампу между «плюсом» основного силового выпрямителя и «плюсом» дополнительного. Такая же схема применена на автомобиле ВА3-2108 (см. рис. 1.11).

Однако необходимо отметить, что по показаниям этих приборов и индикаторов невозможно в полной мере оценить работу системы электроснабжения. Например, применение лампового индикатора, управляемого реле контроля заряда, не позволяет обнаружить повышение напряжения. При включении контрольной лампы между «плюсом» основного и дополнительного выпрямителей обеспечивается обнаружение неисправностей, связанное только с возбуждением генератора, – обрыв цепи обмотки возбуждения, проскальзывание или обрыв приводного ремня. Пользование вольтметром или амперметром требуют от водителя знания специфики работы системы электроснабжения.

Полную информацию о работоспособности и возникших неисправностях получают при диагностировании системы электроснабжения. При этом используется специальная диагностическая аппаратура (например, Элкон С-300, Э240, Э242 и др.).

Для контроля технического состояния аккумуляторных батарей используется аккумуляторный пробник (рис. 1.47), позволяющий измерять напряжение батареи под нагрузкой.

Срок службы аккумуляторных батарей определяется продолжительностью с начала эксплуатации до момента, когда ее емкость снизится до 40% номинального значения. При прочих равных условиях срок службы батареи зависит от интенсивности ее эксплуатации. Реально автомобильный аккумулятор имеет срок службы 2–4 года.

Основными причинами выхода батарей из строя являются:

необратимая сульфатация электродов в результате частого разряда током стартерного режима, длительного хранения при положительной температуре без подзаряда и высокой плотности электролита;

коррозия решеток вследствие содержания в электролите посторонних примесей, оголения электродов (низкий уровень электролита), длительного перезаряда и длительного хранения сухозаряженных батарей (более 3 лет);

коробление электродов из-за неравномерности реакции по поверхности электродов вследствие большого разрядного тока, а также при большом зарядном токе;

выпадение активной массы положительных электродов, происходящее при перезаряде, а также при заряде, когда температура электролита больше 40°C ; от сильной вибрации; после замерзания электролита;

короткое замыкание электродов осыпающейся активной массой.

Одним из важнейших параметров, определяющих срок службы батарей, является так называемый *ток перезаряда*. Он имеет место при повышенном регулируемом напряжении автомобильного генератора (рис. 1.48). В результате перезаряда происходит обильное газовыделение («кипение»), что приводит к интенсивному разрушению активной массы электродов.

Стартерные аккумуляторные батареи могут эксплуатироваться при температурах окружающей среды от -40 до $+60^{\circ}\text{C}$ и на высоте над уровнем моря до 3000 м. Повышенная температура электролита способствует быстрому разрушению электродов, ускоряет сульфатацию и сокращает срок службы батареи. Для уменьшения химической активности электролита и электродов при высоких температурах в жаркой и теплой влажной климатических зонах в батареи заливают электролит пониженной плотности. Условия заряда батарей значительно ухудшаются при низких температурах. Холодные батареи заряжаются медленнее и часто остаются недозаряженными.

Причиной снижения срока службы батарей может быть также повышенный *саморазряд*, который зависит от многих факторов, глав-

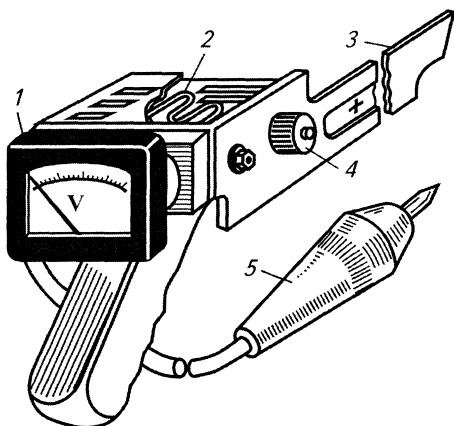


Рис. 1. 47. Аккумуляторный пробник:
1 – вольтметр; 2 – нагрузочный резистор;
3 и 5 – контакты;
4 – выключатель резистора

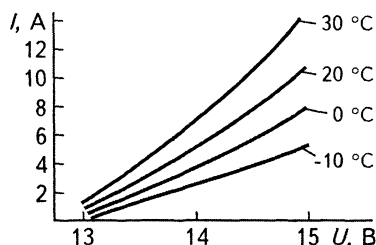


Рис. 1.48. Зависимость тока перезаряда от регулируемого напряжения при различной температуре электролита

ными из которых являются чистота электролита и его температура. Иногда саморазрядом называют быструю потерю емкости вследствие коротких замыканий внутри аккумулятора.

Ионы примесей (например, железа) в электролите действуют как переносчики заряда либо способствуют протеканию побочных реакций, приводящих к расходованию реагентов. Интенсивность этих реакций увеличивается

с температурой (рис. 1.49). Из рис. 1.49 видно, что с понижением температуры электролита саморазряд уменьшается и при температурах ниже нуля у новых батарей он практически прекращается. Поэтому хранить батареи рекомендуется при пониженных температурах.

Подготовка к работе аккумуляторных батарей сводится к составлению электролита, последующей проверке его плотности и заряду батарей. Электролит готовят из аккумуляторной серной кислоты и дистиллированной воды. Плотность электролита, заливаемого в батарею, зависит от района эксплуатации, времени года и должна соответствовать данным табл. 1.3.

Таблица 1.3

Климатическая зона	Время года	Плотность электролита, г/см ³ , приведенная к температуре 25°С	
		заливаемого	заряженной батареи
Очень холодная	Зима	1,29	1,31
	Лето	1,25	1,27
Холодная	Круглый год	1,27	1,29
Умеренная	То же	1,25	1,27
Жаркая	«	1,23	1,25
Теплая влажная	«	1,21	1,23

При эксплуатации батарей в первую очередь обращают внимание на контроль зарядного тока, чтобы не допустить излишнего перезаряда или недозаряда, сокращающих срок их службы. Для этого

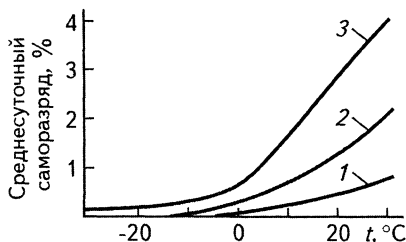


Рис. 1.49. Среднесуточный саморазряд свинцовой стартерной аккумуляторной батареи при хранении в течение 14 суток в зависимости от температуры:
1 – новой батареи; 2 – в середине срока службы; 3 – в конце срока службы

необходимо постоянно следить за техническим состоянием регулятора напряжения. Основными операциями технического обслуживания аккумуляторных батарей являются:

- постоянная проверка чистоты батарей и их вентиляционных отверстий;
- проверка уровня электролита и при необходимости корректировка его;
- проверка заряженности батареи по замеру плотности электролита с учетом температуры.

Уровень электролита контролируется стеклянной трубкой, которую опускают вертикально в заливное отверстие до упора в предохранительный щиток. Затем верхний конец трубки зажимают пальцем и вынимают ее из аккумулятора. Высота столбика электролита в трубке соответствует уровню электролита в аккумуляторе над предохранительным щитком. Нормальным считается уровень в пределах 10...15 мм.

Для проверки технического состояния батареи и оценки способности ее к холодному пуску двигателя разработан специальный диагностический режим – разряд током «холодной прокрутки» при $t = -18^{\circ}\text{C}$. Диагностическими параметрами при этом являются напряжение на 30-й и 150-й секундах разряда (соответственно контрольные точки $KT1$ и $KT2$ на рис. 1.50). Они должны быть соответственно не менее 9 и 6 В у полностью заряженной батареи. Также используется такая характеристика, как сила тока, вызывающего падение напряжения до 1,2 В на аккумуляторе в течение 30 с.

Существуют методы диагностирования, основанные на контроле внутреннего сопротивления батареи и определении параметров ее эквивалентной электрической схемы. Неисправности, возникающие в батарее, по-разному влияют на диагностические параметры.

Наибольшей чувствительностью к неисправностям обладает скорость падения напряжения на линейном участке разрядной кривой $U_b(t)$ (см. рис. 1.50) в стартерном режиме разряда dU_n/dt . Этот параметр позволяет с достаточной для практических целей точностью

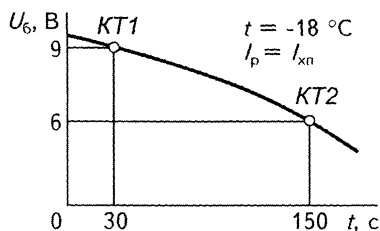


Рис. 1.50. Диагностический режим для проверки технического состояния аккумуляторной батареи при пуске двигателя

оценить степень разряженности батареи в процессе электростартерного пуска двигателя.

При появлении коррозии решеток положительных электродов изменяется как показатель dU_n/dt , так и внутреннее омическое сопротивление R_o , при оплывании активной массы – dU_n/dt и поляризационное сопротивление R_n .

Диагностирование батарей может производиться также в процессе заряда или путем организации специальных тестовых воздействий (разряд ступенчатым, импульсным током и т. д.).

Вопросы для самоконтроля

1. Какие конструкции генераторов переменного тока применяются на современных автомобилях?
2. Из каких основных элементов состоит генератор переменного тока с клювообразным ротором?
3. За счет чего в современных автомобильных генераторах происходит ограничение максимального тока?
4. Каким образом происходит процесс регулирования напряжения генератора?
5. Какие бывают типы регуляторов напряжения, в чем их преимущества и недостатки?
6. Какие физико-химические процессы происходят в свинцово-кислотной аккумуляторной батарее при заряде и разряде?
7. Как осуществляется маркировка аккумуляторных батарей?
8. Что такое емкость аккумуляторной батареи в 20-часовом режиме разряда?
9. Какие существуют способы заряда аккумуляторных батарей?
10. Чем отличаются «необслуживаемые» аккумуляторные батареи?
11. Методы диагностирования аккумуляторных батарей.

ГЛАВА 2. СИСТЕМА ПУСКА

2.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Система пуска представляет собой комплекс устройств, обеспечивающих принудительное вращение вала ДВС. Тип системы пуска определяется видом используемой энергии и конструкцией основного пускового устройства (стартера). В практике автомобилестроения встречаются инерционные стартеры, пневматические и гидропневматические системы пуска. Однако наибольшее распространение получила электростартерная система пуска, обладающая целым рядом положительных качеств. Эта система компактна и надежна в работе, обеспечивает возможность автоматизации процесса пуска с помощью несложных электротехнических устройств. Она состоит из аккумуляторной батареи, стартерной цепи (провода, коммутационная аппаратура управления), стартера и средств облегчения пуска (рис. 2.1).

Общим элементом для систем пуска и электроснабжения является аккумуляторная батарея. Однако режим ее работы в этих системах различен. В системах электроснабжения батарея работает в режиме циклического разряда и заряда, причем токи не превышают номинальной емкости ($0,5...0,7$) C_{20} . В системе пуска батарея разряжается в прерывистых режимах при силе тока $(2...5) C_{20}$.

Развиваемая батареей мощность соизмерима с мощностью стартера. Поэтому ее характеристики зависят от режима стартерного разряда (силы тока, температуры, продолжительности пуска) и влияют на характеристики самого стартера и тем самым на процесс пуска двигателя.

Наиболее важными параметрами батареи, влияющими на процесс пуска двигателя, являются ее емкость и число электродов в аккумуляторе (так называемый *счет сборки* n_+ / n_-), температура электролита t_3 и степень разряженности батареи ΔC_p .

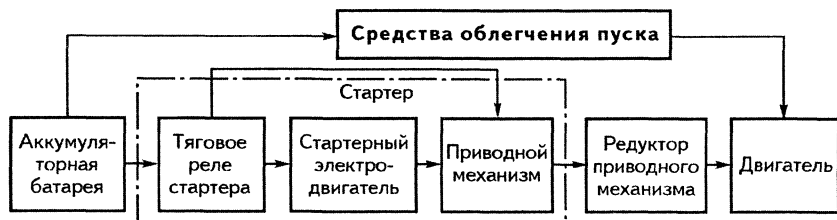


Рис. 2.1. Структурная схема электростартерной системы пуска

Батарея в процессе пуска двигателя должна дать определенный ток без уменьшения напряжения ниже заданного минимального значения (6,0...8,0 В для системы на 12 В). Это значение определяется, с одной стороны, характеристиками стартера, который должен обеспечить прокручивание двигателя с частотой не ниже минимальной пусковой, а с другой – требованиями системы зажигания к минимальному напряжению в первичной цепи катушки зажигания (для бензиновых двигателей) и минимальным напряжением на тяговом реле стартера при пуске (для дизелей).

В связи с повышением требований к минимальным температурам пуска на ряде двигателей предусмотрена установка средств облегчения пуска холодного двигателя. Как правило, эти устройства за период своей работы (около 30 мин) потребляют энергию от батареи. Таким образом, возникла новая разновидность стартерного разряда холодной аккумуляторной батареи: вначале на устройствах облегчения пуска двигателя сравнительно малым током – до $0,5C_{20}$, а затем на стартер большим током – $(2,5...4,0)C_{20}$.

В качестве стартерного электродвигателя применяется электродвигатель постоянного тока последовательного или смешанного возбуждения. Его основными параметрами являются: номинальное напряжение U_n (12, 24 В); номинальная мощность $P_{сн}$; номинальная частота вращения якоря $n_{сн}$ и момент $M_{сн}$; ток при максимуме мощности $I_{сн}$. Стартер как электрическая машина характеризуется комплексом электромеханических характеристик – зависимостями момента, частоты вращения якоря, мощности, КПД и напряжения на зажимах от потребляемого тока I_c .

Стартер связан с маховиком двигателя зубчатой передачей, основными параметрами которой являются: передаточное отношение $i_{дс} = z_{\max} / z_c$ (где $z_{\max}$ – число зубьев венца маховика, z_c – число зубьев шестерни стартера); модуль зуба m , КПД зубчатой передачи $\eta_z = 0,85...0,9$.

Стартер во время эксплуатации автомобиля работает со значительной нагрузкой. Так, средняя частота его включений на 100 км пробега составляет в условиях города для легковых автомобилей 28, а для грузовых – 22.

Приводной механизм системы пуска представляет собой устройство, обеспечивающее ввод и удержание шестерни стартера в зацеплении с венцом маховика во время пуска, передачу необходимого вращающего момента коленчатому валу и предохранение якоря стартерного электродвигателя от разноса вращающимся маховиком работающего двигателя. Тяговое реле стартера является

одновременно элементом как приводного механизма, обеспечивая его перемещения по оси вала якоря, так и стартерной цепи, замыкая в конце хода якоря тягового электромагнита силовые контакты цепи питания стартера.

Средства облегчения пуска представляют собой устройства, позволяющие увеличить частоту прокручивания коленчатого вала двигателя за счет снижения момента сопротивления прокручиванию или повышения энергетических возможностей пусковой системы, улучшить условия смесеобразования и воспламенения топлива. Выбор способа и устройства, облегчающих пуск, определяется конструктивными особенностями двигателя, условиями эксплуатации и экономическими факторами.

2.2. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ В РЕЖИМЕ ПУСКА

Электростартер является основным потребителем энергии аккумуляторной батареи. В зависимости от мощности стартера и условий пуска ДВС сила тока стартерного разряда составляет 100...1500 А. Работа в стартерном режиме определяет тип и конструкцию батареи.

Основные параметры батареи оцениваются по вольт-амперной и временной характеристикам. Вольт-амперная характеристика представляет собой зависимость напряжения батареи U_6 от тока разряда I_6 . Временная характеристика – это зависимость напряжения от времени разряда при постоянной силе разрядного тока. Производными от вольт-амперной и временной характеристик являются мощностные характеристики – зависимости мощности, отдаваемой батареей в нагрузку, от тока или времени разряда.

Вольт-амперная характеристика батареи может быть получена экспериментально или рассчитана для заданных условий разряда. Она выражается сложной кривой (рис. 2.2), имеющей квазилинейный участок в зоне от $I_6 = C_{20}$ до $U_6 = 0,4U_{ном}$ (кривая 1). Нелинейность этой характеристики объясняется нелинейностью внутреннего сопротивления батареи, в основном его поляризационной составляющей. С достаточной для инженерной практики точностью реальную вольт-амперную характеристику заменяют линейной, которая образуется при продолжении квазилинейного участка в обе стороны до пересечения с осями тока и напряжения. Точки пересечения отсекают на осях координат отрезки, пропорциональные условному начальному разрядному напряжению $U_{нр}$ и условному току

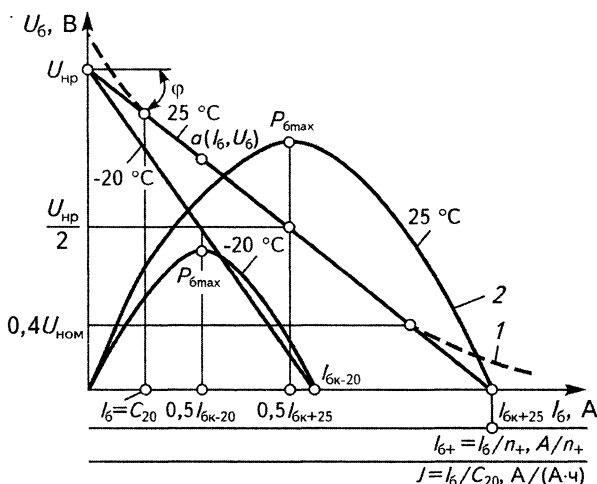


Рис. 2.2. Вольт-амперные (1) и мощностные (2) характеристики батареи при температурах +25°C и -20°C.

короткого замыкания $I_{6к}$. Прямая, проведенная через эти две точки, называется *расчетной вольт-амперной характеристикой* аккумуляторной батареи.

Внутреннее сопротивление батареи по такой характеристике

$$R_6 = U_{нр} / I_{6к}$$

и пропорционально тангенсу угла наклона φ расчетной вольт-амперной характеристики от оси тока.

В процессе разряда на нагрузку R_n батарея развивает активную мощность $P_6 = U_6 I_6 = I_6^2 R_n$ (кривая 2).

Так как для расчетной вольт-амперной характеристики

$$U_6 = U_{нр} - I_6 R_6 = I_6 R_n,$$

то

$$P_6 = \frac{U_{нр}^2 R_n}{(R_n + R_6)^2}.$$

При $R_6 = R_n$ мощность будет достигать своего максимального значения

$$P_{\text{бmax}} = U_{\text{нр}}^2 / 4R_{\text{б}} = U_{\text{нр}} I_{\text{бк}} / 4.$$

При этом $I_{\text{б}} = 0,5 I_{\text{бк}}$ и $U_{\text{б}} = 0,5 U_{\text{нр}}$ (см. рис. 2.2). С уменьшением температуры батареи увеличивается ее внутреннее сопротивление $R_{\text{б}}$ и соответственно уменьшается максимальная мощность P_{max} .

Для оси абсцисс вольт-амперной характеристики используются различные масштабы: сила тока разряда батареи $I_{\text{б}}$ (А), ток разряда на один положительный электрод аккумулятора $I_{\text{б+}} = I_{\text{б}} / n_{+}$ (А/н₊), ток разряда на 1 А·ч номинальной емкости батареи $J = I_{\text{б}} / C_{20}$ [А/(А·ч)]. Удельные параметры дают возможность сравнивать вольт-амперные характеристики батарей различной емкости.

Учитывая, что максимум мощности батареи при ее разряде находится при значениях напряжения, близких к половине номинального (6 В для батареи на 12 В), рабочий участок характеристики в режиме пуска находится слева от тока разряда, равного $0,5 I_{\text{бк}}$.

В виду линейного характера вольт-амперной характеристики ее расчет сводится к определению начального разрядного напряжения $U_{\text{нр}}$ ($I_{\text{б}} = 0$) и условного тока короткого замыкания $I_{\text{бк}}$ ($U_{\text{б}} = 0$).

Начальное разрядное напряжение определяется следующей эмпирической зависимостью:

$$U_{\text{нр}} = m(2,02 - 0,00136 t_{\text{э}} - 0,001 \Delta C_{\text{р}}), \quad (2.1)$$

где m – число аккумуляторов в батарее; $t_{\text{э}}$ – температура электролита; $\Delta C_{\text{р}}$ – разряженность батареи, %.

Очевидно, что ток короткого замыкания $I_{\text{бк}}$ невозможно определить экспериментально. Однако его можно рассчитать, имея координаты какой-либо рабочей точки a ($I_{\text{б}}$, $U_{\text{б}}$) (см. рис. 2.2):

$$I_{\text{бк}} = I_{+} n_{+} = \frac{U_{\text{нр}} I_{\text{б}}}{U_{\text{нр}} - U_{\text{б}}},$$

где I_{+} – условный ток короткого замыкания, приходящийся на один положительный электрод; n_{+} – число положительных электродов в аккумуляторе.

Тогда

$$I_{+} = \frac{I_{\text{бк}}}{n_{+}} = \frac{U_{\text{нр}} I_{\text{б}}}{(U_{\text{нр}} - U_{\text{б}}) n_{+}}.$$

Вольт-амперная характеристика может быть представлена в виде уравнения прямой в отрезках

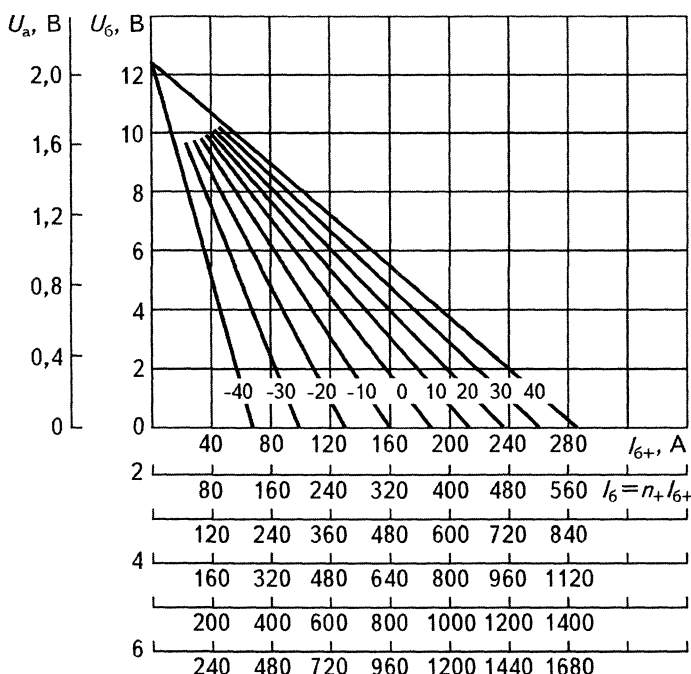


Рис. 2.3. Единые расчетные вольт-амперные характеристики аккумуляторных батарей

$$\frac{I_6}{I_+ n_+} + \frac{U_6}{U_{нр}} = 1.$$

Учитывая формулу (2.1), получим

$$U_6 = m(2,02 + 0,00136t_3 - 0,001\Delta C_p)(1 - \frac{I_6}{I_+ n_+}). \quad (2.2)$$

Уравнение (2.2) дает возможность рассчитывать вольт-амперную характеристику для батарей любой емкости (n_+) и напряжения (m). Вольт-амперная характеристика для случая, когда $m = 1$ и $n_+ = 1$, является единой для батарей всех типов, собранных из одних и тех же электродов и сепараторов. Переход к конкретному типу батареи осуществляется за счет изменения масштаба координатных осей. На рис. 2.3 показаны единые расчетные вольт-амперные характеристики аккумуляторной батареи с $I_+ = \text{const}$, $\Delta C_p = 0$ и $t_3 = +40 \dots -40^\circ\text{C}$. Ось абсцисс соответствует $n_+ = 1$. Ниже

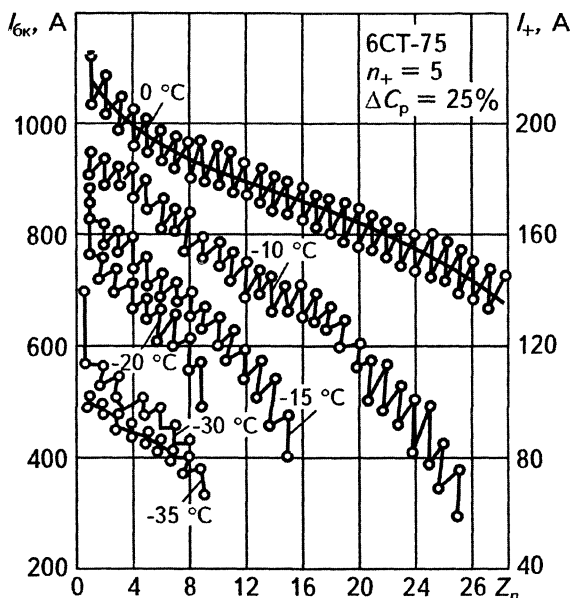


Рис. 2.4. Изменение тока замыкания батареи 6СТ-75 в зависимости от числа попыток пуска при $\Delta C_p = 25\%$ и различных температурах электролита

показано преобразование масштаба для $n_+ = 2 \dots 6$ (соответственно изменяется и номинальная емкость батареи). По оси ординат показано преобразование масштаба напряжения при переходе от $m = 1$ (один аккумулятор с номинальным напряжением 2 В) к $m = 6$ (батарея 12 В).

По существующим нормативам продолжительность попытки пуска бензинового двигателя составляет 10 с, дизеля – 15 с, интервал между попытками – 60 с. После трех попыток интервал – 3 мин.

Графическая иллюстрация изменения тока замыкания $I_{\text{к}}$ и I_+ батареи 6СТ-75 в процессе пуска бензинового двигателя в зависимости от числа 10-секундных попыток (Z_n) и температуры электролита представлена на рис. 2.4.

Вертикальные линии I_+ (Z_n) показывают изменение тока I_+ за одну попытку пуска, а наклонные соответствуют восстановлению емкости батареи за время между попытками (60 с) и некоторому увеличению I_+ .

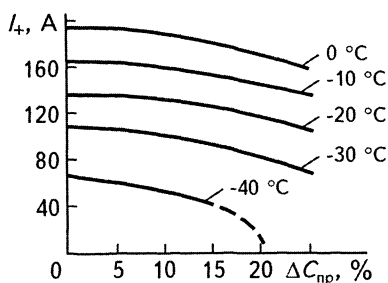


Рис. 2.5. Изменение тока замыкания батареи 6СТ-75 от предпускового разряда ($\Delta C_{пр}$, %) для различных температур электролита (предпусковой разряд проводился током 15 А ($0,2 \cdot C_{20}$))

характеристики батареи (на изменение I_z). С понижением t_3 и увеличением $\Delta C_{пр}$ это влияние возрастает. При $t_3 = -40^\circ\text{C}$ предпусковой разряд $\Delta C_{пр} > 0,1 C_{20}$ становится недопустимым.

Значительное влияние на напряжение и время разряда батареи оказывает ее температура (рис. 2.6). При температуре электролита ниже -30°C разряд батареи током $3C_{20}$ не обеспечивает надежного пуска двигателя, так как напряжение батареи будет ниже 7,2 В (минимальное напряжение при надежной работе системы зажигания).

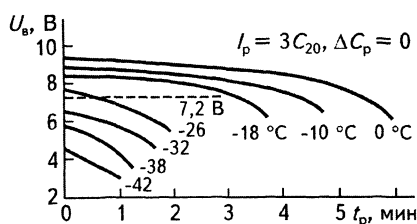


Рис. 2.6. Влияние температуры на временные характеристики стартерной батареи.
Разрядный ток $3C_{20}$.
Батарея полностью заряжена

Влияние предпускового разряда $\Delta C_{пр}$ батареи на средства облегчения пуска двигателя проявляется в снижении тока I_z уже на первой попытке. Эта зависимость изображена графически на рис. 2.5, где по оси абсцисс отложены значения предпусковой разрядной емкости (в процентах от номинальной емкости $C_{20} = 75 \text{ А} \cdot \text{ч}$), снимаемой с батареи 6СТ-75 током 15 А.

Как видно из графика, предпусковой разряд до 5% емкости C_{20} при $t_3 = 0 \dots -25^\circ\text{C}$ практически не влияет на вольт-амперные

Если пуск двигателя производится при температуре -30°C , необходимо уменьшить ток разряда. Это может быть достигнуто подогревом двигателя перед пуском или применением маловязких зимних масел. При разрядном токе больше $3C_{20}$ напряжение и время разряда будут меньше, чем указано на рис. 2.6. Чтобы улучшить пусковые качества батареи при ее разряде стартерными токами, необходимо при температурах ниже -25°C подогревать батарею или

уменьшать силу разрядного тока (подогревать двигатель).

2.3. УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ СТАРТЕРА

2.3.1. Особенности стартерных электродвигателей

В стартерах применяются электродвигатели постоянного тока. Для анализа особенностей их работы в системе пуска рассмотрим основные характеристики электродвигателей постоянного тока, которые подразделяются на двигатели последовательного, параллельного, смешанного и независимого возбуждения. Тип возбуждения определяется схемой включения обмоток возбуждения по отношению к якорной цепи.

Характеристики:

$$U = E + I_{\text{я}} R_{\text{я}}; \quad (2.3)$$

$$E = C_e \Phi n; \quad (2.4)$$

$$M = C_m \Phi I_{\text{я}}, \quad (2.5)$$

где U – напряжение, подводимое к электродвигателю от источника питания; E – противо-ЭДС якоря; $I_{\text{я}}$ – ток якоря; $R_{\text{я}}$ – активное сопротивление цепи якоря; C_e , C_m – конструктивные постоянные; Φ – магнитный поток; n – частота вращения якоря; M – момент электродвигателя.

Постоянные:

$$C_e = \frac{pN}{a \cdot 60}; C_m = \frac{pN}{2\pi a},$$

где p – число пар полюсов; N – число проводников обмотки якоря; a – число пар параллельных ветвей обмотки якоря.

Из выражений (2.3)...(2.5) можно получить формулы для определения частоты вращения якоря:

$$n = \frac{U - I_{\text{я}} R_{\text{я}}}{C_e \Phi}; \quad (2.6)$$

$$n = \frac{U}{C_e \Phi} - \frac{M R_{\text{я}}}{C_e C_m \Phi^2}. \quad (2.7)$$

В электродвигателе с *параллельным возбуждением* обмотка возбуждения подключена параллельно с обмоткой якоря к источнику напряжения U (рис. 2.7,а). Особенностью этого двигателя явля-

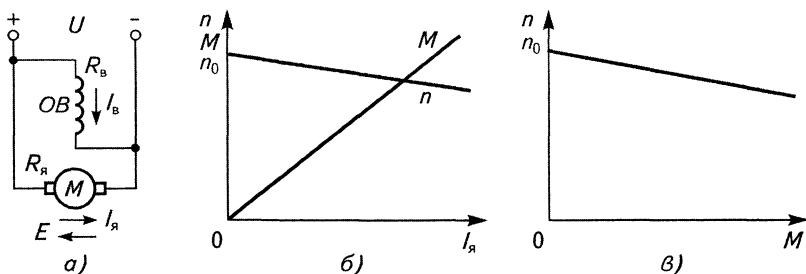


Рис. 2.7. Схема двигателя с параллельным возбуждением (а) и его электрохимические (б) и механическая (в) характеристики

ется то, что ток возбуждения I_B не зависит от тока якоря $I_я$ (нагрузки на валу). Поэтому, пренебрегая размагничивающим действием реакции якоря, можно приближенно считать, что и поток Φ не зависит от нагрузки. С учетом этого выражения (2.5)...(2.7) примут вид:

$$M = C_1 I_я; \quad (2.8)$$

$$n = U/C_2 - I_я R_я / C_2 = n_0 - \Delta n; \quad (2.9)$$

$$n = U/C_2 - M/C_3, \quad (2.10)$$

где $C_1 \dots C_3$ – постоянные; $C_1 = C_m \Phi$; $C_2 = C_e \Phi$; $C_3 = C_e C_m \Phi^2 / R_я$; Δn – падение частоты вращения.

Электрохимические характеристики электродвигателя с параллельным возбуждением, построенные по формулам (2.8) и (2.9), изображены на рис. 2.7,б, а механическая характеристика (2.10) – на рис. 2.7,в. Таким образом, обе они имеют линейный характер. Показатель $n_0 = U/C_e \Phi$ называется частотой вращения идеального холостого хода. Он имеет конечное значение при $M = 0$ ($I_я = 0$) и уменьшается с ростом потока Φ . Падение частоты вращения Δn при увеличении нагрузки на двигатель ($I_я$) определяется сопротивлением $R_я$ якорной цепи.

В случае если обмотка якоря электродвигателя и обмотка возбуждения подключены к различным источникам питания, его называют двигателем с *независимым возбуждением*. Механические и электрохимические характеристики такого двигателя аналогичны характеристикам двигателя с параллельным возбуждением, так как у него ток возбуждения I_B также не зависит от тока якоря $I_я$.

В электродвигателях с *последовательным возбуждением* обмотка возбуждения включается последовательно с обмоткой якоря

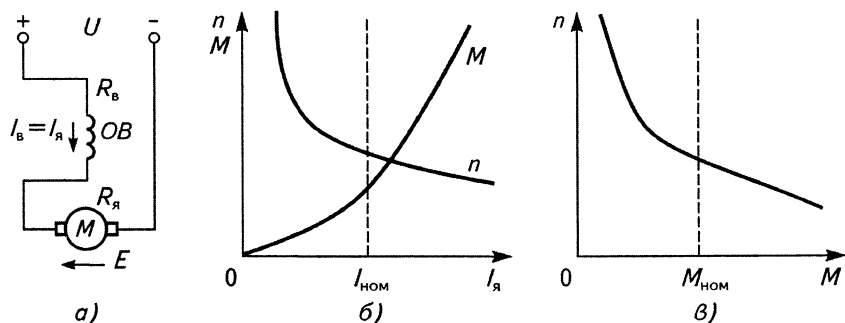


Рис. 2.8. Схема двигателя с последовательным возбуждением (а) и его электрохимические (б) и механическая (в) характеристики

и поэтому $I_{\text{я}} = I_{\text{в}}$ (рис. 2.8,а). Следовательно, магнитный поток двигателя Φ является некоторой функцией тока якоря $I_{\text{я}}$. Характер этой функции изменяется в зависимости от нагрузки двигателя. При токе якоря $I_{\text{я}} < (0,8 \dots 0,9) I_{\text{НОМ}}$ ($I_{\text{НОМ}}$ – номинальный ток якоря), когда магнитная система машины не насыщена, можно считать, что поток линейно зависит от $I_{\text{я}}$:

$$\Phi = k_{\Phi} I_{\text{я}}, \quad (2.11)$$

где k_{Φ} – коэффициент пропорциональности, имеющий размерность индуктивности, Гн, остается практически постоянным в значительном диапазоне нагрузок.

Подставляя формулу (2.11) в уравнения (2.5) и (2.6), получим скоростную и моментную характеристики $n = f(I_{\text{я}})$, $M = f(I_{\text{я}})$ в этом диапазоне $I_{\text{я}}$ в виде:

$$n = \frac{U}{C_{\text{е}} k_{\Phi} I_{\text{я}}} - \frac{I_{\text{я}} R_{\text{я}}}{C_{\text{е}} k_{\Phi} I_{\text{я}}} = \frac{U}{C'_{1} I_{\text{я}}} - C'_2; \quad (2.12)$$

$$M = C_{\text{м}} \Phi I_{\text{я}} = C_{\text{м}} k_{\Phi} I_{\text{я}}^2 = C''_1 I_{\text{я}}^2, \quad (2.13)$$

где C'_1 , C''_1 , C'_2 – постоянные,

т. е. в диапазоне $0 \dots I_{\text{НОМ}}$ зависимость $n = f(I_{\text{я}})$ имеет гиперболический характер (при $I_{\text{я}} = 0$ $n \rightarrow \infty$), а зависимость $M = f(I_{\text{я}})$ – параболический (рис. 2.8,б).

При дальнейшем возрастании тока якоря поток Φ растет медленнее, чем $I_{\text{я}}$, и при больших нагрузках ($I_{\text{я}} > I_{\text{НОМ}}$) можно считать $\Phi = \text{const}$.

В этом случае скоростная и моментная характеристики становятся линейными аналогично характеристикам двигателя с независимым возбуждением.

Механическая характеристика $n = f(M)$ (см. рис. 2.8,в) может быть построена на основании уравнений (2.12) и (2.13). При токе якоря, меньшем $(0,8...0,9)I_{ном}$, частота вращения изменяется по закону

$$n = \frac{U}{C_e k_\phi \sqrt{M/(C_m k_\phi)}} - \frac{R_\text{я}}{C_e k_\phi} = C'_1 \frac{U}{\sqrt{M}} - C'_2. \quad (2.14)$$

При токе якоря, большем $I_{ном}$, зависимость $n = f(M)$ становится линейной вида (2.10).

Из рис. 2.8,в следует, что механическая характеристика двигателя с последовательным возбуждением является «мягкой». При малых нагрузках частота вращения n резко возрастает и может превысить максимально допустимое значение (двигатель идет «вразнос»). Несмотря на этот недостаток, такие двигатели широко применяются в различных электрических приводах, где происходит изменение нагрузочного момента в широких пределах и тяжелые условия пуска. В частности, большинство стартерных электродвигателей имеют последовательное возбуждение. Объясняется это тем, что «мягкая» характеристика рассматриваемого двигателя более благоприятна для указанных условий работы, чем «жесткая» характеристика двигателя с параллельным возбуждением. При жесткой характеристике частота вращения почти не зависит от момента (см. рис. 2.7,в), поэтому механическая мощность стартера

$$P_c = M\omega = \frac{2\pi n}{60} M = C_4 M,$$

где C_4 – постоянная.

При «мягкой» характеристике двигателя с последовательным возбуждением частота вращения n обратно пропорциональна $\sqrt{M}$ (2.14), вследствие чего

$$P_c = M\omega = C'_4 \sqrt{M},$$

где C'_4 – постоянная.

Поэтому при изменении нагрузочного момента в широких пределах, что характерно для пуска ДВС, мощность P_c , а следовательно, электрическая мощность $P_{эл} = I_\text{я} U_\text{я}$ и ток $I_\text{я}$ у двигателей с последо-

вательным возбуждением изменяются в меньших пределах, чем у двигателей с параллельным возбуждением. Кроме того, они лучше переносят перегрузки. Например, при заданной кратности перегрузки по моменту $K_M = M / M_{\text{НОМ}}$ ток I_a в двигателе с параллельным возбуждением увеличивается в K_M раз, а в двигателе с последовательным возбуждением – только в $\sqrt{K_M}$ раз. По этой же причине двигатель с последовательным возбуждением развивает больший пусковой момент, так как при заданной кратности пускового тока $K_i = I_n / I_{\text{НОМ}}$ пусковой момент его $M_n = K_i^2 M_{\text{НОМ}}$, в то время как у двигателя с параллельным возбуждением $M_n = K_i M_{\text{НОМ}}$.

В электродвигателе со смешанным возбуждением магнитный поток Φ создается в результате совместного действия двух обмоток возбуждения (рис. 2.9,а): параллельной (ОБ1) и последовательной (ОБ2). Поэтому его механическая характеристика (рис. 2.9,б, кривые 3, 4) располагается между характеристиками двигателей с параллельным (прямая 1) и последовательным (кривая 2) возбуждением. В зависимости от соотношения магнитодвижущей силы (МДС) $F = w \cdot I$ (w – число витков обмотки) параллельной ($w_1 I_{B1}$) и последовательной ($w_2 I_{B2}$) обмоток при номинальном режиме можно приблизить характеристику двигателя со смешанным возбуждением к характеристике 1 (при $w_1 I_{B1} > w_2 I_{B2}$) или к характеристике 2 ($w_1 I_{B1} < w_2 I_{B2}$). Одним из достоинств двигателя со смешанным возбуждением, которые используются в некоторых конструкциях стартеров, является то, что он, обладая «мягкой» механической характеристикой, может работать на холостом ходу, так как частота вращения холостого хода n_0 имеет конечное значение.

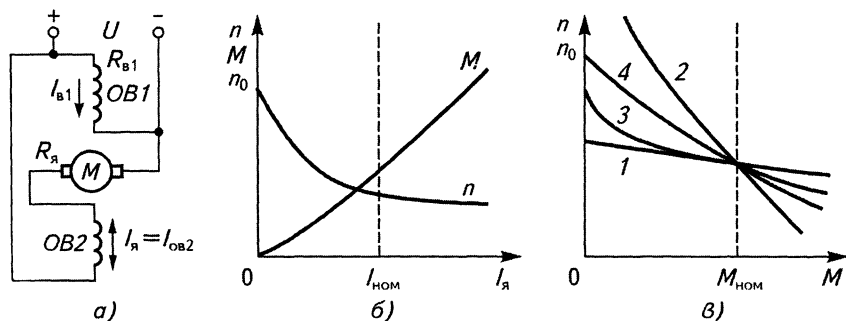


Рис. 2.9. Схема двигателя со смешанным возбуждением (а) и его электро-механические (б) и механическая (в, кривые 3, 4) характеристики

Таким образом, в стартерах используются двигатели постоянного тока с последовательным возбуждением. В отдельных случаях, рассмотренных ниже, используются двигатели со смешанным возбуждением. В последние годы на стартерах стали применяться электродвигатели с возбуждением от постоянных магнитов, которые имеют пониженное энергопотребление вследствие отсутствия тока возбуждения. Однако такие стартеры имеют недостатки, характерные для электродвигателей независимого (параллельного) возбуждения. Кроме того, материал для изготовления постоянных магнитов еще очень дорог. Постоянные магниты используются только в маломощных стартерах.

2.3.2. Конструкция стартеров

Конструктивно электростартер объединяет в себе электродвигатель и механизм привода с электромагнитным тяговым реле, муфтой свободного хода и шестерней понижающего редуктора. В стартер может быть встроен дополнительный редуктор, если передаточное число от шестерни привода к венцу маховика недостаточно. Электростартеры классифицируют по способу возбуждения электродвигателя (последовательного, смешанного, с возбуждением от постоянных магнитов), типу привода, способу крепления на двигателе и степени защиты от окружающей среды. Рассмотрим особенности конструкции стартеров на конкретных примерах.

Стартер СТ130-А3 устанавливается на двигателях ЗИЛ-130. Он состоит (рис. 2.10) из корпуса 18 с полюсами 3 и катушками обмотки возбуждения 2, якоря 19 с коллектором 21, пакетом пластин и обмоткой якоря 1, механизма привода с электромагнитным тяговым реле, муфтой свободного хода 15 и шестерней 14, крышек 12 (со стороны привода) и 22 (со стороны коллектора), щеточного узла со щеткодержателями, щетками и щеточными пружинами.

Корпус 18 стартера является частью магнитной системы электродвигателя, служит несущей конструкцией для крышек, воспринимает вращающий момент и передает его элементам крепления стартера на двигателе.

Корпус выполняют из цельнотянутой трубы или стальной полосы с последующей сваркой стыка. К корпусу винтами прикреплены полюсы – на стартере их четыре. Полюсы состоят из магнитопровода и полюсных наконечников. Для обеспечения постоянного воздушного зазора по окружности между полюсами и якорем полюсы растачивают.

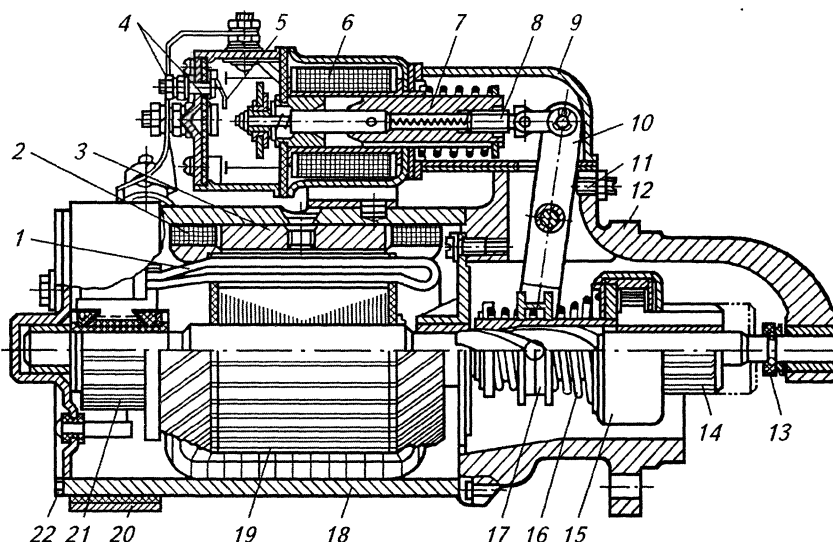


Рис. 2.10. Стартер СТ130-А3:

1 – обмотка якоря; 2 – обмотка возбуждения; 3 – полюс; 4 – контакты тягового реле; 5 – контакт замыкания добавочного резистора; 6 – обмотки тягового реле; 7 – якорь тягового реле; 8 – регулировочный винт-тяги; 9 – защитный кожух; 10 – рычаг; 11 – винт регулировки хода шестерни; 12 – крышка со стороны привода; 13 – упорное кольцо; 14 – шестерня; 15 – муфта свободного хода; 16 – пружина; 17 – поводковая муфта; 18 – корпус; 19 – якорь; 20 – защитная лента; 21 – коллектор; 22 – крышка со стороны коллектора

На полюсах располагаются катушки обмотки возбуждения. Число катушек равно числу полюсов. Для намотки последовательной обмотки возбуждения используют неизолированный медный провод прямоугольного сечения. Между витками проложен электроизоляционный картон толщиной 0,2...0,4 мм. В стартерах со смешанным возбуждением (СТ221 и др.) для намотки катушек параллельной обмотки возбуждения применяют круглый изолированный провод с эмалевой изоляцией. Внешняя изоляция представляет собой хлопчатобумажную ленту, которую для повышения электрической и механической прочности пропитывают лаком.

Катушки в стартерах с последовательным возбуждением могут быть соединены последовательно, попарно-параллельно или параллельно. Катушки параллельной обмотки в стартерах смешанно-возбуждения обычно соединяют последовательно. Между собой

катушки соединены контактной сваркой или заклепками с последующей пайкой. Для экономии меди и уменьшения массы стартеров иногда применяются алюминиевые провода. В этом случае катушки соединяют методом холодной сварки.

Якорь 19 стартера имеет шихтованный сердечник в виде пакета стальных пластин толщиной 1,0...1,2 мм, что уменьшает потери на вихревые токи. Крайние пластины пакета из электроизоляционного картона предохраняют от повреждения изоляцию лобовых частей обмотки якоря. В электродвигателях стартеров применяют простые волновые и петлевые обмотки с одно- и двухвитковыми секциями. Большее распространение получили волновые обмотки, обладающие рядом преимуществ по сравнению с петлевыми – лучшие массогабаритные показатели, отсутствие специальных уравнивающих соединений. Лобовые части обмотки якоря укрепляют бандажами из нескольких витков проволоки, хлопчатобумажного шнура или стекловолоконного материала, пропитанного синтетическими смолами. Лобовые части секций изолируют одну от другой электроизоляционным картоном или полимерными трубами. Концы секций обмотки якоря укладывают в прорези петушков коллекторных ламелей, чеканят и соединяют с коллекторными ламелями пайкой.

Коллектор 21, составленный из медных ламелей, является наиболее ответственным узлом электродвигателя. Коллекторы подвергаются значительным электрическим, тепловым и механическим нагрузкам. В стартерах применяют сборные цилиндрические коллекторы на металлической втулке (стартеры большой мощности), а также цилиндрические и торцовые с пластмассовым корпусом.

Сборный коллектор (рис. 2.11,а) состоит из отдельных пластин твердотянутой профильной меди и изолирующих прокладок из миканита, слюдинита или слюдопласта толщиной 0,4...0,9 мм. Цилиндрические коллекторы с пластмассовым корпусом (рис. 2.11,б) набирают в виде пакета медных пластин и в специальной форме запрессовывают в пластмассу. Использование в качестве формирующего элемента пластмассы повышает монолитность, прочность коллектора и позволяет автоматизировать процесс его изготовления. Пластмассовый корпус изолирует коллекторные ламели и воспринимает нагрузки.

Рабочая поверхность торцового коллектора (рис. 2.11,в) находится в плоскости, перпендикулярной оси вращения якоря (рис. 2.12). При этом снижается расход меди, уменьшается длина стартера, повышается уровень механизации и автоматизации производства коллекторов. Пакет якоря и коллектор напрессовывают на

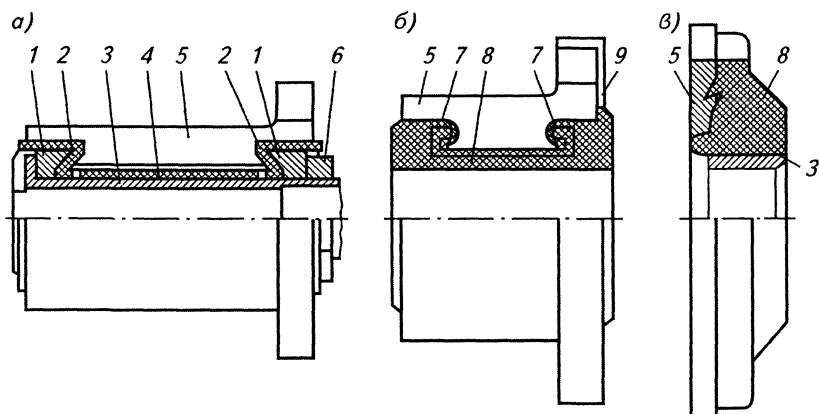


Рис. 2.11. Коллекторы электростартеров:

а – сборный цилиндрический на металлической втулке; б – цилиндрический на пластмассовой основе; в – торцовый на пластмассовой основе; 1 и 2 – соответственно металлические зажимные и изоляционные конусные кольца; 3 – металлическая втулка; 4 – изоляционная трубка; 5 – пластины коллектора; 6 – гайка; 7 – армировочное кольцо; 8 – прессовочный изоляционный материал; 9 – изоляционная пластина

вал, вращающийся в двух или трех опорах с подшипниками из порошкового материала или бронзографитными. Подшипники скольжения расположены в крышках и промежуточной опоре. Смазочный материал в подшипники закладывается в процессе производства и добавляется при обслуживании стартеров в эксплуатации. В стартерах большой мощности подшипники имеют масленки с резервуарами и смазочными фильцами. Промежуточную опору обычно устанавливают в стартерах с диаметром корпуса 115 мм и более. При ее применении уменьшаются прогиб вала и износ подшипников. Промежуточные опоры в виде диска из чугуна, стали или алюминиевого сплава зажимают между корпусом и передней крышкой и крепят к передней крышке.

Непосредственно к коллекторной крышке (рис. 2.13) или к traverse заклепками и винтами прикреплены щеткодержатели 4. Щеткодержатели изолированных щеток отделены от крышек прокладками из текстолита или другого изоляционного материала. Щеткодержатели обеспечивают правильное расположение и необходимое усилие прижима щеток к рабочей поверхности коллектора. Надежность электрического контакта между щеткой и коллектором в значительной мере определяется усилием, с которым щетка при

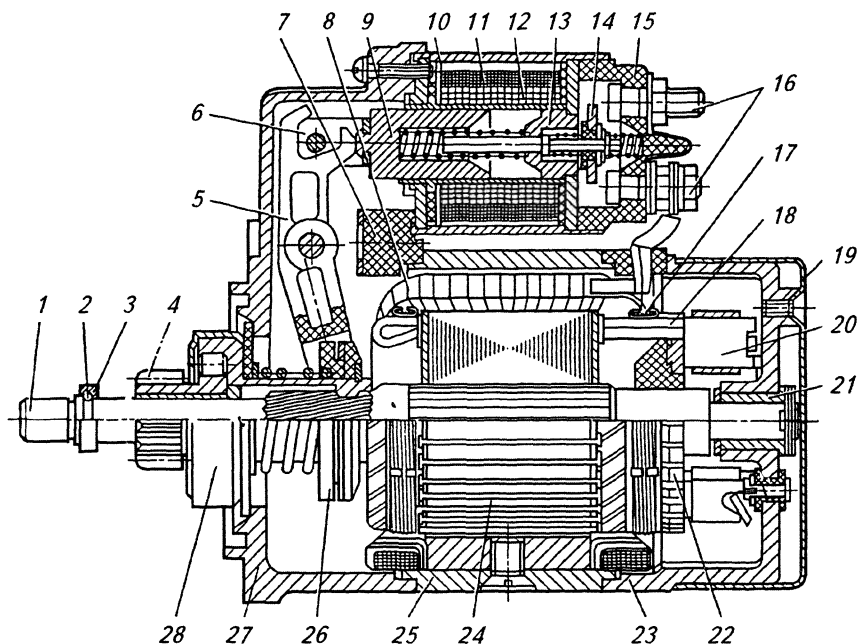


Рис. 2.12. Электростартер с торцовым коллектором:

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

жимается к коллектору пружиной 2, и изменением этого усилия в процессе изнашивания щетки и уменьшения ее высоты. Начальное давление пружин на щетке находится в пределах 30...130 кПа. Применяют спиральные пружины из ленточной стали или витые цилиндрические пружины.

Щетки торцовых коллекторов (см. рис. 2.12) размещены в пластмассовой или металлической траверсе и прижаты к рабочей поверхности коллектора витыми цилиндрическими пружинами, что позволяет сохранить постоянство прижимных усилий в течение

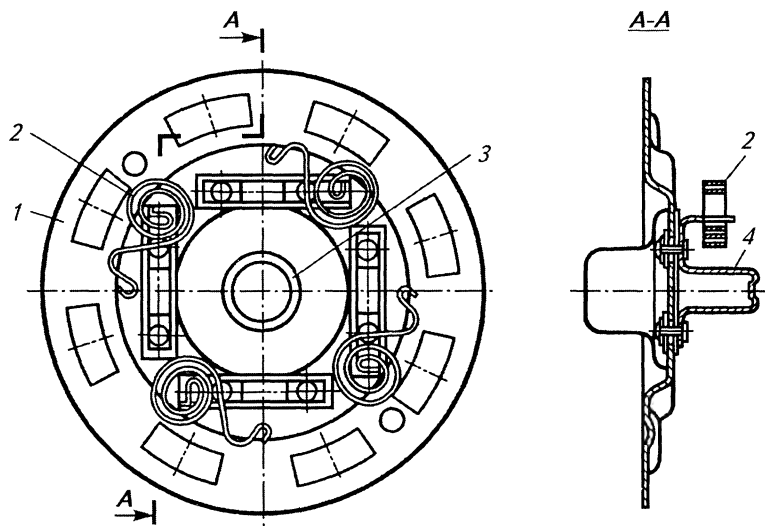


Рис. 2.13. Крышка со стороны коллектора:

1 – крышка; 2 – пружина; 3 – бронзографитный подшипник (вкладыш);
4 – щеткодержатель

длительного срока службы. В стартерах применяют меднографитовые щетки с добавлением олова и свинца, причем содержание графита в щетках больше у мощных стартеров и у стартеров с тяжелыми условиями коммутации.

Конструкция кожуха (приводной крышки) 9 (см. рис. 2.10) зависит от материала, типа механизма привода, способа крепления стартера на двигателе и тягового реле на стартере. Шестерня привода стартера может быть установлена между опорами под приводной крышкой или консольно за ее пределами. Консольное расположение шестерни характерно для стартеров с инерционным приводом, с перемещающимся якорем, с тяговым реле, встроенным в переднюю крышку соосно приводу или размещенным в коллекторной крышке. Разработаны конструкции стартеров с одной опорой в коллекторной крышке (см. рис. 2.12). Другая опора вала со стороны привода расположена в картере маховика двигателя.

Стартеры, предназначенные для тяжелых условий работы на большегрузных автомобилях и тракторах, отличаются большой степенью герметизации. Например, в стартере СТ142 для дизелей (рис. 2.14) герметизация обеспечивается установкой в местах разъема резиновых колец 12 и 17, применением пластмассовых

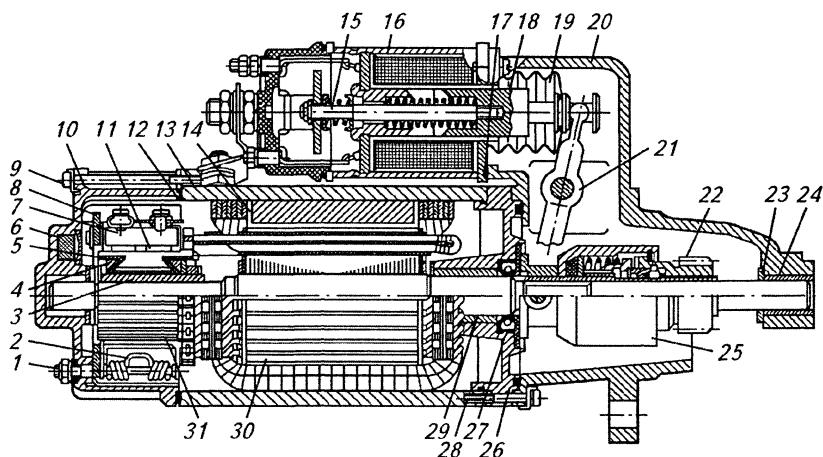


Рис. 2.14. Стартер СТ142 для дизелей:

1 – болт траверсы; 2 – пружина щеткодержателя; 3 – металлическая втулка коллектора; 4 – нажимное металлическое кольцо; 5 – изоляционный корпус коллектора; 6 – войлочный фильц; 7 – радиальный щеткодержатель; 8 – траверса; 9 и 28 – болты крепления соответственно коллекторной и приводной крышек; 10 и 20 – соответственно коллекторная и приводная крышки; 11 – щетка; 12 и 17 – резиновые уплотнительные кольца; 13 – корпус; 14 – полюс; 15 и 18 – соответственно шток и якорь тягового реле; 16 – тяговое реле; 19 – сильфон; 21 – рычаг включения привода; 22 – шестерня привода; 23 – упорная шайба; 24 – вкладыш подшипника; 25 – храповичная муфта свободного хода; 26 – промежуточная опора; 27 – манжета; 29 – вкладыш промежуточного подшипника; 30 – якорь электродвигателя; 31 – коллектор

втулок и уплотнительных прокладок. Герметизация рычажного механизма тягового реле осуществляется резиновым сильфоном 19.

2.3.3. Привод стартера. Муфта свободного хода

Автомобильные стартеры, имея идентичные по конструкции электродвигатели, могут существенно отличаться по конструкции приводных механизмов. По типу и принципу работы механизма привода можно выделить следующие основные группы стартеров:

- с принудительным механическим или электромеханическим перемещением шестерни привода;
- с принудительным электромеханическим вводом шестерни в зацепление с венцом маховика и самовыключением шестерни после пуска двигателя;

- с инерционным перемещением шестерни;
- с электромагнитным вводом шестерни в зацепление за счет перемещения якоря.

На отечественных автомобилях применяются стартеры с принудительным вводом шестерни в зацепление. Для предотвращения разноса якоря после пуска ДВС на валу стартера устанавливают муфту свободного хода, которая передает усилие от якоря к шестерне и проскользывает, когда шестерня вращается маховиком двигателя.

Надежность работы муфт свободного хода снижается с повышением мощности стартера. Поэтому в стартерах большой мощности устанавливают комбинированные приводные механизмы с принудительным вводом шестерни в зацепление и ее автоматическим инерционным выключением. Преимуществами инерционных приводов являются относительная простота конструкции, малые размеры и стоимость. Однако включение шестерни сопровождается значительными ударными нагрузками, что ограничивает область их применения стартерами мощностью до 1 кВт.

Зацепление шестерни при осевом перемещении якоря за счет магнитодвижущей силы полюсов стартерного электродвигателя используется за рубежом на стартерах мощностью 3...5 кВт. Стартеры обладают компактной конструкцией, хорошо komponуются на двигателях, но имеют повышенный расход меди и работают ненадежно при стоянке автомобилей на уклонах.

Приводные механизмы электростартеров с принудительным перемещением шестерни имеют роликовые, фрикционные или храповые муфты свободного хода, которые передают вращающий момент от вала стартера к коленчатому валу ДВС во время пуска и, работая в режиме обгона, автоматически разъединяют стартер и ДВС после пуска. Наибольшее распространение получили приводные механизмы с роликовыми муфтами свободного хода, в которых заклинивание роликов происходит благодаря возникновению сил трения в сопряженных деталях.

На рис. 2.15 представлен в упрощенном виде принцип работы роликовой муфты. При включении стартера крутящий момент от наружной ведущей обоймы передается роликами на внутреннюю обойму при заклинивании роликов. Как только двигатель будет запущен ($\omega_1 < \omega_2$) наружная обойма станет ведомой (ведущим будет зубчатый венец маховика), ролики расклиниваются и муфта начинает пробуксовывать.

Динамические характеристики муфты определяются комплексом сил, действующих на ролик в процессе прокручивания вала ДВС и пос-

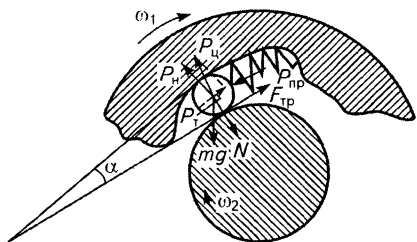


Рис. 2.15. Схема действия сил в роликовой муфте свободного хода

соприкосновения ролика с обоймой $F_{тр}$. Рабочие поверхности наружной обоймы выполняются по сложной кривой (спираль Архимеда или логарифмическая кривая).

Одним из основных параметров муфты является угол заклинивания α . В зависимости от α изменяются нагрузки, действующие на обоймы привода, и тангенциальная сила инерции P_t , действующая на прижимное устройство в момент работы роликовой муфты в режиме обгона. В стартерных приводах угол заклинивания лежит в пределах $4...6^\circ$.

Для обеспечения надежного контакта роликов с рабочими поверхностями применяют прижимные устройства, по типу конструкции которых роликовые муфты подразделяются на плунжерные и бесплунжерные.

В плунжерных роликовых муфтах (рис. 2.16) при увеличении частоты вращения (в режиме обгона) действующая на ролики 1 центробежная сила возрастает, а момент трения между роликами и ведомой обоймой 14 уменьшается. Под действием центробежной силы ролики, преодолевая сопротивление прижимных пружин 3, перемещаются в широкую часть клиновидного пространства. При этом муфта проскальзывает и предохраняет стартер от разгона. Однако при неустойчивом пуске, когда возникают пропуски воспламенения в отдельных цилиндрах ДВС, создаются значительные ускорения. При этом действующие на ролики центробежные силы достигают больших значений и могут превысить создаваемые прижимными пружинами усилия, что вызывает динамическую пробуксовку муфты.

В муфтах свободного хода с бесплунжерными устройствами заклинивание роликов происходит за счет перемещения толкателей (рис. 2.17) или сепараторов с пазами, в которых размещены ролики.

ле его пуска. Такими силами являются: $P_{ц}$ — центробежная сила инерции, резко возрастающая после пуска двигателя и имеющая нормальную P_n и тангенциальную P_t составляющие; сила тяжести ролика mg ; нормальная реакция в месте контакта с внутренней обоймой N ; усилие прижимной пружины $P_{пр}$; сила трения на поверхности

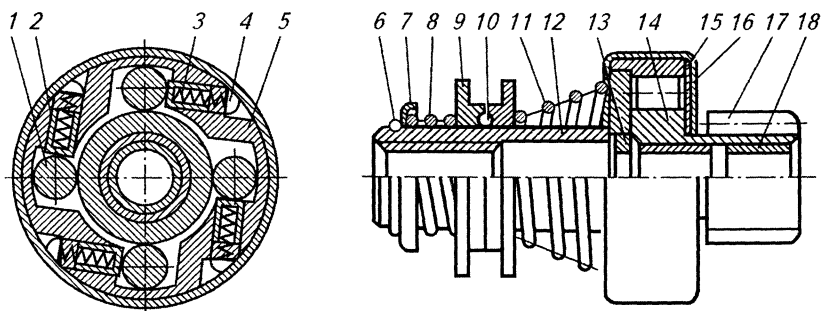


Рис. 2.16. Привод стартера с плунжерной роликовой муфтой свободного хода:

1 – ролики; 2 – плунжер; 3 и 11 – соответственно прижимная и буферная пружины; 4 – упоры пружины; 5 и 14 – соответственно наружная ведущая и ведомая обоймы, 6 и 10 – замковые кольца; 7 – чашка; 8 – пружина; 9 – втулка отвода; 12 – шлицевая направляющая втулка; 13 – центрирующее кольцо; 15 – металлическая пластина, 16 – кожух муфты; 17 – шестерня привода; 18 – вкладыш

В первом случае витые цилиндрические пружины 3 одним концом упираются в выступ толкателей 2, а другим – в отогнутые лепестки пластины 13, соединенные с наружной обоймой, закрывающей ее рабочую полость. В муфтах с групповыми прижимными устройствами используется одновитковая пружина кручения, закрепляемая одним концом на сепараторе, а другим на наружной ведущей обойме. Сепараторная конструкция прижимного устройства обеспечивает надежную фиксацию роликов и равномерное распределение нагрузки на них. Благодаря отсутствию отверстий под плунжеры в бесплунжерных муфтах свободного хода повышается прочность обоймы.

Общее взаимодействие элементов конструкции стартера (см. рис. 2.10) при запуске двигателя следующее.

Якорь 7 тягового реле, втягиваясь магнитным полем обмоток 6, перемещает рычаг 10 и связанную с ним муфту 17 привода. При этом шестерня 14 стартера входит в зацепление с венцом маховика двигателя. Подвижной контакт тягового реле замыкает цепь батарея – стартер, и якорь последнего начинает вращаться. Если шестерня не вошла в зацепление с венцом маховика (так называемое «утыкание» шестерни стартера в зубцы венца маховика), то рычаг 10 будет продолжать перемещаться, сжимая пружину 16. Как только якорь начнет вращаться, шестерня повернется и под действием пружины 16 ее зубья войдут во впадины между зубьями венца маховика.

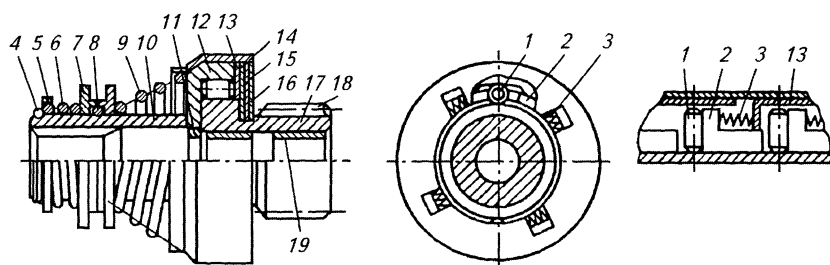


Рис 2.17. Привод стартера с бесплунжерной муфтой свободного хода:
 1 – ролик; 2 – Г-образный толкатель, 3 и 9 – соответственно прижимная и буферная пружины, 4 и 8 – замковые кольца; 5 – чашка; 6 – пружина; 7 – втулка отвода; 10 – шлицевая направляющая втулка; 11 и 15 – соответственно центрирующее и войлочное кольца; 12 и 17 – соответственно наружная ведущая и ведомая обоймы; 13 – пластина с отогнутыми лепестками; 14 – специальная шайба, 16 – кожух муфты; 18 – шестерня; 19 – вкладыш

В случае если шестерня привода не вышла из зацепления с венцом маховика после пуска двигателя, срабатывает муфта свободного хода 15 и вращение от двигателя не передается на якорь, что предохраняет его от разгона.

В стартерах большой мощности (более 5 кВт) роликовые муфты работают ненадежно, поэтому для них разработаны специальные конструкции приводов. Двигатели КамАЗ и некоторые другие дизели оснащены стартером СТ142, в приводном механизме которого применяется храповая муфта свободного хода (рис. 2.18). Детали привода расположены на направляющей втулке 12, имеющей прямые внутренние шлицы и многозаходную ленточную наружную резьбу. Направляющая втулка может перемещаться вместе с приводом по шлицам вала стартера. На наружной резьбе втулки 12 расположена ведущая половина 8 храповой муфты. Ведомая половина 6 выполнена как одно целое с шестерней и может свободно вращаться на втулке 12 в бронзографитовых подшипниках. Торцы половин храповой муфты снабжены зубцами и прижимаются один к другому пружиной 10. Ведомая половина 6 заперта в корпусе 11 замковым кольцом 5. Замковое кольцо 15 удерживает корпус 11 от перемещения вдоль втулки 12. Для амортизации ударов при включении стартера пружина 10 упирается в корпус 11 через стальную шайбу 13 и резиновое кольцо 14. Для предотвращения изнашивания зубьев храповой муфты и снижения шума в момент, когда двигатель запущен, а стартер еще не выключен, предусмотрен механизм

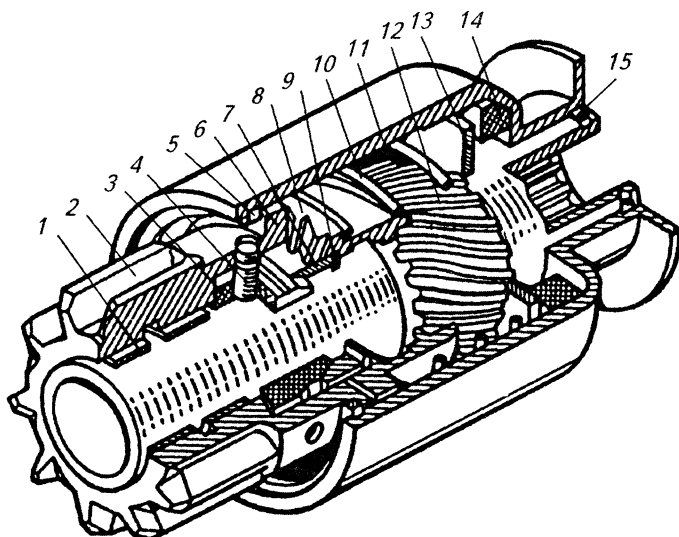


Рис. 2.18. Механизм привода с храповой муфтой свободного хода:

1 – вкладыш подшипника; 2 – шестерня; 3 – сегмент (сухарик); 4 – направляющий штифт; 5 и 15 – замковые кольца; 6 и 8 – соответственно ведомая и ведущая половины храповой муфты; 7 и 12 – соответственно коническая и шлицевая направляющая втулки; 9 и 13 – шайбы; 10 – пружина; 11 – корпус; 14 – буферное резиновое кольцо

блокировки. Внутри ведомой половины 6 муфты находятся три пластмассовых сухаря 3 с радиальными отверстиями, в которые входят направляющие штифты 4. Наружная поверхность сухарей имеет коническую фаску, прилегающую к выточке стальной конической втулки 7, установленной в ведущей половине 8 муфты. Пружина 10 через втулку 7 прижимает сухари 3 к направляющей втулке 12. При передаче вращающего момента от вала стартера к венцу маховика возникает осевое усилие, прижимающее ведущую и ведомую половины храповой муфты. Как только ДВС будет пущен, произойдет пробуксовка храповой муфты, так как изменится направление передаваемого усилия на шестерне стартера (при пуске – от шестерни к венцу, а при работающем двигателе – от венца к шестерне). Во время пробуксовки ведущая половина 8 отодвигается от ведомой 6, сжимая пружину 10. Вместе с ведущей половиной 8 отодвигается втулка 7, освобождая сухари 3, которые под действием центробежных сил перемещаются вдоль штифтов 4 и блокируют муфту в расцепленном состоянии. После выключения стартера ведущая поло-

вина 8 под действием пружины 10 прижмется к ведомой 6 и втулка 7 установит сухари 3 в исходное положение.

При упоре шестерни стартера в зубья венца маховика корпус 11 привода под действием усилия тягового реле вместе с направляющей втулкой 12 продолжает перемещаться вдоль шлицев вала стартера, сжимая пружину 10. При этом ленточная резьба втулки 12 заставляет поворачиваться ведущую половину 8 и шестерню стартера (до 30°), что обеспечивает ее зацепление с венцом маховика.

На рис. 2.19 изображен механизм привода стартера СТ103-А-01 дизельных двигателей ЯМЗ. На специальных шлицах вала якоря 1 установлены гайка 6 и шестерня 8. Гайка двумя внешними выступами входит в продольные пазы этой шестерни. Между гайками и хвостовиком шестерни помещена пружина 7. На вал якоря свободно посажен стакан 2 со спиральным пазом 10. На опорной втулке стакана размещены буферная пружина 4 и шайба 5. Ход шестерни на валу ограничивает упорное кольцо 9. При включении стартера тяговое реле, действуя на рычаг 3, перемещает стакан 2. При этом опорная втулка нажимает на ведущую гайку 6 и продвигает ее вместе с шестерней до упорного кольца 9. Если зубья шестерни упру-

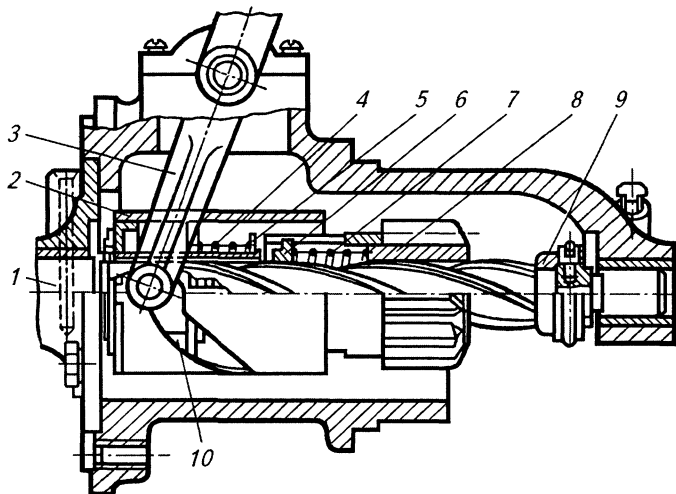


Рис. 2.19. Механизм привода стартера СТ103-А-01:

- 1 – вал якоря; 2 – стакан; 3 – рычаг; 4 – буферная пружина; 5 – шайба;
6 – гайка; 7 – пружина; 8 – шестерня; 9 – упорное кольцо;
10 – спиральный паз

ются в зубья венца маховика, то ведущая гайка 6 сжимает пружину 7 и поворачивает шестерню 8, так как шлицевые пазы в шестерне 8 шире шлицев вала якоря 1.

В первый момент пуска двигателя стакан 2 поворачивается благодаря трению и по спиральному пазу 10 отводится назад в исходное положение, освобождая место для отхода шестерни. Как только двигатель будет пущен, венец маховика начнет вращать шестерню стартера, и она, перемещаясь по спиральным шлицам, отойдет в первоначальное положение.

Абсолютное большинство современных автомобильных стартеров имеет принудительное электромагнитное включение и выключение шестерни. Приводные механизмы этих стартеров имеют дистанционно управляемые тяговые реле. Электромагнитные тяговые реле отличаются по конструкции и способу крепления на стартере. Большинство отечественных стартеров имеют двухобмоточные реле, устанавливаемые на приливе приводной крышки.

Двухобмоточное тяговое реле стартера (см. рис. 2.10) имеет две обмотки: втягивающую и намотанную на нее удерживающую, которые расположены на латунной втулке. В ней свободно перемещается стальной якорь 7. Удерживающая обмотка рассчитана только на удержание якоря 7 в притянutom состоянии. Она наматывается проводом меньшего сечения и имеет самостоятельный вывод на массу. Удерживающая обмотка работает длительное время и больше нагревается. Втягивающая обмотка подключена параллельно силовым контактам 4 реле. При включении реле она совместно с удерживающей обмоткой создает необходимую силу притяжения. При замыкании силовых контактов реле втягивающая обмотка отключается. Тяговое реле связано рычагом 10 с приводным механизмом. Два пальца нижней разветвленной части рычага соединены с поводковой муфтой 17.

На стартерах малой мощности могут применяться однообмоточные тяговые реле (например, СТ368). Существуют конструкции стартеров, у которых тяговые реле расположены соосно с валом стартера либо в крышке со стороны привода, либо в крышке со стороны коллектора.

2.3.4. Передаточное отношение стартер – двигатель. Стартер с редуктором

Параметром, определяющим рациональное согласование мощностной характеристики электропускового устройства с пусковыми характеристиками ДВС, является передаточное число $i_{\text{дс}}$ привода

от стартера к двигателю. Этот параметр оказывает влияние на угол наклона механической характеристики стартерного электродвигателя, приведенной к коленчатому валу ДВС. Для каждого двигателя и заданных условий пуска существуют оптимальные передаточные числа, при которых наилучшим образом используются мощностные характеристики пускового устройства. Однако при безредукторной передаче передаточное число $i_{дс}$ может быть не более 16, что ограничивается условиями механической прочности ведущей шестерни стартера.

С другой стороны, увеличение передаточного числа позволяет уменьшить размеры и соответственно массу электродвигателя стартера, так как эти параметры изменяются обратно пропорционально частоте вращения вала. Последние годы одним из главных направлений совершенствования систем пуска является уменьшение массы активных материалов, стоимость которых составляет около 50% себестоимости стартера. При этом, помимо использования таких известных методов, как замена медных проводов обмоток на более легкие алюминиевые и уменьшение габаритов за счет применения изоляции более высокого класса нагревостойкости, все более широко стали применяться высокооборотные малогабаритные стартерные электродвигатели с встроенным редуктором.

На рис. 2.20 в качестве примера показана зависимость массы активных материалов m_a от расчетной номинальной частоты вращения n ротора стартерного электродвигателя мощностью 1,4 кВт. Общая масса стартера m_c зависит от его номинальной мощности P_c (рис. 2.21). При этом преимущества стартеров с редуктором проявляются, начиная с мощности примерно 1 кВт. Для маломощных стартеров, устанавливаемых на карбюраторных ДВС с небольшим рабочим объемом, применение редуктора не сокращает общую массу m_c . Для них целесообразно применение непосредственного привода.

В конструкциях стартеров с редуктором между ротором электродвигателя и шестерней, сидящей на выходном валу стартера, встраивается редуктор, понижающий частоту вращения в 3...4 раза. При этом частота вращения вала электродвигателя может быть повышена до 15 000 ... 20 000 мин⁻¹ в режиме холостого хода. Блок электродвигателя представляет собой механизм с малыми размерами, высокой частотой вращения и низким моментом.

Конструктивно редукторы могут быть выполнены простыми рядными с внешним или внутренним зацеплением (рис. 2.22), а также планетарными. Наиболее перспективным является так называемый планетарный редуктор Джемса (рис. 2.23), применяемый для пере-

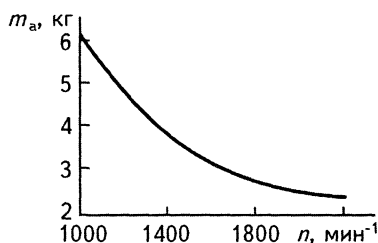


Рис. 2.20. Зависимость массы активных материалов электродвигателя стартера с номинальной мощностью 1,4 кВт от расчетной номинальной частоты вращения

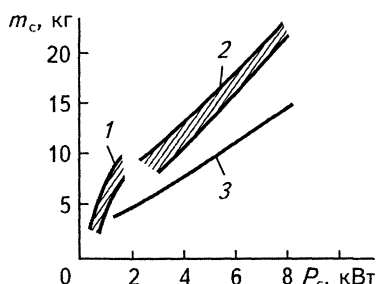


Рис. 2.21. Зависимость массы стартера от его номинальной мощности: 1 — для бензиновых ДВС; 2 — для дизелей; 3 — с редуктором для дизелей

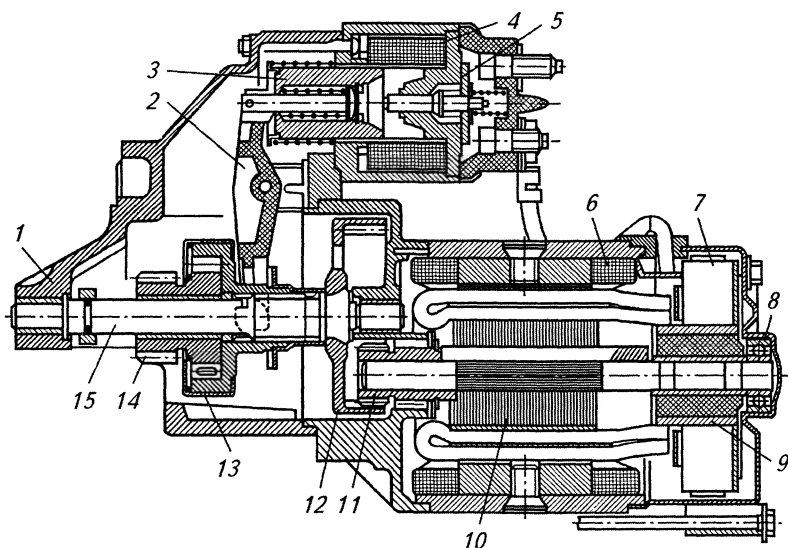


Рис. 2.22. Стартер с редуктором внутреннего зацепления: 1 — передняя крышка; 2 — приводной рычаг, 3 и 4 — соответственно якорь и обмотки тягового реле; 5 — контактный диск; 6 — обмотка возбуждения; 7 — щетка; 8 — подшипник; 9 — коллектор; 10 — якорь электродвигателя; 11 — ведущая шестерня редуктора; 12 — ведомое зубчатое колесо с внутренним зацеплением; 13 — роликовая муфта свободного хода; 14 — шестерня привода; 15 — вал привода

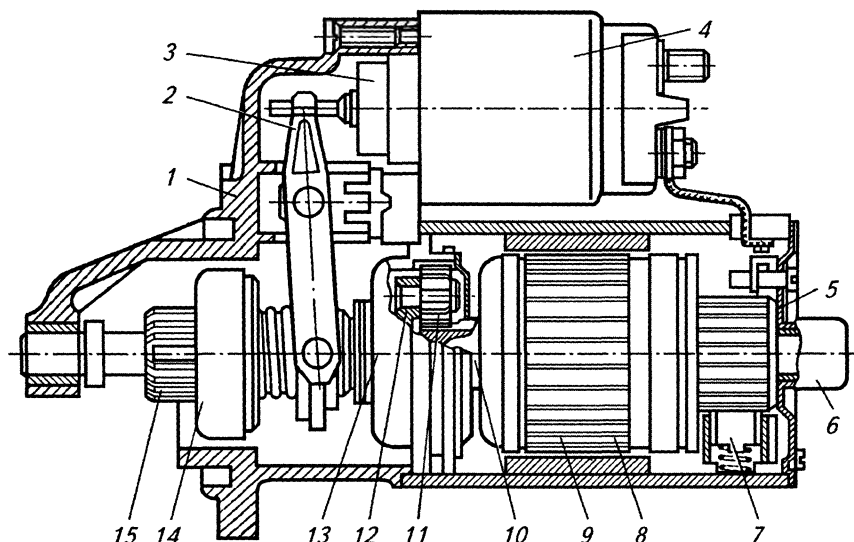


Рис. 2.23. Стартер с планетарным редуктором и возбуждением от постоянных магнитов:

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 и ведущая шестерня редуктора; 11 – зубчатое колесо-сателлит; 12 – водило; 13 – неподвижное центральное зубчатое колесо с внутренним зацеплением; 14 – муфта свободного хода; 15 – шестерня привода

дачи движения с небольшими замедлениями (5...7). Его достоинствами является симметричность передаваемых усилий, компактность и высокий КПД, превосходящий КПД соответствующих простых редукторов (см., например, рис. 2.22). Передаточное число такого редуктора

$$i_p = 1 + z_c/z_b,$$

где z_c и z_b – число зубьев соответственно центрального неподвижного колеса 13 (см. рис. 2.23) и ведущей шестерни 10.

Стартер применяется на легковых автомобилях с бензиновыми двигателями с объемом до 5 литров или дизельными с объемом до 1,6 литра. Стартер имеет меньшие размеры и на 40% меньшую массу чем традиционные стартеры, спроектированные для тех же целей и обеспечивает эквивалентную или большую мощность.

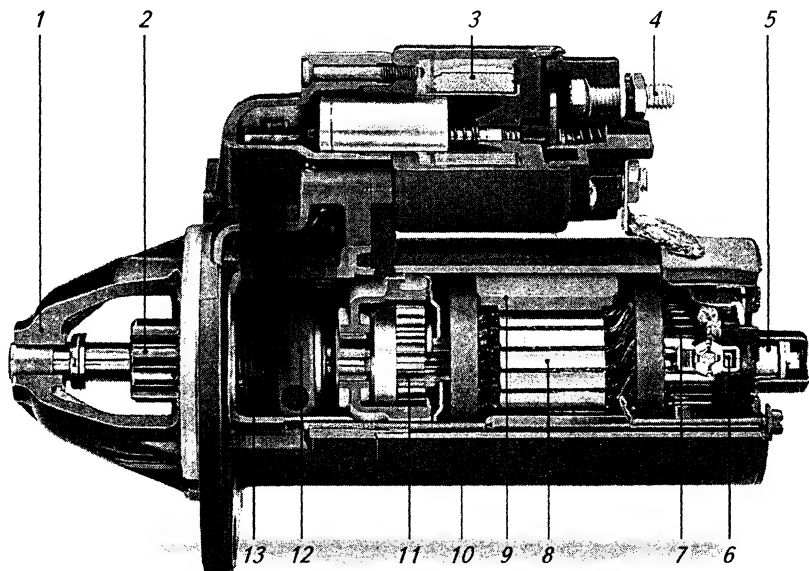


Рис. 2.24. Стартер Bosch модели DW:

1 – крышка со стороны привода; 2 – шестерня привода; 3 – тяговое реле;
4 – клемма; 5 – крышка со стороны коллектора; 6 – щеткодержатель с
графитными щетками; 7 – коллектор; 8 – якорь; 9 – постоянные магниты;
10 – статор (корпус); 11 – планетарный редуктор; 12 – приводной рычаг;
13 – механизм привода

На рис. 2. 24 представлен стартер Bosch модели DW со встроенным редуктором и возбуждением от постоянных магнитов, а на рис. 2.25 отдельно его якорь с планетарным механизмом.

Особенностями конструкций стартеров с редукторами являются: малые размеры и масса электродвигателя; уменьшение нагрузки на аккумуляторную батарею при пуске ДВС в связи с применением электродвигателя с малым моментом (малые разрядные токи); повышение возможностей пуска двигателя при низких температурах; снижение выходной мощности при малых нагрузках; более тяжелые условия работы муфты свободного хода, повышенный шум из-за высокой частоты вращения вала электродвигателя и наличия редуктора; тяжелые условия работы щеточно-коллекторного узла электродвигателя в связи с большой скоростью коммутации.

Применение стартеров с редукторами потребовало в значительной степени изменить технологию их изготовления. В частности, для увеличения механической прочности быстровращающихся час-

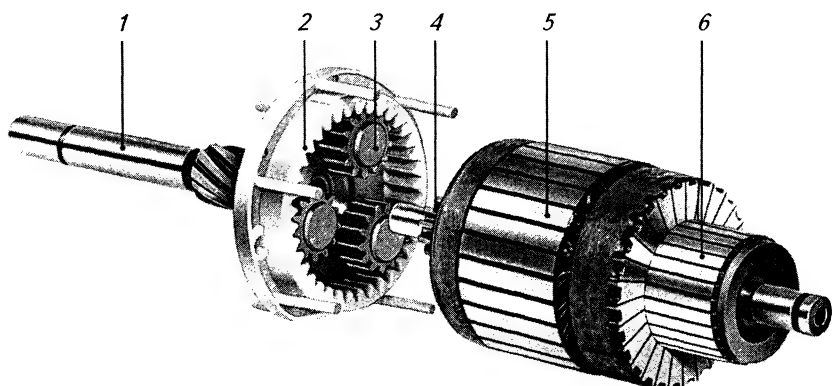


Рис. 2.25. Якорь и планетарный редуктор стартера Bosch модели DW: 1 – вал водила планетарной передачи с винтовыми шлицами; 2 – зубчатое колесо с внутренним зацеплением; 3 – планетарные шестерни (сателлиты); 4 – солнечное колесо на валу якоря; 5 – якорь; 6 – коллектор

тей стали применять более прочную изоляцию обмоток якоря, за
менять пайку соединений в главных цепях сваркой, точно баланси
ровать вращающиеся части и т. п.

2.3.5. Электрические схемы управления стартером

Все современные системы электростартерного пуска имеют дис
танционное управление стартером. При дистанционном управлении
стартерный электродвигатель соединен с аккумуляторной батареей
с помощью тягового реле стартера. На автомобилях с дизельными
двигателями это делается при помощи выключателя стартера, кон
такты которого рассчитаны на ток, потребляемый тяговым реле. На
автомобилях с бензиновыми двигателями, у которых мощности
стартера значительно ниже, тяговое реле включается через выклю
чателъ зажигания. Однако контакты последнего не рассчитаны на
силу тока, потребляемую реле (30...40 А) в момент включения. По
этому дополнительно устанавливается промежуточное реле стар
тера, контакты которого подключают обмотки тягового реле к бата
рее. Обмотка этого реле стартера включается через выключатели
зажигания.

Наиболее просты схемы управления стартеров малой мощности
с однообмоточным тяговым реле. Стартер смешанного возбужде
ния включается однообмоточным тяговым реле K1 (рис. 2.26), пи
тание на обмотку которого поступает непосредственно через кон

такты *S1* выключателя зажигания при повороте ключа в положение «Стартер». Якорь реле втягивается в электромагнит, через рычажный механизм вводит шестерню в зацепление с венцом маховика и в конце хода замыкает силовые контакты *K1.1* цепи питания электродвигателя *M*. Последний начинает вращаться и проворачивать коленчатый вал двигателя.

После пуска ДВС шестерня от вала стартера отсоединяется обгонной муфтой, при переводе ключа в положение «Зажигание» якорь тягового реле и приводной механизм под действием пружины возвращаются в исходное положение.

В стартерах в основном применяются двухобмоточные тяговые реле, имеющие втягивающую (ВО) и удерживающую (УО) обмотки. Такие реле позволяют снизить расход энергии батареи в процессе пуска двигателя. Принцип работы двухобмоточного тягового реле стартера проиллюстрирован на рис. 2.27. После замыкания контактов *KPC.1* реле стартера (или выключателя стартера на дизельных двигателях) ток от аккумуляторной батареи проходит по двум обмоткам: УО и ВО (рис. 2.27, а). Под действием намагничивающей силы этих двух обмоток якорь тягового реле втягивается в электромагнит (см. рис. 2.10), при помощи рычажного механизма вводит шестерню привода в зацепление с венцом маховика и в конце хода, замыкая силовые контакты тягового реле *KTP.1*, включает цепь питания стартерного электродвигателя. Одновременно этими же контактами втягивающая обмотка ВО замыкается накоротко (рис. 2.27, б).

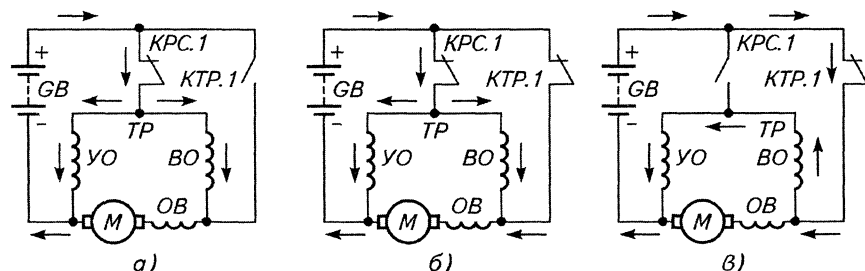


Рис. 2.27. Принцип работы двухобмоточного тягового электромагнита реле стартера:

а – включение реле; б – замыкание силовых контактов; в – выключение реле

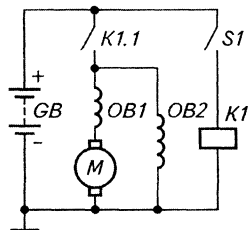


Рис. 2.26. Электрическая схема управления электростартером

После пуска двигателя контакты *KPC.1* размыкаются и ток проходит последовательно через силовые контакты *KTP.1*, обмотки *ВО* и *УО* параллельно стартерному электродвигателю (рис. 2.27,в). Причем направление тока в витках обмотки *УО* сохраняется прежним, а в витках втягивающей обмотки *ВО* изменяется. Так как число витков в обмотках одинаково и по ним протекает ток одной и той же силы, суммарная магнитодвижущая сила будет равна нулю. Сердечник электромагнита размагничивается, возвратная пружина, выдвигая якорь из сердечника тягового реле, размыкает силовые контакты *KTP.1* и, воздействуя на рычаг включения привода, выводит шестерню из зацепления с венцом маховика.

В схеме управления стартером СТ230-Б (рис. 2.28,а) при замыкании контактов выключателя зажигания *S1.1* срабатывает реле стартера *K2*, контакты *K2.1* которого соединяют с аккумуляторной батареей *GB* обмотки тягового реле *K1*. Контакты *K2.2* одновременно шунтируют добавочный резистор *R* в первичной цепи катушки зажигания. После пуска двигателя и возвращения ключа выключателя зажигания в положение «Зажигание» остаются замкнутыми контакты *S1.2* в цепи зажигания и размыкаются контакты *S1.1*, снимающие напряжение с обмотки реле *K2*.

Стартер СТ142 (рис. 2.28,б) включается при замыкании контактов *S1.1* выключателя приборов и стартера. Работа схемы управления аналогична работе схемы управления стартером СТ230-Б. При поднятой кабине автомобиля стартер можно включить дублирующим выключателем *S2*. Контакты *S1.2* обеспечивают срабатывание контактора *K3* и подвод питания к выключателю электрофакельного подогрева (ЭФП) через контакты *K3.1*. В схеме применен дистанцион-

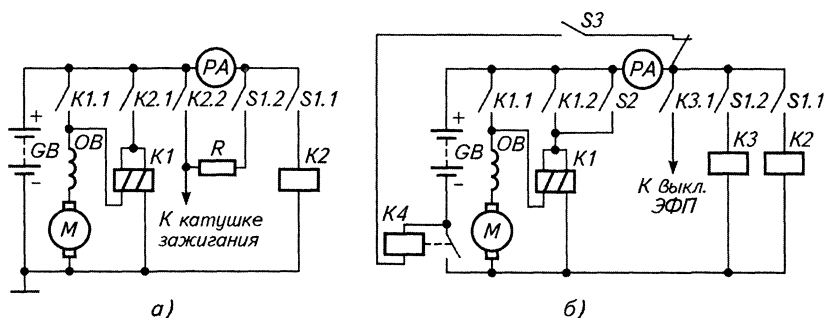


Рис. 2.28. Электрические схемы управления стартерами:
а – СТ230-Б (ГАЗ-24 «Волга»), б – СТ142 (автомобиль КамАЗ)

После перевода выключателя в положение *СТ* («Пуск») обмотка реле *KV1* через диод *VD11* и открытый транзистор *VT3* также подключается к аккумуляторной батарее. Реле срабатывает и контакты *KV1.1* включают стартер.

При вращении коленчатого вала с датчика его частоты вращения на вход формирователя электронного блока (*VT1*) начинают поступать импульсы напряжения положительной полярности. С коллектора *VT1* усиленные импульсы, ограниченные по амплитуде стабилитронами *VD2* и *VD3*, поступают на вход преобразователя, который преобразует частотную последовательность импульсов в напряжение на выходе конденсатора *С6*. Параметры преобразователя выбраны таким образом, что после пуска ДВС и соответствующего увеличения частоты вращения коленчатого вала амплитуда этого напряжения становится равной напряжению стабилизации стабилитрона *VD7*. Последний пробивается и переводит триггер в второе устойчивое состояние, при котором *VT3* закрыт, а *VT2* открыт. Обмотка реле *KV1* обесточивается и стартер отключается.

Повторное включение стартера возможно только после снижения частоты вращения коленчатого вала и перевода выключателя *S* в первоначальное положение. Если даже выключатель *S* остается в положении *СТ*, а двигатель по каким-либо причинам стал глохнуть (уменьшилась его частота вращения), повторного включения стартера не произойдет, так как для срабатывания реле *KV1* необходимо перевести триггер в первое устойчивое состояние, а это возможно только при возврате ключа *S* в исходное положение.

В качестве датчика частоты вращения коленчатого вала в этой системе может быть использован генератор переменного тока. При этом полезный сигнал снимается с одной из его фаз или с дополнительной специальной обмотки.

Стартеры большой мощности, рассчитанные на напряжение 24 В, в схемах электрооборудования с номинальным напряжением 12 В включают в работу при помощи специального электромагнитного переключателя, который изменяет соединение двух аккумуляторных батарей (на 12 В каждая) с параллельного на последовательное.

2.4. ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТАРТЕРНОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Электромеханическими характеристиками называется зависимость основных параметров стартерного электродвигателя (напряжения, частоты вращения, момента, КПД, мощности) от тока стар-

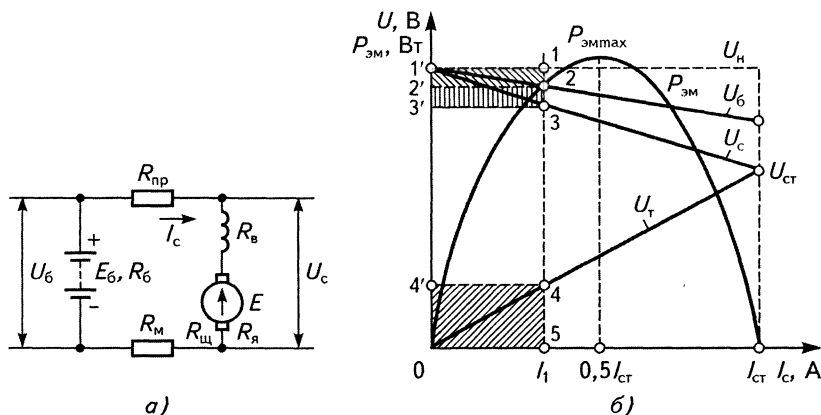


Рис. 2.30. Принципиальная электрическая схема включения стартера (а) и баланс напряжений (б)

тера I_c . Удобство использования электро механических характеристик для анализа работы системы электростартерного пуска объясняется возможностью совмещать их с вольт-амперными характеристиками аккумуляторных батарей.

Принципиальная электрическая схема включения стартера представлена на рис. 2.30,а. На рис. 2.30,б изображены зависимости падений напряжений на различных участках схемы в функции тока I_c (баланс напряжений системы пуска).

Напряжение U_c , подводимое к стартеру, меньше напряжения батареи U_6 на величину его падения на сопротивлениях проводов стартерной цепи $R_{np}(\Delta U_{np})$ и «массы» $R_M(\Delta U_M)$. Они в сумме составляют общие потери напряжения в стартерной цепи от аккумуляторной батареи до стартера ΔU_c :

$$\Delta U_c = \Delta U_{np} + \Delta U_M = (R_{np} + R_M)I_c.$$

Ток $I_{с\tau}$ соответствует полностью заторможенному якорю стартера; при этом частота вращения $n_c = 0$. В этом режиме все напряжение U_c , подведенное к стартеру, равно падению напряжения на его внутреннем сопротивлении

$$R_c = R_B + R_A + 2R_{щ},$$

где R_B и R_A – сопротивления обмоток соответственно возбуждения и якоря; $2R_{щ}$ – сопротивление щеточно-коллекторного узла.

Сопротивление $R_{щ}$ зависит от частоты вращения, плотности тока под щеткой и материала щеток. В отличие от обмоток стартерного электродвигателя сопротивление $R_{щ}$ является нелинейным. При нагрузках, в которых работает стартер, падение напряжения под щетками не превышает 2,5 В и мало изменяется от силы тока и частоты вращения. В этом случае можно принять, что падение напряжения на внутреннем сопротивлении стартера изменяется линейно от силы тока, потребляемого стартером [прямая $U_T(I_c)$ на рис. 2.30,б]. Показатель U_T называют *тормозным напряжением*.

Падение напряжения по участкам цепи стартера при некотором рабочем токе I_1 распределяется следующим образом (см. рис. 2.30,б): 1 – 5 – ЭДС батареи E_6 ; 1 – 2 – падение напряжения на внутреннем сопротивлении батареи $\Delta U_{61} = I_1 R_6$; 2 – 3 – падение напряжения в проводах и «массе» $\Delta U_{ц}$; 3 – 4 – ЭДС стартера $E_c = C_e n_c \Phi$, где Φ – поток возбуждения; 4 – 5 – тормозное напряжение

$$U_T = I_1 (R_b + R_{я} + 2R_{щ}).$$

Потери мощности на отдельных участках цепи при токе I_1 пропорциональны заштрихованной площади на рис. 2.30,б, так как площадь графика в координатах напряжение – ток есть мощность. Площадь 3', 3, 4, 4' соответствует электромагнитной мощности, подводенной к якору стартера, $P_{эм} = E_c I_c$, которая при изменении тока от 0 до $I_{с\tau}$ изменяется по параболе

$$P_{эм} = E_6 I_c - (R_6 + R_{ц} + R_c) I_c^2, \quad (2.15)$$

имеющей корни $I_{c1} = 0$ и $I_{c2} = \frac{E_6}{R_6 + R_{ц} + R_c} = I_{с\tau}$,

Выражение (2.15) имеет максимум при

$$I_c = \frac{E_6}{2(R_6 + R_{ц} + R_c)} = 0,5 I_{с\tau}.$$

Кривая $P_{эм}(I_c)$ изображена на рис. 2.30,б.

Электрохимические характеристики стартера показаны на рис. 2.31. Зависимости частоты вращения $n_c(I_c)$ и момента $M_c(I_c)$ можно разбить на два участка: первый, когда магнитная система стартера не насыщена и магнитный поток Φ с ростом тока I_c резко увеличивается [до $I_c < (0,8...0,9)I_{сн}$, где $I_{сн}$ – номинальный ток стартера]; второй, когда магнитная система насыщена и магнитный поток Φ почти не изменяется [$I_c > (0,8...0,9)I_{сн}$]. Характеристики $n_c(I_c)$ и $M_c(I_c)$ во втором участке имеют почти линейный характер.

Механическая мощность на валу стартера $P_c = M_c n_0 / 9,55$ меньше электромагнитной мощности $P_{эм}$ на размер потерь на трение в подшипниках и щеточном контакте, вентиляционных и магнитных потерь (перемагничивание и вихревые токи).

Стартер потребляет электрическую мощность $P_{эл} = I_c U_c$, преобразовывая ее в механическую с КПД $\eta = P_c / P_{эл}$. Максимум КПД электродвигателя стартера не превышает диапазона значений 0,5...0,6. Максимум мощности P_c не совпадает с максимумом КПД.

На электрохимических характеристиках стартера можно выделить следующие режимы:

- холостого хода, характеризуемый частотой вращения $n_{сх}$, силой тока $I_{сх}$;
- при максимуме КПД (характеризуется током $I_{снmax}$);
- номинальный при максимуме мощности стартера. На этом режиме задают номинальные параметры стартера: мощность $P_{сн}$, момент $M_{сн}$, частоту вращения $n_{сн}$, силу тока $I_{сн}$. Напряжение на стартере в номинальном режиме не задается, но обычно оно составляет около 8 В для стартеров на 12 В (приблизительно $0,75 U_{бн}$). В режиме пуска двигателя желательно, чтобы стартер работал при токах $I_{снmax} \dots I_{сн}$;
- полного торможения. Параметры этого режима – момент полного торможения $M_{ст}$ и сила тока $I_{ст}$ – используются как диагностические для оценки состояния электрических и магнитных цепей стартера.

Стартер рассчитывается на максимальную мощность при конкретной вольт-амперной характеристике батареи. Однако в эксплуатации режим работы стартера или его рабочая точка определяются моментом сопротивления двигателя и вольт-амперной характеристикой батареи. Рассмотрим влияние последней на характеристики стартера.

На рис. 2.32 представлены вольт-амперные характеристики батареи, при которых рассчитывался стартер, и его номинальные характеристики.

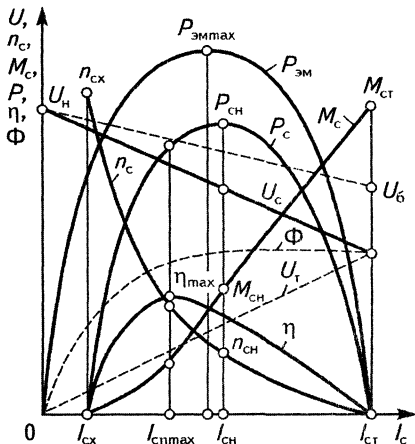


Рис. 2.31. Электрохимические характеристики стартера

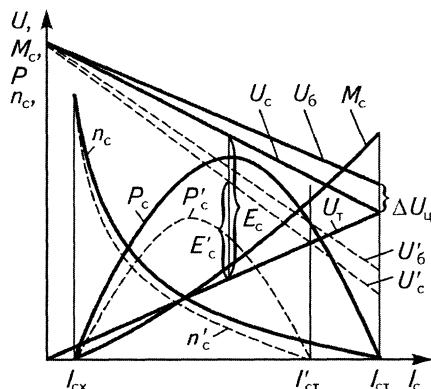


Рис. 2.32. Характеристики стартера при различных вольт-амперных характеристиках аккумуляторных батарей

Предположим, что температура электролита батареи понизится. Это приведет к более крутой вольт-амперной характеристике, изображенной на графике штриховой линией (U'_b). Вычитая из новой вольт-амперной характеристики падение напряжения в стартерной цепи, получим напряжение на стартере U'_c . Если пренебречь изменением сопротивления стартера с изменением температуры, то угол наклона линии U_t останется неизменным. При токе I'_{ct} напряжение на стартере будет равно падению напряжения на его сопротивлении, т. е. $U'_c = U_t$. Это означает, что противо-ЭДС равна нулю, что возможно лишь при частоте вращения, равной нулю, т. е. при полном торможении. Для каждого значения тока частоту вращения стартера можно выразить через противо-ЭДС.

Так как при неизменном токе магнитный поток постоянен, для новой вольт-амперной характеристики частота вращения стартера

$$n'_c = n_c \frac{E'_c}{E_c}.$$

Из графика видно, что при неизменном токе противо-ЭДС E' соответствующая вольт-амперной характеристике при пониженной температуре, меньше E_c . Поэтому частота вращения, соответствующая этой вольт-амперной характеристике, будет меньше и достигнет нуля при токе, равном E'_{ct} .

Момент стартера определяется только током и не зависит от приложенного напряжения, поэтому характер его изменения останется прежним; однако максимальное значение уменьшится до со-

ответствующего току $I'_{\text{ст}}$. Мощность стартера, определяемая произведением момента на частоту вращения, также уменьшится.

2.5. АНАЛИЗ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСТАРТЕРНОГО ПУСКА

Исходными данными для анализа являются характеристики пусковых качеств двигателя, а также электромеханические характеристики стартера, полученные экспериментальным и расчетным путями.

Пусковые качества ДВС определяются средним давлением трения $P_{\text{т.ср}}$ и минимальной пусковой частотой вращения n_{min} . После установки двигателя на автомобиль его пусковые качества оцениваются также предельной температурой надежного пуска и временем подготовки двигателя к принятию нагрузки, которое складывается из времени на приведение в действие и работу устройств облегчения пуска холодного двигателя, пуска двигателя и его работы на холостом ходу до момента, когда возможно начало движения автомобиля.

Среднее давление трения является удельным показателем и характеризует момент сопротивления двигателя при его пуске. Оно определяется аналогично условному среднему давлению внутренних потерь двигателя:

$$P_{\text{т.ср}} = 1,256 \cdot 10^4 \frac{M_{\text{сд}}}{iV_h}, \quad (2.16)$$

где $M_{\text{сд}}$ – момент сопротивления двигателя при прокручивании, Н·м; i – число цилиндров; V_h – рабочий объем двигателя, м³.

Момент сопротивления двигателя при прокручивании можно представить как сумму моментов от сил трения в кинематических парах двигателя ($M_{\text{т}}$) и момента от компрессии ($M_{\text{с}}$):

$$M_{\text{сд}} = M_{\text{т}} \pm M_{\text{с}}.$$

Момент трения и момент от компрессии зависят от угла поворота коленчатого вала, причем $M_{\text{с}}$ на такте расширения в цилиндрах меняет знак.

Так как стартеры имеют «мягкую» механическую характеристику, то при изменении момента сопротивления угловая частота также периодически изменяется, вызывая появление динамического (инерционного) момента. Коэффициент неравномерности враще-

ния при пуске, определяемый как отношение разности максимальной и минимальной частот вращения к средней частоте в течение одного периода, находится в пределах 0,1...0,2. У бензиновых двигателей по сравнению с дизелями степень сжатия и неравномерность вращения коленчатого вала меньше. Неравномерность вращения зависит также от числа цилиндров двигателя.

Выделяют три стадии электростартерного пуска поршневого двигателя (рис. 2.33). На 1-й стадии частота вращения коленчатого вала увеличивается до средней частоты вращения в установившемся режиме. После подключения электростартера к аккумуляторной батарее его якорь и коленчатый вал двигателя остаются неподвижными, пока вращающий момент электродвигателя не превысит момент трогания системы стартер – двигатель ($t = 0$). Продолжительность 1-й стадии пуска зависит от вязкости моторного масла, мощности электростартера, момента инерции системы стартер – двигатель автомобиля и обычно не превышает десятых долей секунды.

Отличительной чертой 2-й стадии пуска является равенство средних значений вращающего момента ($M_{ср}$) электродвигателя и момента сопротивления при постоянной средней частоте вращения коленчатого вала $n_{ср}$. Возможное увеличение средней частоты на 2-й стадии связано с интенсивным снижением вязкости масла в узлах трения вследствие его нагрева теплотой, выделяемой при трении и сжатии воздуха или топливовоздушной смеси в цилиндрах двигателя. Воспламенение топлива в цилиндрах при низкотемпературном пуске ДВС начинается на 2-й стадии.

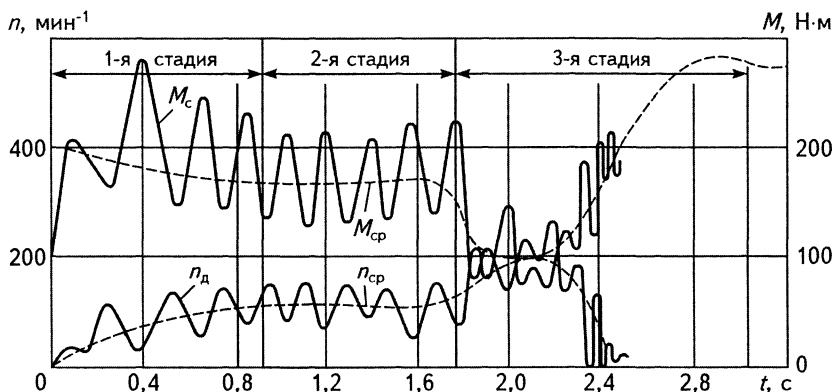


Рис. 2.33. Изменение вращающегося момента $M_{ср}$ электростартера и частоты вращения $n_{д}$ коленчатого вала при пуске шестицилиндрового дизеля

Процесс пуска переходит в 3-ю стадию, когда двигатель начинает развивать мощность за счет теплоты сгорания топлива. Если топливо воспламеняется и сгорает во всех цилиндрах, то 3-я стадия характеризуется непрерывным нарастанием частоты вращения коленчатого вала благодаря совместному действию вращающих моментов электростартера и двигателя.

Уравнение равновесия моментов при пуске имеет вид

$$M'_c = M_{сд} - J \frac{d\omega}{dt},$$

где M'_c – момент стартера, приведенный к двигателю с учетом передаточного числа $i_{дс}$ и КПД зубчатой передачи от стартера к двигателю η_z ; $M'_c = M_{сд} i_{дс} \eta_z$.

Момент инерции вращающихся и возвратно-поступательно движущихся масс системы стартер – двигатель, приведенных к коленчатому валу,

$$J = J_{дв} + J_c i_{дс}^2,$$

где $J_{дв}$ – приведенный момент инерции двигателя; J_c – момент инерции стартера.

Момент трения зависит от вязкости моторного масла, которая с понижением температуры возрастает по экспоненциальному закону. За последние годы освоен выпуск новых моторных масел с более пологой вязкостно-температурной характеристикой (рис. 2.34).

На составляющую сопротивления, обусловленную компрессией, температура влияет незначительно. У бензиновых двигателей это сопротивление сравнительно невелико, у дизелей больше.

При расчете электропусковых систем пользуются формулами для расчета среднего момента сопротивления и средней частоты прокручивания. Существует большое количество эмпирических фор-

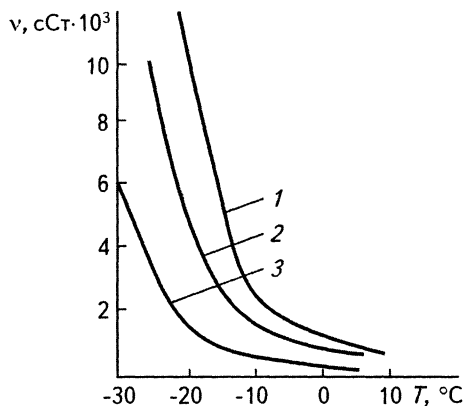


Рис. 2.34. Вязкостно-температурные характеристики моторных масел:
1 – М-8В; 2 – М-10Гз; 3 – М-6Вз

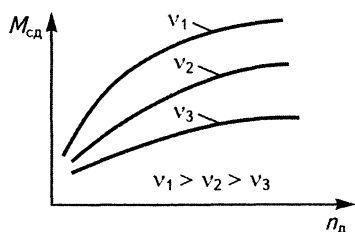


Рис. 2.35. Зависимость момента сопротивления двигателя от частоты вращения

тота прокручивания коленчатого вала двигателя; x, y — показатели степени; $x = 0,33...0,53$; $y = 0,25...0,35$.

В зависимости от вязкости масла и его количества, динамики прокручивания коленчатого вала, качества трущихся поверхностей, а также нагрузки на них трение в отдельных узлах двигателя может быть граничным, жидкостным или смешанным.

Минимальной пусковой частотой вращения $n_{\min}$ коленчатого вала двигателя называется частота, при которой обеспечивается пуск двигателя за две попытки с продолжительностью попытки 10 с для бензиновых и 15 с для дизельных двигателей и интервалов между попытками 1 мин.

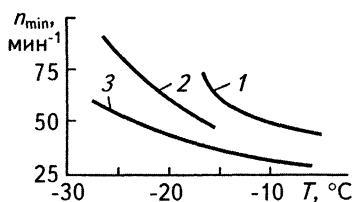


Рис. 2.36. Минимальные пусковые частоты вращения карбюраторных двигателей:

1 и 2 — 4-цилиндровых рабочим объемом 1500 см^3 при применении масла соответственно М-8В₂ и М-6з/10Г₁; 3 — 8-цилиндрового рабочим объемом 4500 см^3 (масло М-8В₂)

мул, выражающих зависимость момента сопротивления от вязкости масла и частоты прокручивания (рис. 2.35). В общем виде эту зависимость можно представить выражением

$$M_{сд} = kAv^x n_d^y, \quad (2.17)$$

где k — постоянный коэффициент; A — коэффициент, характеризующий площадь поверхности трения; v — вязкость масла; n_d — частота прокручивания коленчатого вала двигателя;

Показатель $n_{\min}$ зависит от следующих основных факторов: числа и расположения цилиндров двигателя, температуры пуска, вязкости масла (рис. 2.36), качества топлива, фаз газораспределения, пусковой регулировки карбюратора (для дизелей — цикловой подачи топлива), применяемых средств облегчения пуска двигателя.

Минимальная пусковая частота вращения коленчатого вала бензиновых двигателей, работающих на зимних сортах топлива, при $t = -20^\circ\text{C}$ составляет: для 4-цилиндровых двигателей

70 мин⁻¹; 6-цилиндровых 60 мин⁻¹; 8-цилиндровых и более 50 мин⁻¹. Таким образом, увеличение числа цилиндров приводит к снижению $n_{\min}$. Применение устройств облегчения пуска холодного двигателя снижает $n_{\min}$ для бензиновых ДВС при $T = -30^{\circ}\text{C}$ соответственно до 65,55 и 45 мин⁻¹. Дизельные двигатели имеют более высокую минимальную пусковую частоту вращения (для 4-цилиндровых дизелей при $T = -17^{\circ}\text{C}$ $n_{\min} = 200$ мин⁻¹). При температуре -40°C и ниже пуск ДВС осуществляется после его разогрева пусковым подогревателем. При пуске холодного двигателя должны применяться зимние и маловязкие загущенные масла. С понижением температуры пуска $n_{\min}$ возрастает (см. рис. 2.36).

Предельной температурой надежного пуска $T_{\min}$ называется наиболее низкая температура окружающего воздуха, при которой обеспечивается надежный пуск двигателя. Для бензиновых двигателей без устройств облегчения пуска $T_{\min} = -20...-25^{\circ}\text{C}$ (в зависимости от вязкости моторного масла), для дизельных $T_{\min} = -12...-17^{\circ}\text{C}$. С применением устройств для облегчения пуска холодного двигателя его пуск может осуществляться и при температуре $-50...-60^{\circ}\text{C}$, однако в этом случае необходим подогрев аккумуляторной батареи.

Время подготовки двигателя к принятию нагрузки зависит от температуры пуска двигателя и при температурах $+40$, -20 , -25°C не должно превышать соответственно 4, 8 и 9 мин. С применением устройств для облегчения пуска это время составляет 10 мин при -30°C и 20...30 мин при -40°C .

Анализ работы системы электростартерного пуска обеспечивается совмещением мощностных и механических характеристик стартера и двигателя. Поскольку напряжение аккумуляторной батареи определяет в значительной степени режим пуска, ее вольт-амперная характеристика также должна быть задана в исходных данных для такого анализа.

Совмещение механических характеристик стартера и двигателя дает возможность определить частоту вращения коленчатого вала и момент при пуске двигателя. Процесс совмещения можно разбить на следующие этапы (рис. 2.37):

- расчет вольт-амперной характеристики батареи для заданных условий пуска;
- пересчет номинальных характеристик стартера на новую вольт-амперную характеристику;
- расчет механических характеристик стартера;
- совмещение характеристик стартера и двигателя.

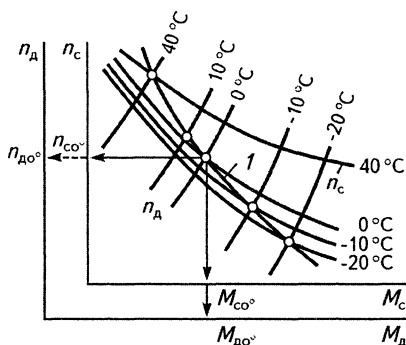


Рис. 2.37. Совмещение механических характеристик стартера и двигателя

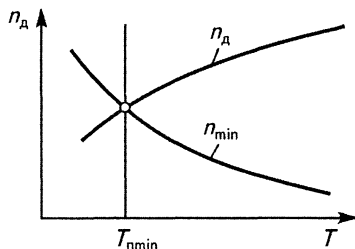


Рис. 2.38. Определение минимальной температуры пуска двигателя

На рис. 2.37 цифрой 1 обозначена частота прокручивания коленчатого вала двигателя при различных температурах пуска.

Расчет вольт-амперных характеристик батареи и пересчет характеристик стартера на новую вольт-амперную характеристику рассмотрен ранее.

Механические характеристики стартера рассчитывают следующим образом. Интервал тока от $I_{сх}$ до $I_{ст}$ (см. рис. 2.31) разбивают на 8–10 значений. Для каждого значения тока момент и частота вращения стартера приводятся к валу двигателя по формулам:

$$M'_c = M_c i_{дс} \eta_z; n'_c = \frac{n_c}{i_{дс}},$$

где $i_{дс}$ – передаточное число от двигателя к стартеру; η_z – КПД зубчатой передачи шестерня стартера – венец маховика (обычно $\eta_z = 0,8...0,9$).

Точка пересечения механической характеристики стартера и момента сопротивления двигателя характеризует частоту, с которой стартер вращает коленчатый вал двигателя. Выполнив указанные расчеты и построения для различных температур и соединив рассчитанные точки, получим рабочую кривую (см. рис. 2.37), показывающую, как изменяются координаты рабочей точки при прокручивании двигателя в различных температурных условиях.

Совмещение характеристик $n_d(T)$ и $n_{min}(T)$ (рис. 2.38) позволяет определить минимальную температуру пуска двигателя, при которой обеспечивается минимальная пусковая частота вращения вала двигателя (T_{min}).

2.6. СРЕДСТВА ОБЛЕГЧЕНИЯ ПУСКА ДВИГАТЕЛЕЙ

При температуре пуска карбюраторных и дизельных двигателей -30°C следует применять устройства для облегчения пуска холодного двигателя, а при температурах -40°C и ниже должна применяться система предпускового подогрева.

Наибольшее количество устройств, облегчающих пуск холодного двигателя, предназначено для дизелей. К ним можно отнести устройства:

- повышающие температуру в конце такта сжатия (свечи подогрева и электрофакельный подогрев впускного воздуха);
- обеспечивающие калоризаторное воспламенение впрыснутого в цилиндры топлива (свечи накаливания);
- обеспечивающие подачу в цилиндры двигателей легковоспламеняющейся жидкости.

Для двигателей выпускаются устройства впрыскивания легковоспламеняющейся жидкости, имеющей компоненты с низкой температурой самовоспламенения. Ее применение облегчает воспламенение топлива и повышает эффективность его сгорания. В отечественной практике применяются пусковые легковоспламеняющиеся жидкости «Арктика» для бензиновых двигателей и «Холод-40» для дизелей. Пусковая жидкость впрыскивается в трубопровод или патрубков воздушного фильтра. Разработаны также и выпускаются средства подогрева аккумуляторных батарей.

Свечи накаливания применяют для облегчения пуска дизелей. Они бывают с открытой спиралью и со спиралью, расположенной внутри защитного кожуха (штифтовые свечи) (рис. 2.39).

Свечу накаливания с открытым нагревательным элементом устанавливают в камере сгорания таким образом, чтобы струи распыливаемого топлива не касались спирали. Попадание частиц топлива на спираль хотя и улучшает процесс воспламенения топлива, но резко сокращает срок службы свечи. Штифтовые свечи устанавливают таким образом, чтобы конус струй распыливаемого топлива касался конца ее кожуха.

Свечи с закрытой спиралью обладают большим сроком службы и меньшими габаритными размерами. Их выпускают однопроводными (один конец спирали на «массе») и соединяют между собой параллельно. Свечи с открытой спиралью выпускают двухполюсными (оба конца спирали изолированы от корпуса). Время нагрева свечи до пуска дизеля 30...60 с, сила потребляемого тока 40...50 А. Спираль свечи нагревается до температуры 900...1050 $^{\circ}\text{C}$. Затем

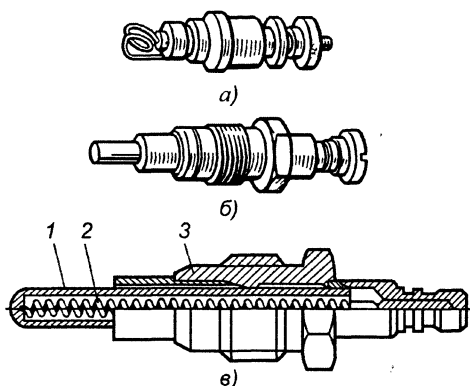


Рис. 2.39. Свечи накаливания:

а – с открытой спиралью; б – с закрытой спиралью (штифтовая свеча); в – конструкция штифтовой свечи; 1 – кожух свечи; 2 – спираль накаливания; 3 – корпус свечи

свечи остаются под напряжением (1,2...1,7 В на свечу) в течение пуска двигателя. После начала самостоятельной работы двигателя свечи должны быть отключены.

Свечи подогрева воздуха устанавливаются во впускном коллекторе двигателя и подогревают всасываемый воздух. Относительно невысокая мощность свечей подогрева (400...1000 Вт) ограничивает их применение на дизелях с рабочим объемом до 5 л. Для обеспечения пуска дизелей с большим рабочим объемом вместо свечей накаливания и подогрева применяют электрофакельные подогреватели воздуха и электрофакельные штифтовые свечи (рис. 2.40).

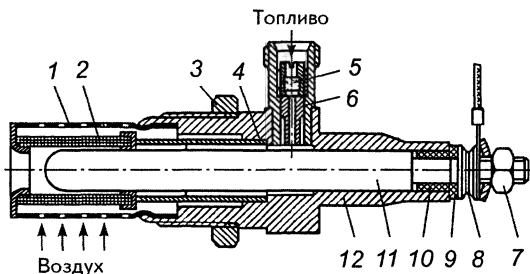


Рис. 2.40. Электрофакельная штифтовая свеча 13.3740:

1 – защитный экран; 2 – испарительная сетка; 3, 7, 8 – гайки; 4 – испаритель; 5 – фильтр; 6 – топливный жиклер; 9 – изоляционная шайба; 10 – изоляционная втулка; 11 – нагреватель; 12 – корпус свечи

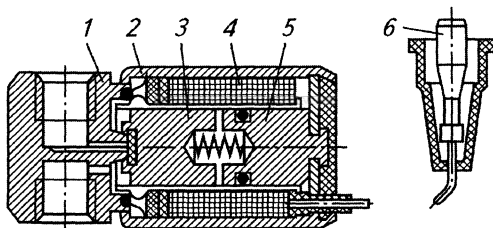


Рис. 2.41. Электромагнитный топливный клапан 13.3741:

1 – основание клапана; 2 – гильза; 3 – якорь; 4 – катушка; 5 – сердечник;
6 – штекер

Перед пуском дизеля первоначально включается спираль накаливания. После ее нагрева подается напряжение на катушку электромагнитного клапана (рис. 2.41), в результате чего клапан открывается и топливо подается на раскаленную спираль, испаряется и перемешивается с поступающим воздухом. Топливовоздушная смесь воспламеняется и образуется пламя, нагревающее поступающий в цилиндры воздух.

После пуска двигателя подогреватель выключают. Топливный клапан под действием пружины перекрывает подачу топлива, и горение прекращается. Использование такого подогревателя позволяет снизить предельную температуру пуска холодного двигателя на 10...15°C.

Применение рассмотренных средств облегчения пуска в сочетании с использованием маловязких масел, зимних сортов топлива, аккумуляторных батарей с улучшенными стартерными характеристиками обеспечивает пуск холодных двигателей при температурах до -30°C. Пуск двигателя при более низких температурах можно осуществлять путем их предпускового подогрева. При этом подогревается картерное масло, в результате чего снижается его вязкость и обеспечивается прокачиваемость масла по системе смазки, вследствие чего уменьшаются изнашивание и момент сопротивления и возрастает частота вращения коленчатого вала при пуске.

Промышленностью выпускается много различных типов предпусковых подогревателей. Они работают на том же топливе, что и двигатель. Время подготовки двигателя к принятию нагрузки (разогрев, пуск и прогрев в режиме холостого хода) с применением предпускового подогревателя и подогрева аккумуляторной батареи при температуре -60°C не должно превышать 45 мин.

2.7. ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ И МЕТОДЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ПУСКА

Стартеры обладают достаточно высокой эксплуатационной надежностью и поэтому не требуют частых технического обслуживания и регулировок. Рекомендуется при проведении ТО-2 проверять состояние силовых контактов стартерной цепи (крепление наконечников проводов к выводам тягового реле, реле включения, контакты аккумуляторной батареи). Техническое обслуживание стартера рекомендуется производить перед зимней эксплуатацией примерно через 40 тыс. км при снятии его с автомобиля. При этом осуществляют следующие операции: внешний осмотр; проверку осевого зазора вала якоря и подвижность щеток в щеткодержателях; контроль высоты щеток (если она меньше допустимой, то их заменяют); контроль динамометром давления щеточных пружин; проверку работы механизма привода.

Неисправности в самом стартере определяют после его разборки. Проверяют состояние обмоток возбуждения и якоря, коллектора, подшипников, а также исправность тягового реле.

После ремонта стартера с его разборкой регулируют тяговое реле и проверяют работу стартера в режимах холостого хода и полного торможения на специальных стендах. При проверках стартеров на специальных стендах используют провода, размеры которых соответствуют размерам проводов, применяемых в эксплуатации для данного типа стартера. Аккумуляторная батарея должна быть исправна и заряжена не менее чем на 75%.

При проверке на холостом ходу замеряют частоту вращения якоря $n_{сх}$ (тахометром) и потребляемый им ток $I_{сх}$. Эти параметры дают возможность определить качество сборки стартера.

В режиме полного торможения измеряют момент $M_{ст}$ полного торможения (динамометром) и силу тока $I_{ст}$. Эти параметры определяют состояние электрических и магнитных цепей стартера. В этом режиме определяют также внутреннее сопротивление стартера $R_c = U_{ст}/I_{ст}$. Последовательность поиска дефектов в системе пуска зависит от характерных признаков неисправностей. Если при включении стартера тяговое реле не срабатывает (нет характерного щелчка), то проверяют состояние аккумуляторной батареи, электрические цепи промежуточного и тягового реле, состояние наконечников проводов и исправность выключателя стартера.

Если после срабатывания тягового реле коленчатый вал двигателя не проворачивается, то также необходимо вначале проверить

Глава 2. Система пуска

аккумуляторную батарею и состояние клемм силовых проводов, а затем последовательно состояние контактов включения стартера тягового реле, качество соединения корпуса стартера с «массой» (корпусом) ДВС, состояние коллектора, щеток и обмоток электродвигателя.

Вращение электродвигателя стартера при замыкании контактных болтов на корпусе тягового реле проводом большого сечения указывает на его исправность. Для проверки исправности тягового реле необходимо общий вывод его обмоток соединить с положительной клеммой аккумуляторной батареи, минуя контакты реле включения и замка зажигания. Исправность выключателя зажигания и целостность его цепей управления проверяют путем подключения обмотки реле включения непосредственно к аккумуляторной батарее.

Техническое диагностирование и обслуживание стартерной аккумуляторной батареи, являющейся одним из основных элементов системы пуска, описываются в гл. 1.

Вопросы для самоконтроля

1. Из каких основных элементов состоит система пуска?
2. Какие функции выполняет приводной механизм стартера?
3. Как изменяются электромеханические характеристики стартера при изменении вольт-амперной характеристики аккумуляторной батареи?
4. Чем определяется момент сопротивления двигателя прокручиванию?
5. От каких факторов зависит минимальная пусковая частота вращения двигателя?
6. Как выбирается мощность электропусковой системы?
7. В чем заключаются операции по техническому обслуживанию системы пуска?
8. Каковы перспективы в развитии конструкции и характеристик элементов системы пуска?

ГЛАВА 3. СИСТЕМА ЗАЖИГАНИЯ

3.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Рабочая смесь воспламеняется в камере сгорания автомобильного бензинового двигателя как в период пуска, так и во время его работы посредством электрического разряда между электродами свечи, ввернутой в головку цилиндра двигателя. На прогретом двигателе к моменту искрообразования рабочая смесь сжата и имеет температуру, близкую к температуре самовоспламенения. В этом случае достаточно незначительной энергии электрического разряда – около 5 мДж.

Однако имеется ряд режимов работы двигателя, когда требуется значительная энергия искры – 30...100 мДж. К таким режимам следует отнести пусковой режим, работу на бедных смесях при частичном открытии дросселя, работу на холостом ходу, работу при резких открытиях дросселя.

Электрическая искра вызывает появление в ограниченном объеме рабочей смеси первых активных центров, от которых начинается развитие химической реакции окисления топлива. Воспламенение рабочей смеси является началом бурной реакции окисления топлива, сопровождающейся выделением тепла.

Система зажигания двигателя предназначена для генерации импульсов высокого напряжения, вызывающих вспышку рабочей смеси в камере сгорания двигателя, синхронизации этих импульсов с требуемой фазой двигателя и распределения импульсов зажигания по цилиндрам двигателя. От энергии искры в момент зажигания рабочей смеси в значительной степени зависят экономичность и устойчивость работы двигателя, а также токсичность отработавших газов.

В настоящее время на автомобильных бензиновых двигателях широко применяют батарейные системы зажигания, которые позволяют преобразовать напряжение автомобильной аккумуляторной батареи в высокое напряжение, необходимое для возникновения электрического разряда, и в требуемый момент подать это напряжение на соответствующую свечу зажигания. Момент зажигания характеризуется углом опережения зажигания, который представляет собой угол поворота коленчатого вала, отсчитываемый от положения вала в момент подачи искры до положения, когда поршень приходит в верхнюю мертвую точку (ВМТ). Известные ныне системы зажигания получают необходимую энергию не непосредственно от аккумуляторной батареи, а от промежуточного накопителя энергии.

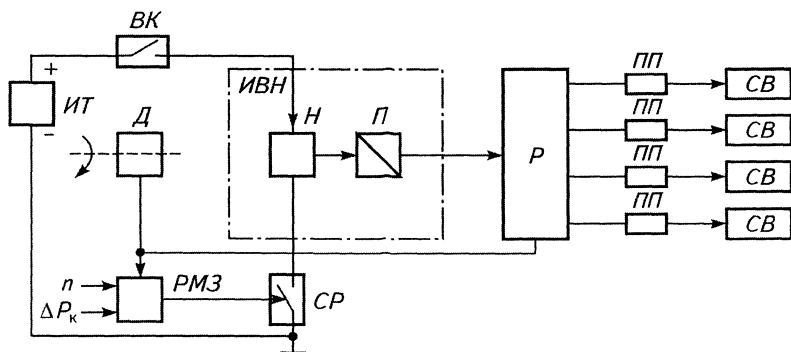


Рис. 3.1. Структурная схема батарейной системы зажигания

В зависимости от накопителя различают системы с накоплением энергии в индуктивности и емкости.

Батарейная система зажигания (рис. 3.1) состоит из следующих основных элементов:

- источника тока *ИТ*, функцию которого выполняет аккумуляторная батарея;
- выключателя цепи питания *ВК*, функцию которого выполняет выключатель зажигания;
- датчика синхронизатора *Д*, который механическим способом связан с коленчатым валом двигателя и определяет угловое положение коленчатого вала;
- регулятора момента зажигания *РМЗ*, который механическим или электрическим способом управляет моментом подачи искры в зависимости от частоты вращения n или нагрузки двигателя (ΔP_k – разрежение в коллекторе);
- источника высокого напряжения *ИБН*, содержащего накопитель энергии *Н* и преобразователь *П* низкого напряжения в высокое;
- силового реле *СР*, которое представляет собой электромеханический ключ (контакты прерывателя) или электронный ключ (мощный транзистор), управляется *РМЗ* и служит для подключения и отключения *ИТ* к накопителю *ИБН*, т. е. управляет процессами накопления и преобразования энергии;
- распределителя импульсов высокого напряжения *Р*, который механическим, либо электрическим способом распределяет высокое напряжение по соответствующим цилиндрам двигателя;
- элементов помехоподавления *ПП*, функции которых выполняют экранированные провода и помехоподавительные резисторы,

размещенные либо в распределителе P , либо в свечных наконечниках, либо в высоковольтных проводах в виде распределенного сопротивления;

– свечей зажигания CB , которые служат для образования искрового разряда и зажигания рабочей смеси в камере сгорания двигателя.

3.2. КЛАССИФИКАЦИЯ БАТАРЕЙНЫХ СИСТЕМ ЗАЖИГАНИЯ

В батарейных системах зажигания используется катушка (или несколько катушек) зажигания в качестве источника импульсов высокого напряжения. Системы зажигания в представленной на рис. 3.2 классификационной схеме подразделены по шести основным признакам: способу управления (синхронизации) системы зажигания; способу регулирования угла опережения зажигания; способу накопления энергии; типу силового реле (способу коммутации первичной цепи катушки зажигания); способу распределения импульсов высокого напряжения по цилиндрам двигателя; типу защиты от радиопомех.

По способу управления системы зажигания делят на системы с контактным управлением (контактные) и системы с бесконтактным управлением (бесконтактные). Системам с контактным управлением присущи недостатки, связанные с износом и разрегулировкой контактов, ограниченные скоростные режимы из-за вибрации контактов и т. п. В бесконтактных системах зажигания управление осуществляется специальными бесконтактными датчиками, что позволяет избежать указанных недостатков систем с контактным управлением.

Внутри этих двух классов системы отличаются как схемными конструктивными решениями, так и применяемыми электронными коммутирующими приборами, датчиками, способами накопления энергии, регулирования угла опережения зажигания, распределением импульсов высокого напряжения по цилиндрам.

В более простых системах зажигания для регулирования угла опережения используются механические центробежный и вакуумный автоматы, которые реализуют весьма простые зависимости. Механические автоматы со временем изнашиваются, что приводит к погрешности момента искрообразования и ухудшению процесса сгорания рабочей смеси.

Дополнительные погрешности возникают также и в результате использования механической понижающей передачи от коленчатого вала двигателя к распределителю.

Глава 3. Система зажигания

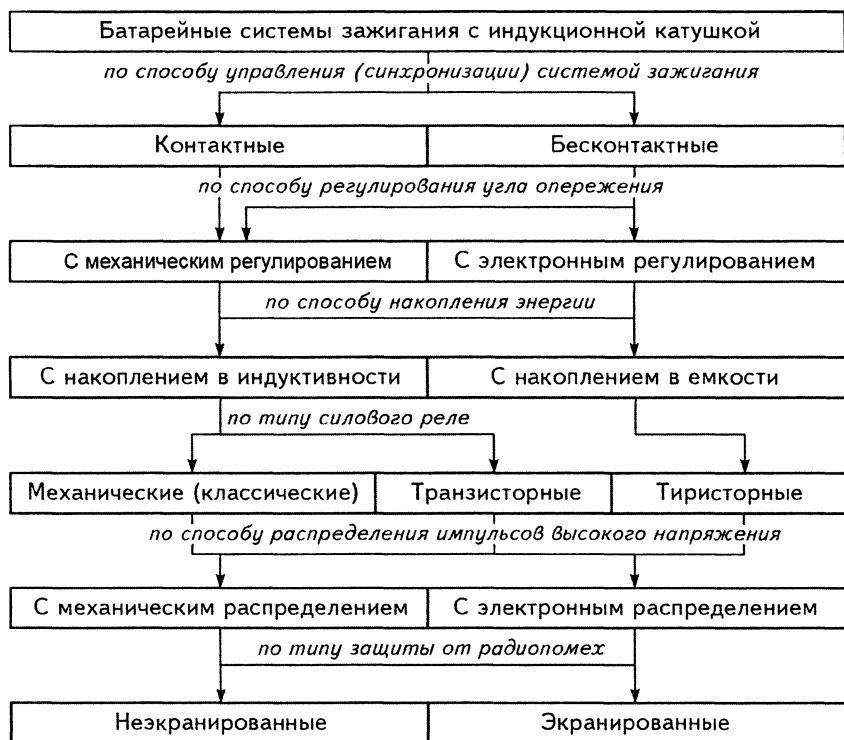


Рис. 3.2. Классификационная схема батарейных систем зажигания

В последнее время благодаря большим достижениям в области электроники и микроэлектроники создаются системы зажигания, в которых полностью отсутствуют механические устройства управления, а следовательно, и ограничения, свойственные им. Эти системы, осуществляющие управление моментом зажигания по большому числу параметров, приближая угол опережения к оптимальному, получили общее название – системы с электронным регулированием угла опережения зажигания. Среди способов реализации этих систем можно выделить два: аналоговый и цифровой. Цифровые системы зажигания благодаря развитию технологии производства цифровых интегральных схем средней и большой степени интеграции являются наиболее совершенными. Одним из последних достижений в этой области являются микропроцессорные системы.

Применение электроники позволяет полностью исключить механические узлы, например вращающийся высоковольтный распре-

делитель энергии. Функцию распределителя исполняют многовыводные (на 2, 4, 6 выводов) катушки зажигания или катушечные модули, управляемые контроллером. В системах со статическим распределением энергии благодаря отсутствию вращающегося бегунка и связанного с ним искрения значительно ниже уровень электромагнитных помех.

В ряде случаев, например на автомобилях высокого класса, требуется максимальное снижение уровня помех радиоприему, телевидению и средствам связи как на самом автомобиле, так и на внешних объектах. С этой целью высоковольтные детали и провода, а также сами узлы системы зажигания экранируются. Такие системы зажигания называются *экранированными*.

Все системы зажигания разделяются также на две группы, отличающиеся способами накопления энергии (в индуктивности или емкости) и способами коммутации первичной цепи катушки зажигания (типом силового реле). На автомобильных двигателях широкое применение нашли системы зажигания с накоплением электромагнитной энергии в магнитном поле катушки, использующие контактные или транзисторные прерыватели. В тиристорных системах зажигания энергия для искрового разряда накапливается в конденсаторе, а в качестве силового реле применяется тиристор. В этих системах катушка зажигания не накапливает энергию, а лишь преобразует напряжение. Характерной особенностью тиристорных систем зажигания является высокая скорость нарастания вторичного напряжения, поэтому пробой искрового промежутка свечи надежно обеспечивается даже при загрязненном и покрытом нагаром изоляторе свечи. Кроме того, в тиристорных системах вторичное напряжение может быть практически постоянным при изменении частоты вращения коленчатого вала двигателя до максимальной, так как конденсатор успевает полностью зарядиться на всех режимах работы двигателя. Однако тиристорные системы зажигания имеют сравнительно малую продолжительность индуктивной составляющей искрового разряда (не более 300 мкс), что приводит к ухудшению воспламеняемости и сгорания рабочей смеси в цилиндрах двигателя на режимах частичных нагрузок. Многочисленными исследованиями установлено, что в режимах частичных нагрузок и при работе двигателя на сильно обедненных рабочих смесях требуется продолжительность индуктивной составляющей искрового разряда не менее 1,5–2 мс, что достаточно просто реализуется в системах зажигания с накоплением энергии в индуктивности. Последние достижения в области создания транзисторных систем зажигания,

в частности применение принципа нормирования времени накопления энергии, позволили практически устранить такие недостатки индуктивных систем, как большая зависимость вторичного напряжения от шунтирующего сопротивления на изоляторе свечи и от частоты вращения коленчатого вала.

Перечисленные достоинства и простота реализации предопределили широкое использование систем зажигания с накоплением энергии в индуктивности на автомобильных двигателях. Системы зажигания с накоплением энергии в емкости нашли широкое применение на газовых и высокооборотных мотоциклетных двигателях, которые не критичны к длительности искрового разряда.

В соответствии с классификационной схемой (см. рис. 3.2) различают следующие системы зажигания, которые серийно выпускаются у нас в стране и за рубежом или по прогнозам готовятся к производству в ближайшие годы: батарейная с механическим прерывателем, или классическая; контактно-транзисторная; контактно-тиристорная; бесконтактно-транзисторная; цифровая с механическим распределителем; микропроцессорная система управления автомобильным двигателем (МСУАД).

3.3. ТРЕБОВАНИЯ К СИСТЕМАМ ЗАЖИГАНИЯ. ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ

Исходя из условий работы ДВС к системам зажигания предъявляют следующие основные требования:

- система зажигания должна развивать напряжения, достаточные для пробоя искрового промежутка свечи, обеспечивая при этом бесперебойное искрообразование на всех режимах работы двигателя;

- искра, образующаяся между электродами свечи, должна обладать достаточными энергией и продолжительностью для воспламенения рабочей смеси при всех возможных режимах работы двигателя;

- момент зажигания должен быть строго определенным и соответствовать условиям работы двигателя;

- работа всех элементов системы зажигания должна быть надежной при высоких температурах и механических нагрузках, которые возникают на двигателе;

- эрозия электродов свечи должна находиться в пределах допуска.

Исходя из этих требований любая система зажигания характеризуется следующими основными параметрами:

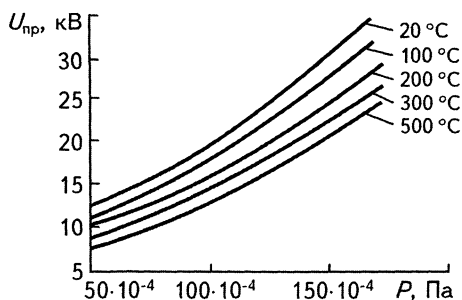


Рис. 3.3. Влияние давления и температуры на пробивное напряжение

- развиваемым вторичным напряжением в пусковом и рабочем режимах работы U_{2m} ;
- коэффициентом запаса по вторичному напряжению K_3 ;
- скоростью нарастания вторичного напряжения dU_{2m}/dt ;
- энергией W_p и длительностью индуктивной составляющей искрового разряда τ_p ;
- зазором между электродами свечей δ ;

– углом опережения зажигания θ .

Коэффициентом запаса по вторичному напряжению K_3 называется отношение вторичного напряжения U_{2m} , развиваемого системой зажигания, к пробивному напряжению $U_{пр}$ между электродами свечи, установленной на двигателе: $K_3 = U_{2m} / U_{пр}$.

Пробивным напряжением называется напряжение, при котором происходит пробой искрового промежутка свечи. При этом свеча, ввернутая в камеру сгорания двигателя, является своеобразным разрядником. Пробивное напряжение для однородных полей согласно экспериментальному закону Пашена прямо пропорционально давлению смеси p и зазору между электродами δ и обратно пропорционально температуре смеси T , т. е. $U_{пр} = f(p_\delta / T)$. Кроме того, на напряжение $U_{пр}$ оказывают влияние состав смеси, длительность и форма приложенного напряжения, полярность пробивного напряжения, материал электродов и условия работы двигателя. Так, например, при пуске холодного двигателя стенки цилиндра и электроды свечи холодные, всасываемая топливно-воздушная смесь имеет низкую температуру и плохо перемешана. При сжатии смесь слабо нагревается и капли топлива не испаряются. Попадая в межэлектродное пространство свечи, такая смесь увеличивает пробивное напряжение на 15...20%. На рис. 3.3 приведены зависимости $U_{пр}$ от давления при различных температурах.

Увеличение частоты вращения коленчатого вала двигателя первоначально вызывает некоторое увеличение пробивного напряжения ввиду роста давления сжатия, однако далее происходит уменьшение $U_{пр}$, так как ухудшается наполнение цилиндров свежей смесью и возрастает температура центрального электрода свечи.

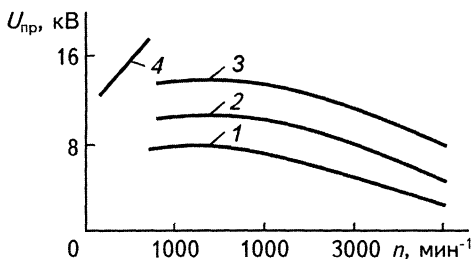


Рис. 3.4. Зависимость пробивного напряжения от частоты вращения коленчатого вала:

1 – при полной нагрузке; 2 – при половинной нагрузке; 3 – при малой нагрузке; 4 – при пуске и холостом ходе

Максимального значения пробивное напряжение достигает при пуске и разгоне двигателя, минимального – при работе на установившемся режиме на максимуме мощности. На рис. 3.4 показаны зависимости пробивного напряжения $U_{пр}$ от частоты вращения коленчатого вала двигателя при различных нагрузках.

В течение первых 2 тыс. км пробега нового автомобиля пробивное напряжение повышается на 20...25% за счет округления кромок электродов свечи. В дальнейшем напряжение растет за счет износа электродов и увеличения зазора, что требует проверки и регулировки зазора в свечах через каждые 10... 15 тыс. км пробега. Если двигатель работает на неуставившихся режимах в результате неоднородности рабочей смеси, поступающей в цилиндры, пробивное напряжение в отдельных цилиндрах может значительно отличаться, а в некоторых случаях могут наблюдаться даже перебои искрообразования.

Для современных систем зажигания коэффициент запаса по вторичному напряжению принимают не менее 1,5, а в экранированных – 1,3.

Параметры искрового разряда – энергия, длительность – влияют на развитие начала процесса сгорания в цилиндрах двигателя (в режимах пуска, холостого хода, неуставившихся режимах и при частичных нагрузках). Установлено, что увеличение энергии и продолжительности индуктивной составляющей искрового разряда обеспечивают большую надежность воспламенения смеси и снижение расхода топлива на этих режимах.

Момент зажигания – появление искрового разряда в свече – оказывает существенное влияние на мощность, экономичность и токсичность двигателя. Для каждого режима работы двигателя

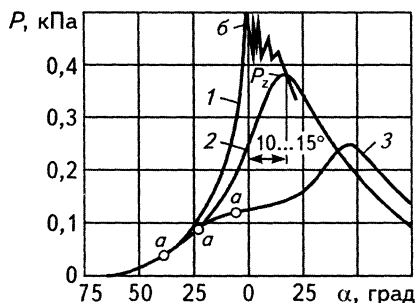


Рис. 3.5. Изменение давления в цилиндре двигателя в зависимости от момента зажигания:

a — момент зажигания; b — детонация, 1, 2 и 3 — соответственно раннее, нормальное и позднее зажигание; p_z — максимум давления цилиндра

имеется оптимальный момент зажигания, обеспечивающий наилучшие его показатели. При слишком раннем зажигании сгорание смеси происходит целиком в такте сжатия при возрастании давления. Поршень испытывает сильный встречный удар, тормозящий его движение. Внешними признаками раннего зажигания являются снижение мощности, металлический стук (детонация). При позднем зажигании после перехода поршня через ВМТ смесь сгорает в такте расширения и может догорать даже в выпускном трубопроводе. При этом двигатель перегревается из-за увеличения отдачи теплоты в охлаждающую жидкость и мощность его снижается.

Угол опережения зажигания влияет на изменение давления в цилиндре двигателя (рис. 3.5). Процесс сгорания оптимально протекает в том случае, когда угол опережения зажигания наиболее выгодный (кривая 2). Максимум мощности двигатель развивает, если наибольшее давление в цилиндре создается после ВМТ через $10...15^\circ$ угла поворота коленчатого вала двигателя, т. е. когда процесс сгорания заканчивается несколько позднее ВМТ. Наиболее выгодный угол опережения зажигания определяется временем, которое отводится на сгорание смеси, и скоростью сгорания смеси. В свою очередь время, отводимое на сгорание, зависит от частоты вращения коленчатого вала, а скорость сгорания определяется составом рабочей смеси и степенью сжатия.

По современным представлениям угол опережения зажигания должен выбираться с учетом частоты вращения коленчатого вала, нагрузки двигателя (рис. 3.6), температуры охлаждающей жидкости и всасываемого воздуха, атмосферного давления, состава отработавших газов, скорости изменения положения дроссельной заслонки (разгон, торможение).

Кроме обеспечения наиболее выгодного угла опережения, система зажигания должна обеспечивать очередность подачи высокого напряжения на свечи соответствующих цилиндров двигателя в соот-

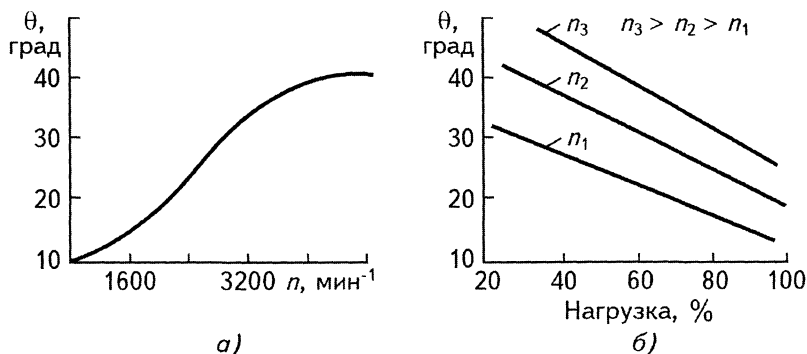


Рис. 3.6. Зависимости наилучшего угла опережения зажигания: а – от частоты вращения коленчатого вала двигателя; б – от нагрузки при различной частоте вращения

ветствии с порядком работы. Одним из важных требований эксплуатации к системам зажигания является сохранение их исходных характеристик без изменений в течение всего срока службы двигателя при минимуме ухода.

3.4. КЛАССИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЗАЖИГАНИЯ

3.4.1. Принцип работы

Классическая система батарейного зажигания с одной катушкой и многоискровым механическим распределителем до сих пор применяется на автомобилях. Главным достоинством этой системы является ее простота, обеспечиваемая двойной функцией механизма распределителя: прерывание цепи постоянного тока для генерирования высокого напряжения и синхронное распределение высокого напряжения по цилиндрам двигателя.

Принципиальная схема классической системы зажигания состоит из следующих элементов (рис 3.7):

- источника тока – аккумуляторной батареи 1; катушки зажигания (индукционной катушки) 5, которая преобразует токи низкого напряжения в токи высокого напряжения. Между первичной и вторичной обмотками существует автотрансформаторная связь;

- прерывателя 17, содержащего рычажок 6 с подушечкой 7 из текстолита, поворачивающийся около оси, контакты прерывателя 8, кулачок, имеющий число граней, равное числу цилиндров. Неподвижный контакт прерывателя присоединен к «массе»; подвижный

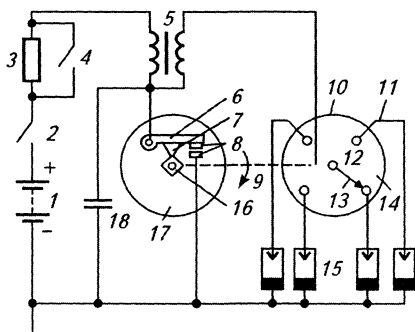


Рис. 3.7. Принципиальная схема классической системы зажигания

контакт укреплен на конце рычажка. Если подушечка не касается кулачка, контакты замкнуты под действием пружины. Когда подушечка находит на грань кулачка, контакты размыкаются. Прерыватель управляет размыканием и замыканием контактов и моментом подачи искры;

– конденсатора первичной цепи 18, подключенного параллельно контактам 8, который является составным элементом колебательного контура в первичной цепи после размыкания контактов;

– распределителя 14, включающего в себя бегунок 12, крышку 10, на которой расположены неподвижные боковые электроды 11 (число которых равно числу цилиндров двигателя) и неподвижный центральный электрод, который подключается через высоковольтный провод к катушке зажигания. Боковые электроды через высоковольтные провода соединяются с соответствующими свечами зажигания. Высокое напряжение к бегунку 12 подается через центральный электрод с помощью скользящего угольного контакта. На бегунке имеется электрод 13, который отделен воздушным зазором от боковых электродов 11. Бегунок 12 распределителя и кулачок 16 прерывателя находятся на одном валу, который приводится во вращение зубчатой передачей от распределительного вала двигателя с частотой, вдвое меньшей частоты вращения коленчатого вала. Прерыватель и распределитель расположены в одном аппарате, называемом *распределителем зажигания*;

– свечей зажигания 15, число которых равно числу цилиндров двигателя;

– выключателя зажигания 2;

– добавочного резистора 3 ($R_{доб}$), который уменьшает тепловые потери в катушке зажигания, дает возможность усилить зажигание. (При пуске двигателя $R_{доб}$ шунтируется выключателем 4 одновременно с включением стартера.) Добавочный резистор изготавливают из нихрома или константана и наматывают на керамический изолятор.

Принцип работы классической системы батарейного зажигания состоит в следующем. При вращении кулачка 16 контакты 8 попеременно замыкаются и размыкаются. После замыкания контактов (в

случае замкнутого выключателя 2) через первичную обмотку катушки зажигания 5 протекает ток, нарастая от нуля до определенного значения за данное время замкнутого состояния контактов. При малых частотах вращения валика 9 распределителя 14 ток может нарастать до установившегося значения, определенного напряжением аккумуляторной батареи и омическим сопротивлением первичной цепи (установившийся ток). Протекание первичного тока вызывает образование магнитного потока, сцепленного с витками первичной и вторичной обмоток, и накопление электромагнитной энергии.

После размыкания контактов прерывателя как в первичной, так и во вторичной обмотке индуцируется ЭДС самоиндукции. Согласно закону индукции вторичное напряжение тем больше, чем быстрее исчезает магнитный поток, созданный током первичной обмотки, больше первичный ток в момент разрыва и больше число витков во вторичной обмотке.

В результате переходного процесса во вторичной обмотке возникает высокое напряжение, достигающее 15...20 кВ. В первичной обмотке также индуцируется ЭДС самоиндукции, достигающая 200...400 В, направленная в ту же сторону, что и первичный ток, и стремящаяся задержать его исчезновение. При отсутствии конденсатора 18 ЭДС самоиндукции вызывает образование между контактами прерывателя во время их размыкания сильной искры, носящей дуговой характер. При наличии конденсатора 18 искрообразование уменьшается, так как ЭДС самоиндукции создает ток, заряжающий конденсатор. В следующий период времени конденсатор разряжается через первичную обмотку катушки и аккумуляторную батарею. Таким образом, конденсатор 18 практически устраняет дугообразование в прерывателе, обеспечивая долговечность контактов и индуцирование во вторичной обмотке достаточно высокой ЭДС.

Вторичное напряжение подводится к бегунку распределителя, а затем через электроды в крышке и высоковольтные провода поступает к свечам соответствующих цилиндров. На рис. 3.8 приведены характеристики электрических сигналов в первичной и вторичной цепях системы зажигания.

3.4.2. Регулирование угла опережения зажигания

Для регулирования угла опережения зажигания в соответствии с режимами работы двигателя при различных эксплуатационных условиях классическая система зажигания снабжается автоматическими и ручными регуляторами. Автоматическое регулирование угла

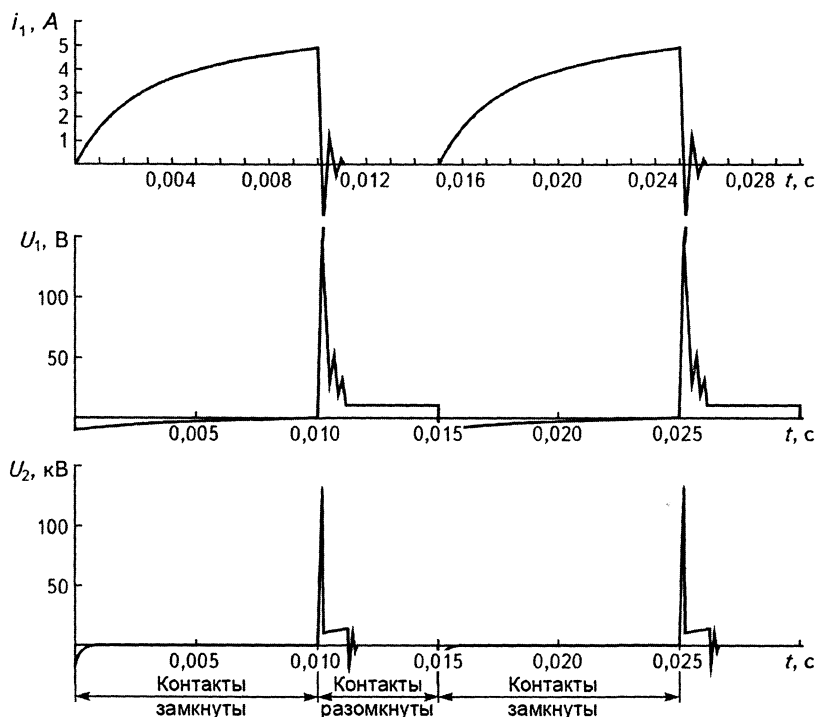


Рис. 3.8. Характеристики электрических сигналов в первичной и вторичной цепях системы зажигания:

1 – первичный ток; 2 – импульс первичного напряжения; 3 – импульс вторичного напряжения

опережения зажигания в зависимости от частоты вращения коленчатого вала обеспечивается центробежным регулятором, а в зависимости от нагрузки – вакуумным регулятором.

Центробежный регулятор опережения зажигания (рис. 3.9). На ведущем валике 4 закреплена пластина с осями 7 для установки грузиков 3. Грузики могут проворачиваться вокруг осей 7 и связаны между собой пружинами 6. На каждом грузике имеется штифт 5, входящий в прорези пластины 2, укрепленной на втулке кулачка 1. Привод кулачка осуществляется от валика через грузики.

С увеличением частоты вращения, начиная с некоторого ее значения, грузики под действием центробежной силы расходятся. При этом штифты, двигаясь в прорезях пластины, поворачивают ее и связанный с ней кулачок в сторону вращения ведущего валика.

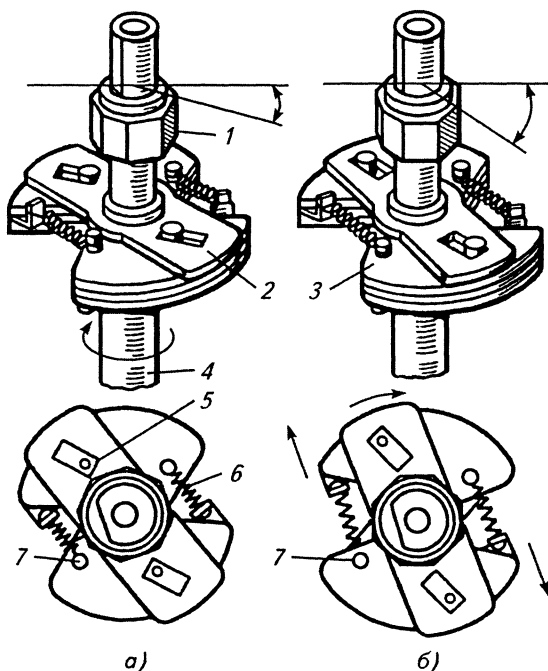


Рис. 3.9. Центробежный регулятор:
а – положение грузиков на холостом ходу двигателя; б – положение грузиков при максимальной частоте вращения вала двигателя

Вследствие этого контакты размыкаются раньше. При уменьшении частоты вращения грузики с помощью возвратных пружин возвращаются в исходное положение. Пружины имеют различную жесткость, что позволяет получить требуемый закон изменения угла опережения зажигания при изменении частоты вращения двигателя. На рис. 3.10 приведены типовые характеристики центробежных регуляторов, представляющие собой зависимость угла опережения зажигания по валу распределителя θ_p от частоты его вращения. При достижении определенной частоты вращения грузики полностью расходятся и автомат перестает работать. Характеристика становится горизонтальной.

Вакуумный автомат опережения зажигания регулирует момент зажигания при изменении угла открытия дроссельной заслонки, т. е. при изменении нагрузки двигателя. При малых нагрузках двигателя уменьшается наполнение цилиндров рабочей смесью и, следова-

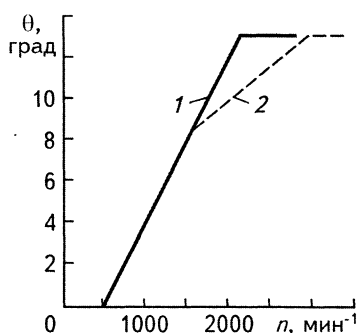


Рис. 3.10. Типовые характеристики центробежных регуляторов:
1 – пружины с одинаковыми характеристиками жесткости; 2 – пружины с разными характеристиками жесткости

тельно, давление в момент воспламенения. В то же время увеличивается загрязнение смеси остаточными газами, что приводит к уменьшению скорости сгорания, а это требует увеличения угла опережения зажигания. С увеличением нагрузки процент остаточных газов уменьшается. Коэффициент избытка воздуха находится в пределах 0,8...0,9. Такая смесь имеет наибольшую скорость сгорания, поэтому угол опережения зажигания должен быть минимальным.

Устройство вакуумного автомата показано на рис. 3.11. Полость вакуумного регулятора, в которой размещена пружина 6, соединяется трубкой 5 со смесительной камерой карбюратора под дроссельной заслонкой. Полость регулятора с левой стороны диафрагмы сообщается с атмосферой. К диафрагме 7 прикреплена тяга 9. Она связана шарниром с подвижной пластиной 11, на которой установлен прерыватель. При уменьшении нагрузки двигателя дроссельная заслонка прикрывается и разрежение в месте подсоединения вакуумного регулятора, а следовательно, и в полости правой стороны диафрагмы увеличивается. Под действием разности давлений диафрагма, преодолевая усилия пружины, перемещается и тягой поворачивает подвижную пластину вместе с прерывателем навстречу направлению вращения кулачка. Угол опережения зажигания увеличивается.

С увеличением нагрузки двигателя дроссельная заслонка открывается, разрежение в полости регулятора уменьшается и пружина перемещает влево диафрагму и связанную с ней тягу. Тяга поворачивает подвижную пластину и прерыватель в направлении вращения кулачка, уменьшая таким образом угол опережения зажигания. Отверстие для подсоединения трубки регулятора расположено таким образом, что при холостом ходе двигателя заслонка карбюратора перекрывает отверстие, и оно оказывается на стороне диффузора карбюратора. Разрежение в полости регулятора небольшое, и регулятор опережения не работает.

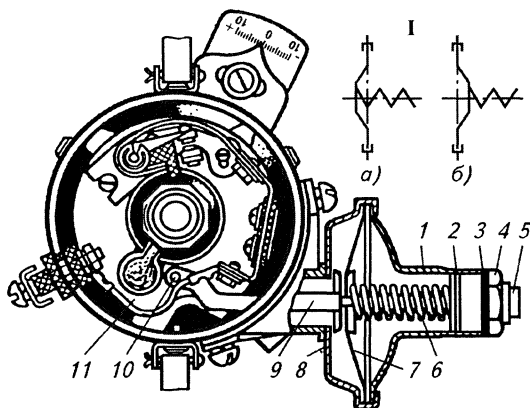


Рис. 3.11. Вакуумный регулятор:

1 – крышка корпуса; 2 и 3 – соответственно регулировочная и уплотнительная прокладки; 4 – штуцер трубки; 5 – трубка; 6 – пружина; 7 – диафрагма; 8 – корпус регулятора; 9 – тяга; 10 – ось тяги; 11 – подвижная пластина прерывателя; / – положения диафрагмы вакуумного регулятора при большей (а) и меньшей (б) нагрузках на двигатель

Октан-корректор. Для установки начального угла опережения или для корректировки угла опережения зажигания в зависимости от октанового числа топлива корпус большинства распределителей делается подвижным и снабжается установочным винтом и шкалой с делениями. В зависимости от октанового числа бензина корпус распределителя закрепляют в нужном положении. Это устройство называют октан-корректором.

Три описанных устройства регулируют угол опережения зажигания независимо: центробежный регулятор поворачивает кулачок прерывателя, вакуумный регулятор (автомат) – пластину прерывателя, октан-корректор – корпус распределителя. Реальный угол опережения зажигания складывается из угла начальной установки и углов, автоматически устанавливаемых центробежным и вакуумным регуляторами. На рис. 3.12 представлена зависимость угла опережения зажигания от частоты вращения коленчатого вала и нагрузки двигателя.

3.4.3. Конструкция аппаратов зажигания

Катушки зажигания. По конструкции магнитной цепи катушки зажигания разделяются на два типа: с разомкнутой (рис. 3.13,а) и замкнутой (рис. 3.13,б) цепями.

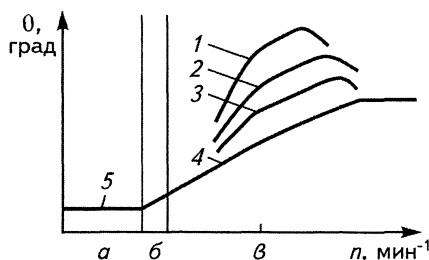


Рис. 3.12. Характеристика изменения момента зажигания при совместной работе регулятора опережения: а – область пуска; б – область холостого хода; в – рабочая область; 1 – $1/4$ нагрузки; 2 – $1/2$ нагрузки; 3 – $3/4$ нагрузки; 4 – полная нагрузка (вакуумный автомат выключен); 5 – установочный угол

В катушках с разомкнутой магнитной цепью значительную часть пути магнитный поток проходит по воздуху. Поэтому в воздушном пространстве сосредоточивается основная часть электромагнитной энергии. В катушках с замкнутой магнитной цепью основную часть пути магнитный поток проходит через стальной магнитопровод и только лишь незначительную часть пути – через воздушные зазоры в несколько десятых миллиметра каждый.

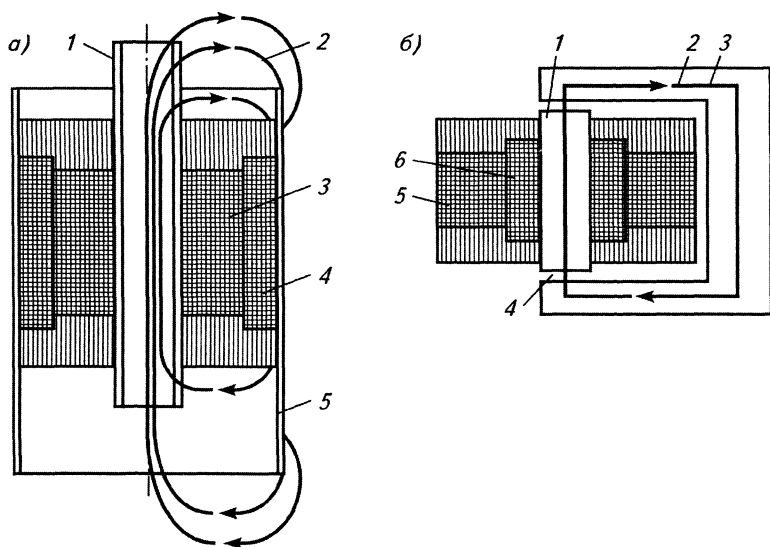


Рис. 3.13. Схемы катушек зажигания:

а – с разомкнутой магнитной цепью: 1 – сердечник; 2 – линия магнитного потока; 3 и 4 – соответственно вторичная и первичная обмотки; 5 – наружный магнитопровод; б – с замкнутой магнитной цепью: 1 – сердечник; 2 – наружный магнитопровод; 3 – средняя линия магнитного потока; 4 – воздушный зазор; 5 и 6 – соответственно вторичная и первичная обмотки

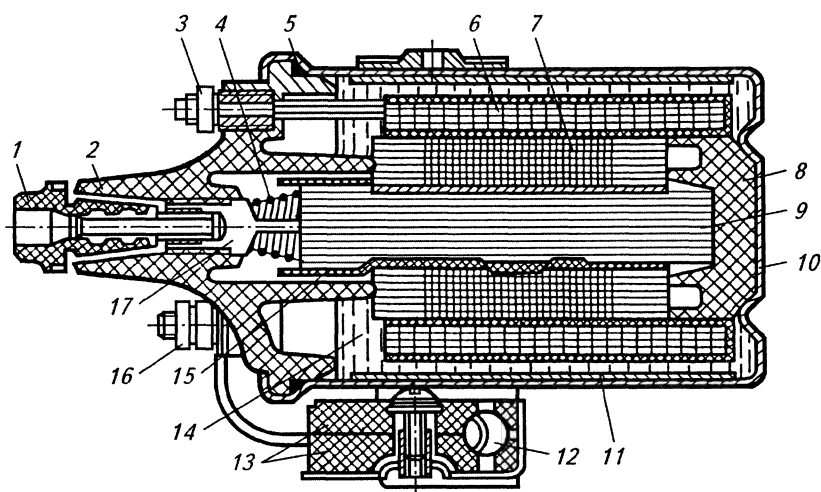


Рис. 3.14. Катушка зажигания:

1 – наконечник высоковольтного провода; 2 – крышка; 3 – низковольтная клемма; 4 – контактная пружина; 5 – прокладка; 6 и 7 – соответственно первичная и вторичная обмотки; 8 и 13 – изоляторы; 9 – сердечник; 10 – корпус катушки; 11 – наружный магнитопровод; 12 – добавочный резистор; 14 – трансформаторное масло; 15 – контактная пластина высокого напряжения; 16 – низковольтные клеммы ВК, ВК-Б; 17 – клемма высокого напряжения

Электромагнитная энергия запасается как в воздушных зазорах, так и в стали. В катушках с замкнутой магнитной цепью затраты меди меньше, чем в катушках с разомкнутой цепью. В отношении затрат стали имеет место обратное явление. В катушках с разомкнутой магнитной системой первичная обмотка располагается поверх вторичной, что связано с лучшими условиями охлаждения и меньшей массой провода вторичной обмотки.

В катушках с замкнутой магнитной системой первичная обмотка располагается внутри вторичной, что связано с условиями отвода вторичного напряжения при наличии сердечника.

На рис. 3.14 приведен разрез типовой автомобильной катушки зажигания, которая представляет собой электрический автотрансформатор с разомкнутой магнитной цепью. Сердечник 9 катушки набран из пластин трансформаторной стали толщиной 0,35 мм, изолированных друг от друга окалиной. На сердечник надета изолирующая трубка, на которую намотана вторичная обмотка 7. Каж-

дый слой этой обмотки изолирован конденсаторной бумагой, а последние слои намотаны с зазором между витками 2...3 мм, чтобы уменьшить опасность пробоя изоляции.

Первичная обмотка 6 расположена поверх вторичной обмотки, что облегчает отвод от нее тепла. Корпус 10 катушки штампованный из листовой стали. Внутри корпуса установлен наружный магнитопровод 11 из трансформаторной стали. Фарфоровый изолятор 8 и карболитовая крышка 2 предотвращают возможность пробоя между сердечником и корпусом катушки. Крышка имеет четыре выходные клеммы: центральную высоковольтную 17 и три низковольтных – безымянную 3 и клеммы ВК и ВК-Б 16 (клемма ВК-Б на рисунке не видна). Один конец вторичной обмотки выводится к клемме высокого напряжения 17 через контактную пластину 15, сердечник и пружину 4. Высоковольтная клемма 17 с помощью наконечника 1 соединяется через высоковольтный провод с центральным электродом крышки распределителя. Другой конец вторичной обмотки и конец первичной обмотки соединены между собой (автотрансформаторная связь обмоток) и подведены к безымянной клемме 3 на крышке. Эта клемма соединяется с клеммой Р распределителя. Другой конец первичной обмотки соединен с клеммой ВК (16).

Число витков обмоток катушки зажигания зависит от ее типа и находится в пределах 220...300 для первичной и 18...25 тыс. для вторичной. Соответственно диаметр провода первичной обмотки 0,52...0,86 мм, а вторичной обмотки 0,07...0,09 мм. Коэффициент трансформации равен отношению числа витков вторичной обмотки к числу витков первичной обмотки (W_2/W_1) и находится в пределах 62...80.

Пространство между обмотками и корпусом катушки заполнено изолирующим наполнителем – трансформаторным маслом. Герметичность карболитовой крышки в кожухе обеспечивается прокладкой 5. К клеммам «ВК-Б» подсоединен добавочный резистор 12, установленный в керамическом изоляторе 13. Добавочный резистор может крепиться как на самой катушке (см. рис. 3.14), так и отдельно от нее. Сопротивление резистора в зависимости от типа катушки 1,0...1,9 Ом.

При пуске двигателя катушка зажигания питается от батареи, напряжение которой понижено (до 6...8 В) из-за потребления стартером большого тока, что приводит к снижению тока в первичной обмотке и развиваемого катушкой вторичного напряжения. С учетом этого обстоятельства первичная обмотка катушки зажигания

рассчитывается на напряжение 6...8 В, а остальное напряжение источника гасится в добавочном резисторе. Последний при пуске двигателя закорачивается и первичный ток возрастает, что обеспечивает вторичное напряжение, достаточное для пробоя искрового промежутка свечи.

В некоторых системах зажигания (например, для автомобилей семейства ВАЗ) добавочный резистор отсутствует, что обусловлено высокими характеристиками электропусковой системы, благодаря чему напряжение батареи при пуске снижается незначительно.

Распределители зажигания. Распределитель прерывает цепь первичной обмотки катушки зажигания и распределяет высокое напряжение по свечам в необходимой последовательности. Он включает в себя прерыватель с контактами, распределитель импульсов высокого напряжения, центробежный и вакуумный автоматы опережения зажигания, привод.

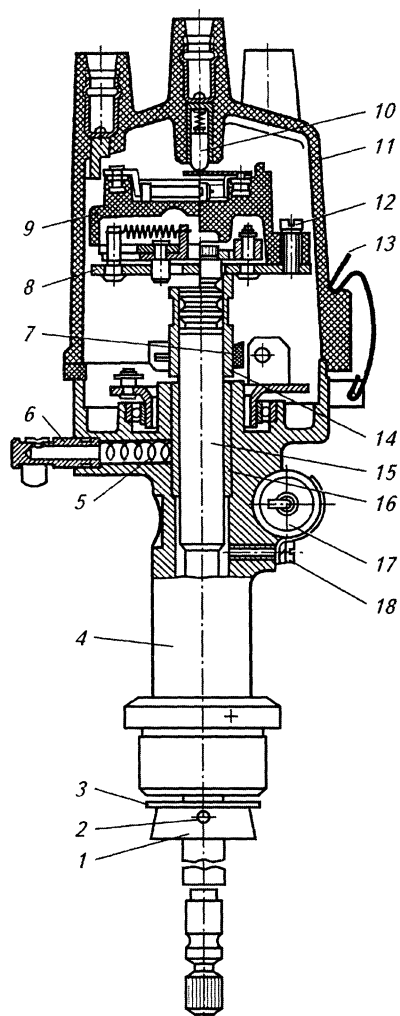
Наиболее ответственными узлами распределителя, от которых зависит работа всей системы зажигания, являются прерыватель и его контакты. Надежность и срок службы прерывателя ограничены из-за эрозии и коррозии контактов. Эрозия контактов, как правило, сопровождается переносом металла с одного контакта на другой. Коррозия вызывает образование на контактах непроводящих пленок и частичное или полное нарушение электрического контакта.

Перенос металла вызывает образование на одном из контактов бугров, а на другом кратеров, которые в конце концов приводят к нарушению установленного зазора. В свою очередь зазор между контактами играет большую роль в обеспечении надежной работы системы зажигания, так как от размера зазора зависит угол замкнутого состояния контактов или время, в течение которого нарастает ток в цепи первичной обмотки катушки зажигания. У распределителей большинства конструкций зазор между контактами прерывателя находится в пределах 0,35...0,45 мм.

Лучшим материалом для контактов прерывателя является вольфрам, так как он мало подвержен эрозии. Вольфрамовые контакты не свариваются и вследствие высокой твердости мало поддаются изнашиванию.

Распределители изготавливаются в зависимости от числа цилиндров двигателя 4, 6, 8-искровыми, а в зависимости от направления рабочего вращения кулачка прерывателя – левого и правого вращения.

Конструктивно прерыватель тока низкого напряжения и распределитель тока высокого напряжения объединены в одном корпусе.



Там же находятся центробежный и вакуумный регуляторы опережения зажигания, октан-корректор.

Распределитель 30.3706 (рис. 3.15) имеет корпус 4 из алюминиевого сплава, в котором вращается валик 15. Через масленку 6 закапывается масло для предотвращения сухого трения между валиком и втулкой 16 корпуса, которая изготавливается из металлокерамики. Прерыватель 7 смонтирован на одном узле с подшипниками. Наружная обойма подшипника запрессована в корпус прерывателя. На корпусе установлен конденсатор 17. На пластине кулачка 14 закреплен ротор-бегунок 9 с помехоподавительным сопротивлением. Корпус прерывателя закрыт крышкой 11, в центр которой установлен уголек 10, нагруженный пружиной. Крышка крепится к корпусу двумя пружинными защелками 13. Для предотвращения проникновения моторного масла под корпусом распределителя на валу установлен маслоотражательный диск 1. Распределитель приводится в действие от шестерни привода масляного насоса, в которую входят шлицы

Рис. 3.15. Распределитель 30.3706 автомобилей семейства ВАЗ:

1 – маслоотражательный диск; 2 – штифт; 3 – шайба; 4 – корпус; 5 – фильц; 6 – масленка; 7 – прерыватель; 8 – центробежный регулятор в сборе; 9 – ротор с помехоподавительным сопротивлением; 10 – угольный контакт; 11 – крышка; 12 и 18 – винты крепления соответственно ротора (бегунка) и конденсатора; 13 – пружинная защелка; 14 – кулачок; 15 – валик; 16 – втулка; 17 – конденсатор

вала распределителя. На корпусе устанавливается вакуумный автомат, который работает в зависимости от нагрузки двигателя (на рисунке не показан).

Особенностью конструкции распределителя 30.3706 является то, что центробежный регулятор 8 расположен в верхней части распределителя над четырехгранным кулачком 14 прерывателя.

3.5. РАБОЧИЙ ПРОЦЕСС БАТАРЕЙНОЙ СИСТЕМЫ ЗАЖИГАНИЯ

3.5.1. Общие сведения

Нормальным рабочим режимом любой системы батарейного зажигания, использующей индукционную катушку в качестве источника высокого напряжения, является переходный режим, в результате чего образуется искровой разряд в свече зажигания. Рабочий процесс может быть разбит на три этапа.

1. Замыкание контактов прерывателя. На этом этапе происходит подключение первичной обмотки катушки зажигания (накопителя) к источнику тока. Этап характеризуется нарастанием первичного тока и, как следствие этого, накоплением электромагнитной энергии, запасаемой в магнитном поле катушки.

2. Размыкание контактов прерывателя. Источник тока отключается от катушки зажигания. Первичный ток исчезает, в результате чего накопленная электромагнитная энергия превращается в электростатическую. Возникает ЭДС высокого напряжения во вторичной обмотке.

3. Пробой искрового промежутка свечи. В рабочих условиях при определенном значении напряжения происходит пробой искрового промежутка свечи с последующим разрядным процессом.

3.5.2. Замыкание контактов прерывателя

На 1-м этапе вторичная цепь практически не влияет на процесс нарастания первичного тока. Токи и напряжения во вторичной цепи при относительно малой скорости нарастания первичного тока незначительны. Вторичную цепь можно считать разомкнутой. Первичный конденсатор замкнут накоротко контактами К. Схема замещения для этого рабочего этапа приведена на рис. 3.16.

Процесс нарастания первичного тока согласно второму закону Кирхгофа описывается дифференциальным уравнением

$$U_6 = L_1 \frac{di_1}{dt} + i_1 R_1,$$

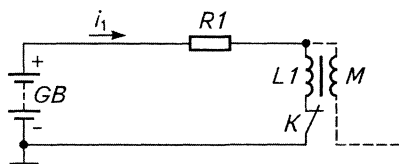


Рис. 3.16. Схема замещения классической системы зажигания после замыкания контактов прерывателя

где L_1 – индуктивность первичной обмотки; di_1/dt – скорость нарастания первичного тока; R_1 – полное сопротивление первичной цепи, представляющее собой сумму активного сопротивления первичной обмотки, сопротивлений добавочного резистора и проводов.

Решением этого уравнения является выражение

$$i_1 = \frac{U_6}{R_1} \left(1 - e^{-\frac{R_1 t}{L_1}} \right) \text{ или } i_1 = \frac{U_6}{R_1} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_1}} \right), \quad (3.1)$$

где τ_1 – постоянная времени первичного контура; $\tau_1 = L_1 / R_1$.

В начальный момент времени при $t = 0$ ток $i = 0$, при этом скорость нарастания первичного тока $\left(\frac{di}{dt} \right)_{t=0} = \frac{U_6}{L_1}$ максимальна и не зависит от сопротивления R_1 . При $t = \infty$ ток достигает установившегося значения $i_1 = \frac{U_6}{R_1}$, а скорость его изменения равна нулю $\left(\frac{di_1}{dt} \right)_{t=\infty} = 0$. Для

современных автомобильных катушек зажигания первичный ток достигает своего максимального значения примерно за 0,02 с.

Во время нарастания тока в первичной обмотке наводится ЭДС самоиндукции

$$e_{c1} = -L_1 \frac{di_1}{dt} = -U_6 e^{-\frac{t}{\tau_1}}.$$

ЭДС самоиндукции убывает по экспоненциальному закону. При $t = 0$ $e_{c1} = -U_6$, при $t \rightarrow \infty$ $e_{c1} = 0$.

Во вторичной обмотке индуцируется ЭДС взаимной индукции

$$e_{в2} = -M \frac{di_1}{dt} = -\frac{M}{L_1} U_6 e^{-\frac{t}{\tau_1}},$$

где M – взаимная индукция.

ЭДС взаимной индукции мала по величине и также изменяется по экспоненциальному закону.

В некоторый момент времени контакты размыкаются. Ток разрыва при прочих равных условиях зависит от времени замкнутого состояния контактов t_3 :

$$I_p = \frac{U_6}{R_1} (1 - e^{-\frac{t_3}{\tau_1}}).$$

Время t_3 зависит от частоты вращения коленчатого вала двигателя n , числа цилиндров z , профиля кулачка, т. е. соотношения между углом замкнутого и разомкнутого состояний контактов.

Частота размыкания контактов при четырехтактном двигателе или число искр в секунду $f = zn/(2 \cdot 60)$.

Время полного периода работы прерывателя

$$T = t_3 + t_p = \frac{120}{zn},$$

где t_p – время разомкнутого состояния контактов.

Если обозначить относительное время замкнутого и разомкнутого состояний контактов соответственно через $\tau_3 = t_3/T$ и $\tau_p = t_p/T$, то время замкнутого состояния контактов

$$t_3 = \tau_3 T = \tau_3 \frac{120}{zn}.$$

Аналитическое выражение тока разрыва примет вид

$$I_p = \frac{U_6}{R_1} \left(1 - e^{-\frac{\tau_3 120}{\tau_1 zn}} \right). \quad (3.2)$$

Таким образом, ток разрыва уменьшается с увеличением частоты вращения вала и числа цилиндров и увеличивается с увеличением относительного времени замкнутого состояния контактов, которое определяется геометрией кулачка и от частоты вращения вала не зависит. Ток разрыва зависит также от параметров первичной цепи: он прямо пропорционален напряжению батареи U_6 , возрастает с уменьшением R_1 , и уменьшается с увеличением индуктивности L_1 .

Электромагнитная энергия, запасаемая в магнитном поле катушки зажигания к моменту размыкания контактов,

$$W_m = \frac{L_1 I_p^2}{2} = \frac{1}{2} L_1 \left(\frac{U_6}{R_1} \right)^2 (1 - 2e^{-a} + e^{-2a}). \quad (3.3)$$

$$\text{Показатель } a = \frac{R_1}{L_1} t_3.$$

Если уравнение (3.3) продифференцировать по L_1 и приравнять к нулю, то можно определить значение a для получения наибольшей запасаемой электромагнитной энергии от источника постоянного тока с напряжением U_6 :

$$a = \frac{R_1}{L_1} t_3 = 1,256. \quad (3.4)$$

Условие (3.4) для обычной классической системы зажигания не может быть соблюдено, так как t_3 – показатель переменный и в зависимости от частоты вращения двигателя изменяется в широких пределах. Поэтому на большинстве режимов работы катушки зажигания в диапазоне малых (холостой ход) и средних частот вращения двигателя вследствие больших значений t_3 ток в первичной обмотке, достигнув установившегося значения, бесполезно нагревает катушку и добавочное сопротивление.

Чтобы найти потери в первичной цепи, необходимо вычислить действительное значение тока

$$I_{1д} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^{t_3} i_1^2 dt} = \frac{U_6}{R_1} \sqrt{\frac{t_3}{T}} \sqrt{1 - \frac{1}{2a} (e^{-a} - 3)(e^{-a} - 1)}. \quad (3.5)$$

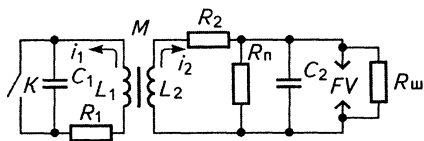
Определив по формуле (3.5) ток $I_{1д}$, находят мощность потерь $P_{1пот}$, которая рассеивается в первичной обмотке катушки зажигания, на добавочном сопротивлении и в проводах:

$$P_{1пот} = I_{1д}^2 R_1 = \frac{U_6^2}{R_1} \frac{t_3}{T} \left[1 - \frac{1}{2a} (e^{-a} - 3)(e^{-a} - 1) \right].$$

3.5.3. Размыкание контактов прерывателя

После окончания процесса накопления в момент зажигания контакты прерывателя размыкают цепь и тем самым прерывают первичный ток. В этот момент магнитное поле исчезает и в первичной и вторичной обмотках катушки индуцируется напряжение. По закону

Рис. 3.17. Упрощенная схема замещения классической системы зажигания после размыкания контактов прерывателя



индукции напряжение, индуцируемое во вторичной обмотке, тем выше, чем больше коэффициент трансформации и первичный ток в момент его прерывания.

При выводе расчетных формул для подсчета первичного и вторичного напряжений воспользуемся упрощенной схемой замещения (рис. 3.17). Согласно этой схеме имеем два магнитосвязанных контура, каждый из которых содержит емкость (C_1 – конденсатор первичной цепи; C_2 – распределенная емкость вторичной цепи), индуктивность (L_1 , L_2 – индуктивности соответственно первичной и вторичной обмоток катушки зажигания), эквивалентное активное сопротивление (R_1 , R_2 – суммарные активные сопротивления соответственно первичной и вторичной цепей). Во вторичный контур включены шунтирующее сопротивление $R_{ш}$ и сопротивление потерь R_n , имитирующие соответственно утечки тока на свече и магнитные потери.

В момент размыкания контактов прерывателя электромагнитная энергия, запасенная в катушке, преобразуется в энергию электрического поля конденсаторов C_1 и C_2 и частично превращается в теплоту. Значение максимального вторичного напряжения можно получить из уравнения электрического баланса в контурах первичной и вторичной цепей, пренебрегая потерями в них:

$$\frac{L_1 I_p^2}{2} = \frac{C_1 U_{1m}^2}{2} + \frac{C_2 U_{2m}^2}{2},$$

где U_{1m} , U_{2m} – максимальные значения соответственно первичного и вторичного напряжений.

Заменяя $U_{1m} = \frac{W_1}{W_2} U_{2m}$ (где W_1 и W_2 – число витков соответ-

ственно первичной и вторичной обмоток катушки зажигания), получим аналитическое выражение для расчета максимального вторичного напряжения

$$U_{2m} \cong I_p \sqrt{\frac{L_1}{C_1 (W_1/W_2)^2 + C_2}}. \quad (3.6)$$

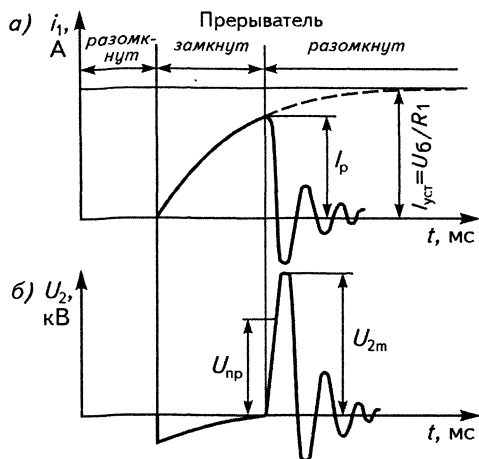


Рис. 3.18. Переходные процессы в системе зажигания:

а – изменение первичного тока; б – изменение вторичного напряжения

Выражение (3.6) не учитывает потери энергии в сопротивлении нагара, шунтирующего искровой промежуток свечи, магнитные потери в стали, электрические потери в искровом промежутке распределителя и в дуге на контактах прерывателя. Указанные потери приводят к снижению вторичного напряжения. На практике для учета потерь в контурах вводят в виде множителя коэффициент η , выражающий уменьшение максимума напряжения из-за потерь энергии:

$$U_{2m} = I_p \frac{W_2}{W_1} \sqrt{\frac{L_1}{C_1 + C_2(W_2/W_1)^2}} \eta,$$

где W_2/W_1 – коэффициент трансформации катушки зажигания; η – коэффициент затухания, составляющий для контактных систем 0,75...0,85.

Изменение первичного тока i_1 и вторичного напряжения U_2 в процессе работы прерывателя показано на рис. 3.18. При размыкании контактов прерывателя первичный ток i_1 совершает несколько периодов затухающих колебаний (рис. 3.18,а) до тех пор, пока энергия, запасенная в магнитном поле катушки, не израсходуется на нагрев сопротивления R_1 контура. Если искровой промежуток вторичной цепи сделать настолько большим, чтобы пробоя не произошло (режим холостого хода или открытой цепи), то вторичное напряжение U_2 , так же как первичный ток, совершит несколько затухающих колебаний (рис. 3.18,б).

3.5.4. Пробой искрового промежутка свечи

Для зажигания рабочей смеси электрическим способом необходимо образование электрического разряда между двумя электрода-

ми свечи, которые находятся в камере сгорания. Протекание электрического разряда в газовом промежутке может быть представлено вольт-амперной характеристикой (рис. 3.19).

Участок *Oba* соответствует несамостоятельному разряду. Напряжение возрастает, ток остается практически неизменным и по силе ничтожно мал. При дальнейшем увеличении напряжения скорость движения ионов по направлению к электродам увеличивается. При начальном напряжении U_n начинается ударная ионизация, т. е. такой разряд, который, однажды возникнув, не требует для своего поддержания воздействия постороннего ионизатора. Если поле равномерное, то процесс поляризации сразу перерастает в пробой газового промежутка. Если поле неравномерное, то вначале возникает местный пробой газа около электродов в местах с наибольшей напряженностью электрического поля, достигшей критического значения. Этот тип разряда называется короной и соответствует устойчивой части вольт-амперной характеристики *bc*. При дальнейшем повышении напряжения корона захватывает новые области межэлектродного пространства, пока не произойдет пробой (точка *c*), когда между электродами проскакивает искра. Это происходит при достижении напряжением значения пробивного напряжения $U_{пр}$.

Проскочившая искра создает между электродами сильно нагретый и ионизированный канал. Температура в канале разряда радиусом 0,2...0,6 мм превышает 10 000 К.

Сопротивление канала зависит от силы протекающего по нему тока. Дальнейшее протекание процесса зависит от параметров газового промежутка цепи источника энергии. Возможен или тлеющий разряд (участок *de*), когда токи малы, или дуговой разряд (участок *mn*), когда токи велики вследствие большой мощности источника тока и малого сопротивления цепи. Оба эти разряда являются самостоятельными и соответствуют устойчивым участкам вольт-амперной характеристики. Тлеющий разряд характеризуется токами $10^{-5}...10^{-1}$ А и практически неизменным напряжением разряда. Дуговой разряд характеризуется большими токами при относительно низких напряжениях на электродах.

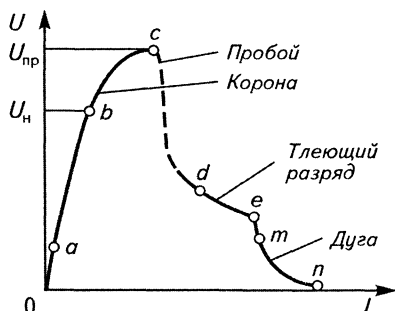


Рис. 3.19. Вольт-амперная характеристика разряда в воздушном промежутке

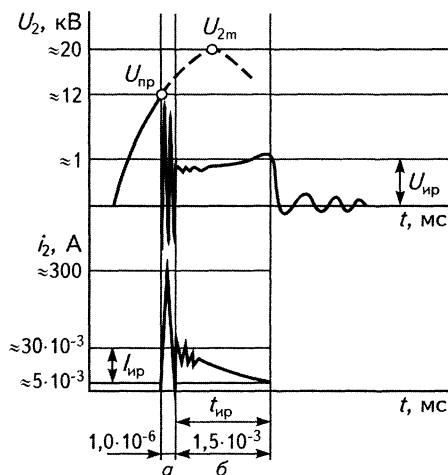


Рис. 3.20. Изменение напряжения и тока искрового разряда:

а и б – соответственно емкостная и индуктивная фазы разряда; $t_{ир}$ – время индуктивной составляющей разряда; $i_{ир}$ – амплитудное значение тока индуктивной фазы разряда; $U_{ир}$ – напряжение индуктивной фазы разряда

На втором этапе был рассмотрен процесс формирования вторичного напряжения при отсутствии электрического разряда в свече. В действительности пробивное напряжение $U_{пр}$ ниже максимального вторичного напряжения U_{2m} , развиваемого системой зажигания, и поэтому, как только возрастающее напряжение достигает значения $U_{пр}$, в свече происходит искровой разряд, и колебательный процесс обрывается (рис. 3.20).

Электрический разряд имеет две составляющие: емкостную и индуктивную. Емкостная составляющая искрового разряда представляет собой разряд

энергии, накопленной во вторичной цепи, обусловленной ее емкостью C_2 . Емкостный разряд характеризуется резким падением напряжения и резкими всплесками токов, по своей силе достигающих десятков ампер (см. рис. 3.20). Несмотря на незначительную энергию емкостной искры ($C_2 U_{пр}^2 / 2$), мощность, развиваемая искрой, благодаря кратковременности процесса может достигать десятков и даже сотен киловатт. Емкостная искра имеет яркий голубоватый цвет и сопровождается специфическим треском.

Высокочастотные колебания ($10^6 \dots 10^7$ Гц) и большой ток емкостного разряда вызывают сильные радиопомехи и эрозию электродов свечи. Для уменьшения эрозии электродов свечи (а в неэкранированных системах и для уменьшения радиопомех) во вторичную цепь (в крышку распределителя, бегунок, наконечники свечей, в провода) включается помехоподавляющий резистор. Поскольку искровой разряд происходит раньше, чем вторичное напряжение достигает своего максимального значения U_{2m} , а именно при напряжении $U_{пр}$, на емкостный разряд расходуется лишь небольшая часть

магнитной энергии, накопленной в сердечнике катушки зажигания.

Оставшаяся часть энергии выделяется в виде индуктивного разряда. При условиях, свойственных работе распределителей и разрядников, и при обычных параметрах катушек зажигания индуктивный разряд всегда происходит на устойчивой части вольт-амперной характеристики, соответствующей тлеющему разряду. Ток индуктивного разряда 20...40 мА. Напряжение между электродами свечи сильно понижается и складывается в основном из катодного падения напряжения U_k и падения напряжения в положительном столбе Ed :

$$U_{\text{ир}} = U_k + Ed,$$

где $U_{\text{ир}}$ – напряжение искрового разряда; E – напряженность поля в положительном столбе; $E \cong 100$ В/мм; d – расстояние между электродами.

Падение напряжения $U_k = 220...330$ В.

Продолжительность индуктивной составляющей разряда на 2...3 порядка выше емкостной и достигает в зависимости от типа катушки зажигания, зазора между электродами свечи и режима работы двигателя (пробивного напряжения) 1...1,5 мс. Искра имеет бледный фиолетово-желтый цвет. Эта часть разряда получила название *хвоста искры*.

За время индуктивного разряда в искровом промежутке свечи выделяется энергия, которая может быть определена аналитически:

$$W_{\text{ир}} = \int_0^{t_{\text{ир}}} U_{\text{ир}} i_2(t) dt.$$

На практике широко используется приближенная формула для подсчета энергии искрового разряда $W_{\text{ир}} = (1/2)U_{\text{ир}}I_{\text{ир}}t_{\text{ир}}$.

Расчеты и эксперименты показывают, что при низких частотах вращения двигателя энергия индуктивного разряда $W_{\text{ир}} = 15...20$ мДж для обычных классических автомобильных систем зажигания.

3.6. ХАРАКТЕРИСТИКИ КЛАССИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЗАЖИГАНИЯ

3.6.1. Факторы, влияющие на вторичное напряжение, развиваемое системой зажигания

Аналитические выражения для вторичного напряжения, приведенные выше, показывают, что значение U_{2m} зависит от силы тока разрыва I_p и, следовательно, определяется режимом работы и ти-

пом двигателя (n и z), работой прерывателя (t_3 или τ_3), параметрами первичной цепи (L_1 , R_1 , C_1 , U_6), а также зависит от параметров вторичного контура и внешней нагрузки (C_2 , W_2/W_1 , $R_{ш}$).

Зависимость U_{2m} от частоты вращения вала и числа цилиндров двигателя. Время замкнутого состояния контактов

$$t_3 = \alpha_3 / (6n), \quad (3.7)$$

где α_3 – угол замкнутого состояния контактов; n – частота вращения валика распределителя.

Из выражения (3.7) видно, что с возрастанием частоты вращения валика время t_3 уменьшается и ток разрыва становится меньше. Уменьшение тока разрыва влечет за собой снижение напряжения U_{2m} . Увеличение числа цилиндров двигателя при всех прочих равных условиях и параметрах системы зажигания также уменьшает время замкнутого состояния контактов t_3 и снижает вторичное напряжение [см. выражение (3.2)].

На рис. 3.21 приведены характеристики максимального вторичного напряжения и тока разрыва в функции частоты вращения коленчатого вала двигателя и числа цилиндров двигателя. Характеристики носят монотонный убывающий характер, причем закон убывания жестко детерминирован параметрами первичной цепи ($\tau_1 = L_1 / R_1$) и углом замкнутого состояния контактов.

Уменьшение напряжения U_{2m} на низких частотах вращения связано с дугообразованием на контактах прерывателя.

Увеличения тока разрыва можно добиться за счет увеличения угла замкнутого состояния контактов, что достигается соответствующим профилированием кулачка. Однако по механическим соображениям увеличить время замкнутого состояния контактов прерывателя больше чем до 60...65% времени полного периода ($\tau_3 = 0,60...0,65$) практически невозможно. На некоторых зарубежных двигателях применяют две независимые схемы с двумя преры-

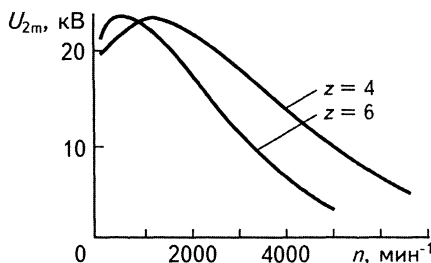


Рис. 3.21. Типовые рабочие характеристики классической системы зажигания для четырех- и шестицилиндровых двигателей

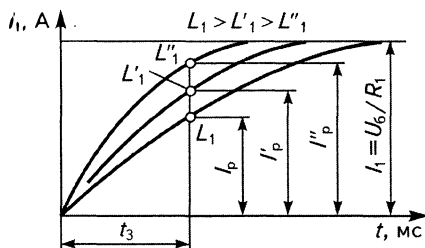


Рис. 3.22. Кривые нарастания первичного тока при различных значениях индуктивности первичной цепи

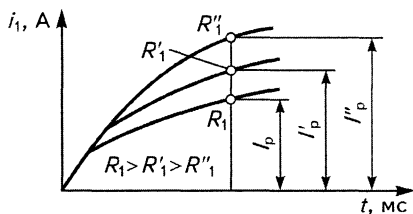


Рис. 3.23. Кривые нарастания первичного тока при различных значениях сопротивления первичной цепи

вателями и катушкой, работающими на один распределитель. При этом относительная замкнутость может достигать 0,85.

Первичный ток и скорость его нарастания зависят от постоянной времени первичного контура $\tau_1 = L_1/R_1$ (рис. 3.22). Чем меньше этот показатель, тем быстрее нарастает ток до установившегося значения. Скорость нарастания тока

$$\frac{di_1}{dt} = \frac{U_6}{L_1} e^{-\frac{R_1}{L_1}t} \text{ и при } t=0 \left(\frac{di}{dt} \right)_{t=0} = \frac{U_6}{L_1}$$

обратно пропорциональна индуктивности L_1 .

Однако уменьшение индуктивности целесообразно лишь до определенного значения, ниже которого начинает уменьшаться запас электромагнитной энергии, определяющий вторичное напряжение.

При неизменной индуктивности первичной цепи сила тока разрыва увеличивается с уменьшением сопротивления R_1 , так как увеличивается установившееся значение тока. При различных значениях сопротивления первичной цепи скорость нарастания тока в начальный момент одинакова, т. е. $\frac{di_1}{dt} = \frac{U_6}{L_1}$. Однако чем меньше

сопротивление R_1 , тем выше идет кривая тока (рис. 3.23). Таким образом, для увеличения максимального вторичного напряжения необходимо уменьшать сопротивление первичной цепи. Однако чрезмерное уменьшение R_1 приводит к увеличению установившегося тока, что ухудшает работу контактов при низких частотах вращения и приводит к перегреву катушки.

Зависимость U_{2m} от емкости первичного конденсатора C_1 . Из выражения (3.6) видно, что с уменьшением емкости конденсатора C_1 вторичное напряжение должно увеличиваться, и при $C_1 = 0$ оно достигает максимального значения. Такой характер изменения U_{2m} возможен лишь при больших значениях C_1 . В диапазоне малых емкостей по мере их уменьшения вторичное напряжение также уменьшается. Это явление объясняется тем, что при малой емкости не устраняется дугообразование на контактах, вызывающее значительные потери энергии. Характер зависимости вторичного напряжения от емкости конденсатора первичной цепи (рис. 3.24) показывает, что существует оптимальное значение C_1 , определяемое условиями гашения дуги на контактах. На практике C_1 выбирают в пределах 0,15...0,35 мкФ.

Зависимость U_{2m} от вторичной емкости. Значение максимального вторичного напряжения также зависит от емкости вторичных проводов, емкости свечи зажигания, собственной емкости вторичной обмотки катушки зажигания и практически не может быть меньше 40...75 пФ. В случае экранирования системы зажигания емкость вторичной цепи увеличивается до 150 пФ. Следовательно, экранирование, применяемое для существенного снижения радиопомех, значительно уменьшает значение вторичного напряжения.

Зависимость U_{2m} от шунтирующего сопротивления. В процессе работы двигателя изолятор свечи нередко покрывается нагаром, который создает проводящий мостик между электродами свечи. Этот проводящий слой нагара можно представить в виде резистора $R_{ш}$, шунтирующего воздушный зазор. Из-за наличия $R_{ш}$ нарастающее после размыкания контактов вторичное напряжение создает во вторичной цепи ток, называемый *током утечки*, который циркулируя во вторичной цепи до пробоя искрового промежутка,

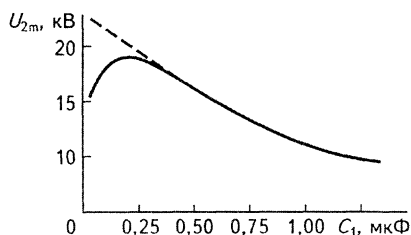


Рис. 3.24. Зависимость вторичного напряжения от емкости конденсатора в первичной цепи

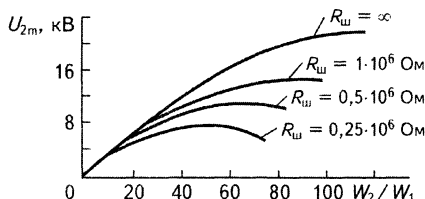


Рис. 3.25. Зависимость вторичного напряжения от коэффициента трансформации катушки зажигания

вызывает падение напряжения во вторичной обмотке и уменьшение подводимого к свече напряжения.

При малом шунтирующем сопротивлении ток утечки возрастает и вторичное напряжение может понизиться до значения меньшего пробивного напряжения, т. е. искра не возникнет.

Зависимость U_{2m} от коэффициента трансформации. В случае отсутствия утечек напряжение U_{2m} при прочих равных параметрах возрастает с увеличением коэффициента трансформации катушки W_2/W_1 , стремясь к своему пределу:

$$U_{2m} = I_p \sqrt{L_1/C_2}.$$

При бесконечно большом сопротивлении нагара вся электромагнитная энергия трансформируется в электростатическую энергию вторичной цепи. Однако если $R_{ш} \neq \infty$, то каждому значению шунтирующего сопротивления соответствует оптимальный коэффициент трансформации, при котором напряжение вторичной цепи максимально (рис. 3.25). Оптимальным для существующих систем зажигания при индуктивности первичной обмотки 6,5...9,5 мГн является отношение $W_2/W_1 = 55...95$.

3.6.2. Энергия искрового разряда

Энергия искрового разряда

$$W_{ир} = \frac{L_1 I_p^2}{2} \eta_э, \quad (3.8)$$

где $\eta_э$ – коэффициент передачи запасенной энергии в энергию искры.

Коэффициент передачи энергии $\eta_э$ в основном определяется степенью магнитной связи между первичной и вторичной обмотками катушки зажигания. В рамках традиционной конструкции цилиндрической катушки с аксиально расположенными первичной и вторичной обмотками и разомкнутым магнитопроводом коэффициент $\eta_э = 0,35...0,45$.

Из выражения (3.8) следует, что увеличение энергетического уровня искрового разряда сводится к необходимости повышения индуктивности L_1 катушки зажигания либо тока разрыва I_p . Для классических систем зажигания ток разрыва I_p ограничивается пределом 3,5...4,0 А. Превышение этого предела приводит к резкому снижению ресурса контактов.

Увеличение частоты вращения коленчатого вала двигателя приводит к снижению энергии искрового разряда вследствие уменьшения тока разрыва, а значит, и запаса электромагнитной энергии в первичной цепи. Увеличение индуктивности L_1 ограничивается условием обеспечения бесперебойного искрообразования на максимальных частотах вращения:

$$L_1 = - \frac{U_6}{I_{\text{уст}}} \frac{120\tau_3}{n_{\text{max}} Z} \frac{1}{\ln \left[1 - \frac{U_{2m} n_{\text{max}}}{U_{2m} n_{\text{min}}} \right]},$$

где n_{max} – максимальная частота вращения двигателя; $U_{2m} n_{\text{max}}$ – необходимый уровень максимального вторичного напряжения на максимальной частоте вращения; $U_{2m} n_{\text{min}}$ – то же на минимальной частоте вращения.

3.6.3. Недостатки классической системы зажигания

Классическая система зажигания обладает рядом достоинств, к которым следует отнести простоту конструкции и невысокую стоимость аппаратов зажигания, возможность регулирования угла опережения зажигания в широких пределах без изменения вторичного напряжения. Вместе с тем классическая система зажигания имеет ряд принципиальных недостатков, связанных с работой механического прерывателя и механических автоматов опережения:

- недостаточное вторичное напряжение на высоких и низких частотах вращения коленчатого вала двигателя и, как следствие, малый коэффициент запаса по вторичному напряжению, особенно для многоцилиндровых и высокооборотных двигателей, а также при экранировке высоковольтных проводов;
- недостаточная энергия искрового разряда из-за ограничения уровня запасенной энергии в первичной цепи;
- чрезмерный нагрев катушки зажигания в зоне низких частот вращения коленчатого вала двигателя и особенно при остановившемся двигателе, если замок зажигания включен и контакты прерывателя замкнуты;
- нарушение рабочего зазора в контактах в процессе эксплуатации и, как следствие, необходимость зачистки контактов, т. е. систематический уход во время эксплуатации;
- низкий срок службы контактов прерывателя;
- повышенный асинхронизм момента искрообразования по цилиндрам двигателя при эксплуатации вследствие износа механизмов прерывателя и центробежного и вакуумного регуляторов;

– высокая погрешность момента искрообразования вследствие разброса характеристик механических автоматов опережения в процессе эксплуатации.

Перечисленные недостатки классической системы зажигания приводят в итоге к ухудшению процесса сгорания рабочей смеси, а следовательно, к потере мощности двигателя и увеличению эмиссии отработавших газов.

3.7. ЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ ЗАЖИГАНИЯ

3.7.1. Основные направления создания перспективных систем зажигания

Развитие современного двигателестроения происходит в направлении повышения экономичности и снижения удельного веса при одновременном увеличении частоты вращения коленчатого вала двигателя и степени сжатия. Степень сжатия составляет 7,0...8,5, но на перспективных автомобилях устанавливаются двигатели со степенью сжатия 9,0...10 и более. Такое повышение степени сжатия требует значительного увеличения вторичного напряжения, необходимого для пробоя искрового промежутка свечи.

Частота вращения коленчатого вала автомобильных двигателей также неуклонно возрастает и в настоящее время достигает 5000...8000 мин⁻¹, диапазон рабочих температур двигателя лежит в пределах -40...+100°C. Стремление повысить топливную экономичность двигателя заставляет использовать обедненную смесь, для надежного воспламенения которой требуется большая длина искрового промежутка свечи, т. е. требуется большая энергия разряда. Искровой промежуток свечи лежит в пределах 0,8...1,2 мм.

Таким образом, к современной системе зажигания предъявляются более высокие требования: увеличение вторичного напряжения при одновременном повышении надежности; энергия искрового разряда должна быть достаточной для воспламенения смеси на всех режимах работы двигателя (15....50 мДж и более); устойчивое искрообразование в различных эксплуатационных условиях (загрязнение свечей, колебания температуры, колебания напряжения бортовой сети и т. д.); устойчивая работа при значительных механических нагрузках; простота обслуживания системы; минимальное потребление энергии источников питания; минимальные масса, габариты и низкая стоимость. Кроме того, необходимо учитывать, какие показатели двигателя являются наиболее важными: мощность, топливная экономичность, малая токсичность отработавших газов.

Такие требования не могут быть удовлетворены при использовании классической (батарейной) системы зажигания, так как в этом случае практически единственным реальным способом увеличения вторичного напряжения является увеличение силы тока разрыва. Однако увеличение силы тока разрыва свыше определенного значения (3,5...4,0 А при 12 В) приводит к ненадежной работе контактов прерывателя и резкому сокращению их срока службы.

Перечисленные требования к системе зажигания вызвали необходимость создания новых устройств, позволяющих улучшить условия воспламенения рабочей смеси в цилиндрах.

Одним из путей повышения развиваемого системой зажигания вторичного напряжения является применение полупроводниковых приборов, работающих в качестве управляемых ключей, служащих для прерывания тока в первичной обмотке катушки зажигания. Наиболее широкое использование в качестве полупроводниковых реле нашли мощные транзисторы, способные коммутировать токи амплитудой до 10 А в индуктивной нагрузке без какого-либо искрения и механического повреждения, характерных для контактов прерывателя. Функцию электронного реле могут выполнять также и силовые тиристоры, но широкой промышленной реализации в системах зажигания с накоплением энергии в индуктивности они не имели.

Первыми полупроводниковыми электронными системами батарейного зажигания явились контактно-транзисторные системы зажигания (КТСЗ).

Принципиальная схема (рис. 3.26) в основном состоит из тех же элементов, которые характерны для обычной контактной системы, и отличается от нее наличием транзистора и отсутствием конденсатора, ранее шунтировавшего контакты прерывателя. Как видно из

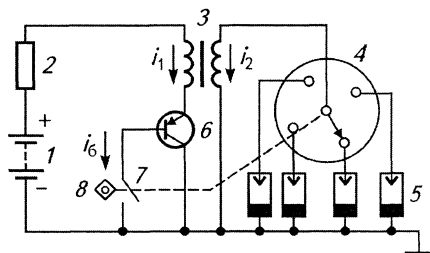


Рис. 3.26. Принципиальная схема КТСЗ:

- 1 – аккумуляторная батарея; 2 – добавочное сопротивление; 3 – катушка зажигания; 4 – распределитель зажигания; 5 – свечи; 6 – транзистор; 7 – контакты прерывателя; 8 – кулачок

схемы, контакты прерывателя коммутируют только незначительный ток (i_6) управления транзистором, при этом ток силовой цепи (ток разрыва) коммутируется транзистором. Таким образом, применение транзистора в системе зажигания позволило принципиально устранить основной недостаток классической системы зажигания. Сила тока разрыва уже не ограничивается стойкостью контактов прерывателя, а зависит лишь от параметров транзистора.

По конструктивному исполнению контактно-транзисторные системы различны и могут содержать от одного до нескольких полупроводниковых усилительных элементов. Таким образом, в системах с контактным управлением режим работы контактов прерывателя значительно облегчен и поэтому их срок службы больше. Однако этим системам по-прежнему присущи недостатки классической системы зажигания (механическое изнашивание контактов прерывателя и ограниченный скоростной режим из-за вибрации контактов прерывателя и т. п.).

Системами, не имеющими перечисленных недостатков, являются системы с бесконтактным управлением моментом искрообразования (бесконтактные системы зажигания – БСЗ) – системы зажигания I поколения. В БСЗ контакты прерывателя заменены бесконтактным датчиком, который вырабатывает электрические импульсы синхронизированные с углом поворота коленчатого вала. Эти импульсы поступают в схему управления током (импульсный усилитель) первичной обмотки катушки зажигания. Бесконтактные датчики не имеют механического контакта и поэтому практически не подвержены износу.

В наиболее простых БСЗ (рис. 3.27) устройство управления 4 преобразует сигналы с датчика 1, осуществляя усиление его мощности, и производит коммутацию выходного каскада, нагрузкой которого служит катушка зажигания 5, т. е. реализуются характеристики, присущие ранее рассмотренным системам зажигания. При

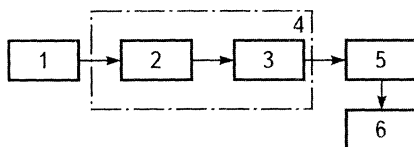


Рис. 3.27. Структурная схема БСЗ:

1 – бесконтактный датчик углового положения коленчатого вала двигателя;
2 и 3 – соответственно формирующий и выходной каскады; 4 – коммутатор (устройство управления); 5 – катушка зажигания; 6 – распределитель

этом используются те же механические автоматы опережения зажигания, что и в классической, и в контактно-транзисторной системах. Электронное устройство управления 4, функционально и конструктивно объединяющее формирователь 2 и выходной каскад 3, в отечественной литературе принято называть *коммутатором*.

По аналогии с углом замкнутого состояния контактов в классических и КТСЗ угол включенного состояния выходного транзистора $\alpha_{\text{вкл}}$ в этих БСЗ постоянный и не зависит от частоты вращения вала двигателя и напряжения батареи. Следовательно, время накопления t_n энергии в зависимости от частоты вращения коленчатого вала изменяется по жесткому закону: $t_n = \alpha_{\text{вкл}}/(6n)$, т. е. время накопления энергии увеличивается с уменьшением частоты вращения n . В такой системе увеличение тока разрыва неизбежно приводит к увеличению мощности, рассеиваемой катушкой зажигания, добавочным сопротивлением и транзисторным коммутатором в диапазоне малых и средних частот вращения вала двигателя.

Отмеченный недостаток не позволяет в рамках БСЗ с постоянным углом включенного состояния выходного транзистора вести дальнейшую интенсификацию выходных характеристик. Поэтому следующим этапом в развитии БСЗ явилось создание систем зажигания с нормируемым временем накопления энергии. В таких системах во всем диапазоне частот вращения вала двигателя и значений питающего напряжения определяется минимальное время, за которое ток разрыва I_p достигает силы, необходимой для индукцирования требуемого значения вторичного напряжения.

Нормирование времени накопления энергии позволяет снизить мощность потерь в катушке и коммутаторе при низких и средних частотах вращения вала двигателя при одновременном увеличении тока разрыва и соответственно энергии искрового разряда, обеспечить оптимальный закон изменения вторичного напряжения и энергии искры в зависимости от частоты вращения вала двигателя, стабилизировать выходное напряжение системы при колебаниях напряжения питания.

Бесконтактные системы с нормированием времени накопления энергии реализуются путем введения в коммутатор специального электронного регулятора времени накопления.

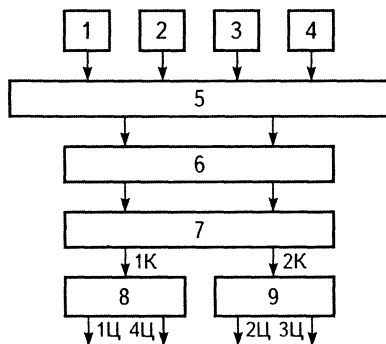
Основными недостатками БСЗ являются механический способ распределения энергии по цилиндрам двигателя, несовершенство механических автоматов угла опережения зажигания, погрешности момента искрообразования из-за механической передачи от коленчатого вала двигателя к распределителю.

Наиболее полно отвечают всем требованиям, предъявляемым к современным системам зажигания, системы с электронным регулированием угла опережения зажигания. Среди способов реализации этих систем можно выделить два основных: аналоговый и цифровой. Аналоговый способ относится к электронным системам зажигания более раннего поколения, когда элементная база, используемая для их построения, имела малую степень интеграции (системы зажигания II поколения). Цифровые системы зажигания (системы зажигания III поколения) являются более совершенными. В основу их работы положены принципы, широко применяемые в вычислительной технике. Цифровые регуляторы представляют собой небольшие, различные по сложности вычислители, порядок работы которых задается специальным алгоритмом. Структурная схема цифровой системы зажигания представлена на рис. 3.28.

Во время работы двигателя датчики 1 – 4 передают информацию о частоте вращения и нагрузке двигателя, о положении коленчатого вала, о температуре двигателя и температуре окружающей среды. На основании этой информации, обработанной в интерфейсе 5, вычислительное устройство 6 определяет оптимальный для данного режима угол опережения зажигания. В рамках цифровой системы зажигания возможно применение как традиционного механического распределителя, в функции которого остается лишь высоковольтное распределение энергии по цилиндрам 1Ц – 4Ц двигателя, так и электронного распределения. В этом случае для четырехцилиндрового двигателя, например, применяется двухканальный коммутатор 7, два выходных транзистора которого попеременно коммутируют ток в первичных обмотках двухвыводных или одной

Рис. 3.28. Структурная схема цифровой системы зажигания с электронным распределителем энергии по цилиндрам двигателя:

1 – датчик положения коленчатого вала двигателя; 2 – датчик частоты вращения коленчатого вала двигателя; 3 – датчик нагрузки; 4 – датчик температуры; 5 – интерфейс; 6 – вычислительное устройство; 7 – двухканальный коммутатор; 8 и 9 – двухвыводные катушки зажигания



четырёхвыводной катушке зажигания. При этом блок управления формирует два сигнала, управляющих работой коммутатора.

И все же цифровые системы зажигания явились переходным этапом. Последним достижением в этой области стали микропроцессорные системы (системы IV поколения). Они практически не отличаются от управляющих ЭВМ, широко применяемых в настоящее время во многих областях науки и техники. Микропроцессорные системы управления автомобильным двигателем условно можно отнести к системам зажигания, так как функция непосредственного зажигания является в них частью решения вопроса об оптимизации характеристик двигателя, однако именно в комплексных системах управления двигателем и заключен прогресс системы зажигания.

3.7.2. Особенности рабочего процесса транзисторной системы зажигания

Замена механического прерывателя в классической системе батарейного зажигания транзисторным обусловила ряд особенностей в протекании рабочих процессов и вызвала дополнительные требования к параметрам катушки зажигания. Рабочий процесс транзисторной системы зажигания протекает в два этапа.

1. Открывание транзистора. После подачи тока управления в базу выходного транзистора последний открывается и через проводящий участок коллектор – эмиттер подключает первичную обмотку катушки зажигания к источнику постоянного тока. Начинается процесс нарастания первичного тока и запасания энергии в магнитном поле катушки зажигания. Первичный ток нарастает по экспоненциальному закону:

$$i_1 = \frac{U_6 - U_{кз\text{ нас}}}{R_1} \left(1 - e^{-\frac{R_1}{L_1} t} \right), \quad (3.9)$$

где $U_{кз\text{ нас}}$ – падение напряжения на участке коллектор – эмиттер насыщенного транзистора; $U_{кз\text{ нас}} = 0,5...0,7$ В для германиевых транзисторов и $1...1,5$ В для кремниевых транзисторов.

Выражение (3.9) первичного тока аналогично выражению (3.1), с той только разницей, что в нем учтены потери в насыщенном полупроводниковом ключе.

Ток разрыва I_p в момент выключения выходного транзистора зависит от параметров первичной цепи катушки зажигания R_1 , L_1 и от времени его включенного состояния:

$$I_p = \frac{U_6 - U_{кэнас}}{R_1} \left(1 - e^{-\frac{R_1}{L_1} t_n} \right).$$

Для контактно-транзисторной и бесконтактной систем зажигания с постоянным углом накопления энергии аналитическое выражение тока разрыва примет вид

$$I_p = \frac{U_6 - U_{кэнас}}{R_1} \left(1 - e^{-\frac{R_1 \tau_3 \cdot 120}{L_1 \pi n}} \right). \quad (3.10)$$

Выражение (3.10) с учетом потерь в выходном транзисторе ($U_{кэнас}$) аналогично выражению (3.2) для классической системы зажигания. В системах зажигания с нормированием времени накопления энергии ток разрыва определяется амплитудой тока ограничения, если $t_n \geq t_{n \min}$, где $t_{n \min}$ – время нарастания первичного тока до амплитудного значения тока ограничения. При $t_n \leq t_{n \min}$ ток разрыва I_p может быть определен из выражения (3.10).

2. Закрывание и отсечка транзистора. Характерной особенностью переходных процессов в транзисторной системе зажигания является их зависимость от электрических характеристик и инерционных свойств транзистора. Процессы закрывания и отсечки (полное закрывание) транзистора могут влиять на вторичное напряжение катушки зажигания. В зависимости от характера нагрузки транзистора (активная, емкостная, индуктивная или смешанная) движение его рабочей точки в процессе закрывания имеет различный характер. Рабочая точка характеризует изменение мгновенного значения тока коллектора i_k и напряжения $U_{кэ}$ транзистора.

После закрывания транзистор переходит в режим отсечки, начинается процесс обмена энергии между магнитным и электрическим полями катушки зажигания и в первичной обмотке возникают затухающие колебания с максимальной амплитудой U_{1m} .

Потери энергии в транзисторе приводят к снижению рабочих и пусковых показателей катушки зажигания и определяются из выражения

$$W_{тр} = W_{трэ} + W_{трк} = \int_0^{t_{cn}} U_{бэ}(i) i_б(u) dt + \int_0^{t_{cn}} U_{кб}(i) i_к(u) dt \approx \int_0^{t_{cn}} U_{кэ}(i) i_э(u) dt,$$

где $W_{трэ}$ и $W_{трк}$ – энергия, рассеиваемая соответственно на эмиттерном и коллекторном переходах транзистора в режиме закрывания; u, i – мгновенные значения соответственно напряжения и тока

в режиме закрывания транзистора; $t_{\text{сп}}$ — время, за которое соответствующий ток (базы, коллектора или эмиттера) изменяется от $I = I_p$ до $I = 0$.

Для i_k и i_b время $t_{\text{сп}}$ характеризует длительность закрывания транзистора.

Процессы, происходящие в первичной и вторичной цепях, обычно рассматриваются в предположении, что за время закрывания транзистора потери энергии в нем не превышают 2...6% энергии, запасенной в магнитном поле катушки зажигания. Пренебрегая этими потерями, транзистор можно считать идеальным коммутирующим ключом. При таком условии и отсутствии цепи защиты транзистора рабочие процессы в первичной и вторичной цепях протекают аналогично процессам в классической батарейной системе.

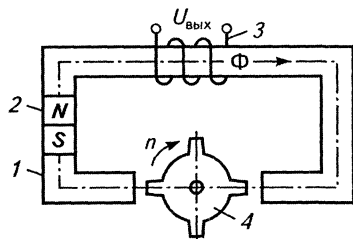
3.7.3. Принципы построения узлов бесконтактных систем зажигания для автомобильных ДВС

Датчики углового положения коленчатого вала двигателя. Для работы любой системы зажигания необходима информация о положении коленчатого вала двигателя. При этом датчик углового положения вала должен выдерживать достаточно суровые условия работы в отсеке двигателя, обладать высокой надежностью, должен функционировать при очень низкой частоте вращения и иметь низкую стоимость. Известен ряд бесконтактных датчиков, в основу работы которых положены различные физические явления: магнитоэлектрические, на эффекте Холла, высокочастотные, оптоэлектронные, токовихревые, на эффекте Виганда, фотоэлектрические.

Исходя из стоимости производства, требований к точности момента искрообразования, помехозащищенности, стойкости к внешним воздействиям два первых типа датчиков получили наибольшее применение и производятся у нас в стране и за рубежом крупносерийно.

Магнитоэлектрические датчики. Наиболее распространенным типом магнитоэлектрического датчика является генераторный датчик коммутаторного типа с пульсирующим потоком. Принцип действия такого датчика заключается в изменении магнитного сопротивления магнитной цепи, содержащей магнит и обмотку, при изменении зазора с помощью распределителя потока (коммутатора). На рис. 3.29 показана принципиальная схема магнитоэлектрического датчика коммутаторного типа. При вращении зубчатого ротора в обмотке статора в соответствии с законом индукции возникает переменное напряжение

Рис. 3.29. Принципиальная схема коммутаторного датчика:
1 – магнитная цепь (статор); 2 – магнит; 3 – обмотка; 4 – распределитель потока (коммутатор)



$$U_{\text{вых}} = kwn \frac{d\Phi}{d\alpha}, \quad (3.11)$$

где k – коэффициент, зависящий от характеристик магнитной цепи; w – число витков обмотки; n – частота вращения распределителя потока; $d\Phi/d\alpha$ – изменение потока Φ в зависимости от угла поворота.

Когда один из зубцов ротора 4 приближается к полюсу статора 1, в обмотке 3 нарастает напряжение. При совпадении фронта зубца ротора с полюсом статора (со средней линией обмотки) напряжение на обмотке достигает максимума, затем быстро меняет знак и увеличивается в противоположном направлении до максимума (рис. 3.30) при удалении зубца.

Из формулы (3.11) видно, что пиковое значение $U_{\text{вых}}$ линейно изменяется с частотой вращения распределителя потока. На рис. 3.31 показан характер изменения сигнала $U_{\text{вых}}$ по углу поворота коленчатого вала при разной частоте вращения n распределителя потока. Нетрудно видеть, что напряжение очень быстро изменяется от положительного максимума до отрицательного, поэтому нулевой переход (точка O) между двумя максимумами может быть использован для управления системой зажигания при получении

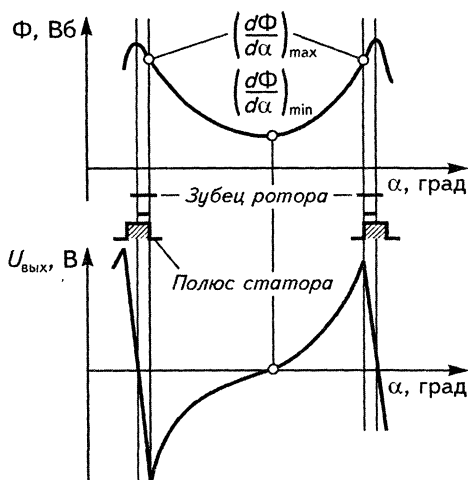


Рис. 3.30. Магнитный поток Φ и напряжение обмотки $U_{\text{вых}}$ в зависимости от угла поворота α распределителя потока

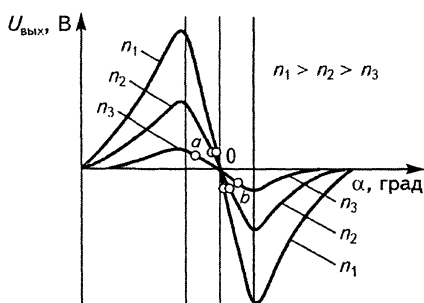


Рис. 3.31. Характер изменения сигнала датчика по углу поворота коленчатого вала двигателя при различной частоте вращения n распределителя потока

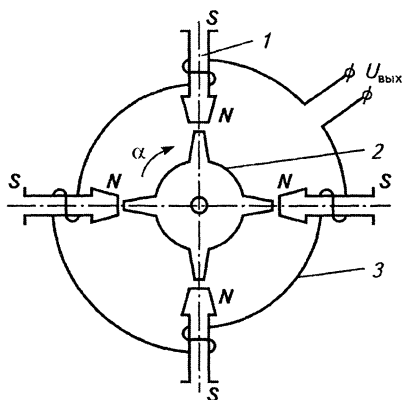


Рис. 3.32. Принципиальная схема генераторного датчика коммутаторного типа:

1 — магнитная цепь (статор с постоянным магнитом); 2 — распределитель потока; 3 — обмотка

точного момента искрообразования. Однако точку перехода через ноль сложно детектировать с помощью электроники, так как схема будет чувствительна к сигналам помехи, т. е. не будет удовлетворять требованиям помехозащищенности. Поэтому для получения момента искрообразования используют точки *a* и *b*, которые выбираются на допустимых низких уровнях. При этом обеспечивается нечувствительность схемы детектирования к помехам и надежное срабатывание схемы в период пуска двигателя.

Распределитель потока, или зубчатый ротор, устанавливается на распределительный валик распределителя зажигания и изготавливается из мягкой стали. Число зубцов зависит от числа цилиндров двигателя. Необходимое поле создает постоянный магнит.

Рассмотренная магнитная система генераторного датчика чувствительна к влиянию изменений зазора, происходящих из-за конструктивных допусков, вибраций, передаваемых от двигателя деталям, входящим в состав магнитной цепи, что приводит к недопустимому асинхронизму момента искрообразования по цилиндрам двигателя. Поэтому на практике применяется симметричная магнитная система, которая обеспечивает для каждого положения распределителя потока средний зазор, являющийся суммой элементарных зазоров. Принципиальная схема генераторного датчика

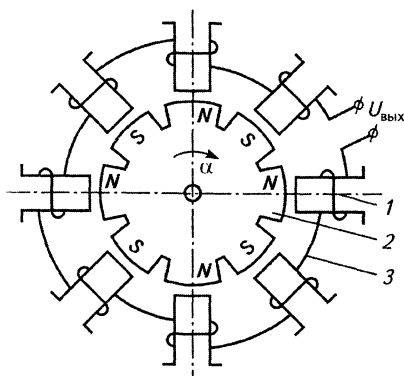


Рис. 3.33. Принципиальная схема магнитоэлектрического датчика с вращающимся магнитом для четырехцилиндрового двигателя:
1 – статор; 2 – магнит; 3 – обмотка

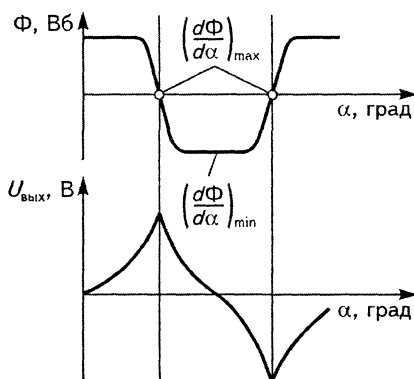


Рис. 3.34. Магнитный поток Φ и напряжение обмотки $U_{\text{вых}}$ в зависимости от угла поворота магнитного ротора

коммутаторного типа с симметричной магнитной системой для четырехцилиндрового двигателя представлена на рис. 3.32.

Разработка постоянных магнитов, выполненных на основе новых магнитных материалов, таких как магнитоэласты, магниторезина, позволила резко снизить стоимость и массу датчика, увеличить его надежность.

Другим типом магнитоэлектрических датчиков, нашедших применение в автомобильных системах зажигания, является датчик с переменным потоком.

Он состоит из неподвижной катушки и постоянного магнита, жестко связанного с валиком распределителя зажигания, причем число пар полюсов в магните равно числу цилиндров двигателя. Такие магнитные системы называются *датчиками с вращающимися магнитами* (рис. 3.33). Работа датчика характеризуется знакопеременным магнитным потоком и симметричной формой выходного напряжения (рис. 3.34). Сигнал датчика с вращающимся магнитом требует более тщательной обработки в цепи детектирования с целью компенсации электрического смещения момента искрообразования в зоне низких частот вращения распределительного валика.

Датчик на эффекте Холла. Благодаря развитию микроэлектроники широкое распространение получили датчики углового положения на эффекте Холла. Эффект Холла возникает в полупроводниковой пластине, внесенной в магнитное поле, при пропускании че-

рез нее электрического тока. Если поместить элемент толщиной h в магнитном поле таким образом, чтобы направление индукции B магнитного поля было перпендикулярно плоскости пластины, и пропустить ток I через пластину, то между противоположными гранями пластины возникает ЭДС Холла

$$e_x = \frac{kIB}{h},$$

где k – постоянная Холла, $\text{м}^2/\text{А}$; $k = \chi\rho$; χ – подвижность носителей тока, $\text{м}^2/\text{В}$; ρ – удельное сопротивление материала пластины, Ом .

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

Электродвижущая сила самоиндукции Холла очень мала и поэтому должна быть усилена вблизи кристалла для того, чтобы устранить влияние радиоэлектрических помех. Поэтому конструктивно и технологически элемент Холла и преобразовательная схема, содержащая усилитель Y , пороговый элемент St , выходной каскад VT и стабилизатор напряжения CT , выполняются в виде интегральной микросхемы, которая называется *магнитоуправляемой интегральной схемой* (рис. 3.35).

Очевидно, что путем изменения магнитного поля от 0 до B_{max} с помощью магнитного экрана на выходе магнитоуправляемой интегральной схемы можно получить (при подключении к ее выходу со-

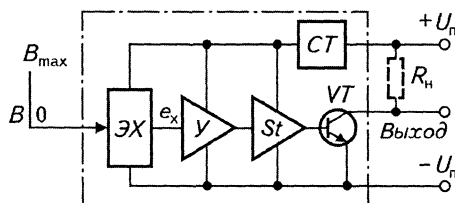


Рис. 3.35. Структурная схема магнитоуправляемой интегральной схемы на эффекте Холла:

ЭХ – чувствительный элемент Холла; B – индукция поля (изменяется от 0 до B_{max}); Y – усилитель; St – триггер Шмитта; VT – транзистор выходного каскада с открытым выходом; CT – источник стабилизированного напряжения; R_n – нагрузка

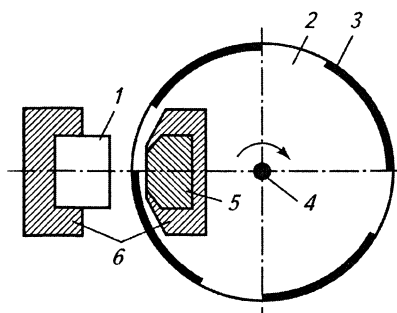


Рис. 3.36. Принцип размещения микропереключателя на эффекте Холла: 1 – магнитоуправляемая интегральная схема; 2 – ротор; 3 – экран; 4 – валик распределителя; 5 – магнит; 6 – корпус микропереключателя

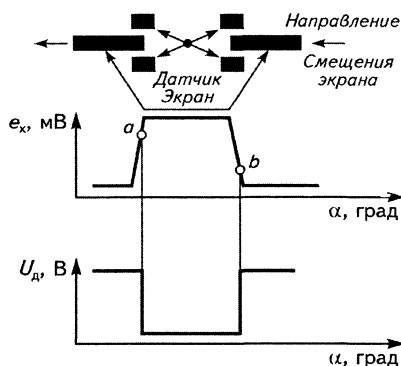


Рис. 3.37. Зависимость напряжения чувствительного элемента Холла e_x и напряжения на выходе датчика Холла U_d от угла поворота ротора α

ответствующей нагрузки) дискретный сигнал высокого или низкого уровня. Объединив магнитоуправляемую схему с магнитной системой в жестко сконструированный пластмассовый корпус, получают микропереключатель на эффекте Холла, который устанавливается в традиционный распределитель (рис. 3.36), например на поворотный механизм вакуумного автомата. Замыкатель 2 (ротор), жестко связанный с валиком распределителя 4, выполнен из магнитопроводящего материала и содержит число полюсов-экранов 3, равное числу цилиндров двигателя. При прохождении экранов в зазоре между магнитоуправляемой схемой 1 и магнитом 5 происходит периодическое шунтирование магнитного потока, и на выходе микропереключателя формируется сигнал об угловом положении коленчатого вала двигателя в виде прямоугольных импульсов. Фронт сигнала практически не зависит от частоты вращения экрана и, следовательно, задержка совсем незначительна по сравнению с задержкой, например, генераторного датчика. Таким образом, на выходе датчика формируется сигнал, представленный на рис. 3.37. Интегральная схема является, как и все электронные компоненты, чувствительной к воздействиям внешних условий. Устанавливаемая в распределитель зажигания схема должна выдерживать жесткие требования для изделий автомобильного применения, устанавливаемых в моторном отсеке на двигателе.

Коммутаторы. Электронным коммутатором бесконтактной сис-

темы зажигания называется устройством, выполняющее следующие основные функции:

- формирование выходного токового импульса необходимой амплитуды и длительности, подаваемого к первичной обмотке катушки (или катушек) зажигания для обеспечения заданного уровня высокого напряжения и энергии искры;
- обеспечение момента искрообразования в соответствии с заданным фронтом управляющего импульса, поступающего на вход коммутатора;
- стабилизация параметров выходного токового импульса при колебаниях напряжения бортовой сети автомобиля и воздействии внешних факторов.

Многие типы коммутаторов выполняют дополнительно защитные функции, такие, как:

- предотвращение протекания первичного тока через первичную обмотку катушки зажигания при включенном замке зажигания и неработающем двигателе;
- обеспечение стабильного питания и защита от импульсов перенапряжения в бортовой сети автомобиля в аномальных режимах микропереключателя на эффекте Холла;
- обеспечение ограничения амплитуды импульса вторичного напряжения в аномальных режимах (например, в режиме открытой цепи).

На входные клеммы коммутатора поступают импульсы управления, формируемые бесконтактным датчиком углового положения коленчатого вала двигателя (УПКВ) или электронным регулятором опережения зажигания с открытым коллектором. Выходом (нагрузкой) коммутатора является первичная обмотка катушки зажигания или обмотки катушек зажигания.

В последнем случае электронный коммутатор выполняет функцию распределителя высоковольтных импульсов по цилиндрам двигателя.

На рис. 3.38 представлена классификация транзисторных коммутаторов, применяемых на автомобилях. Множество коммутаторов БСЗ можно разделить на две подгруппы по принципиальному функциональному признаку:

- коммутаторы с постоянной, не зависящей от частоты вращения коленчатого вала скважностью выходного первичного импульса тока;
- коммутаторы с нормируемой скважностью выходного импульса тока.

Общим для обеих групп коммутаторов является наличие в выходной цепи мощного выходного транзистора, способного коммути-

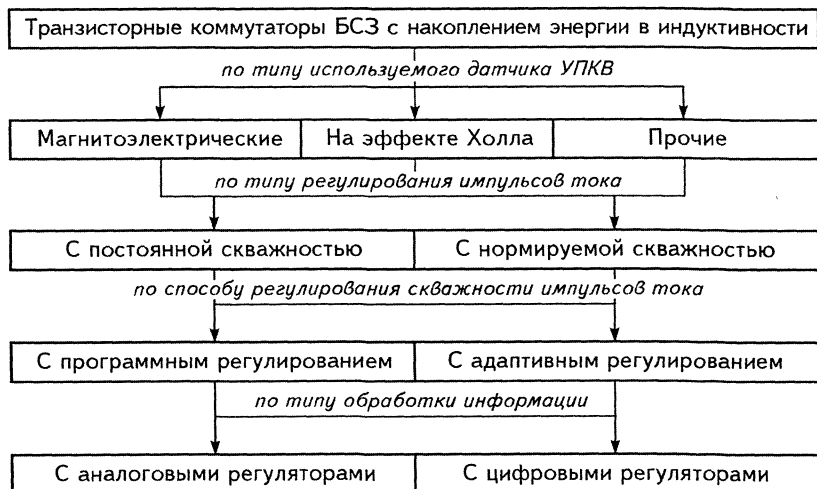


Рис. 3.38. Классификация транзисторных коммутаторов

ровать токи амплитудой до 10 А в индуктивной нагрузке коллекторной цепи.

Рассмотрим основные схемы управления выходным транзистором системы зажигания и способы его защиты.

Для того чтобы включить выходной транзистор и обеспечить режим насыщения, необходимо подать в базу управляющий ток

$$i_y \geq \frac{I_p}{B_{ст}} k_n, \quad (3.12)$$

где I_p – сила коллекторного тока транзистора к моменту прерывания; $B_{ст}$ – статический коэффициент усиления по току транзистора; k_n – коэффициент насыщения, который должен быть больше 1 (выбирается в пределах 2...4 для ключевых каскадов).

В качестве источника управляющего тока используется каскад предварительного усиления, включенный, как правило, по схеме с общим коллектором (рис. 3.39,а). Такое включение является наиболее экономичным с точки зрения рассеиваемой мощности. Когда транзистор $VT1$ открыт, в базу транзистора $VT2$ течет ток

$$i_y = \frac{U_{п} - U_{кзнасVT1} - U_{эбнасVT2}}{R_k} - \frac{U_{эбнасVT2}}{R_{бз}},$$

причем значение i_y должно удовлетворять условию (3.12).

Значения напряжений насыщения транзисторов $VT1$ и $VT2$ выбираются из паспортных данных, резистор R_k служит для ограничения коллекторного тока через транзистор $VT1$. Если транзистор $VT1$ закрыт, управляющий ток $i_y = 0$ и база транзистора $VT2$ зашунтирована на корпус через резистор $R_{бз}$; следовательно, транзистор надежно закрыт. Резистор $R_{бз}$ улучшает условия закрывания транзистора $VT2$. Соппротивление резистора $R_{бз}$ в зависимости от типа транзистора выбирается от 10 до 1000 Ом.

Недостатком схемы является значительное изменение управляющего тока при колебаниях питающего напряжения. Так как номинал резистора R_k рассчитывается при минимальном значении питающего напряжения, то при больших значениях питающего напряжения мощность, рассеиваемая на резисторе R_k , равна 10...12 Вт, если используются выходные транзисторы с $B_{ст} = 5...10$. При использовании выходных транзисторов, имеющих $B_{ст} = 100...150$, рассеиваемая мощность на резисторе R_k снижается до 3 Вт. Мощность, рассеиваемая в каскаде предварительного усиления, может быть снижена приблизительно в 3 раза за счет стабилизации управляющего тока. С этой целью в схему введены токоизмерительный резистор R_t и транзистор обратной связи $VT3$ (рис. 3.39,б). Падение напряжения на резисторе R_t от протекающего через него управляющего тока $I_{уст}$ приложено к участку база – эмиттер транзистора $VT3$. Любое отклонение значения управляющего тока от $I_{уст}$, например при колебаниях питающего напряжения, вызывает изменение напряжения на резисторе R_t и, следовательно, изменение режима работы транзистора $VT3$. При увеличении управляющего тока потенциал на коллекторе транзистора $VT3$ начинает уменьшаться, транзистор $VT1$ закрывается, уменьшая тем самым ток управления до заданного уровня $I_{уст}$. При уменьшении тока управления ниже уровня $I_{уст}$ потенциал на коллекторе транзистора $VT3$ возрастает, управляющий транзистор $VT1$ открывается в большей степени и ток управления возрастает до уровня $I_{уст}$. Таким образом обеспечивается стабилизация управляющего тока на уровне $I_{уст}$.

Способы защиты выходных транзисторов от перенапряжений. Необходимость в защите выходного транзистора от перенапряжений возникает в ряде специфических режимов работы системы зажигания. Например, режим открытой вторичной цепи является аварийным. В этом случае значительно увеличивается амплитуда импульса первичного напряжения, прикладываемого к участку коллектор – эмиттер выходного транзистора, что может вызвать пробой перехода. Кроме того, увеличивается и амплитуда импульса вто-

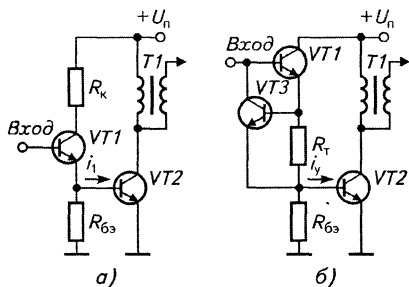


Рис. 3.39. Схема управления коммутационным транзистором системы зажигания:

а – каскад на эмиттерном повторителе; б – каскад со стабилизатором тока

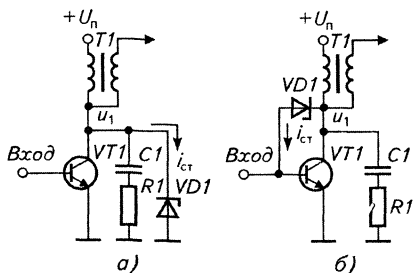


Рис. 3.40. Способы включения стабилитрона для защиты транзистора от перенапряжения:

а – параллельно участку коллектор-эмиттер; б – параллельно участку коллектор-база

ричного напряжения, что может вызвать пробой изоляции вторичной цепи катушки зажигания и, следовательно, отказ системы зажигания. Для ограничения амплитуды импульса первичного напряжения на допустимом для выходного транзистора уровне используют схемы защиты, выполненные, как правило, на нелинейных элементах – стабилитронах и варисторах.

Наиболее простой является схема, представленная на рис 3.40,а. В этой схеме защитный стабилитрон VD1 включен параллельно участку коллектор – эмиттер транзистора VT1. Напряжение пробоя стабилитрона VD1 выбирают немного меньшим $U_{кз доп}$ транзистора VT1. Увеличение первичного напряжения до $U_1 < U_{CT VD}$ не приводит к пробую стабилитрона. При увеличении первичного напряжения до $U_1 > U_{CT VD}$ стабилитрон пробивается и через него начинает протекать ток i_{CT} , при этом амплитуда импульса первичного напряжения ограничивается на допустимом для транзистора VT1 уровне. Амплитуда импульса тока через стабилитрон составляет 2...4 А, что влечет за собой применение мощных стабилитронов.

Создание новых силовых транзисторов, способных коммутировать большую импульсную энергию (более 200 мДж), а также стремление уменьшить габариты коммутатора позволили осуществить защиту выходного транзистора VT1 путем введения стабилитрона параллельно его базокolleкторному участку (рис. 3.40,б). Этот способ позволяет уменьшить импульсный ток через стабилитрон в B_{CT} раз (B_{CT} – статический коэффициент усиления по току выходного транзистора VT1).

При увеличении первичного напряжения до $U_1 > U_{ст}$ стабилитрон пробивается и в базу выходного транзистора втекает ток, который приоткрывает транзистор $VT1$ на время действия импульса перенапряжения. Проводящий участок коллектор – эмиттер транзистора $VT1$ шунтирует источник напряжения, ограничивая тем самым амплитуду первичного импульса на допустимом уровне.

Существуют также другие более сложные схемные решения, позволяющие еще больше снизить импульсный ток через стабилитрон.

Конденсатор $C1$, включенный параллельно участку коллектор – эмиттер выходного транзистора, служит для предотвращения выхода транзистора в область лавинного пробоя в процессе его закрывания, а также является элементом ударного колебательного контура возбуждения, т. е. определяет величину и скорость нарастания вторичного напряжения, развиваемого системой зажигания. Резистор $R1$ ограничивает емкостный ток через участок коллектор – эмиттер транзистора $VT1$ в момент открывания последнего, если конденсатор $C1$ заряжен.

Защита выходного транзистора от инверсного включения. После закрывания выходного транзистора в первичном контуре катушки зажигания возникает колебательный процесс. В течение действия отрицательной полуволны импульса первичного напряжения транзистор оказывается включенным в инверсном режиме, что недопустимо для некоторых типов транзисторов. Инверсное включение транзистора также возможно в случае перепутывания полярности аккумуляторной батареи.

Для защиты транзистора $VT1$ от инверсного включения последовательно в выходную цепь коммутатора включают полупроводниковый диод $VD1$ (рис. 3.41, а), рассчитанный на прямой ток, равный по значению току разрыва.

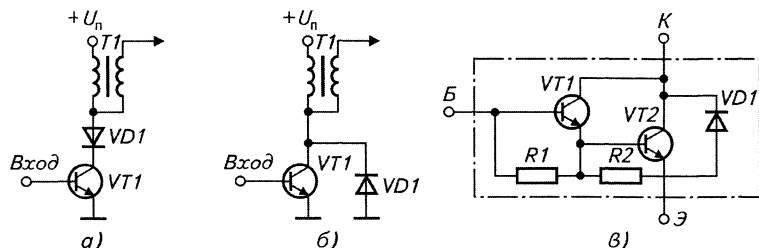


Рис. 3.41. Способы защиты транзистора от инверсного включения:
 а – последовательное включение диода; б – параллельное включение диода; в – монолитный транзистор Дарлингтона с защитным диодом

Последовательное включение силового диода имеет свои отрицательные стороны. Во-первых, увеличиваются тепловые потери в выходной цепи коммутатора; во-вторых, усложняется его конструкция и, наконец, в-третьих, значительно снижается сила тока разрыва в период пуска двигателя при сильно разряженной аккумуляторной батарее.

Другим способом защиты выходного транзистора $VT1$ от инверсного включения является включение силового диода $VD1$ параллельно участку коллектор – эмиттер транзистора (рис. 3.41,б). При этом включении разрушается колебательный процесс после первой полуволны первичного напряжения. Процесс становится апериодическим. Параллельное включение диода позволяет уменьшить падение напряжения в выходной цепи коммутатора, рассеиваемую мощность и габариты. Защитный диод выполняется на одном кристалле с выходным транзистором. На рис. 3.41,в приведена схема однокристалльного транзистора Дарлингтона, выполненного на транзисторах $VT1$ и $VT2$. Параллельно участку коллектор – эмиттер включен мощный диод $VD1$.

Ограничение амплитуды импульса первичного тока. Функционально простые коммутаторы с постоянной скважностью (КПС) не содержат специального устройства ограничения тока. В системах зажигания, использующих КПС, применяется пассивное ограничение уровня тока за счет последовательного включения в нагрузочную цепь коммутатора добавочного сопротивления $R_{доб}$, которое закорачивается в режиме пуска.

Коммутаторы с нормируемой скважностью (КНС) используют активное ограничение уровня тока. На рис. 3.42 представлен один из наиболее распространенных вариантов схемы ограничения тока. Принцип действия схемы состоит в следующем. После открывания выходной транзистор $VT3$ вводится в насыщение током i_y , что обеспечивает низкое остаточное напряжение на выходе коммутатора. Процесс характеризуется нарастанием первичного тока. Пока ток, протекающий через выходной транзистор $VT3$ и токоизмерительный резистор $R_{и}$, включенный последовательно в эмиттерную цепь транзистора, ниже допустимого уровня ограничения, транзистор $VT2$ закрыт. При достижении током i_1 допустимого уровня транзистор $VT2$ начинает открываться. Потенциал на его коллекторе понижается, что приводит к уменьшению силы тока управления i_y . Транзистор $VT3$ выходит из режима насыщения в активный режим. Напряжение на выходе коммутатора возрастает до уровня, при котором поддерживается заданный ток ограничения.

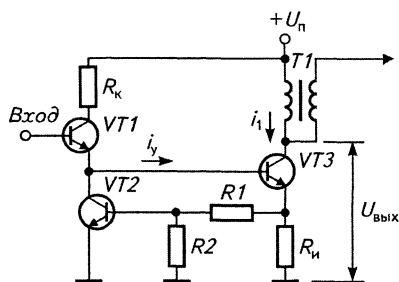


Рис. 3.42. Выходной каскад коммутатора с ограничителем амплитуды импульса первичного тока

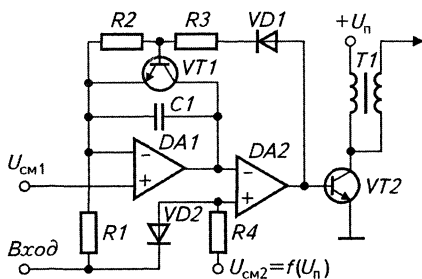


Рис. 3.43. Типовая схема программного регулятора времени накопления

Регулировка уровня ограничения тока производится резисторами $R1$, $R2$ делителя во входной цепи транзистора $VT2$. Введение в коммутатор активного ограничителя тока позволяет не только защищать коммутационный транзистор от чрезмерного тока, но также стабилизировать ток разрыва при колебаниях питающего напряжения в широких пределах, тем самым обеспечивая неизменные выходные характеристики системы зажигания.

Однако активный режим работы связан с большим выделением тепловой мощности на выходном транзисторе (порядка 60...80 Вт), что накладывает жесткие требования на продолжительность включенного состояния выходного транзистора. Время включенного состояния или время накопления энергии должно регулироваться таким образом, чтобы минимизировать или исключить вообще нахождение выходного транзистора в режиме ограничения в рабочем диапазоне частот вращения вала двигателя. Эту задачу решают регуляторы времени накопления.

Программный регулятор времени накопления запасаемой энергии. Регулятор (рис. 3.43) содержит интегратор, выполненный на усилителе $DA1$ и конденсаторе $C1$, устройство сброса на транзисторе $VT1$, диоде $VD1$ и резисторах $R2$, $R3$ и компаратор, выполненный на усилителе $DA2$.

Принцип работы схемы иллюстрируется временными диаграммами (рис. 3.44). В период действия низкого уровня сигнала датчика $U_{вх}$ конденсатор $C1$ (см. рис. 3.43) интегратора $DA1$ заряжается до максимального за период значения напряжения $U_{с1}$ за счет смещения $U_{см1}$. При высоком уровне сигнала датчика конденсатор $C1$ разряжается. Токи заряда и разряда соотносятся со скважностью сигнала датчика таким образом, что напряжение на вы-

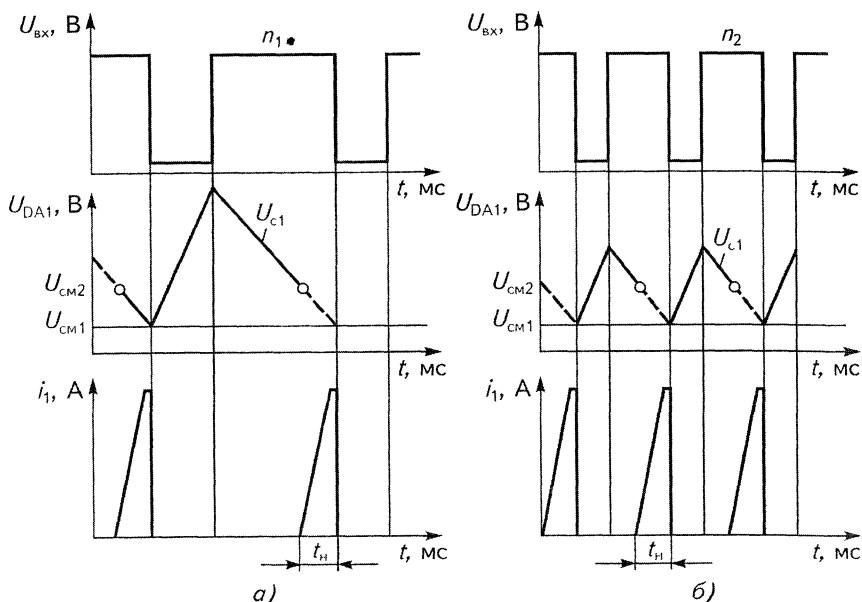


Рис. 3.44. Принцип регулирования времени накопления при различной частоте вращения вала двигателя ($n_1 < n_2$):
а – n_1 ; б – n_2

ходе интегратора после разряда конденсатора опять достигает опорного значения U_{cm1} . Если напряжение интегратора сравнивается в компараторе $DA2$ с постоянным пороговым значением напряжения U_{cm2} , то на выходе компаратора формируется независимо от продолжительности периода сигнала датчика сигнал определенной длительности времени t_H перед следующим импульсом зажигания. Одновременно этот сигнал используется для того, чтобы быстро разрядить конденсатор $C1$ через транзистор $VT1$ и привести выход интегратора к начальному значению U_{cm1} .

Так как необходимая продолжительность включения катушки зажигания зависит также от питающего напряжения, для коррекции продолжительности включения порог компаратора U_{cm2} делается зависящим от питающего напряжения.

Выбором постоянных времени заряда и разряда конденсатора и опорного уровня напряжения компаратора обеспечивается требуемый закон изменения скважности выходного импульса тока в зависимости от частоты следования входных импульсов.

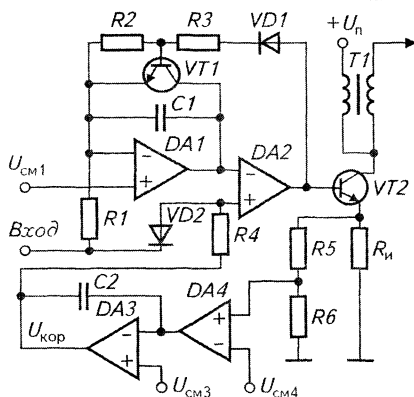


Рис. 3.45. Типовая схема адаптивного регулятора времени накопления

Рассмотренный тип регулятора представляет собой регулятор с программным регулированием. Недостатком коммутаторов с программным регулированием является невозможность учета всех факторов, влияющих на силу тока разрыва в катушке зажигания. К таким факторам можно отнести, например, разброс параметров первичной обмотки катушки зажигания ($R1$, $L1$), нестабильность скважности сигнала датчика в процессе эксплуатации, разброс номиналов элементов схемы при воздействии окру-

жающей среды. Отсюда невысокая точность приближения параметров токового импульса к оптимальным значениям. Лучших результатов позволяют добиться коммутаторы с адаптивным регулированием скважности выходного импульса тока.

Адаптивный регулятор времени накопления. Типовая схема адаптивного регулятора (рис. 3.45) отличается от схемы программного регулятора наличием стабилизирующей обратной связи, которая позволяет поддерживать постоянство уровня тока в катушке зажигания независимо от воздействия многочисленных внешних факторов (например, напряжения питания) за счет коррекции скважности выходного токового сигнала.

Устройство коррекции представляет собой интегратор ($DA3$, $C2$), выходное напряжение $U_{кор}$ которого задает опорный уровень $U_{см2}$ компаратора $DA2$. Если опорный уровень изменяется, то изменяется и момент срабатывания компаратора $DA2$. При более низком напряжении $U_{см2}$ катушка зажигания включается на более короткий период времени (рис. 3.46,а). При более высоком опорном напряжении $U_{см2}$ катушка включается на более продолжительный период времени (рис. 3.46,б).

Критерием для регулировки уровня является сигнал компаратора $DA4$ (см. рис. 3.45). Если амплитуда выходного тока достигает своего номинального значения, компаратор $DA4$ включается и на его выходе формируется сигнал высокого уровня. Происходит разряд конденсатор $C2$, интегратора $DA3$, и напряжение $U_{кор}$

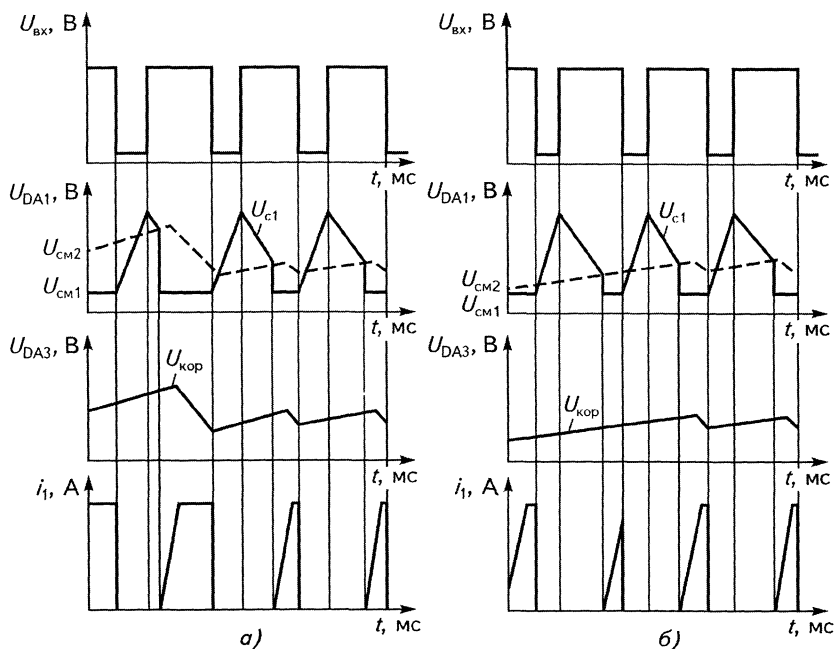


Рис. 3.46. Принцип работы схемы адаптации:

а – в случае превышения длительности импульса тока; б – при уменьшении амплитуды тока ниже номинального значения

на его выходе уменьшается. Низкому уровню напряжения на выходе компаратора $DA4$ соответствует медленный заряд конденсатора $C2$ за счет источника U_{cm3} , что приводит к увеличению напряжения на выходе интегратора $DA3$ и, следовательно, увеличению напряжения U_{cm2} .

Изменение периода следования управляющих импульсов сигналов датчика при ускорении или замедлении двигателя вносит погрешность процесс регулирования. При резком увеличении частоты вращения двигателя возможно уменьшение периода накопления энергии относительно его значения, получаемого при плавном изменении частоты. Это может привести к пропускам искрообразования. Для исключения этого явления расчетное значение скважности выходного токового импульса КНС выбирается таким образом, чтобы при максимальных ускорениях период накопления энергии не снижался ниже критического значения. Однако в установившемся режиме это приводит к излишнему рассеиванию мощности.

Контроллеры. Контроллер представляет собой электронное устройство, предназначенное для управления углом опережения зажигания в функции ряда параметров двигателя. Он также обеспечивает управление электроклапаном экономайзера принудительного холостого хода (ЭПХХ) и в ряде случаев принимает на себя функцию регулирования накопления энергии катушке зажигания. В состав электронной системы зажигания контроллер может входить как автономный конструктивно законченный узел либо как интегрированный с транзисторным коммутатором электронный блок.

Рассмотрим основные принципы электронного регулирования момента зажигания. Из всего многообразия систем зажигания с регулируемым углом опережения зажигания можно выделить два основных направления их реализации: системы с *аппаратурным* и *программным* принципами построения.

Алгоритм работы регуляторов угла опережения с аппаратурной реализацией («жесткой» логикой) определяется логическими связями между ее элементами. При видоизменении характеристик угла опережения зажигания необходимо изменить эти связи, что вызывает определенные неудобства как на этапе проектирования таких устройств, так и при промышленном производстве, когда возможны модификации двигателей, требующие различных характеристик. Отсутствие гибкости, т. е. приспособляемости таких устройств к различным характеристикам, является их основным принципиальным недостатком.

Кроме того, такие регуляторы реально позволяют воспроизводить лишь относительно простые характеристики и не обеспечивают реализацию значительно более сложных оптимальных характеристик, имеющих целый ряд изломов, с положительными и отрицательными участками.

Значительно большими возможностями обладают системы управления углом опережения зажигания с памятью. В таких системах, как правило, программа работы определяется логическими связями между функциональными устройствами, а данные, определяющие индивидуальные особенности их характеристик, воспроизводимых системой, хранятся в ее памяти в виде комбинаций кодов чисел. Основным достоинством этого стандартного функционально законченного устройства является возможность длительного хранения большого массива информации (в том числе закодированной информации об угле опережения зажигания) и ее изменения на всех этапах разработки системы без существенных дополнительных затрат. Применение памяти дает возможность использовать цифровую систему зажигания на различных двигателях.

Структурная схема одного из вариантов системы с памятью приведена на рис. 3.47. Зубчатый диск, закрепленный на коленчатом валу двигателя, имеет равномерно расположенные по всей окружности зубья. При вращении диска электромагнитный датчик 1 частоты вращения вырабатывает серию импульсов, число которых определяет угловое положение коленчатого вала относительно ВМТ. Кроме того, на диске устанавливается

дополнительный зуб, при совпадении оси которого с электромагнитным датчиком 2 начала отсчета на выходе последнего формируется импульсный сигнал о достижении поршнем первого цилиндра ВМТ.

Частота вращения коленчатого вала двигателя может определяться путем подсчета числа импульсов, поступающих с датчика 1 за эталонный промежуток времени, или путем подсчета числа импульсов от кварцевого генератора за период импульсов датчиков 1 и 2.

Нагрузка двигателя ΔP_k определяется при помощи датчика абсолютного давления (разрежения) 3, устанавливаемого во впускном коллекторе. Аналоговый сигнал с датчика преобразуется в цифровую форму с помощью аналого-цифрового преобразователя. Система имеет несколько дополнительных информационных входов 4 для других датчиков, например датчика температуры охлаждающей жидкости, детонации, положения дроссельной заслонки и др. Сигналы с датчиков формируются с помощью специальных схем 5 (интерфейсов) перед подачей их в узел обработки данных 6. Одним из основных устройств узла обработки является постоянное запоминающее устройство 7 (ПЗУ).

На основании сигналов о частоте вращения коленчатого вала и нагрузке двигателя узел обработки данных формирует адрес, по которому осуществляется обращение к ПЗУ и выборка (считывание) значения угла опережения зажигания, соответствующего данному режиму работы двигателя. Это значение в дальнейшем может корректироваться в зависимости от показаний других датчиков. При достижении коленчатым валом двигателя положения, соответствующего расчетному значению, угла опережения зажигания, узел обработки данных формирует сигнал управления коммутатором 8.

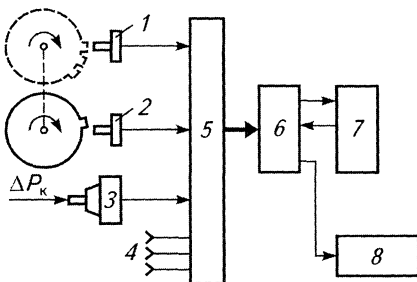


Рис. 3.47. Структурная схема цифровой системы зажигания с памятью

Из рассмотренного принципа работы системы следует ряд важных выводов:

- погрешности привода распределителя в данной системе сведены к нулю благодаря работе непосредственно от зубчатого диска, жестко укрепленного на коленчатом валу двигателя;
- частота вращения коленчатого вала двигателя определяется путем подсчета числа импульсов, формируемых датчиком оборотов за заданный период времени, который в принципе может задаваться с любой реальной точностью;
- характеристики системы могут изменяться путем изменения содержимого ПЗУ;
- система может воспроизводить характеристики угла опережения зажигания практически с любой точностью, определяемой лишь числом зубьев диска;
- так как все перечисленные операции проводятся цифровыми узлами, характеристики системы практически не подвержены временным и температурным изменениям.

Благодаря гибкости системы такого типа наиболее полно удовлетворяют современным требованиям. На рис. 3.48 приведена трехмерная калибровочная диаграмма, представляющая взаимосвязь трех параметров двигателя: частоты вращения коленчатого вала, нагрузки, угла опережения зажигания.

Из приведенного примера следует, что характеристика оптимальных углов опережения зажигания цифровой системы с гибкой

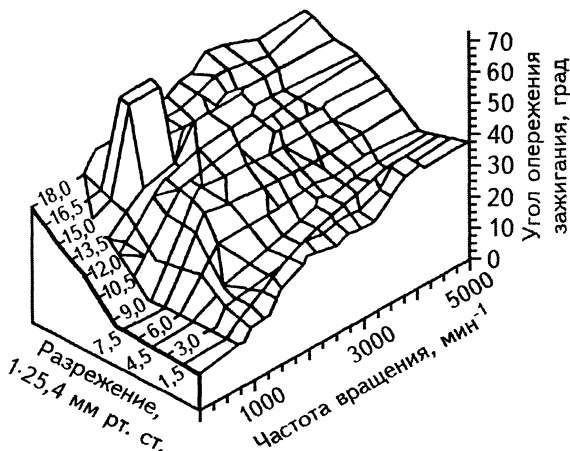


Рис. 3.48. Калибровочная диаграмма цифровой системы зажигания

памятью значительно сложнее характеристик, которые могут быть воспроизведены системами с механическими автоматами. Одним из основных недостатков этих систем, обусловленных сложностью, является необходимость их реализации в виде заказных больших интегральных схем (БИС). Выполнение этого условия обязательно, если приняты во внимание жесткие требования к надежности работы системы и массовости выпуска. Недостатком является также необходимость изменять аппаратную часть при изменении характеристик угла опережения зажигания или алгоритма работы системы зажигания.

Этих недостатков лишены системы с программируемой логикой, в которых при изменении алгоритма работы системы необходимо лишь заменить управляющую программу и ввести данные в ПЗУ. Такие системы обычно реализуются на базе микропроцессоров.

Системы, построенные на базе микропроцессоров, по основным принципам работы практически не отличаются от ЭВМ, широко используемых во многих областях науки и техники. Основное отличие заключается лишь в том, что последние достижения в области микроэлектроники позволили выполнять ЭВМ в виде одной или нескольких БИС, поэтому они получили название микроЭВМ.

Одним из объектов, на которых по прогнозам ожидается массовое применение микроЭВМ, является автомобиль. Это объясняется тем, что системы автомобиля имеют достаточно сложные функции регулирования, для реализации которых требуется выполнение большого объема вычислений. И микроЭВМ с их способностью быстро анализировать большой объем информации являются идеальным решением данной проблемы. К этому еще необходимо добавить, что одна микроЭВМ может управлять несколькими системами автомобиля. Последнее утверждение чрезвычайно важно, так как ряд задач, в том числе и задача повышения эффективности работы двигателя, носит комплексный характер, затрагивающий не только систему зажигания, но и систему топливоподачи.

3.7.4. Электронное распределение высокого напряжения по цилиндрам двигателя

Средства электроники позволили осуществить распределение высоковольтных импульсов по цилиндрам двигателя путем коммутации низковольтных цепей катушки (или катушек) зажигания. Такой способ распределения высоковольтных импульсов может быть назван *низковольтным* или *электронным*, поскольку коммутация осуществляется при помощи электроники. Применение электронного

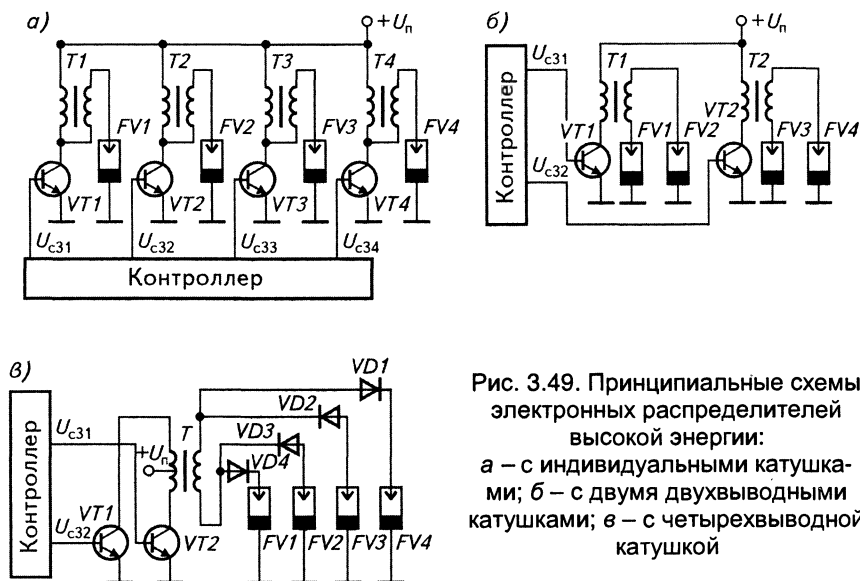


Рис. 3.49. Принципиальные схемы электронных распределителей высокой энергии:
а – с индивидуальными катушками; б – с двумя двухвыводными катушками; в – с четырехвыводной катушкой

распределения позволяет существенно снизить уровень радиопомех при работе системы зажигания.

Ниже рассматриваются практические варианты схем электронного распределения для четырехтактных четырехцилиндровых автомобильных двигателей (рис. 3.49).

В системе зажигания с применением одновыводных катушек зажигания традиционного исполнения (рис. 3.49,а) каждый цилиндр двигателя снабжен собственной катушкой зажигания $T1-T4$, имеющей индивидуальный коммутационный ключ $VT1-VT4$. Управление работой ключей осуществляется сигналами $U_{c31}-U_{c34}$, вырабатываемыми контроллером.

По второму варианту (рис. 3.49,б) два цилиндра, момент зажигания которых смещен на 360° по коленчатому валу, снабжены двухвыводной катушкой зажигания, искровые промежутки (FV) свечей соединены последовательно и искрообразование происходит одновременно в двух цилиндрах. При этом одна искра реализуется в такте расширения (холостая искра), а другая – в такте сжатия (рабочая). Для четырехцилиндрового двигателя требуется наличие двух катушек зажигания, управляемых по первичной стороне собственным коммутатором.

Возможна замена двух катушек зажигания на одну четырехвыводную с двумя включенными встречно первичными обмотками, которые намагничивают сердечник в двух направлениях. Распределение высоковольтных импульсов по цилиндрам двигателя осуществляется с помощью выпрямителя на высоковольтных диодах $VD1-VD4$, подключенного к обоим концам вторичной обмотки (рис. 3.49, в). Здесь также две свечи зажигания работают одновременно, т. е. одна искра является холостой. Управление работой катушки зажигания по первичной стороне осуществляется аналогично варианту на рис. 3.40, б.

Описанные варианты систем зажигания с низковольтным распределением имеют свои преимущества и недостатки. Например, первый вариант использует традиционные катушки, но он громоздок. Во втором варианте используется уже две катушки зажигания. Третий вариант с одной катушкой требует усложнения ее конструкции из-за необходимости встраивания высоковольтных диодов с обратным напряжением, равным максимально возможному напряжению катушки зажигания (приблизительно 30...40 кВ).

3.7.5. Особенности конструкций аппаратов электронных систем зажигания для автомобильных двигателей

Датчики-распределители. Для контактно-транзисторных систем зажигания используются те же типы распределителей, что и для классической системы, с той лишь разницей, что искрогасящий конденсатор, устанавливаемый параллельно контактам прерывателя, в контактно-транзисторных системах отсутствует. Для бесконтактных систем зажигания применяются датчики-распределители для четырех-, шести- и восьмицилиндровых двигателей различных типов. Датчики-распределители изготавливаются на базе традиционных распределителей, в которых узел прерывателя заменен бесконтактным датчиком.

В качестве примера рассмотрим конструкцию датчика-распределителя 24.3706 (рис. 3.50), предназначенного для работы в БСЗ восьмицилиндровых двигателей. Датчик работает в комплекте с коммутаторами типа 13.3734 и устанавливается на автомобилях ГАЗ-66, ГАЗ-53А и автобусах семейства ПАЗ.

Датчик-распределитель состоит из корпуса с запрессованной в нем медно-графитной втулкой, в которой вращается вал 10 распределителя с центробежным регулятором (автоматом) 9, ротором датчика 7 и бегунком 6 распределителя. Подвижная (опорная) пластина 8 прерывателя установлена в шарикоподшипнике. Центробежный автомат 9 установлен под датчиком 7. Бесконтактный датчик 7 представляет собой генераторный датчик с вращающимся магнитом.

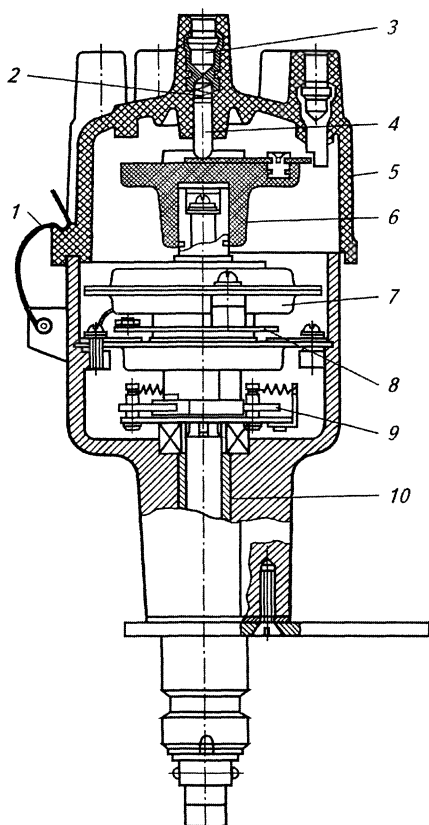


Рис. 3.50. Датчик-распределитель 24.3706:

- 1 – удерживающая пружина (фиксирующая); 2 – пружина; 3 – клемма высокого напряжения; 4 – помехоподавительные сопротивления;
- 5 – крышка; 6 – ротор (бегунок); 7 – магнитоэлектрический датчик в сборе; 8 – опорная пластина;
- 9 – центробежный регулятор в сборе; 10 – ведущий вал прерывателя-распределителя

- фланцевое крепление распределителя к корпусу двигателя;
- жесткая, непосредственная связь приводного валика распреде-

Центробежный автомат опережения зажигания имеет две пластины (верхнюю и нижнюю), два грузика, две пружины. Грузики стянуты пружинами. Вакуумный автомат (на рис. 3.50 не показан) расположен на корпусе распределителя и приводится в действие через бензомаслостойкую диафрагму, в центре которой имеется шток, соединенный с опорной пластиной 8. С целью подавления радиопомех в высоковольтной крышке установлено помехоподавительное сопротивление 4.

От рассмотренной конструкции датчика 24.3706 в значительной мере отличается конструкция датчиков-распределителей, предназначенных для установки на двигатели переднеприводных автомобилей типов ВАЗ-2108, ВАЗ-2109, ВАЗ-1111. Специфика конструкции двигателя переднеприводного автомобиля, а также высокие требования к электрическим параметрам и точности момента зажигания системы зажигания определили особенности конструктивного исполнения распределителей:

- горизонтальное расположение валика распределителя при установке на двигатель;
- установка двух опор по краям приводного вала распределителя;

лителя с бегунком;

– усиленная изоляция крышки за счет применения искростойкой пластмассы из полибутилентерфталата.

Первые три конструктивные особенности вызваны необходимостью увеличить жесткость распределителя и уменьшить погрешность момента искрообразования, связанную с вибрацией двигателя и распределителя. Уменьшению погрешности момента искрообразования служит также торцовое горизонтальное крепление распределителя зажигания и привод непосредственно от распределительного вала двигателя. На рис. 3.51 приведена конструкция датчика-распределителя 40.3706, используемого в составе БСЗ переднеприводного автомобиля ВАЗ-2108. Датчик-распределитель оснащен бесконтактным датчиком углового положения на эффекте Холла. С целью защиты от радиопомех в бегунок введен помехоподавляющий резистор номиналом $R = 1000 \text{ Ом}$, мощностью $2,0 \text{ Вт}$. В схему защиты от излучения радиопомех входят также высоковольтные провода, снабженные экранированными наконечниками свечей зажигания. В наконечники встроены помехоподавительные резисторы номиналом $R = 5 \text{ кОм}$, мощностью 2 Вт .

Катушки зажигания. Конструкция катушек для бесконтактных систем аналогична конструкции катушек классической батарейной системы (см. подраздел 3.4.3). Различие состоит в основном в намоточных данных.

Некоторые характерные особенности рассмотрим на примере катушки зажигания 27.3705, которая широко применяется в составе БСЗ высоких энергий (рис. 3.52, а), например на автомобиле ВАЗ-2108.

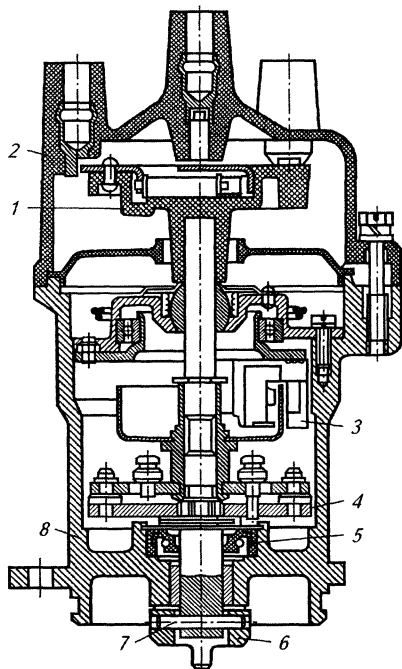


Рис. 3.51. Датчик-распределитель 40.3706:

1 – ротор (бегунок); 2 – крышка распределителя; 3 – подвижный узел вакуумного автомата с датчиком Холла; 4 – центробежный автомат с замыкателем; 5 – подшипник; 6 – плавающая муфта; 7 – штифт; 8 – корпус датчика

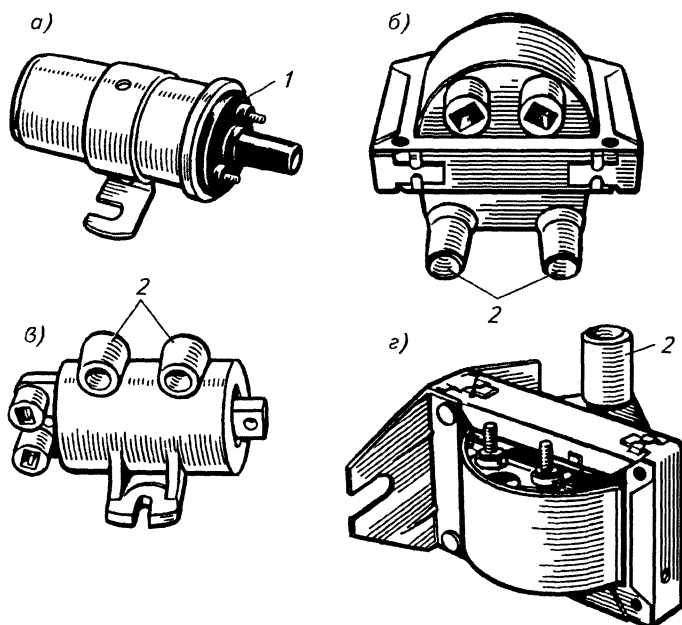


Рис. 3.52. Катушки зажигания:

а – 27.3705; б – 29.3705; в – 3009.3705; г – 3112.3705; 1 – крышка; 2 – выводы

Катушка 27.3705 является аппаратом зажигания, способным развить во вторичной обмотке напряжение 35...40 кВ при работе на открытую цепь. Вследствие этого она имеет усиленную высоковольтную изоляцию. Высоковольтная крышка 1 катушки зажигания выполнена из искроустойчивого материала ПБТ. Особенностью конструкции является относительно низкое значение сопротивления первичной обмотки ($R = 0,45 \text{ Ом}$), что позволяет в достаточной мере стабилизировать выходные характеристики системы зажигания при минимальном значении питающего напряжения (6 В).

В конструкции катушки зажигания предусмотрен специальный клапан, который срабатывает при увеличении давления масла в катушке, что возможно при выходе из строя электронного коммутатора. Введение такого клапана предотвращает опасности взрыва катушки зажигания и воспламенения автомобиля. Существенно отличаются от традиционных конструкция и технология изготовления катушек зажигания для систем зажигания с низковольтным распределением.

Например, двухвыводная катушка зажигания 29.3705, применяемая в составе микропроцессорной системы управления двигателем на автомобиле ВАЗ-21083 (рис. 3.52,б), выполнена по специальной технологии, включающей пропитку обмоток эпоксидными компаундами и последующую опрессовку обмоток морозостойким полипропиленом, образующим собственно корпус катушки.

Дальнейшее улучшение характеристик катушек зажигания направлено на совершенствование конструкции и технологии производства катушек с замкнутой магнитной системой, обладающих большими коэффициентами передачи энергии и связи, по сравнению с катушками с разомкнутой системой при одинаковой запасаемой энергией в первичной цепи.

Отечественной промышленностью освоен выпуск двухвыводной катушки зажигания 3009.3705 ($R1 = 0,52 \text{ Ом}$, $R2 = 6,3 \text{ кОм}$, $L1 = 5,9 \text{ мГн}$, $L2 = 29 \text{ Гн}$, $W1 = 115$, $W2 = 8008$) с замкнутым магнитопроводом (рис. 3.52, в). Вторичная обмотка катушки наматывается на многосекционный каркас, выполненный из пластмассы. Внутри каркаса размещается первичная обмотка. Обе обмотки устанавливаются в пластмассовый корпус и заливаются компаундом. Такая же технология применяется и при производстве новых одновыводных катушек зажигания с замкнутой магнитной системой (рис. 3.52,г), которые планируется использовать в электронных системах зажигания.

Коммутаторы. По конструктивному исполнению и технологии изготовления коммутаторы контактно-транзисторных и бесконтактных систем зажигания могут быть разделены на три группы:

- выполняемые на дискретных полупроводниковых компонентах и корпусных интегральных микросхемах, устанавливаемых на печатных платах;
- выполняемые на базе толсто пленочной технологии с применением стандартных бескорпусных и дискретных компонентов;
- изготавливаемые по гибридной технологии и использующие специальную твердотельную заказную микросхему, на которой реализуются основные функциональные узлы коммутатора.

Коммутаторы контактно-транзисторных систем и коммутаторы с постоянной скважностью выходного импульса тока для бесконтактных систем функционально просты и содержат небольшое число полупроводниковых компонентов (как правило, не более четырех транзисторов), они относятся к первой группе. Их основой служит литой алюминиевый корпус, имеющий ребристую наружную поверхность для увеличения теплоотдачи. Внутри корпуса расположены все элементы коммутатора, за исключением выходного тран-

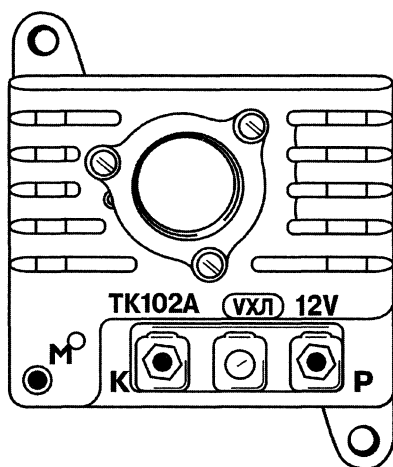


Рис. 3.53. Коммутатор TK102A

зистора, который монтируется на корпусе в специальном «кармане». Многие типы транзисторов (*n-p-n*-типа) требуют изоляции от корпуса коммутатора, и поэтому они монтируются через специальную прокладку. Для снижения теплового сопротивления перехода между корпусом коммутатора и изоляционной прокладкой наносят слой теплопроводной пасты. Для подключения коммутатора к бортовой сети автомобиля и к элементам системы зажигания используется клеммная колодка.

Коммутатор TK102A (рис. 3.53) относится к первой группе. Он предназначен для работы в контактно-транзисторной системе зажигания для автомобилей с восьмицилиндровыми двигателями, но может быть применен для работы с любым классическим распределителем зажигания. В качестве нагрузки используется катушка Б114 ($W_2/W_1 = 235$, $L_1 = 3,7$ мГн, $R_1 = 0,42$ Ом). Для ограничения первичного тока используется добавочное сопротивление СЭ107 (1,04 Ом). Схема коммутатора TK102A (рис. 3.54) содержит один мощный германиевый транзистор VT1 (ГТ701А), стабилитрон VD2 (Д817В) и диод VD1 (Д7Ж), служащие для защиты от перенапряжения силового транзистора VT1, дроссель L1 и резистор R1, предназначенные для ускорения процесса закрывания транзистора VT1, конденсатор C1 первичного контура катушки зажигания, конденсатор C2, служащий для защиты компонентов схемы коммутатора от всплеска напряжения в бортовой сети автомобиля.

Типичным примером коммутаторов для бесконтактных систем зажигания может служить коммутатор 13.3734, разработанный на

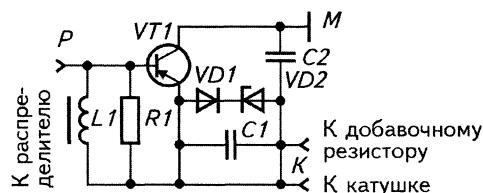


Рис. 3.54. Электрическая схема коммутатора TK102A

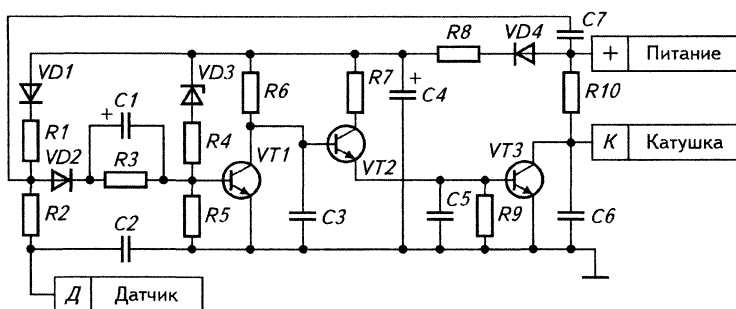


Рис. 3.55. Электрическая схема коммутатора 13.3734

базе первого серийного отечественного коммутатора ТК200 для БСЗ «Искра». Коммутатор предназначен для совместной работы с бесконтактным магнитоэлектрическим датчиком, катушкой зажигания Б116 и добавочным сопротивлением 14.379.

Схема коммутатора (рис. 3.55) содержит выходной транзистор VT3 (КТ848А), каскад предварительного усиления на транзисторе VT2 (КТ630Б) и резисторе R7, формирователь сигнала датчика на транзисторе VT1 (КТ630Б) и элементах R1–R3, C1, VD1, VD2.

Между выходом и входом коммутатора включена положительная обратная связь (R10, C7), обеспечивающая стабильную работу коммутатора на пусковых частотах вращения валика распределителя (20...30 мин⁻¹). Цепочка R3C1 служит для уменьшения электрического смещения момента зажигания в зависимости от частоты вращения датчика.

Коммутатор содержит также цепи защиты выходного транзистора (C5, C6, R9) и элементов схемы (C2–C4, VD3, VD4, R8).

Конструктивно коммутатор выполнен на печатной плате, на которой смонтированы малоомощные элементы схемы. Плата установлена в оребренный литой дюралюминиевый корпус, в котором установлены силовые элементы схем.

Первый отечественный коммутатор с нормируемой скважностью импульсов выходного тока 36.3734, применяемый на автомобиле ВАЗ-2108, выполнен также по дискретной технологии. Коммутатор рассчитан для работы с бесконтактным датчиком на эффекте Холла. В качестве нагрузки используется катушка 27.3705 ($W_2/W_1 = 85$, $R_1 = 0,5$ Ом, $L_1 = 3,8$ мГн). В коммутаторе 36.3734 реализовано программное регулирование времени накопления энергии в первичной обмотке катушки зажигания, активное ограничение уровня первичного тока (8...9 А), ограничение амплитуды импульса первичного

напряжения (350...380 В), безыскровое отключение первичного тока при остановленном двигателе ($T_{\text{откл}} = 1,5...3$ с). Последнее предназначено для плавного закрывания коммутационного транзистора с целью предотвращения искрообразования при остановке двигателя, когда катушка зажигания осталась под током.

На рис. 3.56 приведена электрическая принципиальная схема коммутатора 36.3734. Основные функциональные узлы схемы выполнены на операционных усилителях *DA1.1–DA1.4*, которые являются компонентами микросхемы K1401УД1. На базе усилителей *DA1.2* и *DA1.3* реализованы интегратор и компаратор схемы нормирования скважности импульсов выходного тока. На усилителе *DA1.1* собрана схема безыскрового отключения тока, на усилителе *DA1.4* – компаратор схемы ограничения амплитуды выходного тока. В качестве выходного транзистора применен транзистор Дарлингтона типа КТ848А.

Конструктивно коммутатор представляет собой печатную плату, на которой размещены радиокомпоненты схемы, за исключением выходного транзистора *VT4*, защитного диода *VD7* и стабилитрона ограничителя напряжения питания *VD4*, которые смонтированы на корпусе коммутатора. Для подключения коммутатора к бесконтактному датчику Холла, к катушке зажигания и источнику питания используется семиконтактный разъем.

К недостаткам коммутаторов первой группы можно отнести большие габаритные размеры и массу изделий, а также при крупносерийном производстве низкую технологичность и недостаточную надежность в связи с большим количеством радиокомпонентов. Существенного снижения массогабаритных показателей можно добиться при изготовлении коммутаторов по толсто пленочной технологии с применением стандартных бескорпусных компонентов. В то же время они относительно дороги, трудоемки в производстве и поэтому не нашли широкого применения.

Наилучшими показателями с точки зрения трудоемкости, технологичности и надежности обладают коммутаторы третьей группы. Они содержат специальную заказную микросхему, на которой реализуются основные функциональные узлы: схема нормирования скважности с адаптацией по уровню выходного тока, схема безыскрового отключения тока, устройство ограничения тока и некоторые другие узлы. По гибридной толсто пленочной технологии выполняется силовая часть схемы коммутатора с элементами защиты от импульсных перегрузок по цепи питания. Примером использования этой технологии может служить коммутатор 0.227.100.103 фирмы Bosch (рис. 3.57).

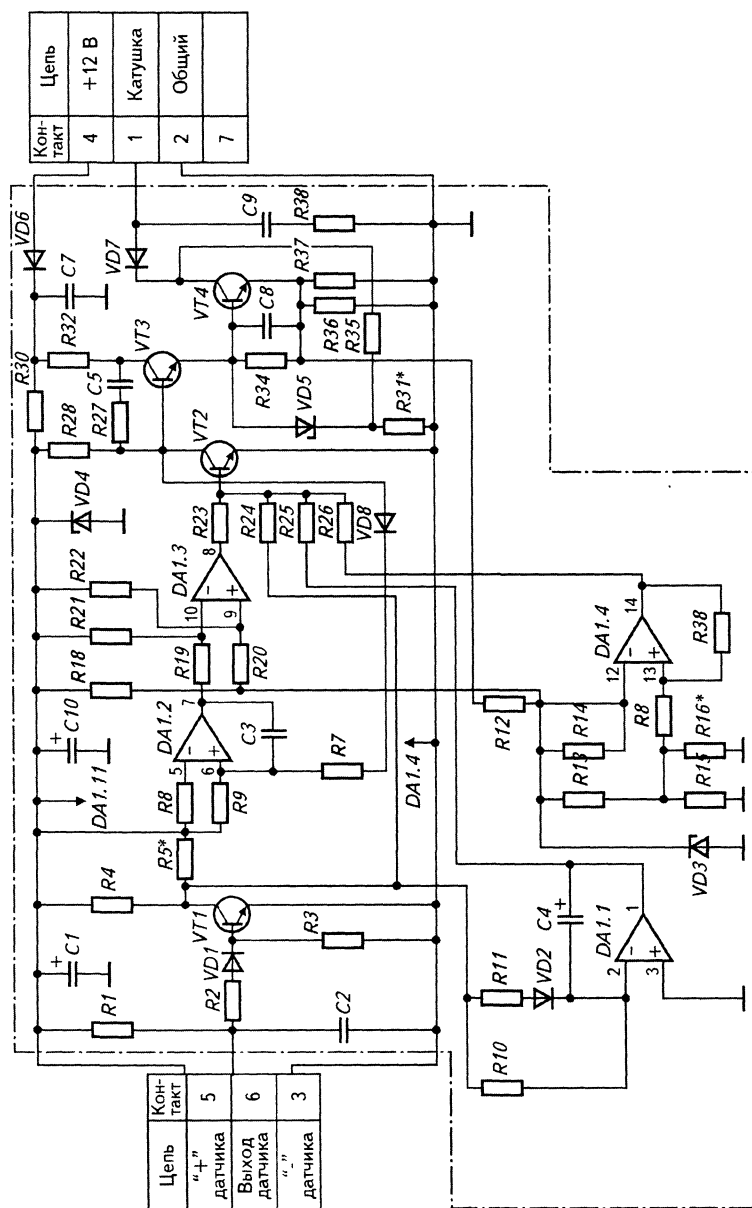


Рис. 3.56. Электрическая схема коммутатора 36.3734

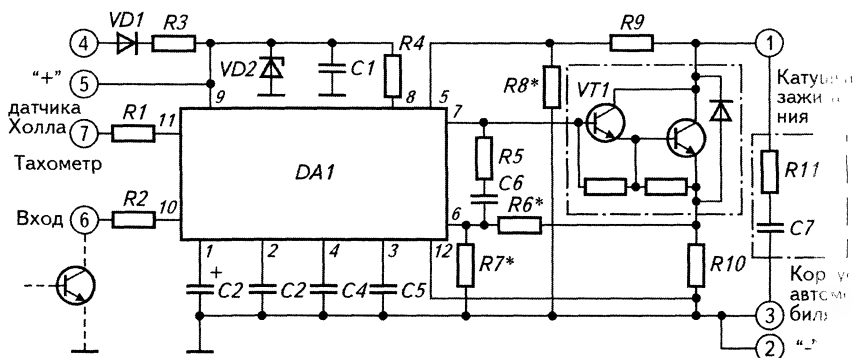


Рис. 3.57. Электрическая схема гибридного коммутатора фирмы Bosch

Схема содержит следующие основные элементы: бескорпусный выходной транзистор $VT1$; специализированную микросхему $DA1$ (MA 7355) совместно с навесными миниатюрными конденсаторами $C2-C5$, выполняющую основные функции коммутатора; корпусные диод $VD1$, стабилитрон $VD2$, миниатюрный конденсатор $C1$ и толстопленочные резисторы $R3, R4$, выполняющие функции защиты от импульсных перенапряжений в бортовой сети и переполюсовки полярности батареи. Схема также содержит толстопленочные резисторы, служащие для измерения и подстройки требуемых уровней первичного тока $R6, R7, R10$ и первичного напряжения $R8, R9$. RC-цепь защиты выходного транзистора выполнена на дискретных элементах $C7, R11$.

Отечественной промышленностью также освоен выпуск аналоговых коммутаторов. Внешний вид одноканального и двухканального коммутаторов показан на рис. 3.58.

В основе одноканального транзисторного коммутатора 3620.3734 (рис. 3.59,а) лежит специализированная микросхема КР1055ХП1, выполняющая его основные функции.

1. Управление силовым транзистором, прерывающим ток в первичной цепи системы зажигания.

2. Регулирование времени протекания тока в первичной цепи.

3. Ограничение максимального первичного тока.

4. Переход в режим расширения длительности выходного импульса тока первичной цепи, если значение тока разрыва I_p ниже $(0,9...0,98) I_{p \text{ ном}}$.

5. Восстановление функции регулирования времени протекания тока в течение заданного промежутка времени.

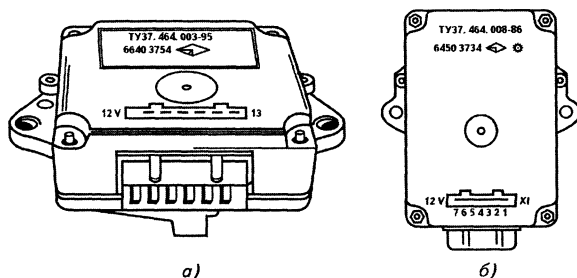


Рис. 3.58. Общий вид коммутаторов:
а – одноканальный; б – двухканальный

6. Формирование управляющего сигнала для работы тахометра.

7. Безыскровое отключение первичного тока при постоянном высоком уровне сигнала с выхода микропереключателя Холла.

8. Защита от перенапряжений в бортсети и инверсного включения источника питания.

В качестве выходного транзистора *VT1* применен транзистор Дарлингтона типа КТ898А с встроенным стабилитроном. Навесные конденсаторы *C3–C6* совместно с резистором *R6* обеспечивают выполнение микросхемой основных функций.

Резисторы *R8* и *R9* служат для измерения первичного тока, используемого в качестве управляющего сигнала для микросхемы *DA1*. Резисторы *R1*, *R2* и *R3* обеспечивают необходимое напряжение питания микросхемы и микропереключателя Холла. Резистор *R5* служит нагрузкой для микропереключателя Холла. Стабилитроны *VD1* и *VD2* защищают микросхему и микропереключатель Холла от перенапряжений в цепи питания.

Кратковременные всплески высокого напряжения, а также перенапряжения обратной полярности гасятся конденсаторами *C1* и *C2*. Резистор *R4* определяет силу тока базы выходного транзистора и, следовательно, значение тока в первичной цепи. Цепочка обратной связи *R7*, *C7* улучшает качество переходного процесса при регулировании первичного тока.

Электрическая схема двухканального коммутатора 6420.3734 (рис. 3.59,б) разработана на основе электрической схемы коммутатора 3620.3734.

Основное различие заключается в наличии двух специализированных микросхем КР1055ХП1 (*DA1* и *DA2*), управляющих работой двух выходных транзисторов *VT2* и *VT3*. В свою очередь микросхемы управляются сигналом с выхода датчика импульсов (или конт-

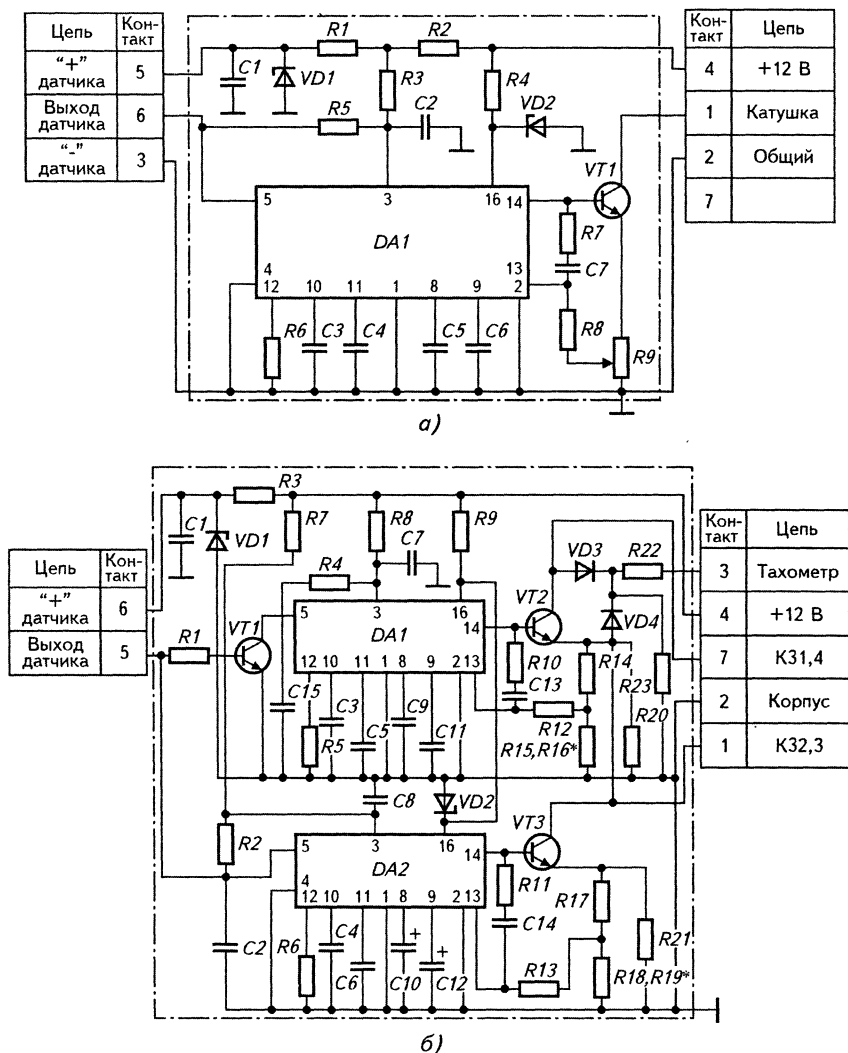


Рис. 3.59. Электрические схемы коммутаторов:
а – одноканального 3620.3734; б – двухканального 6420.3734

роллера) через схему разделения каналов коммутатора посредством ключевого каскада на транзисторе VT1 (КТ352БМ). Схема коммутатора также снабжена устройством формирования сигнала управления тахометром (VD3, VD4, R22). Конструктивно коммута-

тор выполнен на одной печатной плате, так же как и коммутатор 3620.3734.

Создан коммутатор с использованием специализированной интегральной схемы L497B, выполненной на основе толстопленочной гибридной технологии.

По мере развития цифровой и микропроцессорной техники и разработки комплексных систем управления двигателем транзисторный коммутатор, сохраняя свое функциональное значение, в конструктивном плане может терять очертания самостоятельного изделия, интегрируясь в рамках единой конструкции с цифровым контроллером или катушкой зажигания. Следующим шагом на пути интеграции электронного блока является передача функции нормирования скважного выходного импульса тока в схему контроллера. В этом случае модуль коммутатора реализует функции распределения высоковольтных импульсов, ограничения тока и первичного напряжения, выдачи сигнала обратной связи об уровне тока в катушке зажигания.

Контроллеры. Отечественной промышленностью разработаны контроллеры серий MC2715.03 для легковых автомобилей ВАЗ-21083 и MC2713.01 для грузовых автомобилей ЗИЛ-4314, предназначенные для управления углом опережения зажигания по оптимальной характеристике регулирования на основе информации от датчиков начала отсчета, частоты вращения, разрежения в задрозсельном пространстве карбюратора и температуры охлаждающей жидкости. Контроллеры осуществляют также управление электроклапаном ЭПХХ.

Контроллер MC2715.03 для легковых автомобилей с четырехтактным четырехцилиндровым двигателем вырабатывает сигнал «выбор канала» для обеспечения функции статического распределения энергии по цилиндрам двигателя.

Структурная схема контроллера приведена на рис. 3.60. На выходы контроллера поступают сигналы от датчика начала отсчета *НО*, датчика угловых импульсов *УИ*, датчика разрежения *ВР*, датчика температуры охлаждающей жидкости $T_{\text{охл}}$.

После обработки сигналов датчиков в аналого-цифровом преобразователе АЦП информация о параметрах двигателя в виде цифровых кодов поступает в процессор, который вычисляет частоту вращения, разрежение, температуру, угловое положение коленчатого вала двигателя и на основании этих данных вычисляет угол опережения зажигания в соответствии с картой углов опережения зажигания двигателя, которая хранится в памяти процессора.

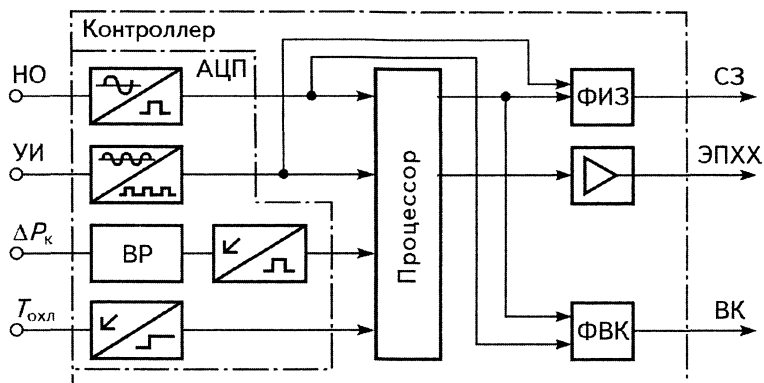


Рис. 3.60. Структурная схема контроллера MC2715.03

Синхронизация работы контроллера с работой ДВС и формирование сигнала «выбор канала» производится посредством импульсов датчика *НО*. Выгодные сигналы процессора управляют работой формирователей импульса зажигания *ФИЗ* и импульса выбора канала *ФВК*, усилителя *ЭПХХ*. Сигналы *ФИЗ* и *ФВК* непосредственно управляют работой двухканального коммутатора.

3.7.6. Преимущества электронных систем зажигания

Применение электронных систем зажигания на автомобилях с карбюраторными двигателями позволяет получить следующие преимущества:

- значительно уменьшается эрозия контактов прерывателя и увеличивается их ресурс (в контактно-транзисторных системах);
- исключаются полностью механический прерыватель и связанные с ним погрешности момента искрообразования и необходимость его регулировки в процессе эксплуатации;
- обеспечивается возможность повышения вторичного напряжения U_{2m} ;
- гарантируется работа на обедненных рабочих смесях, в частности, путем увеличения искрового промежутка в свечах зажигания;
- обеспечивается надежная работа двигателя даже при загрязненных свечах (при малых значениях сопротивления $R_{ш}$ за счет крутого фронта нарастания импульса вторичного напряжения);
- облегчается холодный пуск двигателя при сильно разряженной аккумуляторной батарее (6 В);

- гарантируется оптимальное регулирование угла опережения в функции ряда параметров двигателя (в электронных системах зажигания) без свойственных механическим регуляторам опережения зажигания погрешностей;

- обеспечивается возможность полного отказа от механического высоковольтного распределителя (в системах с низковольтным распределением).

При применении электронных систем зажигания созданы условия, обеспечивающие экономичность и безопасность работы двигателя на всех режимах, повышение его приемистости при разгонах, снижение расхода топлива и токсичности отработавших газов, соответствие уровня излучаемых радиопомех современным требованиям.

3.8. ИСКРОВЫЕ СВЕЧИ ЗАЖИГАНИЯ

3.8.1. Общие сведения

Свеча зажигания предназначена для воспламенения рабочей смеси в цилиндре двигателя. При подаче высокого напряжения на электроды свечи возникает искровой разряд, воспламеняющий рабочую смесь.

Свеча является важнейшим элементом системы зажигания двигателей внутреннего сгорания с принудительным воспламенением рабочей смеси. По исполнению свечи бывают экранированные и неэкранированные (открытого исполнения), по принципу работы: с воздушным искровым промежутком; со скользящей искрой; полупроводниковые; эрозийные; многоискровые (конденсаторные); комбинированные.

Наибольшее распространение на автомобилях получили свечи с воздушным искровым промежутком. Это объясняется тем, что они удовлетворительно работают на современных двигателях, наиболее просты по конструкции и технологичны. В последние годы для специальных двигателей (например, роторно-поршневых и газотурбинных) применяют комбинированные свечи, где искровой разряд проходит частично по воздуху, а частично по поверхности изолятора.

В силу своего назначения и специфики работы свеча влияет на надежность и выходные показатели двигателя. Для правильного выбора конструкции свечи необходимо знать специфические требования, предъявляемые к ней двигателем.

3.8.2. Условия работы свечи на двигателе

Свеча при работе на двигателе подвержена высоким тепловым, механическим, электрическим и химическим воздействиям. По мере развития двигателестроения и форсирования двигателей интенсивность воздействия перечисленных факторов возрастает. Введение в бензин антидетонационных присадок, содержащих металл (свинец или марганец), способствует снижению срока службы свечи.

В процессе работы частота тепловых, механических, электрических и химических воздействий на свечу зависит от частоты вращения коленчатого вала и тактности двигателя. Количество воздействий на свечу в единицу времени на многоцилиндровом, например, восьмицилиндровом четырехтактном, двигателе в 6 раз меньше, чем в двухтактном двигателе. Поэтому срок службы свечей для разных двигателей различен.

Тепловые нагрузки. Температура газовой среды в камере сгорания двигателя колеблется от 70°C (температура свежего заряда смеси, поступающей в цилиндр) до 2000...2700°C (максимальная температура цикла), а наружная часть свечи, находящаяся в подкапотном пространстве, омывается встречным потоком воздуха. В определенных случаях свеча может работать при температуре окружающей среды до -60°C (в северных районах). Из-за неравномерного нагрева свечи возникают тепловые деформации и напряжения, которые усугубляются тем, что материалы ее деталей имеют различные коэффициенты линейного расширения (металл, керамика).

В процессе пуска двигателя на холодном тепловом конусе (части изолятора свечи, находящейся в камере сгорания) возможна конденсация влаги, которая может привести к отказу в искрообразовании. Таким образом, указанный перепад температур свечи должна выдерживать без потери работоспособности. Кроме того, изолятор свечи должен иметь фактически нулевое влагопоглощение, а ее поверхность должна быть стойкой к смачиванию.

Механические нагрузки. Давление в цилиндре двигателя достигает 5...6 МПа (максимальное давление в цикле). На поверхность свечи, находящуюся в камере сгорания, действует усилие, пропорциональное ее площади. Это усилие составляет 0,5...1,2 кН. Кроме того, свеча подвергается вибрационным нагрузкам от работающего двигателя. В процессе сборки по существующей технологии изолятор свечи при завальцовке в корпусе и термоосадке подвергается усилию сжатия, равному 25...30 кН. При ввертывании свечи в голов-

ку цилиндра к ее корпусу прилагается крутящий момент 40...60 Н·м. В процессе эксплуатации этот показатель значительно повышается, особенно при вывертывании свечи из-за образования нагара на резьбе или срыва резьбы в головке цилиндра.

Электрические и химические нагрузки. Свеча находится под электрическим напряжением, приложенным к ее электродам, равным пробивному напряжению искрового промежутка. Это напряжение может превышать 20 кВ. Рабочая часть электродов подвергается воздействию электрической энергии в процессе искрообразования. Износ электродов дополнительно увеличивается из-за того, что в продуктах сгорания находятся вещества, которые вызывают их химическую коррозию. Опыт показывает, что в процессе работы зазор в свече увеличивается в среднем на 0,015 мм на 1000 км пробега автомобиля.

Шунтирование свечи. Неполное сгорание топливной смеси ведет к отложению токопроводящего нагара на поверхности теплового конуса, электродах и стенках камеры свечи. Нагар образуется также из-за попадания смазочного масла на тепловой корпус изолятора, особенно при работе свечи на двухтактном двигателе. Смазочное масло является изолятором для электрического тока, но когда оно смачивает слой ранее отложившегося нагара, то вся образовавшаяся масса превращается в токопроводное вещество. Это отложение постепенно обугливается под действием температуры и становится более токопроводным. При этом напряжение, развиваемое во вторичной цепи системы зажигания, уменьшается и может оказаться равным или даже меньшим пробивного напряжения искрового промежутка свечи, что приводит к нарушению в бесперебойности искрообразования и даже к полному его прекращению.

К аналогичному результату может привести попадание влаги и загрязнение открытой части изолятора свечи, находящейся в подкапотном пространстве автомобиля.

3.8.3. Устройство свечей зажигания

Современная свеча открытого исполнения (рис. 3.61) состоит, как правило, из металлического корпуса 4 с резьбой для ввертывания в головку цилиндра 5, бокового электрода 9, изолятора 3 с контактной головкой 2 и центральным электродом 8. Между коническими посадочными местами изолятора и корпуса кладется уплотнительная теплоотводящая шайба 7. Между головкой блока цилиндров и свечой устанавливается уплотнительное кольцо 6. Для обеспечения контакта между свечой и высоковольтным проводом иногда применяют гайку 1.

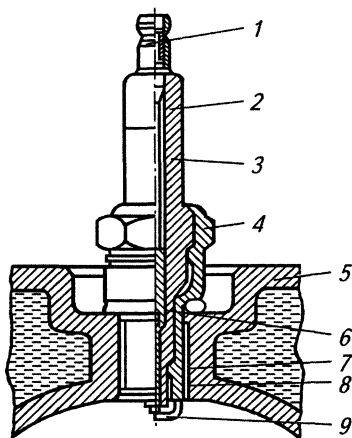


Рис. 3.61. Свеча зажигания открытого типа

Сердечник, включающий в себя изолятор с контактной головкой и центральным электродом, соединяется с корпусом при помощи термоосадки корпуса. При этом буртик корпуса завальцовывается за плечико изолятора, корпус нагревается и опрессовывается с усилием до 30 кН. Корпус нагревают методом пропускания электрического тока силой до 9000 А через термоосадочную канавку. Эту же операцию производят при помощи тока высокой частоты.

Центральный электрод и контактную головку закрепляют в изоляторе с помощью токопроводящего стеклосплава. Этот спо-

соб обеспечивает герметичность свечи в процессе эксплуатации. Центральный электрод устанавливают в канале изолятора сверху, а на него – контактную головку. Изолятор вместе с этими деталями нагревают до температуры 800...900°C, и контактная головка запрессовывается в расплавившуюся таблетку стеклогерметика. Боковой электрод прикрепляют к корпусу методом контактной сварки.

Для специальных целей, в случае необходимости наиболее полного подавления радиопомех или обеспечения работы свечи в условиях сильного загрязнения, применяют экранированные и герметизированные свечи (рис. 3.62).

Контакт провода со свечой при этом обеспечивается с помощью контактного устройства 4, а защита от попадания влаги – с помощью резинового уплотнения 3. Иногда в цепь центрального электрода встраивают подавительное сопротивление 500...10 000 Ом.

Материал центрального электрода должен обладать высокой коррозионной и эрозионной стойкостью, жаростойкостью и хорошей теплопроводностью. Центральные электроды изготавливают из хромтитановой стали 13Х25Т, а у некоторых типов свечей – из никрохрома Х20Н80, боковые электроды – из никель-марганцевого сплава (например, НМц-5). Корпус свечи и контактную головку изготавливают из конструкционных сталей.

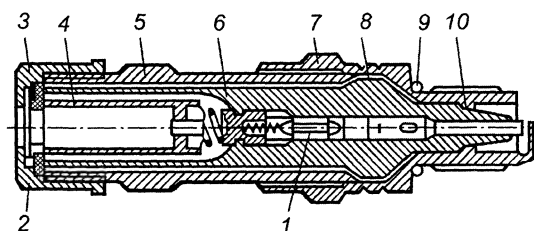


Рис. 3.62. Экранированная свеча зажигания:

1 – помехоподавительный резистор; 2 – накидная гайка; 3 – резиновое уплотнение; 4 – контактное устройство (КУ20); 5 – экран; 6 – сердечник (изолятор в сборе); 7 – корпус с боковым электродом; 8 – шайба; 9 – уплотнительное кольцо; 10 – теплоотводящая шайба

3.8.4. Тепловая характеристика и маркировка свечей

Свеча нормально работает при температуре теплового конуса изолятора в пределах от 400 до 900°C. Нагар на конусе исчезает при нагреве его до температуры 400...500°C. Эта температура называется *температурой самоочищения свечи*. Если температура деталей свечи превысит 850...900°C, может возникнуть преждевременное воспламенение смеси (калильное зажигание) во время процесса сжатия еще до момента появления искры.

Тепло, подведенное к свече, отводится от нее через различные элементы ее конструкции (корпус, изолятор, центральный электрод) и поступающую в камеру сгорания горючую смесь (рис. 3.63). Доля теплоты, отводимая от свечи рабочей смесью, составляет около 20%. Так как оптимальный диапазон изменения температуры для всех свечей практически одинаков, а тепловые условия их работы на различных двигателях существенно отличаются, свечи изготавливаются с различной тепловой характеристикой (калильным числом).

Критерием оценки калильного числа свечи служит отвлеченный показатель, пропорциональный среднему индикаторному давлению и соответствующий порогу калильного зажигания. Калильное число определяют на испытательной установке с одноцилиндровым двигателем путем повышения тепловой нагрузки на свечу зажигания до момента появления калильного зажигания. Калильное число выбирается из следующего ряда чисел: 8, 11, 14, 17, 20, 23, 26.

Маркировка свечей зажигания должна содержать:

обозначение резьбы на корпусе (А – резьба М14×1,25 или М – резьба М18×1,5);

калильное число;

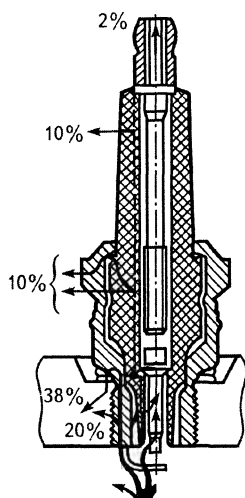


Рис. 3.63. Тепловой баланс свечи

обозначение длины резьбовой части корпуса ($H - 11$ мм, $D - 19$ мм); длину резьбовой части корпуса (12 мм) не обозначают;

обозначение выступающего теплового конуса изолятора за торец корпуса – В; отсутствие выступающего не обозначают;

обозначение герметизации по соединению изолятор – центральный электрод термоцементом – Т, герметизацию иным герметиком не обозначают.

Примером условного обозначения свечи зажигания с резьбой на корпусе $M14 \times 1,25$, калильным числом 20, длиной резьбовой части корпуса 19 мм, имеющей выступание теплового конуса изолятора за торец корпуса, загерметизированной по соединению изолятор – центральный электрод герметиком (кроме термоцемента), является свеча зажигания А20ДВ.

Свечи зажигания подбирают к двигателю с учетом обеспечения надежной работы свечи и двигателя на верхнем и нижнем пределах тепловой характеристики свечи.

3.9. ДИАГНОСТИРОВАНИЕ СИСТЕМ ЗАЖИГАНИЯ

Основной метод диагностирования классической и контактно-транзисторной систем зажигания заключается в *сравнении переходных процессов, происходящих в различных узлах, с эталонными*. Идея метода состоит в том, что характерные кривые напряжений переходных процессов выводят на экран осциллографа и, сравнивая полученные формы кривых с эталонными, выявляют практически любую неисправность системы. Для облегчения анализа изображений осциллограф снабжается специальным устройством, позволяющим получать на экране одновременно несколько изображений (по числу цилиндров двигателя), развернутых на весь экран и расположенных друг над другом или наложенных друг на друга. По осциллограммам можно определить техническое состояние катушки зажигания, конденсатора, первичное и вторичное напряжение, угол замкнутого и разомкнутого состояний контактов прерывателя и др.

Широко распространенным стендом для диагностирования классической и контактно-транзисторной систем зажигания является

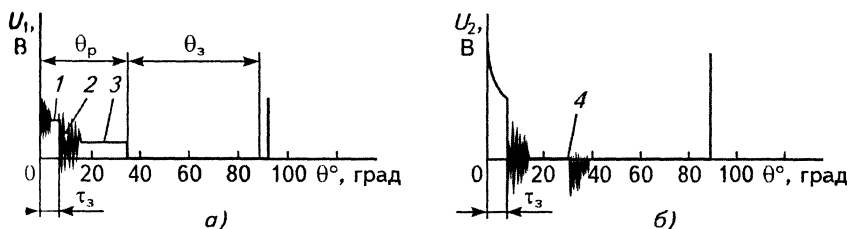


Рис. 3.64. Эталонные кривые первичного (а) и вторичного (б) напряжений системы зажигания

стенд СПЗ-10-12. Наблюдая на экране осциллографа за кривыми изменения напряжения в системе, можно с определенной точностью судить как о состоянии системы зажигания в целом, так и об отдельных элементах.

На рис. 3.64,а приведена эталонная кривая напряжения на контактах прерывателя. По горизонтальной оси отложен угол поворота вала распределителя. Постоянный уровень 3 соответствует напряжению аккумуляторной батареи при разомкнутых контактах прерывателя. Высокочастотные колебания 1 в начале цикла обусловлены колебательным процессом в системе конденсатор – первичная обмотка катушки зажигания при размыкании контактов прерывателя. Высокочастотные колебания 2 на спаде импульса зажигания отражают процесс рассеивания энергии в катушке зажигания после прекращения искрового разряда. Длительность импульса зажигания τ_z определяется запасом энергии в катушке зажигания. В пределах угла θ_p контакты прерывателя разомкнуты, а в пределах θ_z замкнуты.

Описанному циклу изменения напряжения на контактах прерывателя соответствует цикл изменения на вторичной обмотке катушки зажигания (рис. 3.64,б). Высокочастотные колебания 4 вызваны перезарядом распределенных емкостей выходной цепи при замыкании контактов прерывателя.

Неисправности различных элементов системы зажигания определенным образом влияют на форму импульсов напряжения в пределах цикла зажигания. Если в цепи свечи короткое замыкание, то импульс напряжения во вторичной цепи имеет меньшую амплитуду и большую длительность разряда по сравнению с импульсами других цилиндров, однако форма его напоминает нормальные импульсы. Такая же форма импульса наблюдается и при очень малом зазоре между электродами свечи. Нечеткость размыкания контактов прерывателя свидетельствует о загрязнении или неисправности контактов, разболтанном креплении оси контакта или слабом напряжении пружины и приводит к дребезжанию. Несовпадение углов замкнутого

состояния контактов для различных цилиндров двигателя свидетельствует о дефектах привода, крепления контактов прерывателя и т. д. Следует отметить, что в контактно-транзисторной системе импульс напряжения на контактах прерывателя имеет почти прямоугольную форму и осциллографическая кривая этого напряжения позволяет судить лишь о регулировке контактов прерывателя и исправности цепи, в которую включен прерыватель.

Систему зажигания диагностируют при вращении двигателя с частотой 1000 и 2000 мин⁻¹. При частоте вращения 1000 мин⁻¹ определяют состояние катушки зажигания и конденсатора, а также угол замкнутого состояния контактов и его изменение. При увеличении частоты вращения коленчатого вала двигателя до 2000 мин⁻¹ угол замкнутого состояния контактов на наблюдаемой осциллограмме не должен изменяться более чем на 2°. Состояние контактов прерывателя определяют при 1000 мин⁻¹, а затем при увеличении частоты вращения до 2000 мин⁻¹ оценивают по изменению угла замкнутого состояния контактов на осциллограмме.

Первичное напряжение на всех цилиндрах проверяют по углу замыкания контактов прерывателя. Расхождение в углах замыкания для осциллограммы в «наложенном» виде не должно превышать 2°. Проверка вторичных цепей системы зажигания по осциллограмме первого цилиндра определяет полярность вторичного напряжения, состояние вторичной обмотки катушки зажигания и высоковольтного провода от катушки к прерывателю. Осциллограмма вторичного напряжения всех цилиндров в наложенном виде устанавливает увеличение зазора свечи, короткое замыкание, обрыв и увеличение сопротивления в цепи свечи.

Осциллограмма вторичного напряжения всех цилиндров последовательно определяет характер пробивного напряжения на всех свечах и качество работы свечей в режиме работы двигателя до 2000 мин⁻¹. Пробивные напряжения на разных свечах не должны отличаться более чем на 10%.

Диагностирование системы зажигания следует начинать с анализа первичного напряжения. Неисправное состояние контактов прерывателя легко устанавливается по характеру искажения кривой первичного напряжения. Наложённое изображение первичного напряжения всех цилиндров позволяет определить износ кулачка и привода прерывателя, приводящий к асинхронизму в чередовании искр.

Для диагностирования бесконтактных систем зажигания, таких как БСЗ с датчиком Холла или микропроцессорной, использование метода, основанного на сравнении осциллограмм переходных процессов с эталонными, не дает однозначного ответа о техническом со-

стоянии данных систем. Это связано с тем, что процессы, происходящие в электронных блоках, в указанных осциллограммах не проявляются. Наличие неисправностей в электронных блоках, приводящих к полному нарушению функционирования системы зажигания, исключает применение осциллограмм вообще. Поэтому для обеспечения достоверной оценки технического состояния БСЗ существующая диагностическая аппаратура должна комплектоваться специальными средствами технического диагностирования электронных блоков.

Применение электронных блоков в системе зажигания позволит осуществить систему тестового диагностирования, т. е. специальную организацию входных воздействий с одновременной регистрацией выходных ответов блоков. Система тестового диагностирования позволяет производить поиск и локализацию неисправностей в системе зажигания даже при неработающем двигателе.

Разработан ряд устройств и приборов для диагностирования электронных блоков и связанных с ними датчиков бесконтактных систем зажигания. К ним относятся прибор проверки коммутатора (ППК), тестер микропроцессорной системы зажигания (тестер МСУАД), многофункциональный прибор контроля коммутатора (ПКК).

Вопросы для самоконтроля

1. Из каких этапов состоит рабочий процесс системы зажигания?
2. Объясните характер изменения тока в первичной цепи для классической и бесконтактной систем зажигания.
3. Какие факторы определяют первичный ток системы зажигания?
4. Дайте сравнительную характеристику зависимостей $U_{2m} = f(n)$ для контактных и бесконтактных систем зажигания. Объясните характер зависимостей.
5. От каких факторов зависит максимальное вторичное напряжение, развиваемое катушкой зажигания?
6. Какие факторы обуславливают выбор типа свечей зажигания для конкретного двигателя?
7. Дайте сравнительную характеристику бесконтактных датчиков импульсов, применяемых в современных БСЗ.
8. Чем обусловлена необходимость применения формирующих каскадов в транзисторных коммутаторах?
9. Как осуществляется регулирование времени протекания тока в первичной цепи БСЗ?
10. Каким образом в БСЗ осуществляется отключение тока в первичной цепи при включенном замке зажигания и неработающем двигателе?
11. Перечислите основные принципы построения цифровых систем управления углом опережения зажигания?
12. Чем обусловлено применение двухвыводных катушек зажигания? озов принцип их действия.
13. Какие существуют методы диагностирования системы зажигания?

ГЛАВА 4. СИСТЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ И СИГНАЛИЗАЦИИ

4.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Системы освещения и сигнализации занимают особое место в электрооборудовании автомобилей, так как эффективность автомобильного освещения и сигнализации в условиях роста автомобилизации и возрастающей роли автомобильных перевозок по существу, определяет безопасность дорожного движения в темное время суток. Естественно, что нормы на светотехнические характеристики также определяются требованиями безопасности и существующими условиями дорожного движения.

Наиболее распространенной конструкцией фар на протяжении долгого времени была американская лампа-фара, представляющая собой неразборный оптический элемент, содержащий спаянные в колбу, заполненную инертным газом, отражатель и рассеиватель круглой или прямоугольной формы, внутри которой смонтирована одна или две нити накала. В Европе, начиная с 1950-х годов, широкое распространение получили металлогалогенные элементы со сменным источником света, представляющим собой обычную или галогенную лампу с одним или двумя телами накала, устанавливаемую в слепое отверстие металлического отражателя.

Наряду с совершенствованием характеристик светораспределения конструкторами автомобилей постоянно выдвигаются настоятельные требования по улучшению аэродинамических характеристик и уменьшению массы транспортных средств, во многом определяющие их топливную экономичность. Удовлетворение этим требованиям по существу и определяют современные тенденции совершенствования конструкций фар и технологических процессов их изготовления.

Требования к уменьшению коэффициента аэродинамического сопротивления практически предопределяют уменьшение вертикального габарита фары почти в два раза, что возможно только при очень рациональном распределении светового потока и увеличении КПД фары. Новые конструкции фар требуют выполнения отражателя сложной формы, допускающей изготовление только из легко формующихся материалов (стекло, пластмасса). Поэтому в настоящее время происходит переход к пластмассовым конструкциям световых приборов транспортных средств.

Существенные изменения претерпевает и система сигнализации, особенностями развития которой, наряду с общей тенденцией уменьшения массы, являются: уменьшение градиентов освещенно-

сти в картине светораспределения, увеличение углов видимости, выравнивание яркости различных участков поверхности фонарей, исключение фантом-эффекта (восприятие при ярком солнечном свете не включенного фонаря включенным). Наряду с совершенствованием традиционных сигнальных приборов в системе сигнализации появляются дополнительные сигнальные огни, обеспечивающие увеличение информативности участников движения о маневре (дополнительные сигналы торможения, указатели поворота, информационные табло).

4.2. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ СВЕТОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ СИСТЕМ ОСВЕЩЕНИЯ И СИГНАЛИЗАЦИИ

Техническое обеспечение современного светораспределения систем освещения и сигнализации представляет собой достаточно сложную компромиссную задачу. Сложность задачи заключается в том, что для обеспечения безопасности и рентабельности перевозок в ночное время суток, т. е. перевозок с достаточно большими скоростями, необходимо при относительно малой мощности источников света (максимально 90 Вт) с низкой светоотдачей (максимально 13,5 лм с 1 Вт), ограниченной мощностью современных автомобильных источников питания (аккумуляторов, генераторов), добиваться не только большой силы света до 150 000 кд и более, но и распределять световой пучок неравномерно.

При этом должны обеспечиваться необходимая дальность видимости в том или ином направлении, нужная яркость адаптации, исключение ослепления водителей встречных транспортных средств. Для системы сигнализации необходимо обеспечение равномерной яркости, комфортности восприятия и полноты световой информации о режиме движения и маневре.

Естественно, что иногда необходимо сконцентрировать световой поток источника света, распределив его затем нужным образом в требуемых направлениях. В ряде случаев достаточно только перераспределить его и изменить цвет излучения, в некоторых случаях функции концентрации светового потока и его распределения можно объединить. Поэтому, в зависимости от характера создаваемого светораспределения, принципы его формирования могут быть различными.

Окончательно светораспределение формируется рассеивателем, изготавливаемым из оптически прозрачного материала. На внутренней поверхности рассеивателя выполняются преломляющие элементы различной конфигурации, при помощи которых до-

бываются перераспределения сконцентрированного отражателем светового пучка источника света по нужным направлениям.

Концентрация светового потока источника света обеспечивается в традиционных конструкциях фар и фонарей параболоидным отражателем. Параболоидная форма отражающей поверхности наиболее приспособлена для выполнения этой функции, так как основной характеристикой такой поверхности является равноудаленность ее точек от фокуса и плоскости, проходящей через директрису. Поэтому, если в фокус параболоида поместить источник света достаточно малых размеров, лучи от источника света, падающие на его рабочую поверхность, будут отражаться в соответствии с законами геометрической оптики и распространяться вдоль оптической оси отражателя (рис. 4.1) в пределах малого угла 2α , обусловленного размерами тела накала.

На отражатель попадает не весь световой поток источника света, а его часть

$$\Phi_1 = I_{1cp} \omega_1,$$

где I_{1cp} – средняя сила света источника излучения, распространяющаяся в пределах телесного угла ω_1 .

Световой поток, отраженный от отражателя,

$$\Phi_2 = I_{2cp} \omega_2,$$

где I_{2cp} – средняя сила света отраженного излучения, распространяющегося в пределах телесного угла ω_2 .

Если пренебречь потерями на отражение, считая, что $\Phi_1 = \Phi_2$, получим $I_{1cp} \omega_1 = I_{2cp} \omega_2$, а так как $\omega_1 \geq \omega_2$, то сила света отраженных лучей существенно возрастает по сравнению с силой света источника. Очевидно, что чем больше значение ω_1 , или, как это показано на рис. 4.2, угол охвата 2φ , тем выше степень использования светового потока. Однако, поскольку φ является функцией диаметра D и фокусного расстояния f , его эффективное значение определяется как альтернативное между большим диаметром, ограниченными конструктивными, экономическими и эстетическими соображениями, и малым фокусным расстоянием, обуславливающим увеличенную глубину и тем самым затрудняющим штамповку.

В современных конструкциях фар угол охвата 2φ , как правило, не превышает 240° , что соответствует использованию 75% светового потока равномерно излучающего источника.

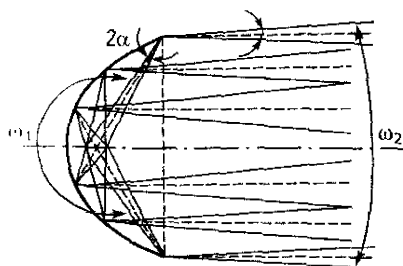


Рис. 4.1. Распределение светового потока реальным отражателем и распределенным источником света

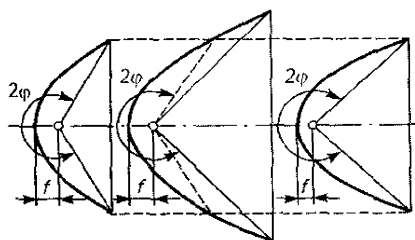


Рис. 4.2. Угол охвата отражателя

Степень концентрации светового потока можно уменьшить расфокусировкой тела накала, т. е. изменением его положения относительно точки фокуса и соответствующим изменением хода лучей.

4.3. КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ ОСВЕЩЕНИЯ

Современные системы освещения можно разделить:

- по типам создаваемого светораспределения – на *европейскую* и *американскую*;
- по способу реализации системы светораспределения – на *двух-и четырехфарную*;
- по форме оптических элементов – с *круглыми* и *прямоугольными*.

Европейская и американская системы освещения различны как по структуре создаваемого светового пучка (нормам на светораспределение), так и по принципам его формирования. Это различие обусловлено, главным образом, особенностями организации движения, качеством дорог и др.

Реализация американской системы освещения достигается за счет размещения в фокальной плоскости параболоидного отражателя нити накала дальнего света, имеющей форму короткого прямого цилиндра, который расположен перпендикулярно оптической оси в горизонтальной плоскости, проходящей через эту ось. Нить накала ближнего света располагается несколько выше горизонтальной плоскости, проходящей через оптическую ось, и также имеет форму прямого цилиндра, расположенного перпендикулярно оптической оси и смещенного в сторону от нее. Благодаря этому ось светового потока ближнего света наклонена вниз и смещена

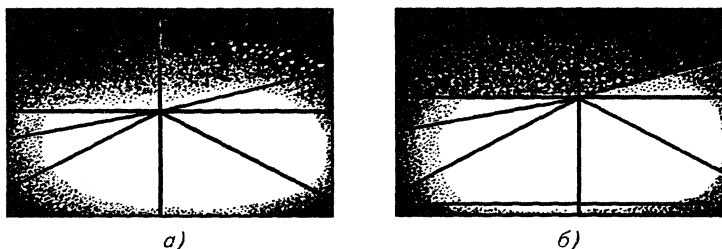


Рис. 4.3. Светораспределение режима ближнего света фар американской (а) и европейской (б) систем освещения

в сторону правой обочины дороги, а образуемое при этом светораспределение оказывается асимметричным (рис. 4.3,а). Основной конструктивной особенностью этой системы освещения является использование при формировании светового пучка как ближнего, так и дальнего света всей рабочей поверхности отражателя.

Американская система освещения, как и европейская, допускает как двухфарное, так и четырехфарное исполнение.

Европейская система освещения конструктивно обеспечивается несколько иначе. Нить дальнего света имеет подковообразную форму у обычных источников (ламп типа А12-45+40) и цилиндрическую – у галогенных (Н4) и сориентирована вдоль оптической оси отражателя так, чтобы вершина подковы или край цилиндра нити накала размещался в фокусе отражателя. При этом нить накала ближнего света цилиндрической формы, экранированная снизу металлическим экраном, срезанным с левой стороны под углом 15° , выдвинута вперед и поднята вверх относительно оптической оси отражателя. Это позволяет получить асимметричное светораспределение с четко выраженной светотеневой границей (рис. 4.3,б).

В европейской системе освещения в режиме ближнего света используется только часть рабочей поверхности отражателя.

Необходимость совмещения в одном оптическом элементе двух режимов приводит к ухудшению характеристик как дальнего, так и ближнего света. Поэтому, несмотря на ряд преимуществ двухфарной системы: относительно небольшую потребляемую мощность, малый занимаемый объем при монтаже на автомобиле, низкую себестоимость и технологичность, в США в 1960-е годы получила распространение четырехфарная система освещения. В ее основе лежит идея распределения функций освещения по двум типам фар.

Четырехфарная система освещения состоит из четырех фар, которые могут быть установлены попарно горизонтально или вер-

тикально. Наружные и верхние фары всегда являются двухрежимными. Внутренние и нижние фары являются фарами только дальнего света. Во внутренних (нижних) фарах установлена обычная европейская лампа, нить накала которой расположена в фокусе отражателя, а рассеиватель снабжен преломляющей системой, обеспечивающей рассеяние света в горизонтальной плоскости.

Двухрежимные фары ближнего и дальнего света оснащаются двухнитевой европейской лампой, у которой тело накала ближнего света размещено в фокусе отражателя, а нить накала дальнего света расфокусирована по оптической оси отражателя назад. Рассеиватели этих фар рассчитаны только на ближний свет.

При включении дальнего света работают все четыре фары, внутренние фары создают при этом направленный четкий световой пучок прожекторного типа. В наружных фарах нити дальнего света создают дополнительно к прожекторному пучку внутренних фар рассеянный пучок для освещения близлежащих зон дороги. При включенном ближнем свете работают только наружные фары, суммарная мощность нитей накала которых составляет у европейской системы 90...100 Вт, у американской – 100 Вт. При дальнем свете мощность европейской системы 180...240 Вт, американской – 150...260 Вт.

Таким образом, четырехфарная система освещения обладает следующими достоинствами:

- позволяет распределить режимы дальнего и ближнего света по двум типам фар, что избавляет от компромиссности конструкции;
- значительно улучшает дальний свет автомобиля, что происходит в результате резкого повышения общей мощности нитей накала и некоторого увеличения (на 17%) суммарной площади световых отверстий.

В то же время эта система обладает существенными недостатками:

- резко ухудшается ближний свет, что происходит из-за значительного уменьшения (на 40%) рабочей площади фар при неизменной мощности двух тел накала;
- требуется применение более мощных генераторов и большего пространства для монтажа на автомобиле;
- отличается относительно большой себестоимостью.

Из-за перечисленных недостатков, превалирующих над достоинствами, четырехфарная система не нашла широкого применения в Европе и не вытеснила двухфарную круглую систему в Америке.

Различные системы ближнего света, применяемые в Европе и Америке, а также продолжающиеся поиски и предложения новых систем показывают, что до сих пор проблема борьбы с ослеплением водителей при встречном разъезде автомобилей полностью не разрешена.

4.4. НОРМИРОВАНИЕ СВЕТОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГОЛОВНЫХ ФАР

Основной задачей нормирования светотехнических характеристик является разработка совокупности требований к светораспределению, обеспечивающих рентабельность автотранспортных перевозок и безопасность движения в темное время суток.

Так как основой экономичности перевозок служит скорость доставки грузов, то очевидно, что использование скорости автомобиля желательно и при движении ночью. Наиболее скоростному режиму движения в темное время суток соответствует режим дальнего света фар. При этом безопасность ночного движения требует, чтобы дальность обнаружения $S_{обн}$ и опознания препятствий, определяемая дальним светом, была достаточной для остановки автомобиля, т. е. $S_{обн} \geq S_{ост}$.

Полный остановочный путь автомобиля в зависимости от его скорости

$$S_{ост} = \frac{vT}{3,6} + \frac{K_3 v}{254\phi} + l_0,$$

где v – скорость автомобиля, км/ч; T – суммарное время различения препятствия, реакции водителя и срабатывания тормозного привода до начала торможения, с; K_3 – коэффициент эксплуатационного состояния тормозной системы; ϕ – коэффициент сцепления шин с дорогой; l_0 – запас остановочного пути до препятствия, м.

Необходимая для обнаружения препятствий освещенность $E_{кр}$, зависящая от таких факторов как прозрачность атмосферы, цветовые контрасты объектов и т. п., достаточно корректно может определяться эмпирической формулой

$$E_{кр} = 0,2 - 0,01 S_{ост},$$

Тогда необходимая сила света фар

$$I = E_{кр} S_{ост}^2.$$

Учитывая, что основное слагаемое остановочного пути $S_{\text{ост}}$ пропорционально квадрату скорости V^2 автомобиля, а необходимая сила света I – квадрату остановочного пути, необходимая сила света фар будет пропорциональна четвертой степени скорости автомобиля.

Нормативы ближнего света определяются по коэффициенту ослепленности, которым оценивается слепящее действие светового пучка от фары на водителей встречных транспортных средств, и дальности видимости в этом режиме освещения.

Коэффициент ослепленности

$$C_{\Phi} = 1 + \frac{0,5 + C_L}{L_a} \sum_{i=1}^n \frac{E_{зpi}}{\theta_i^m},$$

где C_L – коэффициент, зависящий от яркости L_a поля адаптации, кд/м²; $E_{зpi}$ – освещенность, создаваемая фарами встречного автомобиля, на глазах водителя, лк; θ_i – угол действия излучающего свет источника, отсчитываемый от оси движения встречного автомобиля, град; n – число фар на встречном автомобиле; m – показатель степени, зависящий от угла θ .

Дальность видимости $r_{\text{пор}}$ зависит от создаваемой фарой освещенности объекта, удаленного от автомобиля на расстояние r_0 . При условии гарантированного обнаружения ($E_{\text{кр}} = 0,2 + 0,01 S_{\text{ост}}$) дальность видимости

$$r_{\text{пор}} = \sqrt{E_o^2 / E_{\text{кр}}} = \sqrt{E_o^2 / (0,2 + 0,01 S_{\text{ост}})},$$

где E – освещенность, создаваемая оптическим элементом в заданной точке дороги, лк.

Определение этих критериев, наряду с определением физиологического критерия – видимости, позволяет сформулировать требования к светораспределению режима освещения.

Видимость

$$V_{\Phi} = \frac{K_{\Phi}}{\gamma_{\Phi} C_{\Phi} K_{\text{пор}}},$$

где V_{Φ} и K_{Φ} – соответственно видимость и контраст объектов, освещаемых фарами; γ_{Φ} – коэффициент неравномерности, учитывающий увеличение $K_{\text{пор}}$ за счет неравномерности распределения яркости дорожного полотна; C_{Φ} – коэффициент ослепленности, ха-

характеризующий увеличение $K_{\text{пор}}$ из-за ослепляющего действия фар встречного транспортного средства; $K_{\text{пор}}$ – пороговый контраст, т. е. лежащий на границе различения контраста при данных условиях наблюдения.

Пороговый контраст

$$K_{\text{пор}} = \Delta L_{\text{пор}} / L_{\text{ф}},$$

где $\Delta L_{\text{пор}}$ – пороговая разность яркостей объекта и фона; $L_{\text{ф}}$ – яркость фона.

В европейских странах и странах СНГ применяется унифицированная система фар с асимметричным ближним светом и резкой светотеневой границей на ближнем свете. Светотехнические нормы для фар этой системы регламентированы правилами № 1, № 20 ЕЭК ООН (последние для фар с галогенными лампами) и ГОСТ 3544–75.

Для проверки головных фар в режиме ближнего света используют специальный контрольный экран (рис. 4.4,а). Вертикальная линия VV' соответствует оси правой полосы движения, а линии HG и HG' изображают в перспективе края правой полосы дороги, по которой движется автомобиль. Линия HE соответствует внешнему краю левой стороны встречного движения, линия HF – середине левой полосы. Таким образом, линия HG' изображает ось дорожно-го полотна. Линия HE приблизительно соответствует траектории глаз водителя встречного автомобиля.

Наиболее важными контрольными точками являются: $B50L$ – точка, соответствующая положению глаз водителя встречного автомобиля, находящегося на расстоянии 50 м, и точки $50R$ и $75R$, которыми задается освещенность правого края полосы движения на расстояниях, равных соответственно 50 и 75 м.

Зона *III*, лежащая выше светотеневой границы, представляет собой совокупность точек, освещенность в которых определяет слепящее действие фары, вследствие чего для нее установлены низкие значения максимально допустимой освещенности экрана. Освещенность дорожного полотна практически определяет яркость адаптации и видимость дороги, поэтому для нее установлена минимально допустимая освещенность контрольного экрана.

Значения освещенности в точках $25R$ и $25L$ характеризуют видимость обочин дороги на расстоянии 25 м перед автомобилем. Чтобы избежать излишней яркости ближнего к автомобилю участка дороги, т. е. зоны *I*, и чрезмерного контраста по сравнению с более удаленными точками, освещенность в этой зоне ограничивают достаточно низкими максимально допустимыми значениями.

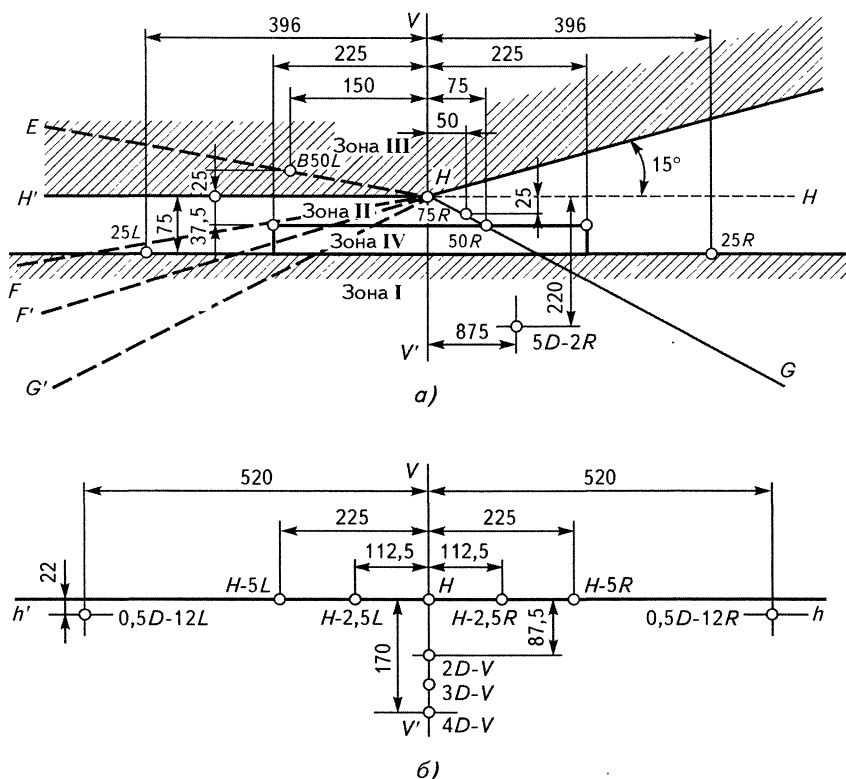


Рис. 4.4. Разметка контрольного экрана для проверки ближнего света фар европейской системы (а) и контрольные точки экрана для проверки дальнего света фар с европейским светораспределением (б). Размеры даны в сантиметрах

Нормативные значения освещенности в контрольных точках светораспределения режима ближнего света содержатся в отечественных и международных стандартах (табл. 4.1).

Разметка контрольного экрана для проверки дальнего света и значения освещенности в контрольных точках показана на рис. 4.4,б.

Ось светового пучка дальнего света создает на экране точку максимальной освещенности, расположенную выше линии HH' (см. рис. 4.4,а). Освещенность нормируется в пяти точках, расположенных на линии $h'h$ (см. рис. 4.4,б). По ГОСТ Р41.1-99 нормируется дополнительно пять точек (три до линии VV' и две на периферии светового пятна, ниже линии $h'h$).

Таблица 4.1

Контрольные точки экрана	Направления измерения, соответствующие контрольным точкам	Освещенность экрана, лк, в соответствии с Правилами ЕЭК ООН				Металлостеклянная фара с лампой P2	
		Металлостеклянная фара типов CR и C (правило 1), цельностеклянная типов SCR и SC (правило 5)	Металлостеклянная фара с галогенной лампой Н ₁ – Н ₃ типов HC и HCR (правило 8)	Металлостеклянная фара с галогенной лампой Н4 (правило 20), цельностеклянная с галогенной лампой Н4 типов HCR и CR (правило 31)	Металлостеклянная фара с лампой P2	Ø 136 мм типа CR-136	Ø 170 мм типа CR-170 и 136 мм типа C-136
B50L	35B – 3°25'	max 0,3	max 0,3	max 0,4		max 0,3	max 0,3
75R	35H – 1°20П	min 6,0	min 12,0	min 12,0		min 4,0	min 8,0
50R	50H – 1°45П	min 6,0	min 12,0	min 12,0		min 10,0	min 12,0
25R	1°45'Н – 9°Н	min 1,5	min 2,0	min 2,0		min 1,5	min 1,5
25L	1°45'Н – 9°Л	min 1,5	min 2,0	min 2,0		min 1,5	min 1,5
Зоны:							
III	В любой точке	max 0,7	max 0,7	max 0,7		max 0,7	max 0,7
IV	То же	max 2,0	min 3,0	min 3,0		min 1,5	min 2,0
I	"	max 20,0	max 2E _{50R}	max 2E _{50L}		–	–
75L	35H – 3°25'Л	–	max 12,0			–	–
50L	50H – 3°25'Л	–	max 15,0			–	–
50V	50H – 0	–	min 6,0			–	–

П р и м е ч а н и е. В таблице приняты обозначения: В – выше; Н – ниже; Л – влево; П – вправо; E_{50R} и E_{50L} – фактически измеренные освещенности.

Нормативные значения освещенности в контрольных точках светораспределения режима «дальний свет» по отечественным и международным стандартам приведены в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Контрольные точки экрана	Освещенность экрана, лк			
	Двухфарная система		Четырехфарная система	
	Фара с двухнитевой лампой Ø 178 мм типа CR-170	Фара с двухнитевой лампой Ø 146 мм типа CR-136	Фара дальнего света с однопнитевой лампой Ø 146 мм типа R-136	Фара ближнего и дополнительного дальнего света с двухнитевой лампой Ø 146 мм типа C-136
Н	35	20	35	15
Н – 2,5R и 2,5L	20	10	20	8
Н – 5R и 5L	10	4	5	5
42Д – 12R и 12L	1,2	–	1,2	1,2
2Д – V	8	–	5	3
3Д – V	4	–	2,5	1,5
4Д – V	10	10	4	5

Примечания. 1. Отношение максимальной освещенности в любой точке экрана к освещенности в точке Н должно быть не менее 0,9.

2. Для точки 4Д – V указаны максимальные значения освещенности, для остальных точек – минимальные.

3. Нормы в таблице приведены для металлогалогенных фар.

Характерными отличиями стандарта США являются отсутствие резкой светотеневой границы в режиме «ближний свет» и несколько большие значения силы света в слепящей зоне и зоне адаптации.

4.5. КОНСТРУКЦИЯ СОВРЕМЕННЫХ ГОЛОВНЫХ ФАР

Основными конструктивными элементами головных фар являются: корпус; регулировочный механизм; оптический элемент, со-

держатель; рассеиватель; экран прямых лучей; одно- или двухрежимный источник света. Одной из важных конструктивных характеристик фары служит ее форма – круглая или прямоугольная. На протяжении почти 40 лет основной формой фары была круглая со стандартизованными размерами оптического элемента – $\varnothing 178$ мм у двухфарной системы и $\varnothing 146$ мм у четырехфарной системы освещения.

Оптический элемент 1 круглой фары (рис. 4.5) выполнен в виде склеенных между собой стеклянного рассеивателя и металлического отражателя, в слепое отверстие которого установлен источник света с одним или двумя (в зависимости от режима работы) телами накала. На отбортовке горловины установлен опрессованный фланец с пружинными зажимами, поджимающими опорный фланец лампы к опорному торцу отражателя.

Источник света 6 установлен таким образом, чтобы тело накала дальнего света было расположено в фокусе отражателя, а тело накала ближнего света было расфокусировано относительно фокуса отражателя вперед и вверх. В современных конструкциях применяются обычные лампы типа E, например A12-45+40 и галогенные источники света типа H: H1, H3, H4, H7, H9, H11, H13.

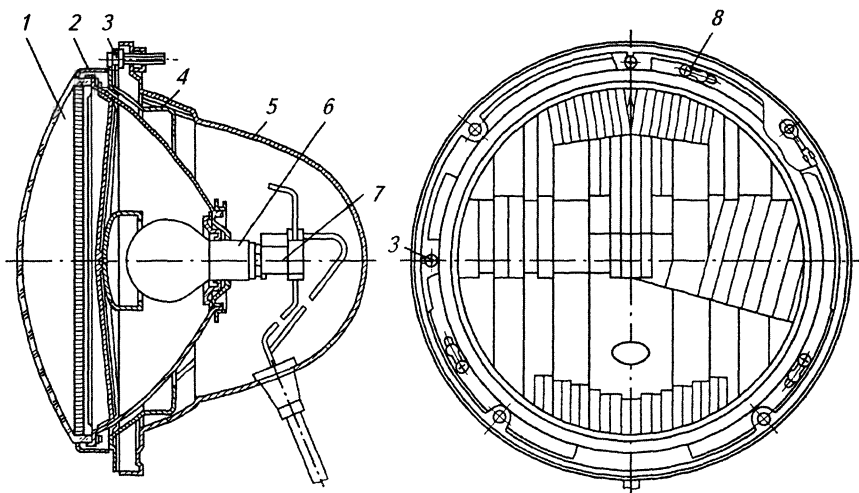


Рис. 4.5. Устройство круглой фары:

- 1 – оптический элемент; 2 – ободок; 3 – регулировочные винты; 4 – держатель; 5 – корпус; 6 – источник света; 7 – токоподводящая колодка; 8 – винты крепления ободка

К отражателю на кронштейнах приклепывается экран прямых лучей от лампы, что позволяет несколько снизить ослепление водителей встречных автомобилей (при ближнем свете) и уменьшить яркость свечения атмосферы при ее малой прозрачности. Экран выполняют из тонкой металлической ленты сферической формы. Отражатель круглых фар имеет параболическую форму с фокусным расстоянием, варьируемым в различных конструкциях от 19 до 28,5 мм.

Держатель 4 подвижно установлен в корпусе фары и за счет упругой подвески пружинами сжатия и распором двумя винтами 3, имеет возможность поворачиваться в двух плоскостях – вертикальной и горизонтальной, обеспечивая тем самым регулировку светового пучка относительно дороги.

Рассеиватель оптического элемента представляет собой круглое или прямоугольное стекло, на внутренней поверхности которого находятся преломляющие элементы: цилиндрические и сферические линзы, призмы и призмолинзы. Рассеиватели фар изготавливаются, как правило, из бесцветного силикатного стекла. В последнее время ведутся работы по замене стекла абразивостойкой пластмассой, однако дешевых способов ее получения до сих пор не найдено.

Корпус 5 круглых фар выполняется металлическим с фланцем для крепления к кузову автомобиля и имеет кронштейн для установки ободка 2, поджатого к поверхности оптического элемента. В тыльной части корпуса имеется отверстие для установки жгута коммутирующих проводов со штекерными токоподводящими разъемами с обоих концов, один для подключения к источнику света, другой – к сети автомобиля.

Другой разновидностью традиционных конструкций фар является прямоугольная фара, получившая распространение в 60-х годах. Ее характерной особенностью является использование усеченного параболического с большим диаметром светового отверстия (до 250 мм), что обеспечивает увеличение работающих зон в горизонтальном направлении, чем существенно улучшается светораспределение в режиме ближнего света. Кроме того, такая форма позволяет снизить вертикальный габарит фары и обеспечивает тем самым предпосылки к снижению коэффициента аэродинамического сопротивления воздушному потоку, чем повышает топливную экономичность автомобиля.

К недостаткам прямоугольных фар следует отнести их худшую технологичность, большую стоимость и потребность в большем подкапотном пространстве для размещения.

Принцип работы светооптической схемы этих фар, а следовательно, и требования к ее элементам такие же, как и к фарам круг-

лого исполнения, а их конструкция в силу особенностей формы имеет ряд существенных отличий. Из-за большего горизонтального размера поворот оптического элемента такой фары при регулировке на 4° сопровождается большим линейным перемещением боковых краев рассеивателя и выступанием их из-за декоративного ободка на 15...20 мм. Это обстоятельство заставляет крепить рассеиватель неподвижно, а направление светового пучка регулировать поворотом только отражателя внутри корпуса фары.

На рис. 4.6 изображена типовая конструкция прямоугольной фары. В корпусе 2, выполненном из пластмассы, закреплен винтами через ободок рассеиватель 1. (В других вариантах рассеиватель к корпусу может приклеиваться, поджиматься плоскими пружинами или хомутами.) Отражатель 3 смонтирован внутри корпуса подвижно на трех опорных шаровых шарнирах 10.

Шаровой шарнир 4 является неподвижной опорой. Поворот отражателя в горизонтальной плоскости обеспечивается вращением винта 6, перемещающего шарнир 7; отражатель при этом поворачивается вокруг вертикальной оси, проходящей через центры шарниров 4 и 5. Крайние положения отражателя показаны на рис. 4.6 штриховой линией.

Регулировка наклона светового пучка фазы осуществляется двумя винтами 8 и 9. Начальная (установочная) регулировка производится винтом 9; отражатель при этом поворачивается вокруг горизонтальной оси, проходящей через центры шарниров 4 и 7. Корректировка угла наклона светового пучка фазы (например, при изменении нагрузки автомобиля), т.е. изменение положения пучка в вертикальной плоскости, осуществляется винтом 8, от которого может быть сделан привод в кабину водителя.

На основе изображенной на рис. 4.6 конструкции легко изготавливается блок-фара с встроенным внутрь корпуса (рис. 4.7,а) или смонтированными сбоку (рис. 4.7,б) необходимыми светосигнальными приборами.

Блок-фары получили широкое распространение в 1980-е годы за счет некоторого снижения себестоимости комплекта световых приборов и более органичного эстетического оформления передней части автомобиля.

В США, Японии и ряде других стран оптические элементы традиционных конструкций фар, как круглых, так и прямоугольных, выполняют в виде неразъемных ламп-фар. Рассеиватель и отражатель этих приборов изготавливают из стекла, после чего отражатель алюминировуют, монтируют в нем систему нитей накала, сваривают

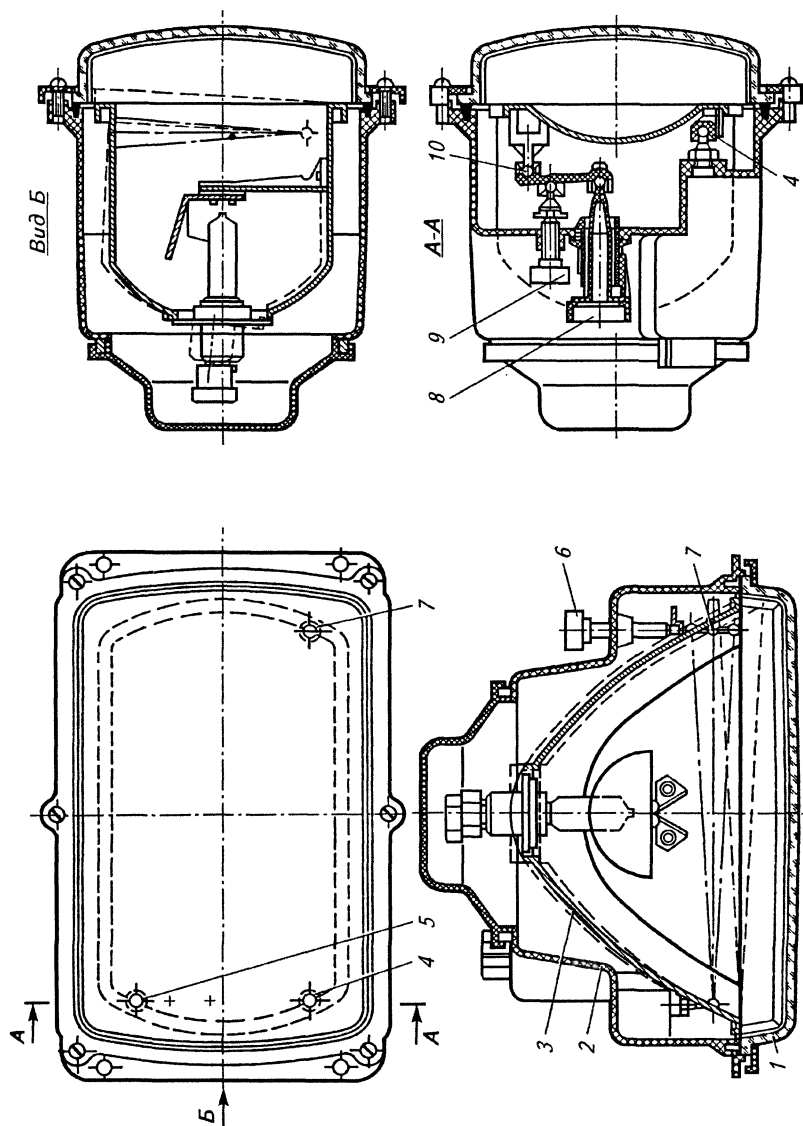


Рис. 4.6. Устройство прямоугольной фары

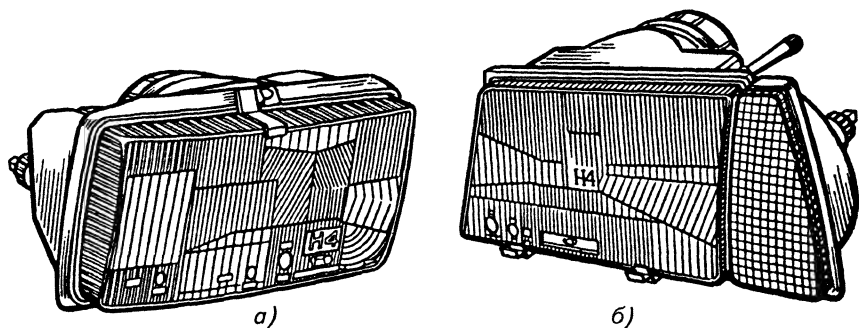


Рис. 4.7. Блок-фары легкового автомобиля с указателем поворотов:
а – встроенным, б – смонтированным на боковой поверхности

отражатель с рассеивателем, откачивают из образовавшейся колбы воздух и окончательно заваривают колбу.

Постоянно увеличивающийся дефицит топлива предопределил устойчивую тенденцию к снижению коэффициента аэродинамического сопротивления воздушному потоку при движении автомобиля, реализация которой потребовала обеспечения узкого профиля передней части автомобиля, а следовательно, и резкого ограничения высоты фары до 60...90 мм вместо 120...150 мм. Эти требования практически исключают возможность использования в конструкциях фар традиционных светооптических схем, так как для сохранения необходимого светового потока в этом случае требуется значительное увеличение глубины отражателя, что вызывает технологические трудности. Кроме того, традиционные светооптические схемы, в которых функция перераспределения светового потока выполняется рассеивателем с глубокими призмами, не допускает его наклона в вертикальной плоскости на углы, большие чем 25°. Именно эти обстоятельства привели к разработке принципиально новых решений.

Фирмой Лусас (Великобритания) была предложена конструкция фары, в которой отражатель выполнен в виде объединения нескольких (двух-трех) усеченных параболических элементов с различным фокусным расстоянием 20 и 40 мм при совмещенных положениях их фокусов. Этот принцип объединения разнофокусных отражателей называется *гомофокальным*. Использование этого принципа позволяет подобрать и скомпоновать отражатель из отдельных секторов разнофокусных отражателей таким образом, чтобы обеспечить формирование заданного светораспределения режимов ближ-

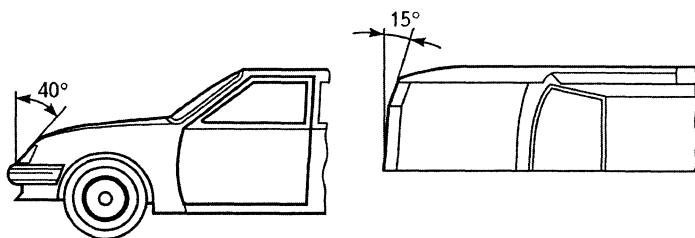


Рис. 4.8. Профиль автомобиля с гомофокальными фарами

него и дальнего света практически за счет отражателя.

Реализация этой светооптической схемы позволила сконструировать фару, полностью удовлетворяющую современным требованиям автомобилестроителей по аэродинамике. На рис. 4.8 показан профиль автомобиля с такими фарами.

Практическая реализация гомофокальной конструкции потребовала пересмотра технологии изготовления, так как сложный профиль отражателя с высокой точностью можно получить лишь из легко формуемых материалов, т. е. пластмасс, обладающих также высокой термостойкостью, что обеспечивает работу фары с галогенными лампами. Стоимость материалов пока очень высока, а технологический процесс их формования достаточно трудоемок, что является сдерживающим фактором широкого применения конструкции этого типа.

Эллипсоидные фары головного света, предложенные фирмой Hella, представляют другое направление развития конструкции. Их характерной особенностью является более полное использование светового потока лампы при ближнем свете, т. е. относительно большой КПД. Конструкция такой фары (рис. 4.9) содержит эллипсоидный отражатель 2, в один из фокусов которого установлен источник света 1. Весь световой поток, отраженный таким отражателем, концентрируется в его втором фокусе, где в режиме ближнего света частично экранируется, что позволяет создать четкую светотеневую границу. Затем используемый пучок корректируется с помощью достаточно простой линзы 3. Для достижения необходимых значений светотехнических характеристик отражатель снабжают элементами параболических поверхностей, сопряженными с эллипсоидом, и преломляющими концентрическими призматическими элементами.

К основным недостаткам светооптических схем этого типа следует отнести технологические трудности, высокую стоимость,

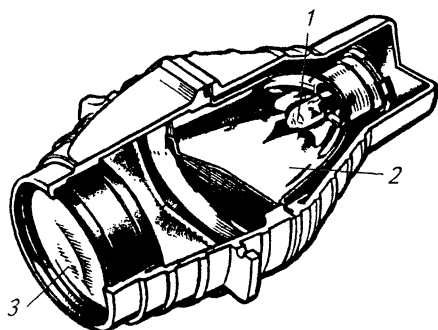


Рис. 4.9. Эллипсоидная фара головного света

а также ограниченное их использование только в четырехфарной системе освещения.

Естественно, что этими направлениями не исчерпываются пути совершенствования светооптических схем оптических элементов и систем освещения в целом. Продолжает совершенствоваться система поляризованного света, ведутся поиски использования в системах освещения волоконной оптики.

4.6. ПРОТИВОТУМАННЫЕ ФАРЫ

Противотуманные фары предназначены для улучшения видимости при движении в тумане, снегопаде и других тяжелых метеорологических условиях. Необходимость использования специальных противотуманных фар обусловлена тем, что светораспределение головных фар при включении их в туманах, ливневых дождях, снегопадах ухудшает условия видимости. Основной причиной ухудшения видимости из автомобиля в туманах и осадках при включенных фарах головного света является характер светораспределения головных фар (дальнего и ближнего света), обуславливающий относительно малый градиент изменения сил света в пучке фар в вертикальной плоскости, что при увеличенном рассеянии на частичках дождя и тумана резко снижает яркостный контраст.

Светораспределение противотуманных фар различных фирм разнообразно. Общим являются низкое расположение этих фар и резкое ограничение лучей, проходящих выше горизонтальной плоскости, проведенной через ось фары. Поэтому нормы светораспределения противотуманных фар, установленные правилом № 19 ЕЭК ООН (рис. 4.10), представляют собой компромисс, охватывающий характеристики существующих конструкций противотуманных фар.

Светотехнические характеристики противотуманных фар в России регламентированы требованиями ГОСТ Р41.19-99 (передние) и Р41.38-99 (задние) (табл. 4.3).

Рис. 4.10. Нормы для светораспределения противотуманных фар по правилу № 19 ЕЭК ООН

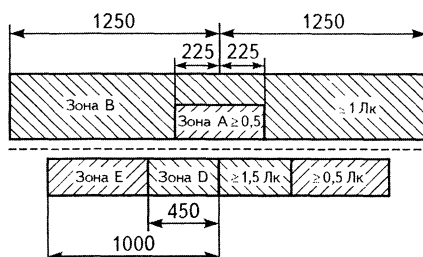


Таблица 4.3

Точки на измерительном экране	Параметры рационального светораспределения противотуманных фар		
	Координаты положения на экране	Нормируемая сила света, кд (лк)	
		Обычная лампа	Галогенная лампа
НЛ1; НП1	0 – 0	3000 (4,8)	6000 – 10 000 (9,6 – 166,0)
	0 – 30°Л	500(0,8)	–
	0–30°П	500 (0,8)	–
НЛ2; НП2	0 – 45°	–	–
	0 – 45°	–	2388 (0,38)
3°В	0 – 3°В	300 (0,48)	300 – 600 (0,48 – 1,0)
Любая точка зоны А	Над линией 3 – 3 параллельно	300(0,48)	6000 (1,0)

Примечание. Обозначения координат см. в табл. 4.1.

Конструкция и светооптическая схема противотуманной фары показаны на рис. 4.11. Отражатель такой фары выполняется параболическим и имеет либо круглое, либо прямоугольное световое отверстие (в последнем случае параболический отражатель выполняется усеченным). В зависимости от формы светового отверстия отражателя противотуманные фары имеют круглое или прямоугольное исполнение. В качестве источников света в противотуманных фарах используются лампы А-12-35 и Н1, Н2, Н3 – галогенные лампы, получившие вследствие более высоких светотехнических свойств самое широкое распространение.

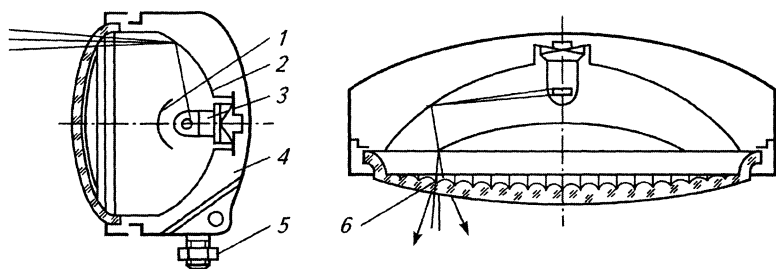


Рис. 4.11. Традиционная конструкция противотуманной фары:
1 – экран прямых лучей; 2 – отражатель; 3 – источник света; 4 – корпус;
5 – узел крепления; 6 – рассеиватель

Рассеиватель противотуманных фар выполняется с регулярной структурой преломляющих элементов в виде усеченных прямолинейных цилиндрических линз. Вследствие малого объема, а поэтому и большой термонагруженности рассеиватель делают из стекла. Современные стандарты допускают выполнение рассеивателя белого или желтого цвета. Создание желтого спектра излучения противотуманных фар иногда обеспечивается нанесением соответствующего покрытия на рабочую поверхность отражателя или выполнением желтой колбы источника света. Следует отметить, что спектр излучения фар практически не влияет на условия видимости в тумане.

Конструкция светооптической схемы противотуманных фар имеет экран прямых лучей. Его применение объясняется необходимостью исключить взаимодействие прямых лучей от источника света с частицами тумана, в результате которого происходит сильное рассеяние несформированного излучения источника света, которое создает вуалирующую пленку и резко снижает дальность видимости.

Корпус противотуманных фар выполняется, как правило, из металла вследствие высокой термонагруженности. На корпусе размещен узел регулировки и крепления противотуманных фар, который обеспечивает регулировку в двух, а в некоторых вариантах конструкций в трех плоскостях.

4.7. КЛАССИФИКАЦИЯ СВЕТОСИГНАЛЬНЫХ ПРИБОРОВ. НОРМИРОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

47.1. Общие сведения

Наряду с автономной системой освещения, требования правил дорожного движения обуславливают обязательную установку на

транспортных средствах светосигнальных устройств, обеспечивающих участников движения информацией о характере движения транспортного средства (торможение, разгон, стоянка), о совершаемом маневре (поворот, обгон), о виде транспортного средства, его габаритах, а также о его принадлежности (освещение номерного знака). Для передачи этой информации международными и отечественными стандартами установлены перечень и основные параметры обязательных и необязательных, но допускаемых к применению на автомобиле осветительных и светосигнальных приборов.

В минимальный обязательный комплект светосигнальных приборов для всех легковых и грузовых автомобилей входят:

- габаритные огни – два передних и два задних;
- два сигнала торможения, расположенных сзади;
- проблесковые указатели поворота – два передних, два задних и боковые;
- два задних световозвращателя;
- фонарь освещения номерного знака.

Некоторые категории автомобилей, согласно принятым правилам, должны иметь следующее дополнительное светосигнальное оборудование:

- контурные огни для грузовых автомобилей;
- опознавательные огни;
- огонь преимущественного проезда.

К необязательным сигнальным огням, установка которых допускается, относятся: задний противотуманный огонь; стояночный огонь; дополнительный сигнал торможения; боковые (маркировочные) огни; фонарь заднего хода; указатель траектории.

По характеру работы и своим функциональным особенностям светосигнальные приборы могут быть разделены на два класса:

- активные – фонари, имеющие свой источник света;
- пассивные – световозвращатели, не имеющие своего источника света и дающие сигнал путем отражения света фар другого автомобиля.

Активные приборы в зависимости от режимов работы подразделяются на фонари продолжительного и кратковременного действия (сигнал торможения и указатели поворотов), что определяет выбор материалов конструкции.

По условиям применения и степени видимости светосигнальные приборы могут быть:

- ночного применения – только для движения в темное время суток или при плохой видимости – габаритные, контурные, опознавательные, боковые и стояночные огни;

– круглосуточного применения – сигналы торможения, указатели поворота и аварийная сигнализация.

Эта классификация связана с условиями видимости и силой света прибора. Для обеспечения видимости приборов ночного применения достаточна небольшая сила света 2...12 кд, осуществляемая фонарем простой конструкции. Для приборов круглосуточного применения, видимость которых должна быть обеспечена также и в солнечный день, необходима сила света около 200...700 кд, так что для этих приборов необходима и соответственно рассчитанная система. Кроме того, при ночном движении фонари с такой большой силой света могут вызвать дискомфорт и даже слепить водителей других автомобилей.

Принципы нормирования основных характеристик светосигнальных огней в основном определяются особенностями их зрительного восприятия. Установленные нормы представляют собой компромисс между расчетными максимальными и минимальными значениями светотехнических характеристик при экстремальных условиях видимости с учетом динамических характеристик транспортного средства, состояния дорожного полотна, функциональных особенностей работы светосигнального прибора и его габаритов.

Многообразие функций, выполняемых светосигнальными приборами, требует, наряду с решением задач определения наиболее рационального светораспределения для каждого вида сигнального прибора, их размещения на транспортном средстве, нормирования углов видимости сигнальных огней, решения вопросов цветового различия. Общепринятым для наземных транспортных средств является следующее разделение: для передних огней – белый, для задних – красный. Следовательно, задние габаритные огни, задние световозвращатели и сигналы торможения выполняются красного цвета, что обусловлено рядом преимуществ. К этим преимуществам относятся сохранение ощущения цвета почти до нулевой интенсивности, хорошая заметность периферическим зрением, хорошая проникаемость сквозь туман и дымку, хорошая заметность на фоне других огней и малая подверженность мешающим эффектам, меньшее снижение чувствительности человека с возрастом к восприятию красного цвета.

Для передних габаритных огней и фонарей заднего хода общепринятым является белый цвет, но допускается также желтый селективный цвет.

Для указателей поворота – передних, задних, боковых в европейских странах согласован и узаконен Правилами ЕЭК ООН оранже-

жевый цвет.

В США применяют красные задние указатели поворота и желтые передние и боковые указатели поворота, однако допускается также оранжевый цвет. Для всех боковых огней везде узаконен оранжевый цвет. Для оперативных машин (пожарных, милицейских, скорой помощи) применяется мигающий огонь преимущественного проезда синего цвета.

Наряду с чисто светотехническими характеристиками в целях обеспечения требований безопасности движения международными и отечественными стандартами нормируются также число и размещение световых приборов на автомобиле, высота установки приборов над уровнем земли и расстояние от плоскости бокового габарита, углы геометрической видимости светящей поверхности приборов в горизонтальной и вертикальной плоскостях, цвет прибора и др.

4.7.2. Габаритные огни

Габаритные огни предназначены для обозначения габаритов транспортного средства в ночное время суток или при плохой видимости. В минимальный обязательный комплект светосигнальных приборов для всех легковых автомобилей включены два передних габаритных огня белого цвета и два задних красного цвета. Учитывая функциональное назначение, их устанавливают максимально разнесенными друг от друга по краям транспортного средства.

Габаритные огни имеют активную светотехническую систему, т. е. свой источник света, обычно малой мощности – 5 Вт. Режим работы габаритных огней в отличие от других светосигнальных приборов транспортных средств продолжительный, что накладывает ограничения при расчете нагрева фонаря.

Для автомобилей длиной более 6 м и тягачей с прицепами и полуприцепами, кроме названных обязательных для всех транспортных средств габаритных огней Правилами № 48 ЕЭК ООН предусмотрены также боковые габаритные огни оранжевого цвета, дублирующие боковые световозвращатели. Основным требованием для светосигнальных автомобильных приборов, в том числе габаритных огней, является хорошая видимость огней на заданной дистанции, которая с ростом интенсивности автомобильного движения возрастает. В настоящее время считают, что минимальная дистанция видимости сигнальных огней должна быть не менее 100 м.

В отношении размещения габаритных огней Правила устанавливают следующие нормы: минимальная высота размещения должна быть в пределах 350 мм, максимальная – 1500 мм; для ав-

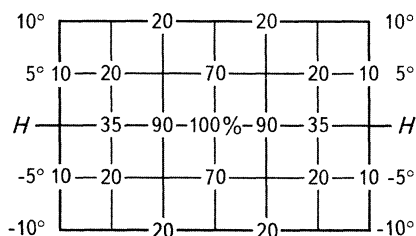


Рис. 4.12. Минимальная сила света сигнальных огней в различных точках контрольного экрана

томобилей со специальным кузовом (таких, как самосвалы, уборочные машины) максимальная высота установки может быть увеличена до 2100 мм; минимальное расстояние между парными приборами по ширине – 600 мм (для малогабаритных автомобилей – 400 мм); расстояние до плоскости бокового габарита – не более 400 мм.

Для светотехнических характеристик Правилами № 6 и № 7 ЕЭК ООН и ГОСТ Р41.6-99 и Р41.7-99 определены следующие значения. Сила света сигнальных огней под углами до $\pm 20^\circ$ по горизонтали и $\pm 10^\circ$ по вертикали, выраженная в процентах от осевой силы света, должна быть не менее значений, указанных на рис. 4.12. В табл. 4.4 даны максимальные и минимальные значения осевой силы света, т. е. силы света, измеряемой на оси отсчета габаритных огней, а также значение минимальной силы света в крайних точках полной зоны видимости.

Таблица 4.4

Сигнальный огонь	Сила света, кд		
	минимальная по оси расчета	максимальная по оси отсчета	максимальная в любых точках поля видимости
Передний габаритный	4	60	0,05
Задний	2	12	0,05

При фотометрировании обращают внимание на достаточную равномерность освещения контрольного экрана. Если при визуальном осмотре создается впечатление неравномерности, то проверяют силу света между контрольными точками, изображенными на рис. 4.12.

При этом минимальная сила света в промежуточных точках должна быть не ниже 50% значения, соответствующего соседней контрольной точке с меньшей силой света; максимальная сила света в промежуточных точках должна быть не выше значения, полученного интерполяцией между максимальными значениями силы света смежных контрольных точек.

4.7.3. Сигналы торможения

Сигналы торможения предназначены для предупреждения других участников движения о замедлении хода или остановке автомобиля. В минимальный обязательный комплект светосигнальных приборов для всех транспортных средств входят два сигнала торможения красного цвета, устанавливаемые сзади.

Учитывая, что эти сигналы должны быть хорошо видны днем при ярком солнечном свете, их сила света устанавливается выше, чем у сигналов ночного применения, а так как при ночном движении большая сила света этих огней вызывает слепящее действие или дискомфорт у водителей других автомобилей, их максимальную силу света ограничивают, либо используют двухрежимную схему их работы. Нормативные требования к размещению сигналов торможения на автомобиле аналогичны требованиям к габаритным фонарям.

В отношении светотехнических характеристик Правилами № 6 и № 7 ЕЭК ООН и ГОСТ Р41.6-99 и Р41.7-99 определены следующие значения: сила света сигналов торможения под углами 20° по горизонтали и 10° по вертикали, выраженная в процентах от осевой силы света, должна быть не менее значений, указанных на рис. 4.12. В табл. 4.5 даны значения силы света, измеряемой на оси отсчета сигналов торможения, а также значения минимальной силы света в краевых точках полной зоны видимости.

Таблица 4.5

Сигнальный огонь сигнала торможения	Сила света, кд		
	минимальная по оси отсчета	максимальная по оси отсчета	минимальная в любых точках поля видимости
Однорежимный	40	100	0,3
Двухрежимный днем	130	520	0,3
Двухрежимный ночью	30	80	0,07

Низкое расположение приборов внешней сигнализации в ряде случаев (плотные и интенсивные транспортные потоки) препятствует получению информации о маневре (торможении) удаленных транспортных средств, которые загорожены от водителя соседними автомобилями, что уменьшает запас времени для принятия правильного решения об изменении режима движения. Поэтому, начиная с 1970-х годов,

стали появляться дополнительные сигналы торможения, установленные в салоне непосредственно за задним стеклом. Использование этих сигналов позволяет восполнить недостаток информации о периферийных транспортных средствах и по данным США на 25% снизить число дорожно-транспортных происшествий, возникающих по этой причине. В настоящее время установка этого сигнала узаконена.

4.7.4. Указатели поворота и их боковые повторители

Правилами дорожного движения водителю предписано перед маневром подавать сигнал сзади и впереди движущимся транспортным средствам, что обусловило необходимость оснащения автомобилей указателями поворота. Обязательный комплект светосигнальных приборов для всех транспортных средств включает по два передних и задних указателя поворота.

Современными правилами предписывается также установка дополнительных указателей поворота – боковых их повторителей на боковых сторонах крыльев, кабины или кузова. В европейских странах согласован и узаконен правилами оранжевый цвет всех мигающих указателей поворота: передних, задних и боковых.

Нормативные характеристики указателей поворота и их боковых повторителей определяются так же, как и для сигналов торможения, с учетом их заметности при ярком солнечном освещении днем и отсутствии ослепления и дискомфорта у других участников движения в ночное время суток, что предопределяет целесообразность использования двухрежимных схем сигналов этого типа.

Светотехнические характеристики указателей поворота также определены Правилами № 6 и № 7 ЕЭК ООН и ГОСТ Р41.6-99, Р41.7-99 (табл. 4.6)

Таблица 4.6

Сигнальные огни указателей поворота	Сила света, кд				
	минимальная по оси отсчета	максимальная по оси отсчета	максимальная в точках по горизонтали и вертикали		минимальная в любых точках поля видимости
			±5°	±10°	
Передний	175	700	700	400	0,3
Задний: двухрежимный днем	175	700	700	400	0,3

Сигнальные огни указателей поворота	Сила света, кд				
	минимальная по оси отсчета	максимальная по оси отсчета	максимальная в точках по горизонтали и вертикали		минимальная в любых точках поля видимости
			$\pm 5^\circ$	$\pm 10^\circ$	
Задний: двухрежимный ночью однорежимный	40 50	120 200	100 —	— —	0,07 0,3
Боковой одиночный: вперед назад	175 50	700 200	700 —	400 —	0,3 0,3
Боковой: вперед назад	175 0,3	700 200	— —	— —	0,3 0,3
Боковой повторитель	0,3	200	—	—	0,3

4.8. КОНСТРУКЦИЯ СВЕТОСИГНАЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

На современных транспортных средствах обязательные к установке сигнальные огни конструктивно выполняются в виде секций, объединенных в блоки переднего и заднего фонарей, реже – в виде отдельных конструкций (боковые повторители указателей поворотов и т. п.).

Передние фонари включают передние габаритные огни и передние указатели поворотов. У современных автомобилей передние габаритные огни, как правило, конструктивно совмещают с фарой, для чего в отражателе устанавливают дополнительный источник света мощностью 4 Вт (рис. 4.13), а фонарь указателя поворотов встраивается отдельной секцией в блок-фару (см. рис. 4.7).

На автомобилях традиционных конструкций передний фонарь выполняется в виде двухсекционного блока (рис. 4.14). Передний фонарь состоит из корпуса, в котором устанавливают одно- или двухнитевые лампы накаливания, алюминированного параболического

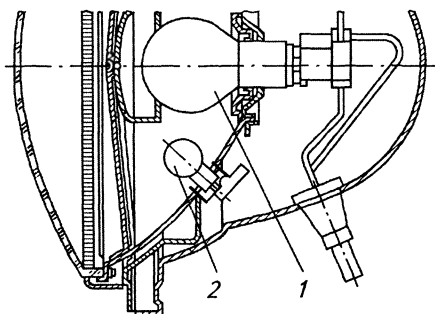


Рис. 4.13. Габаритный огонь, встроенный в отражатель фары головного света:

1 – лампа головного света; 2 – лампа габаритного огня

деляются в основном дизайном автомобиля и могут варьироваться в достаточно широких пределах.

Задние фонари включают задние габаритные огни, указатели поворотов, сигналы торможения, световозвращатели, а также фонари освещения номерного знака и заднего хода, которые тоже, как правило, объединяются в одном корпусе в виде отдельных секций. Конструктивное выполнение и внешнее оформление задних фонарей легкового автомобиля индивидуально в зависимости от его дизайна. Задние фонари грузовых автомобилей унифицированы и имеют для большинства типов грузовых автомобилей одно исполнение (рис. 4.15)

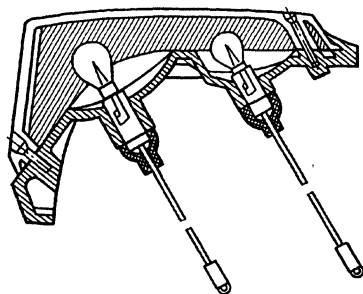


Рис. 4.14. Передний фонарь автомобиля

ского отражателя и установленного на корпусе через резиновую герметизирующую прокладку пластмассового рассеивателя. Мигающий режим работы указателей поворота обеспечивается включением переключателя, который приводит в действие реле-прерыватель теплового, электромагнитного и электронного типов. В конструкциях передних фонарей используется линзовая (безотражательная) схема у габаритных огней и смешанная схема у указателей поворотов. Конфигурация и размеры передних фонарей опре-

Современные задние фонари имеют пластмассовые корпуса, в которых отражатель является частью корпуса. Рассеиватель 1 также из пластмассы, выполняется многоцветным литьем или составляется из отдельных секций соответствующего цвета. Для исключения чрезмерных вибрационных нагрузок, влияние которых особо остро сказывается на сроке службы ламп задних фонарей, грузовых автомобилей с сис-

темой электрооборудования на 24 В, кронштейн ламподдержателя устанавливают на демпфирующих резиновых подушках. В другом варианте конструкции от чрезмерных вибрационных нагрузок избавляются за счет крепления корпуса заднего фонаря к кузову автомобиля через резиновую подвеску.

Коммутация источников света в задних фонарях осуществляется непосредственной разводкой проводов, подведенных к единой колодке, или в виде панели с печатным монтажом, выполняющей одновременно функцию ламподдержателя.

Основными направлениями совершенствования конструкций светосигнальных приборов являются: обеспечение требуемого светораспределения наиболее рациональными способами; обеспечение плавного изменения режима работы (т. е. изменение силы света фонаря в значительных диапазонах в зависимости от уровня внешней освещенности); устранение в указателях поворота и сигналах торможения фантом-эффекта.

Световозвращатели предназначены для обозначения ночью транспортного средства, стоящего на дороге с погашенными огнями. Они представляют особый вид отражателей, у которых направления падающих и отраженных лучей практически совпадают, причем это свойство сохраняется при изменении угла падения лучей в пределах $\pm 20^\circ$.

Световозвращатели размещаются по бокам задней части автомобиля и отражают свет фар приближающегося сзади другого транспортного средства. Существуют также передние световозвращатели, а при большой длине автобусов или грузовых автомобилей предписывается помещать световозвращатели и на боковых сторонах кузова. Задние световозвращатели выполняются красного цвета, боковые – оранжевого, передние – бесцветные.

Наиболее эффективным является кубический световозвращатель, состоящий из трехгранных ячеек с углом между гранями 90° . Основным обратноотражающим элементом такого световозвращателя является прямоугольная трехгранная призма, обеспечивающая высокий обратноотражающий эффект, отсутствие нерабочих

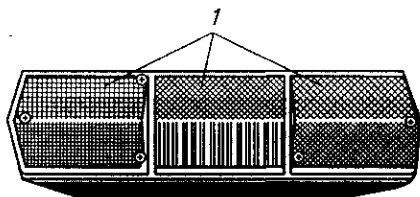


Рис. 4.15. Унифицированный задний фонарь ФП130 грузовых автомобилей



Рис. 4.16. Внешний вид световозвращателя

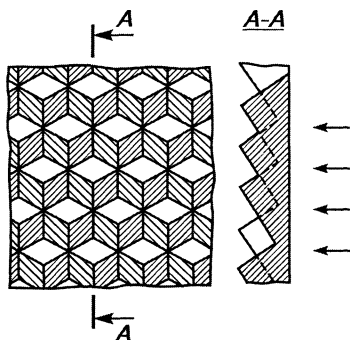


Рис. 4.17. Форма трехгранных ячеек световозвращателя

участков при падении света параллельно оси призмы и возможность заполнения плоской поверхности входными элементами призм без каких-либо потерь площади. На рис. 4.16 показан внешний вид отдельного световозвращателя, заделанного в металлическое основание 1, имеющее элементы крепления его к корпусу автомобиля.

Оптический элемент световозвращателя представляет собой пластмассовую деталь, изготовленную литьем в пресс-форме, на обратной стороне которой образованы трехгранные кубические ячейки (рис. 4.17). Световой пучок от фар (на рисунке показан стрелками) входит в оптический элемент с наружной гладкой стороны и, претерпев трехкратное полное внутреннее отражение от трех граней ячейки, возвращается обратно по направлению падающего света.

4.9. ИСТОЧНИКИ СВЕТА

Конструкция современных автомобильных ламп представляет собой установленные в стеклянной колбе одно или два тела накала, смонтированные на токоподводящих электродах, соединенных с контактами цоколя. Тело накала изготовляют из вольфрама с присадками окиси кремния, окиси алюминия и др. Электроды выполняют из никеля, а стеклянные детали изготовляют из силикатного стекла. Для получения возможно большей концентрации тела накала вольфрамовую проволоку свивают в спираль и биспираль. Учитывая массовый характер производства и весьма жесткие тре-

бования по светораспределению, предъявляемые к световым приборам автомобиля, в особенности к фарам, монтаж тел накала относительно элементов фиксации цоколя обеспечивают с высокой степенью точности.

Источники света характеризуются рядом параметров, определяющих их основные электрические, световые и эксплуатационные свойства. Основными электрическими параметрами автомобильных ламп являются:

- номинальное напряжение (6, 12, 24 В);
- электрическая мощность (по ГОСТ 2023 – 90 автомобильные лампы маркируются так же, как и в Европе, по мощности в ваттах);
- расчетное напряжение, при котором лампа будет работать в течение ее срока службы (для указанных выше номинальных значений напряжений соответствующие расчетные напряжения составляют 6,7; 13,5; 28 В).

К основным световым параметрам источников света относятся: номинальный световой поток лампы, измеряемый в люменах; максимальная сила света, измеряемая в канделах (ранее в свечах); яркость тела накала, измеряемая в нитах.

В отечественной промышленности маркировка автомобильных ламп указывает на тип лампы, номинальное напряжение и номинальную мощность. Например, А24-5 – одонитевая, 24 В, 5 Вт; А12-45+40 – двухнитевая 12 В, 45 Вт – нить дальнего света и 40 Вт – нить ближнего света. Стоящая впереди буква А означает «автомобильная».

Мощность ламп накаливания, применяемых в автомобильных сигнальных фонарях, не превышает 21 Вт. Это связано с тем, что сигнальные фонари в соответствии с назначением и характеристиками отличаются сравнительно малой силой света.

Общий вид автомобильных ламп накаливания показан на рис. 4.18.

Одним из существенных недостатков ламп накаливания является осаждение на колбе частиц вольфрама, что приводит к увеличению коэффициента поглощения колбы и снижению световой отдачи лампы. При введении в лампу галогенов или некоторых их соединений в ней устанавливается цикл возврата частиц вольфрама с колбы на тело накала, механизм которого следующий. Если в работающей лампе имеются пары йода и температура колбы $250^{\circ}\text{C} < T_{\text{к}} \leq$

1200°C , то пары йода образуют с осевшим на колбе вольфрамом иодистый вольфрам WI_2 , который испаряется и, попадая в область тела накала, разлагается на йод и вольфрам, если температура

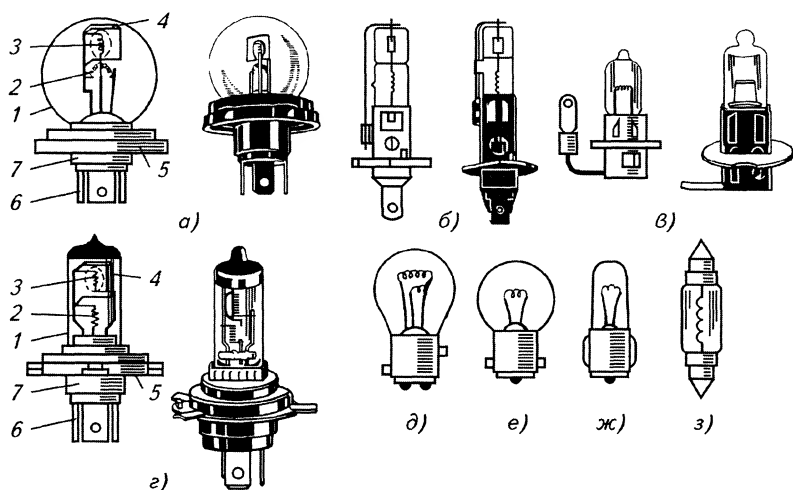


Рис. 4.18. Автомобильные лампы накаливания:

а – для фар головного освещения с европейской асимметричной системой светораспределения; б – галогенная категория Н1; в – галогенная категория Н3; г – галогенная категория Н4; д – двухнитевая штифтовая; е – од-
нонитевая штифтовая; ж – пальчиковая; з – софитная; 1 – колба; 2 – нить
дальнего света; 3 – нить ближнего света; 4 – экран; 5 – фокусирующий
фланец; 6 – выводы; 7 – цоколь

в этой области выше 1400°C . Пары йода возвращаются к колбе лампы, образуют опять WI_2 , и цикл повторяется. Вольфрам испаряется тем быстрее, чем выше температура участка тела накала. Так как температура дефектных участков выше, испарение с этих участков происходит интенсивнее, чем с бездефектных. Возвращаясь на тело накала, вольфрам оседает на более холодных его участках, образуя наросты. Таким образом, йодно-вольфрамовый цикл не компенсирует усиленное испарение вольфрама с дефектных участков и не позволяет существенно увеличить срок службы.

Кроме йода, для очистки колбы лампы от осевшего вольфрама, применяют другие галогены и их соединения. Особенно эффективными показали себя соединения брома, бромистый метил CH_2Br_2 и бромистый метил CH_3Br .

Наличие возвратного цикла позволило увеличить рабочую температуру нити до $3000...3200^{\circ}\text{C}$, а следовательно, и ее световую отдачу до $22...25$ лм/Вт, что в 1,5 раза выше световой отдачи обычных ламп. Для реализации цикла необходима высокая температура стенок колбы – около $600...700^{\circ}\text{C}$, поэтому колба галогенной лампы

изготавливается из кварцевого стекла и имеет малые размеры, а спиральная нить накала для обеспечения более равномерного отложения на ней частиц вольфрама должна иметь форму прямого цилиндра. Для автомобильных фар разработаны и вошли в Правило № 37 ЕЭК ООН три типа одностековых галогенных ламп – Н1, Н2, Н3 и двухстековая лампа Н4.

Лампы Н1 и Н2 имеют нить, расположенную вдоль оси цоколя, и отличаются конструкцией последнего. Лампа Н3, имеющая нить накала, перпендикулярную оси, и свой цоколь, получила наибольшее распространение. В лампе Н4 нить дальнего света также имеет форму прямого цилиндра и расположена параллельно оптической оси, лампа оснащена специальным цоколем. Лампы Н1 и Н3 применяются в противотуманных фарах, фарах дальнего света и в четырехфарных системах, дополнительных фарах дальнего света. Лампа Н2 почти не применяется как очень сложная в производстве. Лампа Н4 применяется в головных фарах двух- и четырехфарной систем освещения. Отечественная промышленность также освоила выпуск фарных галогенных ламп типов Н1, Н3 и Н4, имеющих в маркировке обозначение АКГ (автомобильная кварцевая галогенная). Изготавливаются двухстековые лампы категории Н4 типов АКГ12-60+55 и АКГ24-75+70 и одностековые лампы для прожекторов и противотуманных фар категории Н1 типов АКГ12-55 и АКГ24-70 и Н3 типов АКГ12-55-1 и АКГ24-70-1.

Появление в последние годы термостойких пластмасс предопределило возможность использования галогенных ламп и в светооптических схемах фонарей. Для этих целей в настоящее время как за рубежом, так и в России проводятся разработки галогенных ламп пониженной мощности 5, 10, 15, 20 Вт, использование которых позволит создавать более эффективные приборы системы освещения и сигнализации.

Уже появились и достаточно широко применяются новые источники света – ксеноновые лампы. В отличие от автопромышленности в бытовой технике эти лампы уже давно являются не новостью и широко применяются в кинопроекторной аппаратуре и фотовспышках, так как их спектр излучения близок к солнечному свету. В колбе этих ламп светится дуговой разряд между электродами, помещенными в специальную среду, представляющую собой инертный газ. К основным из достоинств данных источников следует отнести то, что они не перегорают, не боятся вибраций, а светотдача достигает 80 лм/Вт.

Но за это приходится платить сложностью самого устройства. Чтобы ионизировать инертный газ, необходимо пробить промежуток

между электродами импульсом напряжением 20 кВ, что на автомобиле не является недостижимой задачей. Помимо этого, также необходимо приложить к этим же электродам переменный ток частотой 300 Гц и напряжением 330 В. Это и является основной сложностью. С появлением силовых полупроводниковых приборов данная проблема была решена и в ящике массой примерно 0,5 кг разместили необходимый преобразователь энергии.

На первом этапе из постоянного тока напряжением 10–17 В получают постоянное напряжение в 300 В. На втором этапе данное напряжение преобразуют в переменное нужной частоты. На третьем этапе переменное напряжение пропускают через устройство запуска, позволяющее достичь высоковольтного импульса, необходимого для поджига лампы. Сама же лампа D1 мощностью 35 Вт имеет массу всего 15 г и немногим больше по своим геометрическим размерам галогенной.

Все выше перечисленное и объясняет достаточно высокую стоимость преобразователя энергии для ксеноновой лампы. Для установки на автомобиле данной системы освещения необходимо как минимум два комплекта, а то и большее количество таких преобразователей, так как светораспределение фар дальнего и ближнего света совершенно разное (рис. 4.19). В традиционных лампах накаливания эту задачу решили путем применения двухнитевой конструкции. Точно рассчитанные отражатель и рассеиватель обеспечивали необходимое светораспределение для каждой нити. Напрашивается вопрос: так что же, в случае применения газоразрядных ламп потребуются устанавливать четыре фары с громоздкими и дорогими преобразователями?

Известные фирмы Bosch и Hella в этой ситуации нашли, в сущности, два похожих способа решения данного вопроса. В первом случае внутри фары размещают подвижный непрозрачный экран, который управляется соленоидом. При включении ближнего света данный экран опускается и отсекает часть светового потока, который мог бы привести к ослеплению водителей встречных транспортных средств. Во втором – вдоль оптической оси фары с помощью опять же соленоида перемещается уже сама лампа. Ее светящийся разряд попадает в точку, где должна находиться нить либо ближнего света, либо, напротив, дальнего. Процесс переключения длится всего 0,3 с, причем создается впечатление, что освещенное пространство перед автомобилем меняет свое очертание.

Новая блок-фара имеет совершенно непривычный вид (рис. 4.20). Серийное производство фирма Bosch начала уже в 1998 г., а фирма Hella годом позже.

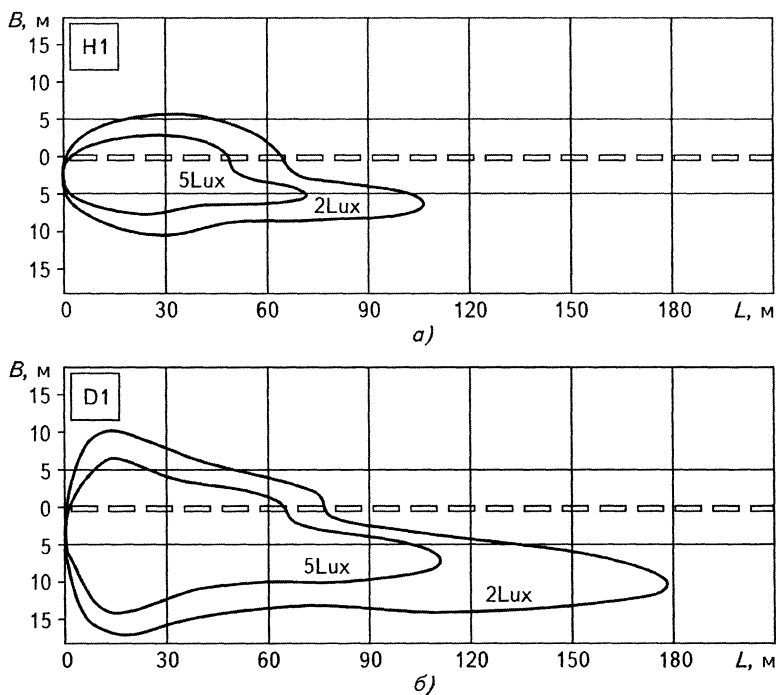
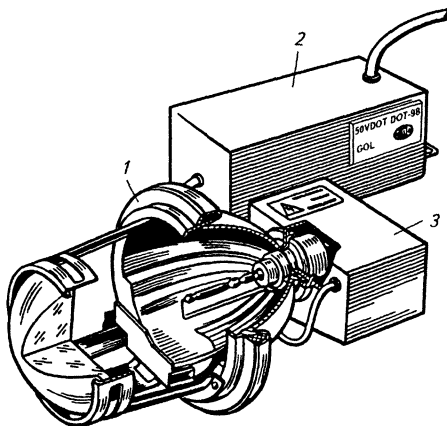


Рис. 4.19. Освещенный участок дороги при включении фар ближнего света:
 а – с обычными галогенными лампами; б – с ксеноновыми лампами;
 L и B – соответственно длина и ширина участка

Рис. 4.20. Фара с ксеноновой лампой (1), источником питания (2) и преобразователем напряжения (3)



К источникам света с высокой световой отдачей относятся металлогалогенные лампы (МГЛ), в которых, также как и в ксеноновых используется дуговой разряд в инертном газе (обычно применяется аргон). Внутри колбы вводятся в небольших пропорциях галогениды, т. е. металлы в сочетании с йодом, бромом, хлором. В зависимости от вида галогенида изменяется и спектр излучения. При этом температура испарения галогенидов ниже, чем чистых металлов. Попадая в зону разряда с высокой температурой галогениды распадаются на галоген и металл. Атомы металла в зоне высоких температур, возбуждаясь излучают характерный для них спектр. Диффундируя за пределы канала разряда в зону с более низкой температурой галогениды восстанавливаются и в таком виде находятся у стенок колбы, не вызывая ее разрушение. Вводя в лампу различные галогениды, можно получать требуемый спектр разряда – от линейчатого до – практически сплошного. Благодаря конвекции газа внутри газоразрядного промежутка и диффузии, цикл, состоящий из выделения металла для участия в разряде и последующего соединения в областях более низких температур, будет повторяться, обеспечивая постоянную концентрацию возбуждаемых атомов в центральной части разряда. Температура в разрядном канале достигает нескольких тысяч градусов, что достаточно для полной диссоциации молекул и для интенсивного возбуждения атомов металла и других элементов. Высокие значения градиента потенциала позволяют создать лампы малых размеров большой удельной мощности и высокой яркости, а также варьировать в широких пределах размеры колбы, ее температуру, а следовательно и давление паров. Постепенный спад температуры от канала дуги к стенкам колбы создают благоприятные условия для протекания галогенного цикла.

Галогениды не разрушают стенок колбы, состоящей из кварцевого стекла, даже при 1150 К и высоких давлениях. Галогениды металлов вводятся в лампы в очень малой концентрации, ртутный пар играет роль буфера, создавая в разряде требуемую высокую температуру, высокий градиент потенциала и снижая тепловые потери.

Спектр излучения определяется различными галогенидами. Так, добавка натрия дает желтое излучение с длиной волны 589 нм, лития – красное с длиной волны 671 нм, таллия – темно-зеленое с длиной волны 535 нм, индия – фиолетовое, с длиной волны 435 и 410 нм. Другие металлы дают спектры, состоящие из большого числа близко расположенных линий, заполняя всю видимую область (скандий, титан, диспрозий и др.). Галогениды с оловом дают

непрерывные спектры. В настоящее время обычным является добавка йодного соединения (йодид натрия, таллия, скандия, тория). Перспективным является использование редкоземельных элементов, обеспечивающих почти непрерывный спектр излучения.

Параметры ламп типа МГЛ сильно зависят от колебаний напряжения. При изменении напряжения в пределах 10–15% мощность лампы изменяется в пределах 22–33%, а световой поток на 25–37%. Температура окружающей среды влияет на напряжение зажигания МГЛ и цветность лампы.

Имеются МГЛ с керамической горелкой (поликристаллическая окись алюминия, выдерживающего температуру 1100°C).

Горелка наполнена галогенидами натрия и олова. Световая отдача 93 лм/Вт, температура цветности лампы – $T_{\text{цв}} = 6000 \text{ K}$.

Некоторые типы МГЛ, имея габаритные размеры ГЛН, превосходят последние по световой отдаче в 2–3 раза, по сроку службы в 2–3 раза (70 лм/Вт, 5000 ч). Общий вид лампы представлен на рис. 4.21.

Недостатком МГЛ является повышенное напряжение зажигания, но меньшее, чем у ксеноновых ламп. Для зажигания ламп может быть использована та же аппаратура.

Структурная схема аппаратуры для включения МГЛ показана на рис. 4.22.

В настоящее время разработаны безэлектродные микроволновые серные лампы мгновенного включения, имеющие кварцевую колбу и, помимо серы, содержащие аргон, без добавок ртути. Специальный генератор (СВЧ) создает микроволновое излучение с частотой 2,45 ГГц ($1 \text{ ГГц} = 10^9 \text{ Гц}$). Световая отдача 86 лм/Вт, $T_{\text{цв}} = 6000^\circ\text{K}$.

Ряд фирм (General Electric, OSRAM и др.) приступили к разработке таких дуговых разрядных ламп со стартером в виде ультрафиолетового излучателя, расположенного в зоне разряда. Типовая конструкция таких ламп показана на рис. 4.23.

Широкие перспективы имеют в качестве источников света светоизлучающие диоды (СИД).

Светоизлучающие диоды – это миниатюрные источники света, в которых излучение возникает на полупроводниковом переходе в результате рекомбинации электронов и дырок. В СИД используются полупроводниковые материалы высокой чистоты, легированные малым количеством контролируемых примесей *n*-, либо *p*-типа. Если к *p*-*n* переходу приложить постоянное напряжение прямой проводимости в несколько вольт, то в результате рекомбинации в зо-

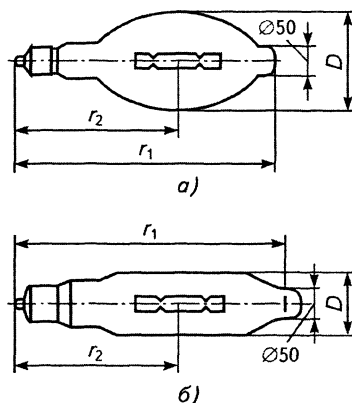


Рис. 4.21. Общий вид лампы типа МГЛ
а – модификация лампы для работы в любом положении; б – для работы преимущественно в горизонтальном положении

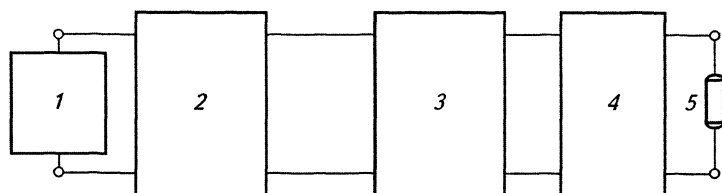


Рис. 4.22. Структурная схема аппаратуры для включения МГЛ:
1 – генераторная установка; 2 – источник питания постоянного тока;
3 – преобразователь постоянного тока в переменный; 4 – пуско-регулирующее устройство; 5 – МГЛ

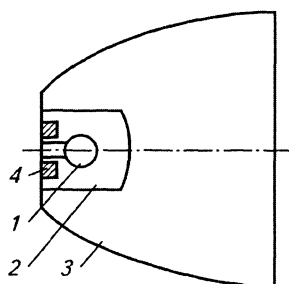


Рис. 4.23. Серная лампа с СВЧ излучателем:
1 – серная лампа; 2 – светопрозрачный СВЧ экран; 3 – квазипараболический отражатель; 4 – СВЧ катушка

не контакта дырок и электронов частично излучаются фотоны. Размеры контакта 10^{-3} – 10^{-4} см² и выше. Свечение возникает на границе полупроводников и выходит наружу сквозь один из полупроводниковых материалов и через зазор между двумя материалами. Главные потери излучения связаны с полным внутренним поглощением. Для повышения коэффициента выхода излучения применяют специальные конфигурации СИД (фирма Hewlett Packard, компания Lumileds Lighting и др.).

В настоящее время максимальная световая отдача некоторых типов используемых в транспортных средствах светоизлучающих диодов достигает 30 лм/Вт.

Световая отдача желто-зеленого светоизлучающего диода из фосфида галлия теоретически может превышать 100 лм/Вт, а из арсенида галлия с люминофором (красный, зеленый, голубой) свыше 200 лм/Вт, но при низком световом потоке.

По мере совершенствования технологии изготовления световая отдача светодиодов постоянно повышается. Предполагается, что в недалеком будущем она может достичь 150 лм/Вт и превысить параметры всех известных источников света.

Достоинствами СИД являются высокий срок службы, достигающий 100 тыс. часов, что в 1000 раз превышает срок службы ламп накаливания. Температура корпуса светодиода не превышает 80°C. Они обладают высокой механической прочностью, имеют небольшие габаритные размеры и вес. Все это позволяет создавать источники света с принципиально новой конструкцией и возможностями применительно к транспортным средствам. В частности, фирма General Electric приступила к разработке головных фар с источником света на основе мощных СИД со световым потоком, превышающим 120 лм. Такие фары имеют малую глубину, что позволит улучшить дизайн и аэродинамические свойства автомобиля.

Так, в последней модели Ауди (Audi Le Mans Quattro) все световые приборы, включая подсветку салона и приборной доски, выполнены на светодиодах. В качестве фары дальнего света использована матрица, состоящая из 8 сверхярких светодиодов типа «Пирания» (компания Lumileds Lighting), расположенных в два ряда. Фара ближнего света представляет собой светодиодную матрицу из девяти светодиодов, расположенных ближе к краю корпуса в три ряда. Наружные светодиоды в фаре установлены так, что их световой поток охватывает обочину дороги. Они автоматически включаются при повороте, создавая световой поток, направленный под углом в сторону поворота автомобиля.

4.10. ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ И ДИАГНОСТИРОВАНИЕ СИСТЕМ ОСВЕЩЕНИЯ И СИГНАЛИЗАЦИИ В ЭКСПЛУАТАЦИИ

Процесс эксплуатации транспортных средств сопровождается ухудшением характеристик световых приборов, что обусловлено нарушением регулировки фар от воздействия вибрационной нагрузки, изменением жесткости подвески, заменой источников света, ухудшением светотехнических характеристик, вызванным загрязнением рабочих поверхностей отражателя и рассеивателя, абразивным износом поверхностей рассеивателя, уменьшением светового потока источников света из-за падения напряжения в цепи, вызванного эрозией контактов.

Ухудшение функциональных характеристик приводит к увеличению числа дорожно-транспортных происшествий и снижению эффективности перевозок, что при росте автомобилизации и возрастающей роли автомобильных перевозок оборачивается значительным материальным и моральным ущербом.

Для обеспечения безопасности движения и эффективности работы автомобильного транспорта согласно нормативным документам, принятым в России, установлены периодичность и объем работ, выполняемых при ежедневном обслуживании (ЕО) и ТО-1 систем освещения и сигнализации. При ЕО проводятся моечно-уборочные и контрольно-осмотровые работы. Состав работ при проведении ТО-1 предусматривает дополнительно к работам ЕО следующие операции: проверку правильности установки и регулировки фар; проверку силы света фар и светосигнальных огней; проверку состояния ламп, проводов, контактов, элементов крепления. При ТО-1 все перечисленные работы проводят без снятия приборов с автомобиля.

Эксплуатационные значения световых характеристик фар и светосигнальных огней регламентирует ГОСТ Р41.1-99, согласно которому: фары типов С(НС) и CR(HCR) должны быть отрегулированы так, чтобы плоскость, содержащая левую часть светотеневой границы пучка ближнего света, была наклонена к плоскости рабочей площадки на углы, указанные в табл. 4.7. При этом точка пересечения левого горизонтального и правого наклонного участков светотеневой границы пучка ближнего света должна находиться в вертикальной плоскости, проходящей через ось отсчета.

На автотранспортных средствах, фары которых снабжены корректирующим устройством, последнее при загрузке автотранспортного средства должно быть приведено в соответствующее загрузке положение.

Таблица 4.7

Высота установки фары (по центру рассеивателей), мм	Угол наклона светового пучка в вертикальной плоскости, мин	Расстояние от центра фары до светотеневой границы пучка по экрану, мм, удаленному на расстояние	
		5 м	10 м
До 600 включительно	34	50	100
Свыше 600 до 700 включительно	45	65	130
Свыше 700 до 800 включительно	52	75	150
Свыше 800 до 900 включительно	60	88	176
Свыше 900 до 1000 включительно	69	100	200
Свыше 1000 до 1200 включительно	75	110	220
Свыше 1200 до 1600 включительно	100	145	290

Сила света каждой из фар типа C(HC) и CR(HCR) в режиме ближнего света, измеренная в вертикальной плоскости, проходящей через ось отсчета, должна быть:

- ≤ 750 кд в направлении $34'$ вверх от положения левой части светотеневой границы;
- ≥ 1600 кд в направлении $52'$ вниз от положения левой части светотеневой границы.

Фары типа R(HR) должны быть отрегулированы так, чтобы угол наклона наиболее яркой (центральной) части светового пучка в вертикальной плоскости находился в диапазоне $0' \dots 34'$ вниз от оси отсчета. При этом вертикальная плоскость симметрии наиболее яркой части светового пучка должна проходить через ось отсчета.

Сила света фар типа CR(HCR) в режиме дальнего света должна измеряться в направлении $34'$ вверх от положения левой части светотеневой границы режима ближнего света в вертикальной плоскости, проходящей через ось отсчета. Сила света фар типа R(HR) должна измеряться в центре наиболее яркой части светового пучка. Сила света фар типов R(HR) и CR(HCR), расположенных на

одной стороне транспортного средства, в режиме дальнего света не должна быть меньше 10 000 кд.

Противотуманная фара (тип В) должна быть отрегулирована так, чтобы плоскость, содержащая верхнюю светотеневую границу пучка фары, была наклонена к плоскости рабочей площадки на углы, не менее указанных в табл. 4.8. При этом верхняя светотеневая граница пучка противотуманной фары должна быть параллельна плоскости рабочей площадки.

Таблица 4.8

Высота установки фар, мм	Угол наклона верхней светотеневой границы, мин	Расстояние от центра фары до верхней границы светотеневой границы пучка по экрану, мм, удаленному на расстояние	
		5 м	10 м
Свыше 250 до 500 включительно	34	50	100
Свыше 500 до 750 включительно	58	100	200
Свыше 750 до 1000 включительно	140	200	400

Сила света противотуманных фар, измеренная в вертикальной плоскости, проходящей через ось отсчета, должна быть:

– ≤ 625 кд – в направлении 3' вверх от положения верхней светотеневой границы;

– ≥ 1000 кд – в направлении 3' вниз от положения верхней светотеневой границы.

Противотуманные фары должны включаться при включенных габаритных огнях.

Сила света светосигнальных огней (фонарей) в направлении оси отсчета должна быть в пределах, указанных в табл. 4.9.

Таблица 4.9

Наименование огней	Расположение	Сила света, кд	
		не менее	не более
Габаритные огни (в том числе верхние)	Передние	2	60
	Задние	1	12
Сигналы торможения	С одним уровнем	20	100

Глава 4. Системы освещения и сигнализации

Наименование огней	Расположение	Сила света, кд	
		не менее	не более
	С двумя уровнями	20	520
	То же ночью	5	80
	Передние	80	700
Указатели поворота	Задние:		
	с одним уровнем	40	200
	с двумя уровнями	40	400
	днем то же ночью	10	100

Сила света парных (передних и задних) фонарей автотранспортного средства одного функционального значения не должна отличаться более чем в два раза. Габаритные огни и опознавательный знак автопоезда должны работать в постоянном режиме. Сигналы торможения (основные и дополнительные) должны включаться при воздействии на соответствующие органы управления тормозных систем и работать в постоянном режиме. Фонарь заднего хода должен включаться при включении передачи заднего хода. Указатели поворотов и их боковые повторители должны работать в проблесковом режиме со следующими параметрами:

- частота следования проблесков должна находиться в пределах 90 ± 30 проблесков в минуту, или $(1,5 \pm 0,5)$ Гц;
- время от момента включения указателей поворотов до появления первого проблеска не должно превышать 1,2 с;
- соотношение длительности горения источника света ко времени цикла работы должно находиться в пределах 30...75%.

Аварийная сигнализация должна обеспечивать синхронное включение всех указателей поворотов и боковых повторителей в проблесковом режиме. Фонарь освещения номерного знака должен включаться одновременно с габаритными огнями. Задние противотуманные фонари должны включаться при включенных габаритных огнях и работать в постоянном режиме.

Положение и регулировка фар автомобиля в эксплуатационных условиях зависят от многих факторов, к которым относятся техническое состояние подвески, расположение и масса груза, состояние шин, давление в них воздуха, поэтому и устанавливать фары необходимо с учетом этих факторов. Контролируют и регулируют положение фар при помощи измерительного экрана или специальных оптических приборов – *реглоскопов*.

Проверку внешних световых приборов необходимо проводить при неработающем двигателе на специальном посту, включающем рабочую площадку, плоский экран с матовым покрытием, люксметр с фотоприемником (защищенным от посторонних засветок) и приспособление, ориентирующее взаимное расположение транспортного средства и экрана.

Нормативы должны обеспечиваться: для легковых автомобилей при нагрузке массой (70 ± 20) кг (человек или груз) на заднем сиденье, для остальных транспортных средств без нагрузки.

Рабочая площадка должна быть таких размеров, чтобы при расположении на ней транспортного средства расстояние между рассеивателями светового прибора и экраном по оси отсчета было не менее 5 м; неровности рабочей площадки должны быть не более 3 мм на 1 м.

Угол между плоскостью экрана и рабочей площадкой должен быть (90 ± 3)°.

Ориентирующее приспособление должно обеспечивать установку транспортного средства таким образом, чтобы ось отсчета светового прибора была параллельна плоскости рабочей площадки и находилась в плоскости, перпендикулярной плоскостям экрана рабочей площадки с погрешностью не более $\pm 0,5^\circ$.

Разметка экрана должна обеспечивать выполнение проверок.

При проведении работ фотоприемник располагается на расстоянии ($3\pm 0,1$) м от рассеивателя светового прибора. Допускается вместо экрана использовать оптический прибор с ориентирующим приспособлением. Диаметр входного отверстия объектива должен быть не меньше габаритов фары. Оптическая ось прибора должна быть направлена параллельно рабочей площадке с погрешностью не более $\pm 0,25^\circ$. В фокальной плоскости объектива должен быть установлен подвижный экран с требуемой разметкой.

Ориентирующее приспособление должно обеспечивать установку оптической оси прибора параллельно продольной плоскости симметрии транспортного средства (или перпендикулярно к оси задних колес) с погрешностью не более $\pm 0,5^\circ$.

Измерения силы света должны производиться при помощи фотоприемника, откорректированного под среднюю кривую спектральной чувствительности глаза.

Диаметр фотоприемника должен быть 30 мм при работе с экраном и 6 мм при работе с прибором.

Проверка на соответствие требованиям указателей поворота обеспечивается измерительным прибором.

Частоту следования проблесков и время до появления первого проблеска допускается определять универсальным измерителем времени с секундным отсчетом, обеспечивающим снятие показаний в пределах 1...30 с с ценой деления не более 0,1 с. Частоту следования проблесков указателя поворотов проверяют не менее, чем по 10 проблескам.

Допускаемая погрешность при измерении всех установленных при проверке фар значений, указанных в табл. 4.7 и 4.8, должна быть не более: для угловых величин $\pm 15^\circ$; для линейных величин на расстоянии 10 м до экрана ± 44 мм, а на расстоянии 5 м – ± 22 мм. Допускаемая погрешность при измерении всех остальных установленных значений не должна превышать 15%.

По экрану фары регулируют в зависимости от системы освещения (американской или европейской) соответственно либо по дальнему, либо по ближнему свету. Подготовленное транспортное средство устанавливают на ровной площадке на определенном расстоянии от экрана (как правило, это расстояние равно 10 м), предварительно ориентируя относительно плоскости экрана. Затем, поочередно проецируя световой пучок каждой из фар и экранируя при этом излучение другой фары, регулировкой добиваются совпадения световой границы ближнего света фар (европейская система освещения) с разметкой номинального положения этой границы на экране либо совпадения центров пятна светового пучка дальнего света (американская система освещения) с номинальным положением этого центра на экране.

Разметки экранов для европейской и американской систем освещения приведены на рис. 4.24. Для измерения силы света по оси фар, отрегулированных по экрану, устанавливают фотоприемник, подключенный к показывающему прибору.

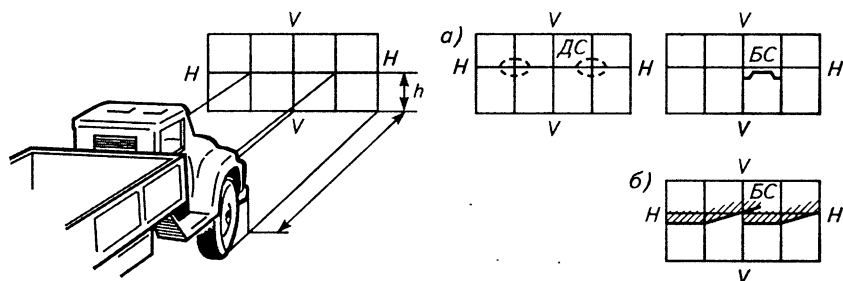


Рис. 4.24. Разметка экранов для регулировки фар американской (а) и европейской (б) систем освещения

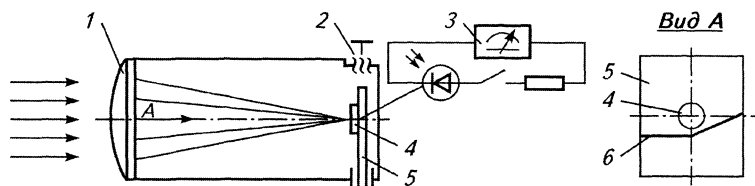


Рис. 4.25. Устройство оптической камеры реглоскопа:
1 – собирающая линза; 2 – механизм перемещения экрана; 3 – показывающий прибор; 4 – фотоприемник; 5 – экран; 6 – разметка экрана

Несмотря на простоту приспособлений, такой метод регулировки и контроля положения фар по экрану имеет ряд существенных недостатков: требует затемненного помещения, значительных площадей, низкую точность ориентации транспортного средства относительно экрана, низкую производительность ориентации, необходимость трудоемкой переориентации транспортного средства при контроле силы света фонарей. Устранить присущие этому методу недостатки удается использованием реглоскопов (рис. 4.25).

Подобные приборы имеют оптическую камеру, позволяющую формировать пучки дальнего и ближнего света на короткой базе 400...500 мм, и обеспечивают процесс контроля и регулировки положения фар при измерении сил света фар и фонарей на малых площадях 3...4 м², не требующих затемненных помещений.

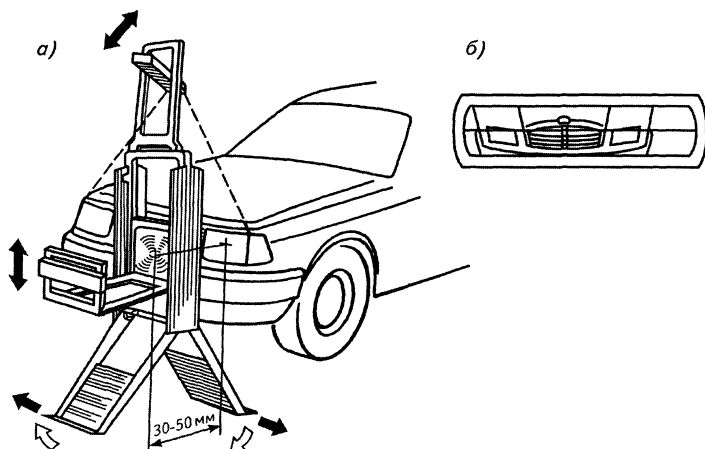


Рис. 4.26. Прибор ПРАФ-9 в рабочем состоянии (а) с видом на автомобиль в окуляре зрительной трубы прибора (б)

Оптическая камера содержит собирающую линзу 1 с фокусным расстоянием 400...500 мм, в фокальной плоскости которой установлен экран 5, а в фокусе размещен фотоприемник 4 с подключенным к нему показывающим прибором 3. Экран реглоскопа имеет аналогичную стандартному экрану разметку, может перемещаться в вертикальной плоскости как вместе с объективом, так и независимо от него, что обеспечивает контроль положения фар, установленных на различной высоте.

Для установки оптической камеры относительно транспортного средства все реглоскопы имеют систему ориентации. Базовыми элементами автомобиля для систем ориентации реглоскопов могут быть колеса передней или задней оси или симметричные точки кузова.

В настоящее время в России производятся приборы ПРАФ-8, ПРАФ-9, которые служат для контроля технического состояния внешних световых приборов транспортных средств в соответствии с ГОСТ Р41.1-99 (рис. 4.26). Они предназначены для стационарных (ПРАФ-8), подвижных и стационарных (ПРАФ-9) станций инструментального контроля. От других приборов подобного назначения их отличают оптическая система ориентации оптической камеры относительно оси симметрии транспортного средства, портативное исполнение, малые масса и габариты, использование цифрового измерительного блока регистрации контролируемых параметров, выполненного на базе однокристалльной ЭВМ. Прибор ПРАФ-9 подключается к бортовой сети автомобиля по схеме, показанной на рис. 4.27.

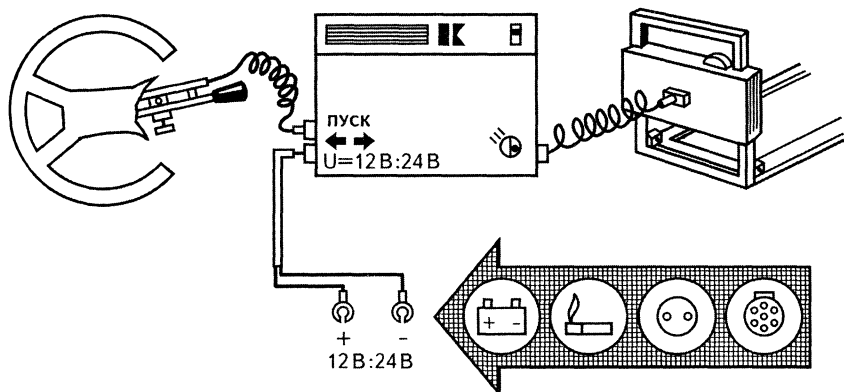


Рис. 4.27. Схема подключения измерительного блока прибора ПРАФ-9 к бортовой сети автомобиля

Технические характеристики приборов ПРАФ-8, ПРАФ-9

Диапазоны измерения:	
силы света, кд	0–200 000
времени от момента включения указателя поворота до появления первого проблеска, с	0,1–5,0
частоты следования проблесков, Гц	0,5–4,0
соотношения длительности горения источника света ко времени цикла работы фонаря, %	30–75
Погрешность измерения всех параметров не более, %	+15
Диапазон перемещения оптической камеры, мм	250–1200
Напряжение питания (от автономного источника), В	9
Габаритные размеры в транспортном состоянии, мм	
ПРАФ-8	1400×650×300
ПРАФ-9	620×30×120
Габаритные размеры в рабочем состоянии, мм:	
ПРАФ-8	1700×600×300
ПРАФ-9	1700×1000×300
Масса, кг:	
ПРАФ-8	30
ПРАФ-9	10

Вопросы для самоконтроля

1. В чем состоит роль систем освещения и сигнализации в обеспечении безопасности дорожного движения?
2. В чем заключаются принципы формирования светораспределения систем освещения и сигнализации?
3. В чем различие европейской и американской систем освещения?
4. Как осуществляется реализация светораспределения двух- и четырехфарной системами освещения?
5. Каковы требования к светотехническим характеристикам автомобильных фар и фонарей?
6. Каковы особенности конструкций приборов автомобильной светотехники?
7. Каковы особенности конструкции автомобильных ламп?
8. Каковы основные характеристики источников света?
9. Какие существуют методы диагностирования систем освещения и сигнализации?

ГЛАВА 5. ИНФОРМАЦИОННО-ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

5.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Автомобильная информационно-диагностическая система (АИС) является составной частью современного автомобиля и предназначена для сбора, обработки, хранения и отображения информации о режиме движения и техническом состоянии автомобиля, а также окружающих его внешних факторах. Для этой цели на автомобиле устанавливаются контрольно-измерительные приборы (КИП) и различные дополнительные устройства: бортовая система контроля (БСК), система встроенных датчиков (СВД), маршрутный компьютер (МК), навигационная система.

С точки зрения характера отображаемой информации она подразделяется на оперативную, дополнительную (в том числе контрольно-диагностическую) и внешнюю. Устройства и приборы, предоставляющие водителю информацию, определяют структуру АИС:

оперативная информация – электромеханическая комбинация приборов, электронный щиток приборов, ветровое стекло;

дополнительная информация – БСК, СВД и контрольных точек (КТ), МК;

внешняя информация – телевизионная установка заднего вида, радиотелефон и развлекательные устройства, навигационные, локационные и другие устройства.

Контрольно-измерительные приборы информируют водителя о скорости движения автомобиля, частоте вращения коленчатого вала двигателя, напряжении бортовой сети, количестве топлива в баке, температуре охлаждающей жидкости, давлении масла. Кроме того, КИП информируют о возникновении аварийных режимов: в системе смазки двигателя – о падении давления масла, в системе охлаждения – о перегреве охлаждающей жидкости.

Бортовая система контроля – это развивающаяся система. В ее функции входит информирование водителя о ряде параметров систем и агрегатов автомобиля, изменение состояния которых не создает аварийного режима работы и не требует немедленного вмешательства, а предупреждает о необходимости принятия мер по техническому обслуживанию. С помощью БСК возможен автоматизированный контроль уровня эксплуатационных жидкостей в запорочных емкостях, состояния тормозных накладок, исправности

ламп приборов светосигнальной аппаратуры, состояния фильтров.

Для снижения трудоемкости и уменьшения времени диагностирования автомобили оборудуют системой встроенных датчиков, имеющих выходы на штекерный разъем. К штекерному разъему при диагностировании подключается диагностическая аппаратура, что дает существенные преимущества по сравнению с традиционными способами подключения с помощью зажимов и фиксаторов. При наличии на борту автомобиля диагностического прибора, подсоединенного к СВД, водитель может самостоятельно с минимальными затратами времени оценить техническое состояние автомобиля.

В последнее время для автомобилей стали разрабатываться устройства, предоставляющие водителю дополнительную информацию, связанную со скоростью движения, расходом топлива, пройденным расстоянием и временем. Подобные устройства получили название маршрутных компьютеров.

Современная концепция единой системы «водитель – автомобиль – дорога – среда» предполагает наличие не только оперативной и контрольно-диагностической информации о режиме движения и состоянии автомобиля, но также внешней информации о состоянии дорог (обледенения, заторы, ремонт), карте дорог, оптимальном маршруте следования и погодных условиях. Эта информация поступает в АИС извне (от системы датчиков, размещенных вдоль автомагистрали на всем ее протяжении, специальных радиопередающих станций, по спутниковой связи либо из специально записанной в память системы базы данных). Подобные системы, называемые навигационными, следует считать новейшим направлением в развитии АИС.

Не следует забывать и такие информационные возможности современного автомобиля, как телевизионная установка заднего вида (применяется, как правило, на большегрузных автопоездах), которая во время стоянки превращается в обычный телевизор, а также радиотелефон, компьютерные игры и т. п.

Основными характеристиками информационно-диагностической системы автомобиля как единого целого являются быстродействие, точность воспроизведения и считывания информации, время считывания информации, информационная емкость, яркость и контрастность изображения.

Быстродействие измерительного прибора определяют как интервал времени с момента измерения значения контролируемого параметра до фиксации этого изменения на указательной части прибора. Для создания водителю оптимальных условий при приня-

тии решений быстродействие системы должно быть максимальным и зависеть от характера отображаемой информации (например, влияет ли информация на безопасность дорожного движения, либо носит второстепенный предупредительный характер). Быстродействие зависит от технических характеристик приборов, в основном от инертности используемых датчиков.

Точность воспроизведения информации (точность прибора) характеризует степень соответствия результата измерения действительному значению измеряемого показателя. Точность измерительного прибора определяется его основной погрешностью. Погрешность прибора непосредственно связана с его чувствительностью, которая определяется как отношение изменения показаний прибора к соответствующему изменению измеряемого показателя. В общем виде погрешность используется в качестве характеристики текущей точности прибора, которая называется его разрешающей способностью.

Если погрешность прибора γ_0 не зависит от измеряемого показателя (такая погрешность называется аддитивной или погрешностью нуля), то разрешающая способность прибора

$$R = 0,5(1/\gamma_0 - 1).$$

Если погрешность прибора γ_c прямо пропорциональна измеряемому показателю (такая погрешность называется мультипликативной или погрешностью чувствительности), то разрешающая способность

$$R = 1,15 \lg D/\gamma_c,$$

где D – относительное значение рабочего диапазона прибора, определяемое как отношение наибольшего значения измеряемого показателя к наименьшему.

При наличии у прибора одновременно двух типов погрешностей (аддитивной и мультипликативной) разрешающая способность

$$R = \frac{1,15}{\gamma_c} \lg \frac{(\gamma_0/\gamma_c) + 1}{(\gamma_0/\gamma_c) + (1/D)}.$$

Точность считывания информации в значительной степени зависит от водителя, поэтому требования, предъявляемые к информационно-диагностической системе, должны учитывать его возможности. На точность считывания информации влияют число и взаимное расположение элементов АИС (т. е. эргономические характеристики панели приборов), качество приборов (размах шкалы

указателя, яркость и контраст световых индикаторов).

Например, исследования информационных свойств сигнализаторов показали, что наибольшее значение вероятности обнаружения сигнала имеется в том случае, если они расположены в ряд в верхней части панели приборов. При этом вероятность обнаружения сигнала при однорядном расположении сигнализаторов убывает слева направо. Наибольшую же вероятность неопознания сигнала имеют сигнализаторы, расположенные вертикально в правой части панели приборов.

Время считывания информации с прибора непосредственно влияет на безопасность дорожного движения. Его можно уменьшить за счет уменьшения доли избыточной информации, отображаемой прибором, а также за счет обеспечения водителю оптимальных условий работы с прибором (размах шкалы, яркость, контраст, дополнительные звуковые сигналы для привлечения внимания).

Время, необходимое для считывания информации с прибора,

$$t = t_{\min}(1 + I_y/I_{\min}),$$

где $t_{\min}$ – пороговое время восприятия человеком зрительной информации; I_y – объем избыточной информации, отражаемой прибором; $I_{\min}$ – минимально необходимый объем информации для прибора данного назначения.

Избыточная информация

$$I_y = I_x - I_{\min},$$

где I_x – полный объем отображаемой прибором информации.

Например, считается, что для спидометра оптимальной ценой деления является интервал в 5 км/ч. Дальнейшее увеличение числа делений шкалы является неоправданным, так как количество необходимой (полезной) информации при этом практически не возрастает, а время считывания показаний прибора будет увеличиваться.

С другой стороны, избыточную информацию можно выразить как $I_y = I_{\min}(t/t_{\min} - 1)$. Поэтому в случае, если объем информации, отображаемой прибором, оказывается меньше значения $I_{\min}$, то значение I_y становится отрицательным, что означает недостаточность перерабатываемой информации.

Условием обеспечения безопасности дорожного движения с точки зрения отвлечения водителя на считывание показаний приборов

может являться соотношением:

$$t_n \leq t_{\text{доп}},$$

где t_n – время, необходимое для считывания информации; $t_{\text{доп}}$ – допустимое время считывания.

Время, затрачиваемое на считывание показаний контрольных приборов,

$$t_n = K_b t_n + t_{\text{nc}} + t_{\text{np}} n + t'_n (n - 1),$$

где K_b – коэффициент, учитывающий время возврата взгляда водителя на дорогу; t_n – время перевода взгляда с дороги на приборную панель; t_{nc} – время поиска прибора, с которого считывается информация; t_{np} – время приема информации с одного прибора; n – число считываемых приборов; t'_n – время перевода взгляда на прибор.

Одной из важных характеристик АИС является частота обращений водителя к приборам. Под частотой обращения подразумевается число сознательных или рефлекторных актов получения водителем информации о состоянии автомобиля, двигателя или других агрегатов и систем посредством контрольных приборов за единицу времени. Частота обращения водителя к приборам при управлении автомобилем является одним из показателей, характеризующих степень необходимости приборов, а также дает количественную характеристику процесса восприятия информации.

Частота обращения к приборам зависит от условий движения, исправности двигателя и контролируемых систем, а также от профессиональной подготовленности водителя. Чем чаще водитель контролирует состояние системы, тем меньше вероятность ее аварийной поломки. Но поскольку слишком частое обращение к контрольным приборам приводит к ухудшению условий безопасности дорожного движения, можно предположить, что водитель интуитивно, основываясь на личном опыте, выбирает частоту обращения, обеспечивающую достаточно надежный контроль при минимальных затратах времени и внимания.

Информационная емкость определяет максимальное количество информации, отображаемое информационно-диагностической системой. Информационная емкость зависит от структуры и количества контрольно-измерительного оборудования. Однако чрезмерное увеличение этого показателя может привести к информационной перегрузке водителя и снижению безопасности дорожного движения. Поэтому для современных АИС с большим количеством отображаемой информации становится актуальной разработка

специальных форм и алгоритмов (способов) отображения информации водителю.

По способу отображения информации разделяются АИС с индивидуальным, иерархическим способами отображения информации и с регулируемым потоком информации.

При индивидуальном способе предъявления информации состояние каждого контролируемого параметра отображается индивидуальными средствами отображения – контрольно-измерительными приборами или сигнализаторами. Номенклатура КИП и сигнализаторов в этом случае определяется числом контролируемых параметров. Положительными сторонами таких АИС являются простота построения и полнота отображения информации. К недостаткам относятся: большой объем избыточной информации; трудность соотношения между собой множества отдельных показаний для оценки ситуации в целом; большая площадь, занимаемая КИП и сигнализаторами, что увеличивает время поиска водителем необходимого сообщения, и габаритные размеры панели приборов.

В АИС с регулируемым потоком информации происходит искусственное разделение большого информационного потока с помощью устройств коммутации на ряд мелких, предъявляемых водителю последовательно одним и тем же средством отображения. В этих системах информация предъявляется либо с «приоритетом» (наивысший приоритет имеют параметры, связанные с безопасностью дорожного движения), либо только о тех параметрах, которые вышли за допустимые пределы (информация о работе сигнализаторов аварийных режимов). Положительными сторонами указанного способа являются: существенное сокращение передаваемого потока информации и уменьшение площади панели приборов. К недостаткам можно отнести большое время поиска причин выхода за допустимые пределы контролируемых параметров из-за ограниченного числа средств отображения на приборной панели и необходимость применения коммутирующих устройств со сложной адресацией и управлением.

С увеличением информационных потоков, передаваемых водителю, наиболее перспективным является иерархический (ступенчатый) способ предъявления информации. На первой ступени при таком способе предъявления отображается информация о техническом состоянии автомобиля в целом (без детализации), на второй – информация о состоянии его узлов и агрегатов. При этом предъявляется только та информация, которая необходима водителю после ознакомления с общей ситуацией. Третья ступень – по запросу водителя – отображает информацию о состоянии элемен-

тов, узлов и агрегатов автомобиля в количественной или качественной форме.

Построение АИС с иерархической структурой предполагает работу с бортовым компьютером, устройства обработки информации которого могут реализовать заданные алгоритмы и программы за короткое время (при учете большого числа контролируемых параметров).

Преимуществами АИС с иерархической структурой являются возможность передачи водителю большого информационного потока, значительное сокращение «лишней» информации, компактность панели приборов и широкие возможности перестройки информационной системы. Недостатками являются необходимость наличия высокоразвитого бортового компьютера и специальных устройств связи со средствами отображения всех ступеней.

Яркость и контрастность указателей и индикаторов являются важными характеристиками АИС. Они определяют возможность восприятия водителем информации в условиях внешней освещенности.

Скорость и точность восприятия предъявляемой информации в значительной степени зависят от таких светотехнических характеристик, как яркость объекта наблюдения B_n , яркость фона B_f , углового размера символов α . Тесная взаимосвязь между этими характеристиками дает возможность обеспечить максимальный уровень восприятия на основе их взаимной компенсации в достаточно широких пределах значений B_n , B_f , α .

Восприятие символов зависит от их контраста по отношению к фону. Значение его находится в диапазоне 0,60...0,95. Снижение этого параметра нецелесообразно, даже когда получен сравнительно высокий уровень яркости.

Учитывая условия эксплуатации автомобилей, к системе информации и диагностирования предъявляются высокие требования. Приборы и датчики, входящие в систему, должны выдерживать вибрации и тряски, оставаться работоспособными при значительных перепадах температуры, выдерживать воздействие агрессивной окружающей среды, обладать малой чувствительностью к пульсациям и изменению напряжения в бортовой сети автомобиля.

5.2. КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

5.2.1. Приборы измерения давления и разрежения

Приборы измерения давления (манометры) применяют в автомобиле для контроля давления масла в двигателе, воздуха в пневматической тормозной системе, масла в гидромеханической передаче, в централизованной системе подкачки воздуха и др.

Эксплуатация автомобиля с неисправными приборами контроля давления масла и воздуха запрещена, так как может привести к аварийным режимам. Для экстренного привлечения внимания водителя во многих системах манометр дублируется сигнализатором аварийного давления.

В последние годы широко применяется прибор, контролирующий разрежение во впускном коллекторе – эконометр. Руководствуясь показаниями этого прибора, водитель имеет возможность выбора режима движения, соответствующего наименьшему расходу топлива.

По способу измерения манометры делятся на приборы непосредственного действия и электрические. Приборы непосредственного действия имеют чувствительный элемент и указатель, устанавливаемый на приборной панели. Давление контролируемой среды подводится к чувствительному элементу по трубопроводу.

Электрические манометры основаны на преобразовании неэлектрических показателей в электрические и содержат датчик и указатель, связанные линией передачи.

К приборам непосредственного действия относятся манометры с трубчатой пружиной, а к электрическим – термометаллические импульсные и логометрические с реостатным датчиком.

Основной деталью манометра с трубчатой пружиной (рис. 5.1) является упругая плоская или овальная трубка 4 с поперечным сечением, симметричным относительно главных ее осей X и Y . Трубка изогнута по дуге окружности и состоит из одного неполного витка. Один конец трубки впаян в штуцер 7, через отверстие в котором жидкость или воздух из контролируемой системы попадает в трубчатую пружину, а второй конец соединен с тягой 6, которая через передаточный механизм, закрепленный в корпусе 1, приводит в движение стрелку 2 прибора.

Под действием давления внутри трубки она расширяется (размер по малой оси ее поперечного сечения Y увеличивается, а по большой оси X уменьшается). Длина дуг A и A_1 наружной и внутренней стенок трубки при этом практически не изменяется. Вследствие этого кривизна дуги, по которой изогнута трубчатая пружина, снижается, а трубка разгибается. При разгибании трубки ее свободный конец перемещается, передвигая связанную с ним стрелку прибора. Регулировка осуществляется с помощью подвижной платы 8 и винта 9.

В манометрах с трубчатой пружиной передача к стрелке 2 осуществляется трубчатым сектором 5 и трубкой 10. Пружина-волосок 3 на оси стрелки компенсирует влияние на показание прибора зазоров в передаточном механизме.

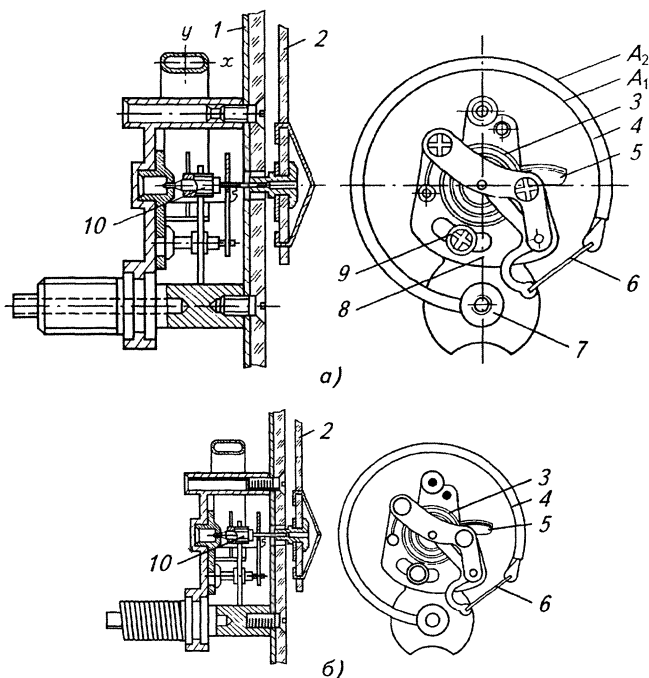


Рис. 5.1. Приборы измерения давления и разрежения:
а – манометр непосредственного действия; б – эконометр

Аналогичный принцип действия положен в основу работы эконометра, устанавливаемого, в частности, на автомобилях семейства ВАЗ-2108 (рис. 5.1, б). Манометрическая трубчатая пружина в данном случае реагирует не на давление, а на разрежение. По положению стрелки в одной из двух зон шкалы эконометра водитель может оценивать экономичность выбранного режима движения, а также получать информацию о ряде неисправностей двигателя. При нахождении стрелки в левой зоне двигатель работает под высокой нагрузкой или с большим ускорением. Происходит чрезмерное потребление топлива, что можно избежать, перейдя на другую передачу или изменив режим движения. Нахождение стрелки в правой зоне шкалы свидетельствует об экономичном режиме потребления топлива. Колебания стрелки вдоль левой зоны указывают на неисправное функционирование клапанов или неправильную установку зажигания. Если стрелка колеблется вдоль левой зоны и захватывает правую зону, это указывает на потерю компрессии в двигателе.

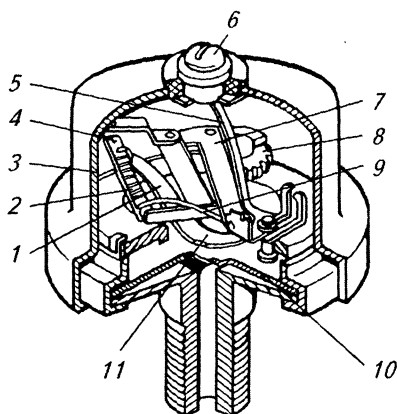


Рис. 5.2. Датчик термобиметаллического импульсного манометра

Недостатками манометрической трубчатой пружины, применяемой в автомобильных КИП, являются ее низкая виброустойчивость и невысокая перегрузочная способность.

Термобиметаллический импульсный манометр включает датчик и указатель. Датчик манометра (рис. 5.2) имеет мембрану 10, на центральную часть которой опирается выступом 11 упругая пластина 1 с контактом, соединенным с «массой». В датчике размещена П-образная термобиметаллическая пластина, электрически изолированная от «массы».

На рабочее плечо 2 этой пластины навита обмотка 3, один конец которой приварен к термобиметаллической пластине, а второй 9 присоединен к выводному зажиму 6 через упругий вывод 5. На конце рабочего плеча термобиметаллической пластины установлен второй контакт 4. При отсутствии давления под мембраной контакт 4 соединен с контактом на упругой пластине 1. Второе плечо термобиметаллической пластины закреплено на упругом держателе 7, положение которого в пространстве вместе с термобиметаллической пластиной можно изменять поворотом регулятора 8.

Указатель термобиметаллического импульсного манометра (рис. 5.3) состоит из П-образной термобиметаллической пластины 3.

Пластина одним концом закреплена на регулировочном зубчатом секторе 8, а другим соединена со стрелкой 7.

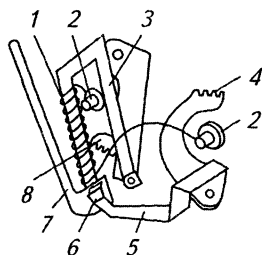


Рис. 5.3. Механизм импульсного термобиметаллического указателя

На рабочее плечо термобиметаллической пластины 3 навита обмотка 1, включенная последовательно с обмоткой датчика. Оба конца этой обмотки выведены на зажимы 2 прибора. Второе плечо пластины 3, так же как и датчика, выполняет роль компенсатора изменения внешней температуры. Рабочий конец термобиметаллической пластины ука-

зателя имеет крючок 6, зацепленный со стрелкой. Крючок на пружинной пластике 5 регулировочного сектора 4 также соединен со стрелкой.

При возникновении давления под мембраной датчика упругая пластина с контактом поднимается и входит в контакт с термобиметаллической пластиной. Ток, проходящий по образовавшейся вследствие этого цепи, нагревает термобиметаллическую пластину указателя. Контакты датчика при нагревании рабочего плеча термобиметаллической пластины вследствие ее изгиба размыкаются и прерывают ток до момента остывания пластины и последующего замыкания контактов.

При установившемся давлении в датчике происходит периодическое размыкание контактов. При этом время разогрева термобиметаллической пластины датчика, когда контакты замкнуты, зависит от степени ее деформации (от давления в датчике). Время охлаждения пластины, когда контакты разомкнуты, зависит от степени нагрева пластины по отношению к окружающей среде. Чем больше давление в датчике, тем больше разогрев пластины указателя, так как время замкнутого состояния контактов датчика по отношению ко времени разомкнутого состояния возрастает. Эффективный ток в обмотке указателя увеличивается и его термобиметаллическая пластина деформируется и перемещает стрелку по шкале.

Логометрический указатель давления состоит из реостатного датчика и магнитоэлектрического указателя. Реостатный датчик (рис. 5.4) логометрического манометра состоит из основания 1 со штуцером, на котором закреплена гофрированная мембрана 2 с помощью стального ранта 3, несущего на себе реостат 4 с передаточным механизмом. В центре мембраны установлен толкатель 11, на который опирается качалка 9 с регулировочными винтами 10. Качалка воздействует на ползунок 5 реостата, поворачивая его вокруг оси 6. Пружина 8 противодействует смещению ползунка. Чтобы пульсации давления в контролируемой системе не вызывали колебаний ползунка по реостату, в канал штуцера датчика запрессована дюза 12 со стержнем для очистки прохода, которая создает большое сопротивление протеканию масла или воздуха и тем самым сглаживает влияние резких изменений давления на показания прибора.

При подаче масла или воздуха в датчик мембрана под давлением выгибается и через качалку и опорную площадку 7 сдвигает ползунок по реостату. При снижении давления мембрана под действием собственной упругости опускается и возвратная пружина 8 сдвигает ползунок и детали рычажной передачи в исходное положение.

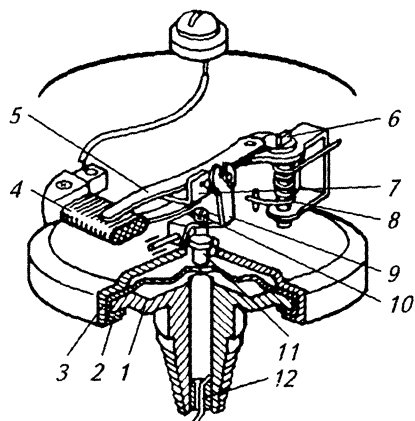


Рис. 5.4. Реостатный датчик логометрического манометра

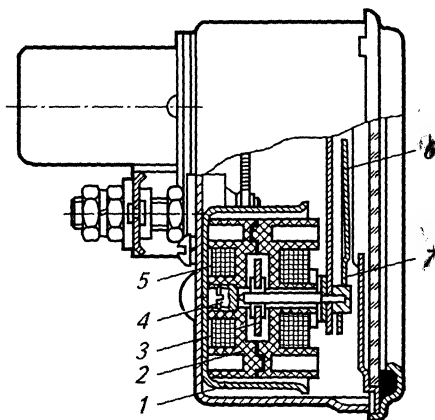


Рис. 5.5. Указатель логометрического манометра

В качестве указателя логометрического манометра применяют магнитоэлектрический прибор (рис. 5.5), состоящий из двух пластмассовых полукаркасов 2, на которые намотаны три измерительные катушки 5, причем одна катушка расположена под углом 90° к двум другим. Постоянный магнит 3 установлен внутри каркаса на одной оси со стрелкой 6. Магнит может поворачиваться, ориентируясь вдоль магнитных силовых линий результирующего вектора напряженности трех катушек. В каркасе установлен подпятник 4 оси магнита и стрелки. Мостик 7 закреплен на каркасе и служит опорой шкалы прибора. Между мостиком и шайбой, закрепленной на оси магнита, а также в подшипник вводят кремнийорганическую жидкость, которая демпфирует колебания подвижной системы в условиях вибрации. Для возврата подвижной системы в нулевое положение при включенном приборе служит миниатюрный магнит, закладываемый между полукаркасами. Для исключения воздействия на показания прибора посторонних магнитных полей и влияния полей катушек на показания других приборов собранный каркас размещают в цилиндрическом экране 1.

При включении датчика и указателя в цепь питания (рис. 5.6) ток проходит по катушкам W_1 , W_2 , W_3 , по реостату датчика R_d и термокомпенсационному резистору $R_{тк}$. Изменение давления в контролируемой системе вызывает изменение сопротивления реостата датчика R_d , подключенного параллельно катушке W_1 . Ток, протекающий по катушке W_1 , изменяет свое значение, что приводит к измене-

нию вектора напряженности поля, создаваемого этой катушкой. Изменение сопротивления реостата R_d оказывает влияние на силу тока, протекающего в катушках W_2 , W_3 , но это влияние не такое существенное, как в случае с катушкой W_1 . Изменение направления результирующего вектора напряженности вызывает отклонение магнита и стрелки логометра.

Логометрические автомобильные приборы вытесняют импульсные термобиметаллические, поскольку они имеют ряд существенных преимуществ. Датчики логометров не имеют размыкающихся контактов, которые подвержены эрозионному износу и создают помехи радиоприему. Логометрический указатель имеет большой угол перемещения стрелки, что дает возможность получить шкалу прибора с лучшей читаемостью показаний. Логометрический указатель лучше скомпенсирован от влияния изменения питающего напряжения и изменения внешней температуры, так как векторы напряженности магнитных полей всех катушек изменяют свою величину практически пропорционально при изменении питающего напряжения или окружающей температуры и поэтому направление суммарного вектора, а значит, и положение стрелки прибора не изменяется.

Применение на автомобиле манометра со стрелочным указателем давления часто недостаточно для обеспечения надежного контроля. Изменение давления за допустимые пределы может наступить неожиданно, и в этом случае сигнализатор давления в отличие от стрелочного прибора немедленно привлечет внимание водителя. В некоторых случаях в контролируемой системе вообще применяют только сигнализатор, не используя стрелочный прибор. На автомобилях находят применение сигнализаторы аварийного (минимального) давления в системе смазывания, аварийного давления в пневмоприводе, в вакуумной системе открывания дверей и других рабочих системах автомобиля.

В качестве примера рассмотрим конструкцию датчика аварийного давления, применяемого на автомобилях ВАЗ и КамАЗ. Датчик (рис. 5.7) имеет корпус 9 в виде полого штуцера, который внутри разделен на две полости диафрагмой 8 из тонкой полиэфирной пленки. В полость под диафрагмой поступает масло из системы

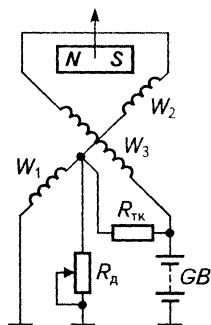


Рис. 5.6. Электрическая схема логометрического манометра

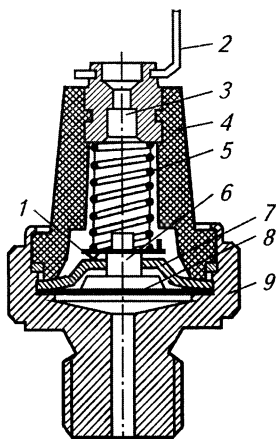


Рис. 5.7. Датчик аварийного давления

смазки и поднимает ее вместе с толкателем 6. В полости над диафрагмой установлены неподвижный 7 и подвижный 1 контакты и пружина 5, противодействующая перемещению диафрагмы, которая выполняет роль чувствительного элемента датчика. Сверху корпус закрыт изолятором 4 со штекерным разъемом 2, под которым установлен специальный фильтр 3, уравнивающий давление в надмембранной полости с внешним атмосферным.

При возникновении давления в поддиафрагменном пространстве датчика, сообщенном с контролируемой системой, диафрагма 8 выгибается и размыкает контакты 1 и 7; при падении давления контакты замыкаются, что приводит к включению контрольной лампочки на панели приборов.

5.2.2. Приборы измерения температуры

Для эффективной работы систем и агрегатов автомобиля необходимо контролировать их температурный режим работы. Например, при эксплуатации непрогретого двигателя резко снижаются его мощностные и экономические показатели, а его перегрев непременно ведет к снижению ресурса или возникновению неисправностей. Для контроля температурного режима работы узлов и агрегатов на автомобиле применяются дистанционные термометры и сигнализаторы температуры, датчики которых устанавливаются в контролируемой среде, а указатели – на панели приборов автомобиля. По конструкции и принципу действия автомобильные приборы измерения температуры разделяются на термобиметаллические импульсные и логометрические.

Термобиметаллический импульсный термометр состоит из датчика и стрелочного указателя. Датчик (рис. 5.8) представляет собой латунный тонкостенный баллон 9, закрепленный в корпус 6. Термобиметаллическая пластина 3 баллона закреплена на изоляторе основания 8. На термобиметаллическую пластину намотана нагревательная обмотка 4, один конец которой соединен с контактом 2, а второй через контактную деталь 5 подходит к выводному зажиму 7. Неподвижный контакт 1 соединен с корпусом датчика.

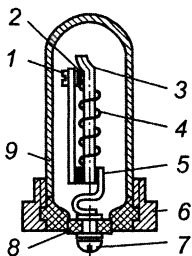


Рис. 5.8. Датчик термобиметаллического импульсного термометра

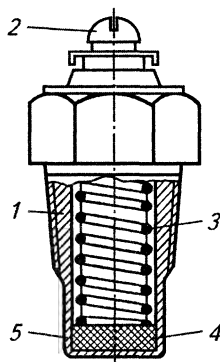


Рис. 5.9. Терморезисторный датчик температуры

Указатель термобиметаллического термометра по своей конструкции и принципу действия аналогичен термобиметаллическому указателю давления (см. рис. 5.3).

Логометрические термометры, так же как и манометры, состоят из датчика и указателя. Конструкция и принцип действия указателей логометрического термометра и указателя давления (см. рис. 5.5) аналогичны. Терморезисторный датчик температуры (рис. 5.9) представляет собой латунный баллон 1, к плоскому доньшку которого с помощью токоведущей пружины 3 прижат терморезистор 4, выполненный в виде таблетки. Пружина 3 верхним концом соединяется с зажимом 2 датчика и изолирована от стенки баллона втулкой 5. Сопротивление терморезистора значительно уменьшается при увеличении его температуры, что приводит к возрастанию тока, проходящего через измерительные катушки логометрического указателя.

Применение на автомобиле дистанционного стрелочного термометра не гарантирует, что внезапное нарушение теплового режима двигателя будет сразу замечено водителем. Поэтому в дополнение к стрелочному термометру устанавливают сигнализатор аварийной температуры. Причем, если система охлаждения двигателя жидкостная, датчик сигнализатора температуры устанавливают в верхний бачок радиатора. Если на автомобиле двигатель с воздушным охлаждением, то датчик сигнализатора аварийной температуры устанавливают в смазочную систему и по температуре масла судят о температурном режиме двигателя (автомобили семейств ЗАЗ и ЛуАЗ). Сигнализаторы применяют также для контроля температуры масла в автоматической коробке передач (автобусы ЛиАЗ).

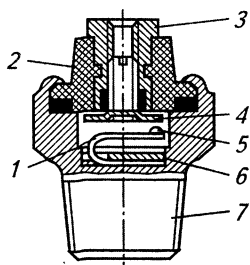


Рис. 5.10. Датчик сигнализатора аварийной температуры

Все применяемые на автомобилях датчики сигнализаторов аварийной температуры являются биметаллическими. Рассмотрим конструкцию датчика, применяемого на автомобилях КамАЗ для контроля аварийной температуры охлаждающей жидкости. Датчик (рис. 5.10) имеет массивный латунный корпус 7, на дне которого под прижимной шайбой 6 находится петлеобразная термобиметаллическая пластина 1 с контактом 5. В выводном зажиме 3, изолированном от корпуса 2, может перемещаться по резьбе тарельчатый контакт 4, завинчивая или вывинчивая который, устанавливают температуру замыкания контактов. При достижении температуры охлаждающей жидкости 92...98°C (в зависимости от модели двигателя) термобиметаллическая пластина разгибается и замыкает контакты 5 и 4, что приводит к загоранию контрольной лампочки на приборной панели.

5.2.3. Приборы измерения уровня топлива

Приборы измерения уровня топлива предназначены для информирования водителя об имеющемся количестве топлива в баке автомобиля. Эта информация позволяет водителю рассчитать расстояние, которое может проехать автомобиль без дополнительной заправки топливом.

На современных автомобилях применяют дистанционные электрические указатели уровня топлива двух типов: электромагнитные и магнитоэлектрические (логометрические). Для непосредственного измерения уровня топлива в баке используются реостатные датчики с поплавковым устройством, применяющиеся в комплекте как с электромагнитным, так и с магнитоэлектрическим указателем, установленным на панели приборов.

Схема электромагнитного указателя уровня топлива показана на рис. 5.11. Наличие двух электромагнитов в указателе позволяет измерять уровень топлива независимо от изменений питающего напряжения. После замыкания выключателя зажигания ВЗ через обмотки электромагнитов 1 и 3 пойдет ток и установится результирующий магнитный поток, который, воздействуя на стальной якорек 2, соединенный со стрелкой прибора, установит стрелку в опреде-

ленной части шкалы прибора. При отсутствии топлива в баке поплавков 5 датчика, находясь в нижнем положении, выведет сопротивление 4 реостата датчика и замкнет обмотку электромагнита 3. Создаваемый этой обмоткой поток станет равным нулю. Магнитный поток обмотки 1 вызовет поворот якоря 2

и стрелки прибора в левую сторону шкалы к отметке 0. Стрелка будет удерживаться в этом положении после выключения прибора благодаря наличию противовеса 7. По мере наполнения бака и всплытия поплавка выводится сопротивление реостата 4, что увеличивает ток и создаваемый им магнитный поток в обмотке электромагнита 3. Вследствие этого якорек со стрелкой повернется вправо. Наличие специального магнитопровода 6 обеспечивает замыкание магнитного потока через якорек 2.

Конструкция логометрического указателя уровня топлива аналогична конструкции логометрического указателя давления и температуры (см. рис. 5.5), но отличается обмоточными данными и размерами резисторов. Логометрический указатель обладает значительно меньшей погрешностью измерения по сравнению с электромагнитным указателем благодаря отсутствию массивных магнитопроводов, магнитная проницаемость которых значительно изменяется с изменением температуры. Кроме того, логометрические указатели обладают большим углом поворота стрелки, а якорек и стрелка логометра не имеют дисбаланса.

На автомобилях семейств ВАЗ и ГАЗ «Волга» применяются датчики уровня топлива, снабженные контактным устройством, при помощи которого включается сигнализатор, оповещающий водителя о снижении уровня топлива до минимального значения и необходимости заправки.

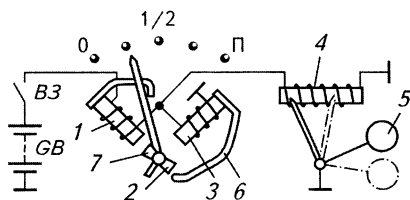


Рис. 5.11. Электромагнитный указатель уровня топлива

5.2.4. Приборы контроля зарядного режима

Для контроля за функционированием системы электроснабжения, обеспечивающей заряд аккумуляторной батареи и питание потребителей, на автомобилях применяют амперметры и вольтметры. Амперметр включается между генератором и аккумуляторной батареей и измеряет силу зарядного или разрядного тока. Автомобиль-

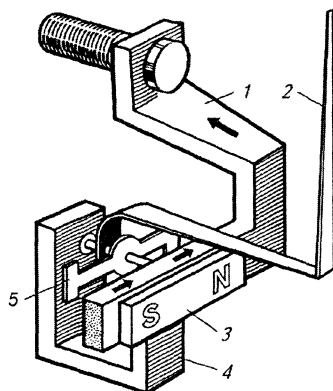


Рис. 5.12. Амперметр электромагнитной системы

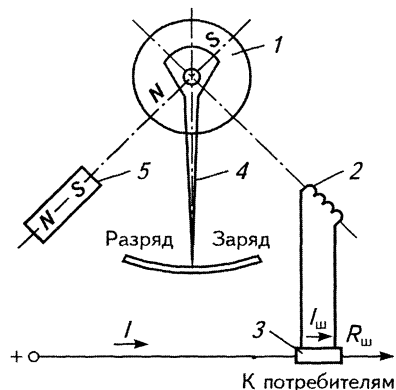


Рис. 5.13. Амперметр магнитоэлектрической системы

ные амперметры относятся к электромеханическим приборам электромагнитной или магнитоэлектрической системы.

Амперметры электромагнитной системы (рис. 5.12) состоят из основания 4, постоянного магнита 3, латунной шины 1, якоря 5 и стрелки 2. При разомкнутой электрической цепи якорь со стрелкой под действием магнитного поля постоянного магнита удерживается в среднем положении на нулевом делении. При прохождении тока через латунную шину создается магнитное поле, под действием которого намагниченный якорь со стрелкой поворачивается в ту или другую сторону в зависимости от направления тока, показывая заряд или разряд аккумуляторной батареи.

На автомобилях с задним расположением двигателя и с генераторными установками большой мощности для уменьшения расхода провода большого сечения применяют амперметры магнитоэлектрической системы с подвижным постоянным магнитом (рис. 5.13). Подвижная система такого амперметра включает постоянный магнит 1 и стрелку 4, закрепленные на оси. Постоянный магнит размещен внутри неподвижной катушки 2, подключенной к шунту 3, по которому протекает измеряемый ток. Противодействующий момент создается неподвижным постоянным магнитом 5. Угол поворота постоянного магнита, а следовательно, и стрелки зависит от силы и направления тока, протекающего по шунту 3.

На ряде автомобилей, например ВАЗ-2105, -2107, -2108, для контроля за уровнем напряжения в бортовой сети применяется вольтметр. Он представляет собой магнитоэлектрический прибор

с противодействующим магнитом. Шкала вольтметра имеет участки в диапазоне 8...16 В:

- 8...12 В – низкий заряд аккумуляторной батареи;
- 12...15 В – нормально заряженная аккумуляторная батарея и нормальная работа генераторной установки;
- 15...16 В – ненормальная работа генераторной установки.

5.2.5. Приборы контроля режима движения и частоты вращения коленчатого вала двигателя

Для контроля режима движения и частоты вращения коленчатого вала двигателя автомобиля оборудуют спидометрами и тахометрами. По принципу действия спидометры разделяются на индукционные и электрические, а по способу приведения в действие – с приводом гибким валом и электроприводом.

Скоростные узлы всех спидометров вне зависимости от типа привода имеют одинаковый принцип действия, но могут различаться конструктивным исполнением. Основу скоростного узла составляет индукционный преобразователь (рис. 5.14), включающий постоянный магнит 4 и металлический диск 2. При вращении постоянного магнита относительно диска в последнем наводятся вихревые токи. Создаваемое вихревыми токами поле взаимодействует с магнитным полем постоянного магнита. В результате этого создается вращающий момент, приложенный к диску в направлении вращения постоянного магнита. Пружина-волосок 1 создает противодействующий момент. В скоростном узле поворота подвижной системы противодействуют также момент от сил трения в опорах и момент от дисбаланса, но их влияние невелико и практически не сказывается на работе узла. Поворот стрелки 3 в зависимости от частоты вращения определяется взаимодействием только момента постоянного магнита и момента сопротивления пружины-волоска, что обеспечивает линейную зависимость угла поворота подвижной системы от частоты вращения.

Скоростной узел спидометра приводится во вращение гибким валом или электродвигателем. Гибкий вал нашел широкое применение на автомобилях, однако он имеет ряд недостатков: быстрое изнашивание, неравномерность вращения, ограничения по длине и сложность прокладки.

Более совершенным является электропривод, выполненный по схеме генератор – двигатель. Функции генератора выполняет синхронный генератор, приводимый во вращение от ведомого вала

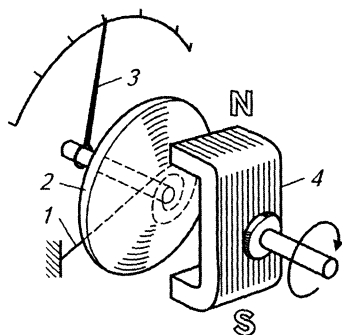


Рис. 5.14. Индукционный преобразователь

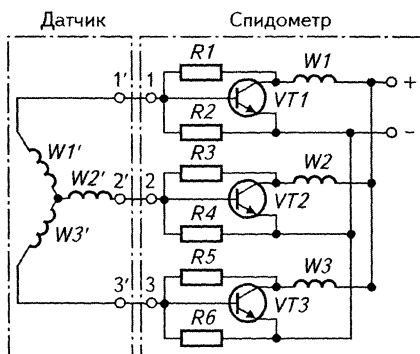


Рис. 5.15. Электрическая схема спидометра с электроприводом

коробки передач, а двигателем служит трехфазная синхронная электрическая машина, вал которой соединен со скоростным узлом спидометра. Электрическая схема такого спидометра представлена на рис. 5.15. Ротор генератора, выполненный в виде постоянного магнита, соединен с ведомым валом коробки передач. Напряжение, снимаемое с каждой фазной обмотки генератора, подается через линию связи на соответствующий транзистор. Частота импульсов напряжения, снимаемых с фазных обмоток генератора, пропорциональна скорости движения автомобиля. В коллекторную цепь каждого транзистора включена соответствующая фазная обмотка приводного двигателя. При открывании очередного транзистора, управляемого напряжением соответствующей фазы датчика, напряжение бортовой сети прикладывается к соответствующей обмотке статора электродвигателя. Вследствие этого создается вращающееся магнитное поле статора двигателя, частота вращения которого пропорциональна скорости автомобиля. Ротор двигателя, на валу которого размещен постоянный магнит, механически связан со скоростным узлом, преобразующим частоту вращения в показания спидометра. Резисторы $R1...R6$ служат для выбора рабочих точек соответствующих им транзисторов.

Частота вращения коленчатого вала двигателя автомобиля может быть измерена тремя способами:

- с помощью специального датчика, регистрирующего частоту вращения коленчатого вала двигателя;
- путем регистрации частоты размыкания контактов прерывателя системы зажигания;

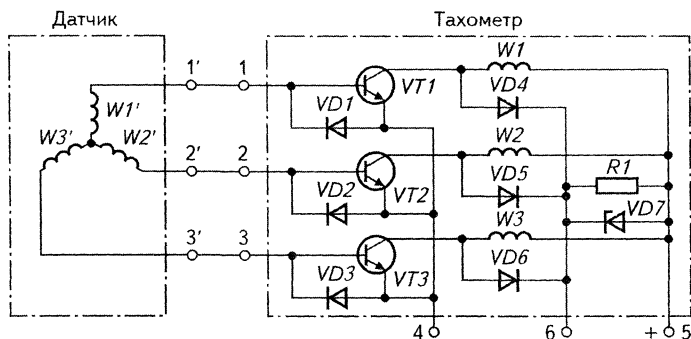


Рис. 5.16. Электрическая схема тахометра с электроприводом

– путем регистрации частоты импульсов напряжения в одной из фаз автомобильного генератора.

Конструкция тахометра, имеющего датчик частоты вращения, аналогична конструкции спидометра с электроприводом, выполненного по схеме генератор – двигатель. Его основное отличие заключается в месте установки датчика и градуировке шкалы. В электрической схеме тахометра (рис. 5.16) предусмотрен дополнительный вывод 6, предназначенный для реле блокировки стартера.

Диоды $VD4$, $VD5$, $VD6$, резистор $R1$ и стабилитрон $VD7$ служат для защиты транзисторов $VT1$, $VT2$, $VT3$ от перенапряжения в момент закрывания, когда в обмотках статора индуцируется ЭДС самоиндукции.

Диоды $VD1$, $VD2$, $VD3$ предохраняют соответствующие им транзисторы от импульсов обратной полярности. Принцип действия тахометра, регистрирующего частоту размыкания контактов прерывателя системы зажигания (рис. 5.17), основан на преобразовании импульсов, возникающих в первичной цепи системы зажигания при размыкании контактов прерывателя, и измерении их магнитоэлектрическим прибором. Блок формирования запускающих импульсов выделяет из входного сигнала в форме затухающей синусоиды импульс определен-

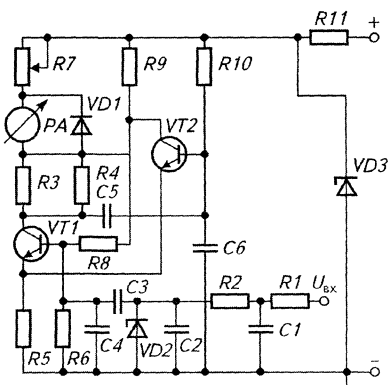


Рис. 5.17. Электрическая схема тахометра, регистрирующего частоту размыканий контактов прерывателя системы зажигания

ной длительности и формы, который затем подается как запускающий на блок формирования измерительных импульсов. В исходном состоянии транзистор $VT2$ открыт током, протекающим по цепи резистора $R10$; конденсатор $C5$ заряжен. Напряжение на резисторе $R5$ создается в закрывающем направлении. Поэтому транзистор $VT1$ закрыт. Положительный запускающий импульс, подаваемый на базу транзистора $VT1$, открывает его, конденсатор $C5$ разряжается по цепи эмиттер-коллектор транзистора $VT1$ и резистор $R10$. При этом транзистор $VT2$ переходит в закрытое состояние и остается закрытым, пока конденсатор $C5$ не разрядится, так как к его базе приложен отрицательный потенциал.

Транзистор *VT1* открыт под действием тока, протекающего по цепи *R8 – R9*. При открытом состоянии этого транзистора через магнитоэлектрический измерительный прибор проходит импульс, длительность которого определяется параметрами разрядной цепи *C5 – R10*. После разряда конденсатора *C5* схема скачкообразно переходит в исходное устойчивое состояние до прихода нового запускаящего импульса. Следовательно, среднее эффективное значение тока, проходящего через магнитоэлектрический прибор, будет зависеть от частоты замыкания контактов прерывателя.

Работа тахометра, регистрирующего частоту импульсов напряжения в одной из фаз автомобильного генератора (рис. 5.18), аналогична работе вышеописанного тахометра, только в качестве управляющих импульсов используется сигнал напряжения с фазы генератора. Необходимость создания тахометра, регистрирующего

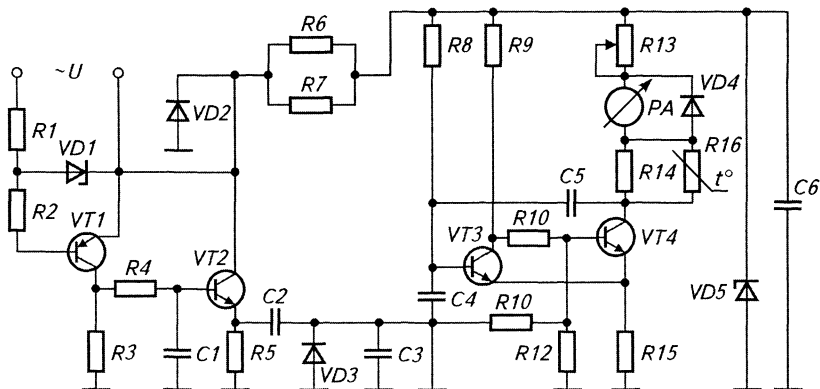


Рис. 5.18. Электрическая схема тахометра, регистрирующего частоту импульсов напряжения в фазе генератора

частоту импульсов напряжения в фазной обмотке генератора, была вызвана широким применением дизельных двигателей, не имеющих системы зажигания. В принципе для дизельных двигателей можно было бы применить тахометр с датчиком, но представленная схема конструктивно проще и дешевле.

5.3. БОРТОВАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ

Бортовая система контроля – это информационная система, предназначенная для предупреждения водителя о возникновении неисправностей или нарушении рабочих функций узлов или агрегатов автомобиля. С помощью БСК водитель, не покидая своего рабочего места, имеет возможность проверить готовность автомобиля к эксплуатации или определить весь комплекс работ, связанных с предвыездным техническим обслуживанием.

Основными параметрами, контролируемыми БСК, являются уровень масла в двигателе, уровень охлаждающей жидкости, уровень жидкости в бачке стеклоомывателя, уровень тормозной жидкости, износ тормозных накладок, исправность ламп системы освещения и сигнализации. Эта номенклатура параметров может изменяться и добавляться в зависимости от количества предъявляемых требований к надежности систем, обеспечивающих безопасность дорожного движения и влияющих на надежность автомобиля.

Систематическая проверка водителем перечисленных параметров обычными способами в достаточной степени неудобна и трудоемка. Например, для проверки исправности приборов светосигнальной аппаратуры требуется помощь второго человека или применение специального оборудования (зеркал, отражателей), а для проверки толщины тормозных накладок необходимо снятие колес. Поэтому применение БСК значительно снижает трудоемкость проведения контрольных операций и повышает их объективность.

Появление на автомобилях БСК относится к началу 70-х годов. Их разработкой и производством занимаются практически все автомобилестроительные компании Западной Европы, США и Японии. Например, еще в 1984 г. компания Chrysler для автомобилей с рабочим объемом двигателя 2,2 л с впрыском топлива и турбонаддувом разработала систему бортовой диагностики, построенную на модулях памяти и логики. Диагностическая информация заносится в память этой системы и при необходимости водитель или механик на станции технического обслуживания могут осуществить вызов этой информации путем троекратного включения замка зажигания. При этом на

специальном индикаторе, расположенном в верхнем правом углу панели приборов, появляются цифровые коды, соответствующие причинам возникновения неисправностей.

Фирма Nissan тоже предложила систему бортовой диагностики. Эту систему можно назвать «системой-консультантом», так как ее особенностью является возможность обмена информацией между механиком или водителем и системой диагностики в режиме диалога. При возникновении неисправности (например, двигатель не пускается или развивает маленькое ускорение) водитель посылает вызов диагностической системе, после чего на дисплее высвечивается перечень возможных неисправностей предлагается водителю выбрать из них наиболее вероятную. После этого на экран выводится перечень условий, при которых может возникать указанная водителем неисправность. Анализируя ответы водителя, система определяет возможную причину, обуславливающую указанную неисправность и предлагает способ ремонта. Если неисправность не устраняется с помощью предложенного способа, система запрашивает у водителя дополнительную информацию и выдает новые рекомендации.

Как правило, современные БСК разрабатывают на основе микропроцессорной техники, что дает возможность автоматизировать процесс контрольно-диагностических работ. Внедрение БСК может быть реализовано за счет оснащения автомобиля встроенными в соответствующие системы датчиками с выводом информации водителю на панель приборов. При этом БСК способна решать следующие задачи:

- контролировать исправность основных систем и агрегатов автомобиля с целью освобождения водителя от наблюдения за их техническим состоянием и концентрации его внимания на дорожном движении;
- при возникновении неисправностей оценивать их важность и в соответствующей форме предупреждать водителя;
- сообщать водителю о необходимости проведения технического обслуживания.

Смысл введения БСК состоит в том, что за счет периодических проверок непосредственно на контролируемом объекте отказывающие системы обслуживаются задолго до их профилактического контроля и технического обслуживания. Это приводит к росту технической готовности автомобиля.

В состав простейшей БСК входят датчики контролируемых параметров, блок управления и средство отображения информации.

Для контроля уровней эксплуатационных жидкостей (омывающей, охлаждающей, масла в двигателе) отечественной промышленностью выпускаются датчики с встроенными герконом и кольцевым магнитом (рис. 5.19), который может перемещаться вдоль оси геркона. Достижение уровнем жидкости предельного значения соответствует положению магнита, при котором срабатывает геркон. При этом он замыкает электрическую цепь сигнализатора, установленного на табло БСК.

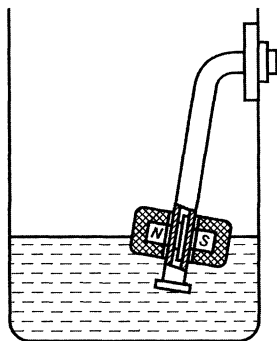


Рис. 5.19. Датчик уровня жидкости

Датчики износа тормозных накладок бывают двух типов: размыкающие и замыкающие контролируемую цепь. В размыкающем датчике провод, заложенный в накладку на глубину, соответствует минимально допустимому износу, при наступлении последнего перетирается и размыкает контролируемую цепь. Замыкающий датчик при наступлении предельного износа замыкает контролируемую цепь через тормозной диск или барабан на массу.

Для контроля исправности ламп системы освещения и сигнализации применяется реле контроля (рис. 5.20). Оно контролирует исправность ламп стоп-сигналов, габаритных огней правого и левого бортов. Реле состоит из обмоток $L1-L5$, включенных в контролируемые цепи. Каждой обмотке соответствует геркон, который при условии исправной контролируемой лампы находится в замкнутом состоянии (сила тока, проходящего по обмотке, достаточна для замыкания геркона). Транзисторы $VT1-VT3$ управляются герконами, стоящими в их базово-эмиттерной цепи. Транзистор $VT4$ является выходным и управляет контрольной лампой, установленной на табло БСК. При возникновении неисправности (перегорела лампа или превысило норму переходное сопротивление в одном из контактов) ток, протекающий через обмотку данного геркона, уменьшается (или пропадает), вследствие чего геркон размыкается. При размыкании геркона соответствующий ему промежуточный транзистор переходит в состояние насыщения и открывает транзистор $VT4$, что приводит к загоранию контрольной лампы.

В блоке управления и сигнализаторов (рис. 5.21) каждая контрольная (сигнализирующая) лампа $HL1-HL6$ включена в цепь кон-

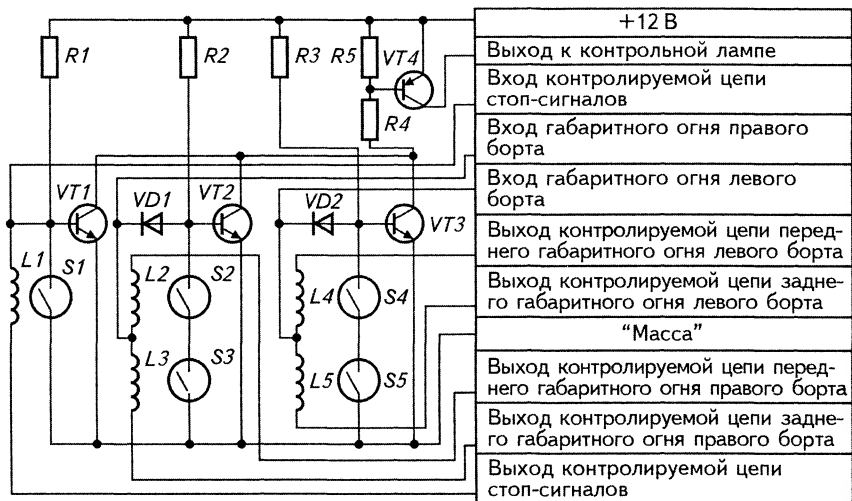


Рис. 5.20. Электрическая схема реле контроля исправности ламп

тролируемого ею параметра и загорается при выходе параметра за допустимые пределы. Для проверки исправности самих контрольных ламп предусмотрен выключатель $S1$, при нажатии на который все контрольные лампы должны загореться.



Рис. 5.21. Электрическая схема блока управления и сигнализаторов

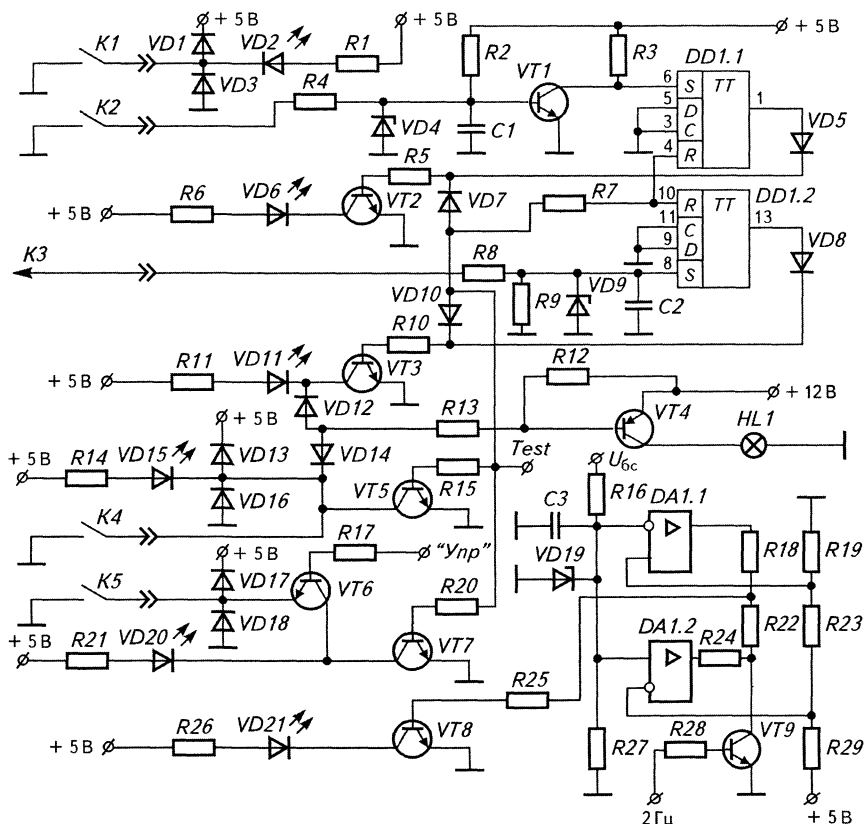


Рис. 5.22. Фрагмент принципиальной схемы БСК автомобиля ВАЗ-2109

Еще одним контролируемым параметром для БСК, по мнению ведущих специалистов, должно стать давление воздуха в шинах, но из-за трудностей, возникающих при передаче сигнала от колеса на борт автомобиля и высокой стоимости существующих сегодня систем вопрос о контроле воздуха в шинах остается открытым.

На отечественных автомобилях БСК впервые появились на автомобиле ВАЗ-2109, в дальнейшем запланирована их установка на все перспективные модели. Электронная БСК, разработанная для автомобиля ВАЗ-2109 (рис. 5.22), контролирует 12 параметров. Сигнализаторы БСК выполнены на светоизлучающих диодах красного и оранжевого цветов свечения. Красный цвет предупреждает водителя об аварийном состоянии агрегата или узла автомобиля

и необходимости срочного принятия мер по ликвидации неисправности. Сигнализаторы оранжевого цвета несут предупредительную информацию.

При включении зажигания все сигнализаторы БСК светятся в течение 4 с в режиме «*Test*» для их визуальной проверки.

Сигнализаторами красного цвета свечения являются следующие: «пристегните ремни», включение стояночного тормоза, аварийное давление масла, износ тормозных накладок, неисправность ламп тормозных и габаритных фонарей, перегрев двигателя.

Сигнализаторы оранжевого цвета свечения сигнализируют о низких уровнях тормозной, охлаждающей, омывающей жидкостей, масла, о резерве топлива, а также контролируют напряжение бортовой сети автомобиля.

В состав сигнализаторов БСК входит также лампа STOP. Она загорается, если горит хотя бы один красный сигнализатор и предупреждает о необходимости немедленного устранения неисправности.

Сигнализатор *VD2* «пристегните ремни» (см. рис. 5.22) загорается при подключении концевого выключателя *K1* пристегнутых ремней к корпусу автомобиля. Резистор *R1* служит формирователем тока через светодиод *VD2*, а диоды *VD1*, *VD3* обеспечивают защиту индикатора от помех.

Сигнализатор *VD6* износа тормозных накладок работает следующим образом. При первом же торможении при изношенных накладках датчик износа накладок (замыкающего типа) подключает контакт *K2* БСК к корпусу автомобиля. Нормально открытый ключ на транзисторе *VT1* закрывается и на выходе 1 триггера *DD1.1* устанавливается высокий уровень напряжения, который через диод *VD5* и резистор *R5* открывает транзистор *VT2*. При этом начинает светиться светодиод *VD6*.

Отключение сигнализатора произойдет только при выключении замка зажигания. Контроль исправности сигнализатора осуществляется сигналом «*Test*» через диод *VD7*. Этот же сигнал через резистор *R7* сбрасывает триггер в исходное состояние. Цепь *R4*, *VD4* и *C1* служит для ограничения по амплитуде и фильтрации помех сигнала, идущего от датчика износа тормозных накладок.

Сигнализатор *VD11* неисправности ламп тормозных и габаритных фонарей работает по сходному принципу. При неисправности хотя бы одной из ламп на контакте *K3* БСК появляется напряжение бортсети автомобиля (с выходного транзистора реле контроля исправности ламп). При помощи цепочки *R8*, *R9*, *VD9* это напряжение ограничивается до 4,7 В. Одновременно фильтр *R8*, *C2* служит для

защиты сигнализатора от ложных срабатываний по наведенным помехам. Триггер *DD1.2* устанавливается в логическую «1». Высокий уровень сигнала с выхода *13 DD1.2* через диод *VD8* и резистор *R10* открывает транзистор *VT3*. При этом начинает светиться светодиод *VD11*. Отключение сигнализатора происходит только при выключении замка зажигания. Через диод *VD10* осуществляется контроль исправности сигнализатора по сигналу «Test».

Одновременно с включением сигнализатора *VD11* база транзистора *VT4* через резистор *R13*, диод *VD12* и транзистор *VT3* подключается к корпусу автомобиля, что приводит к включению сигнализирующей лампы *HL1* «STOP».

Сигнализатор *VD15* аварийного давления масла загорается при подключении контакта *K4* датчика давления к корпусу автомобиля. Транзистор *VT5* служит для проверки сигнализатора по сигналу «Test». При включении сигнализатора *VD15* через диод *VD14* и резистор *R13* на базу транзистора *VT4* поступает открывающее смещение напряжения и одновременно загорается сигнализирующая лампа *HL1* STOP. Диоды *VD13*, *VD16* предохраняют сигнализатор от ложных срабатываний по помехам.

Аналогично работает и сигнализатор уровня тормозной жидкости, который на рис. 5.22 не показан.

Сигнализатор *VD20* уровня омывающей жидкости (см. рис. 5.22) работает следующим образом. Если уровень омывающей жидкости ниже определенной отметки, то датчик уровня через контакт *K5* подключает эмиттер транзистора *VT6* к корпусу автомобиля. При включении замка зажигания, когда частота вращения коленчатого вала двигателя меньше 750 мин^{-1} , на специальном контакте БСК «Упр» присутствует сигнал, открывающий транзистор *VT6* через резистор *R17*. При этом светодиод *VD20* светится. Через транзистор *VT7* сигнализатор проверяется по сигналу «Test». Таким образом, можно контролировать уровень омывающей жидкости при включении замка зажигания после окончания сигнала «Test», т. е. осуществлять так называемый «предвыездной» контроль данного параметра.

Аналогичным образом работают и сигнализаторы уровней масла и охлаждающей жидкости, не показанные на рис. 5.22.

Сигнализатор *VD21* (см. рис. 5.22) контроля напряжения бортовой сети имеет схему управления, собранную на компараторах *DA1.1*, *DA1.2* и транзисторах *VT8*, *VT9*. Напряжение, пропорциональное напряжению бортовой сети автомобиля $U_{\text{БС}}$ с делителя напряжения на резисторах *R16*, *R27* подается на инвертирующий

вход компаратора *DA1.1* и неинвертирующий вход компаратора *DA1.2*. Соотношение номиналов прецизионных резисторов в делителе *R19*, *R23*, *R29* выбрано таким образом, что компаратор *DA1.1* переключается из состояния «0» в состояние «1» при напряжении бортовой сети $U_{БС} < 13,2$ В, а компаратор *DA1.2* переключается из состояния «0» в состояние «1» при $U_{БС} > 15$ В.

При напряжении $U_{БС} < 13,2$ В высокий уровень сигнала с выхода *DA1.1* через резисторы *R18*, *R25* поступает на базу транзистора *VT8*, открывая его. Светодиод *VD21* при этом непрерывно светится. При условии $13,2$ В $< U_{БС} < 15$ В на выходах обоих компараторов присутствует низкий уровень сигнала, транзистор *VT8* закрыт, сигнализатор *VD21* не светится.

При превышении напряжением бортовой сети уровня 15 В на выходе компаратора *DA1.2* появляется высокий уровень сигнала. На базу транзистора *VT9* через резистор *R28* со специального контакта БСК постоянно подается импульсный сигнал частотой 2 Гц. Таким образом, при $U_{БС} < 15$ В управляющий сигнал транзистора *VT8* модулируется при помощи транзистора *VT9* частотой 2 Гц. При этом светодиод *VD21* мигает с частотой 2 Гц.

Стабилитрон *VD19* и конденсатор *C3* обеспечивают защиту схемы от импульсных перенапряжений, возникающих в бортовой сети автомобиля.

5.4. СИСТЕМА ВСТРОЕННЫХ ДАТЧИКОВ

Система встроенных датчиков впервые стала применяться в отечественном автомобилестроении на автомобилях ВАЗ -2105, -2108. В комплект СВД входят: 12-полюсный штекерный разъем; датчик положения коленчатого вала двигателя (датчик верхней мертвой точки – ВМТ); датчик высокого напряжения; датчик опорного цилиндра; жгут проводов для коммутирования датчиков и контрольных точек.

Принципиальная электрическая схема СВД представлена на рис. 5.23. Контрольными точками, выведенными на штекерный разъем, являются: клемма «+» генератора, «+» и «-» катушки зажигания, «масса» двигателя, а также выводы датчиков ВМТ, высокого напряжения и опорного цилиндра (на автомобилях ВАЗ датчики высокого напряжения и опорного цилиндра входят в комплект диагностической аппаратуры и устанавливаются только на период диагностирования).

Система встроенных датчиков позволяет определять:

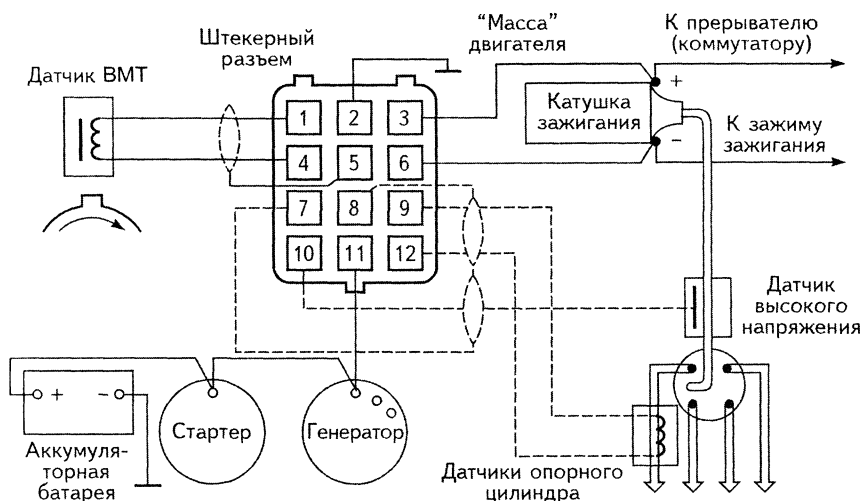


Рис. 5.23. Принципиальная электрическая схема СВД

- напряжение аккумуляторной батареи – без нагрузки, под нагрузкой (включен стартер) и при заторможенном стартере;
 - регулируемое напряжение;
 - исправность диодов выпрямителя генератора;
 - напряжение на катушке зажигания – при включении замка зажигания и при включении стартера;
 - падение напряжения на контактах прерывателя;
 - угол замкнутого состояния контактов прерывателя – при контрольных значениях частоты вращения двигателя;
 - асинхронизм искрообразования по цилиндрам;
 - угол опережения зажигания при контрольных значениях частоты вращения двигателя;
 - падение частоты вращения двигателя при отключении цилиндров.
- В дальнейшем система СВД будет совершенствоваться и внедряться на всех автомобилях перспективных моделей.

5.5. МАРШРУТНЫЕ КОМПЬЮТЕРЫ

В настоящее время прослеживаются два основных направления в разработке МК – разрабатываемые для конкретной модели автомобиля и универсального применения. Например, фирма Chrysler ориентируется на разработку специализированных МК, а фирма General Motors – на МК универсального применения. Име-

ются разработки МК конкретного функционального назначения (расходомеры, оптимизаторы скорости и пр.).

Несмотря на различия между МК, порой весьма существенные, все они выполняют в основном сходные функции. Эти функции связаны с измерением, расчетом, индикацией, а иногда и управлением совокупности четырех параметров: скорости движения, расхода топлива, расстояния и времени. Иногда к ним добавляется возможность измерения температуры воздуха в салоне и за бортом автомобиля. Функции, выполняемые МК, можно подразделить на основные и расширенные.

Основная система (система минимальной конфигурации) может включать часы, счетчики пройденного пути и времени, измерять среднюю скорость, мгновенный и средний расход топлива. Расширенная система может проводить измерения времени, расстояния, времени за рулем, контроль скорости, индикацию расстояния до цели, оценку времени прибытия и расстояния, которое можно пройти на остатке топлива, сигнализацию при попытке угона и т. д. Расширенный вариант МК может также иметь устройства поддержания заданной скорости (спидостаты, темпостаты).

Однако разнообразие функционального назначения и конструктивного исполнения МК не вносит существенных изменений в их структурную схему.

Это связано с тем, что в подавляющем большинстве случаев в качестве основного элемента МК используется микропроцессор. Поэтому структура МК – это структура микроЭВМ, как например, структурная схема одного из маршрутных компьютеров, разработанных в нашей стране для использования на перспективных автомобилях семейства ВАЗ (рис. 5.24).

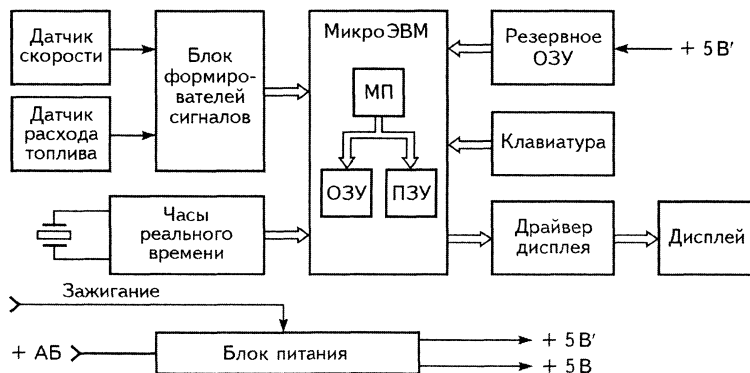


Рис. 5.24. Структурная схема МК перспективных моделей семейства ВАЗ

Основным элементом разработанного МК является однокристальная микроЭВМ КМ 1816ВЕЧ8, в одной микросхеме которой размещены микропроцессор (МП), постоянное запоминающее устройство (ПЗУ), оперативное запоминающее устройство (ОЗУ) и некоторые схемы управления. Микропроцессор МП, благодаря заложенной в него возможности программного управления, обладает свойством универсального устройства. Это значит, что функциональные возможности системы во многом определяются программой, заранее записанной в ПЗУ МК. Для хранения результатов промежуточных вычислений и данных, значения которых со временем изменяются, служат ОЗУ. Резервное ОЗУ, которое через блок питания постоянно подключено к аккумуляторной батарее автомобиля, позволяет сохранить необходимую информацию даже при выключении замка зажигания.

Блок формирователей сигналов позволяет преобразовать сигналы от датчиков автомобиля в цифровой код, используемый в микроЭВМ. Часы реального времени позволяют производить отсчет астрономического времени и временных интервалов. Клавиатура позволяет задать режим работы МК (как правило, это параметр, который будет отображаться на дисплее МК). Драйвер (устройство управления) дисплея преобразует цифровой код, поступающий от микроЭВМ, в сигналы управления, которые формируют на дисплее значение отображаемого параметра.

В табл. 5.1 представлены параметры, которые рассчитывают и индицируют МК перспективных моделей автомобилей семейства ВАЗ.

Внешний вид дисплея показан на рис. 5.25.

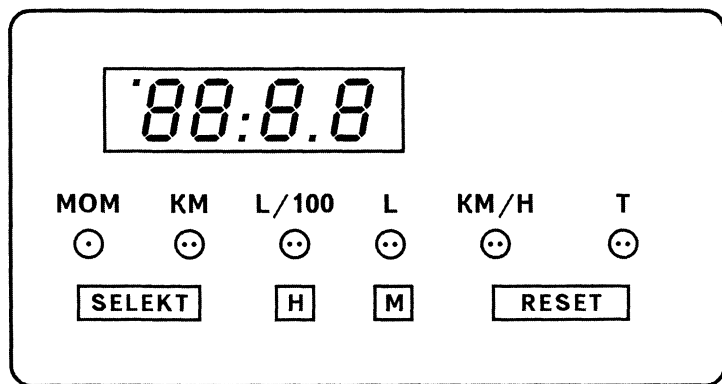


Рис. 5.25. Внешний вид дисплея МК перспективных моделей автомобилей семейства ВАЗ

Таблица 5.1

Отображаемый параметр	Обозначение параметра	Диапазон измерений
Мгновенный расход топлива, л/ч	МOM	0,0...62,5
То же в пересчете на 100 км, л/100 км	МOM	0,0...62,5
Пройденное расстояние с начала поездки, км	KM	0,0...999,9
Средний расход топлива в пересчете на 100 км за время поездки, л/100 км	L/100	0,0...62,5
Суммарное количество израсходованного топлива с начала поездки, л	L	0,0...624,5
Средняя скорость поездки, км/ч	KM/H	000,0...999,9
Время поездки, ч:мин	T	00:00...99:59
Текущее время суток, ч:мин	H, M	00:00...23:59

Примечания: 1. Мгновенный расход топлива в литрах измеряется при скорости движения менее 27 км/ч, а в пересчете на 100 км пути – более 27 км/ч.

2. При определении времени поездки время стоянки учитывается только при включенном зажигании.

(MOM, KM, L/100, L, KM/H, T), который отображается в данный момент, снизу подсвечивается светодиодом. Кнопка RESET – кнопка сброса показаний часов и параметров KM, L/100, L, KM/H и T. Кнопки H и M – кнопки коррекции показаний соответственно часов и минут.

Обычно МК размещаются в салоне автомобиля рядом с панелью приборов или встраиваются в нее. Имеются случаи размещения МК на рулевом колесе.

5.6. АВТОМОБИЛЬНЫЕ НАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Автомобильная навигационная система (АНС) предназначена: для выполнения функций навигации, штурманского сопровождения, а также мобильного поиска объекта, присутствующего в базе данных программы. Система основывается на технологии GPS и возможностях современных компьютеров. GPS (Global Positioning Systems, кодовое название – NAVSTAR) – Система Глобального Позиционирования (позиционирование – метод определения координат объекта в трехмерном пространстве с использованием спутниковых систем) – является спутниковой и работает под управле-

нием Министерства Обороны США. Система является глобальной, всепогодной и обеспечивает возможность получения точных координат и времени 24 часа в сутки. Система глобального позиционирования создавалась в 1978 г. для военных ведомств, у которых всегда была необходимость в точном, простом и быстром определении своих координат. Подобная система была создана и для отечественных вооруженных сил под названием ГЛОНАСС.

Система Глобального Позиционирования имеет две составляющие части – *космическую и наземную*.

Космическая часть системы состоит из двадцати четырех искусственных спутников, которые делают оборот вокруг Земли за 12 часов на высоте около 17 000 км. На каждой из шести орбит расположены четыре спутника. Эта спутниковая группировка предназначена для генерации опорных радиосигналов (кодов), воспринимаемых GPS-приемниками. Орбиты равномерно распределены над Землей и наклонены на 55 градусов относительно экватора. Способ радиообмена между спутниками и GPS-приемником состоит в том, что все спутники вещают одновременно на одной и той же частоте. Для того чтобы GPS-приемник мог определить, от какого спутника исходит данная информация, бортовые передатчики посылают в составе своего сигнала стандартный идентификационный код, который сравнивается с кодами, находящимися в памяти приемника. Чтобы определить координаты на плоскости (широту и долготу) достаточно сигналов от трех спутников, а для определения высоты (или глубины) которая, вычисляется с большей погрешностью, чем координаты на земной поверхности, необходим одновременный прием сигналов от четырех спутников. Очевидно, что чем больше спутников приемник имеет возможность опросить и чем больше разнесены эти спутники на небесной полусфере, тем более точными будут его показания. Из любой точки планеты одновременно можно принимать до 12 сигналов от разных спутников. Такой подход не только упрощает схему GPS-приемника, но и, несмотря на малый уровень радиосигналов, позволяет использовать в них малогабаритные приемные антенны.

Наземной частью системы являются приемники. GPS-приемники предназначены для определения координат своего местоположения на планете: широта, долгота и высота, и обладают практически одинаковой точностью позиционирования – плюс-минус десять метров. Координаты вычисляются для места на поверхности Земли по измерениям расстояний от группы спутников (если их положение в космосе известно). Эта точность определяется спутниковым сигналом и условиями «видимости» спутников. Расстояние до спутни-

ков определяется по измерениям времени прохождения радиосигнала от космического аппарата до приемника, умноженным на скорость света. Для того чтобы определить время распространения сигнала, необходимо знать, когда он покинул спутник. Для этого на спутнике и в приемнике одновременно генерируется одинаковый Псевдослучайный Код. Каждый спутник передает два радиосигнала: на частоте $L1 = 1575,42$ МГц и $L2 = 1227,60$ МГц. Сигнал $L1$ имеет два дальномерных кода с псевдослучайным шумом: «точный» может быть зашифрован для военных целей, «грубый» код не зашифрован. Большинство гражданских пользователей используют «грубый» код при работе с навигационной системой. Приемник проверяет входящий сигнал со спутника и определяет когда он генерировал такой же код. Полученная разница, умноженная на скорость света, дает искомое расстояние. Использование кода позволяет приемнику определить временную задержку в любое время.

Структурная схема автомобильной навигационной системы представлена на рис. 5.26.

К основным востребованным возможностям АНС можно отнести следующее:

- отслеживание местонахождения автомобиля на фоне карты, которая может быть представлена в различных масштабах;
- голосовое сопровождение движения по маршруту с озвучиванием названия дорог, улиц и площадей по ходу движения автомобиля;
- формирование оптимального маршрута по различным критериям (время в пути, расстояние, тип дороги);
- возможность режима ручной прокладки маршрута без оптимизации;
- появления визуальной команды перед маневром автомобиля в виде картинки на экране;
- в случае отклонения от заданного маршрута, система должна выдавать предупреждение и автоматически производить перерасчет маршрута;
- запись протокола движения автомобиля и его воспроизведение;
- осуществление подсчета пройденного по маршруту пути;
- поиск объектов в картографической базе данных по их адресу или названию на всей карте или на заданном расстоянии от текущего положения автомобиля.

Существуют различные варианты автомобильных навигационных систем. Одни представляют собой устройство, которое монтируется в автомобиле в удобном для водителя месте, другие интегрированы с автомобильными магнитолами.

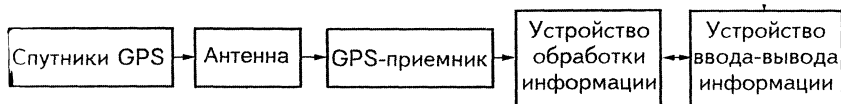


Рис. 5.26. Структурная схема автомобильной навигационной системы

Иногда навигаторы встраивают в автомобиль в ходе VIP-тюнинга, а некоторые модели выходят с завода с установленными GPS-приемниками. Сами системы отличаются размером экрана, управлением, возможностью подгружать карты новых регионов и некоторыми другими параметрами.

Все большую популярность получают АНС на базе карманных и планшетных компьютеров. На такой компьютер устанавливается программное обеспечение, подключается GPS-приемник. В компьютер можно загружать карты и видеть на них положение приемника, двигаться по проложенному маршруту с голосовыми подсказками и т. п. Преимущество карманного компьютера – это его маленький размер и вес, а планшетный компьютер очень удобен благодаря большим размерам экрана, и при этом система имеет все возможности персонального компьютера.

5.7. ПАНЕЛИ ПРИБОРОВ

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

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

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

В качестве примера рассмотрим конструкцию панели приборов автомобиля ВАЗ-2108 (рис. 5.27). В центральной зоне панели расположен спидометр 13 с одометром и счетчиком суточного пробега.

В правой части сгруппированы контрольно-измерительные приборы: указатель температуры охлаждающей жидкости 9, вольтметр 10, эконометр 12 и указатель уровня топлива 11. Левая зона занята

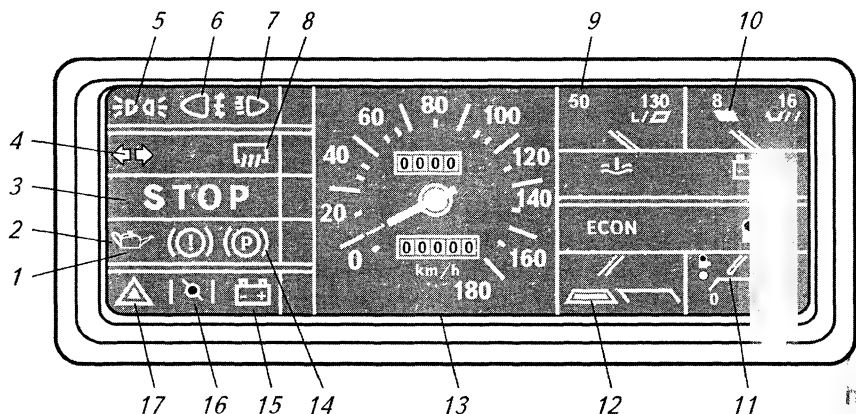


Рис. 5.27. Панель приборов автомобиля ВАЗ-2108:

1 – контрольная лампа уровня тормозной жидкости; 2 – то же давления масла; 3 – табло STOP; 4 – контрольная лампа указателей поворота; 5 – то же наружного освещения; 6 – то же заднего противотуманного фонаря; 7 – то же дальнего света фар; 8 – то же обогрева заднего стекла; 9 – указатель температуры охлаждающей жидкости; 10 – вольтметр; 11 – указатель уровня топлива; 12 – эконометр; 13 – спидометр; 14 – контрольная лампа стояночного тормоза; 15 – то же разряда аккумуляторной батареи; 16 – то же воздушной заслонки карбюратора; 17 – контрольная лампа аварийной сигнализации

индикаторами, сигнализирующими о включении наружного освещения 5, заднего противотуманного фонаря 6, дальнего света фар 7, указателей поворота 4, обогрева заднего стекла 8, аварийной сигнализации 17, разряда аккумуляторной батареи 15 и вытянутой рукоятки воздушной заслонки 16. В центре зоны индикаторов расположено табло STOP 3, которое загорается совместно с соответствующим индикатором в следующих случаях:

- недостаточное давление в системе смазки двигателя (индикатор 2);
- уровень тормозной жидкости в бачке ниже «Min» (индикатор 1);
- поднят рычаг стояночного тормоза (индикатор 14).

Развитие и внедрение в автомобилестроение электроники дало возможность конструкторам и дизайнерам создать электронную панель приборов, в которой вместо привычных электромеханических приборов устанавливаются электронные информационные устройства и индикаторы. Электронные индикаторы, кроме функций, выполняемых электромеханическими приборами, способны предоставлять водителю информацию в цифровой, графической и тексто-

вой формах. С помощью электронных устройств возможны синтез человеческой речи, индикация показателей, для определения которых требуются сложные вычисления, анализ целесообразности передачи информации водителю.

Электромеханические приборы, как правило, предназначены для отображения только одного параметра, так как при использовании нескольких шкал ухудшается возможность считывания с них показаний. Кроме того, они имеют значительные габаритные размеры, что делает сложным их размещение на панели приборов. Электронные индикаторы при меньших размерах могут информировать о значениях не одного, а нескольких параметров, передавать разнообразные сообщения и поэтому позволяют резко увеличить информативность панели при тех же габаритах.

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

Использование электронных индикаторов открывает широкие возможности для художественного конструирования панели приборов с учетом требований эргономики и инженерной психологии, так как позволяет варьировать цветом, формой и яркостью свечения индикаторов. Например, электронная панель приборов, разработанная для автомобиля ВАЗ-2109 (рис. 5.28), предназначена для измерения, контроля и отображения информации о скорости движения автомобиля, частоте вращения коленчатого вала двигателя, общем пробеге, уровне топлива в баке, температуре охлаждающей жидкости, а также для выдачи аварийных и предупредительных сигналов.

Информация в систему поступает от следующих датчиков, выключателей и устройств автомобиля:

- 1 – датчика уровня и резерва топлива;
- 2 – датчика температуры охлаждающей жидкости;
- 3 – датчика аварийного давления масла;
- 4 – датчика уровня тормозной жидкости;
- 5 – датчика уровня масла;
- 6 – датчика уровня охлаждающей жидкости;
- 7 – датчика уровня омывающей жидкости;
- 8 – датчика износа тормозных накладок;
- 9 – датчика скорости автомобиля;
- 10 – прерывателя указателей поворотов;
- 11 – реле контроля исправности ламп;
- 12 – реле пристегнутости ремней безопасности;

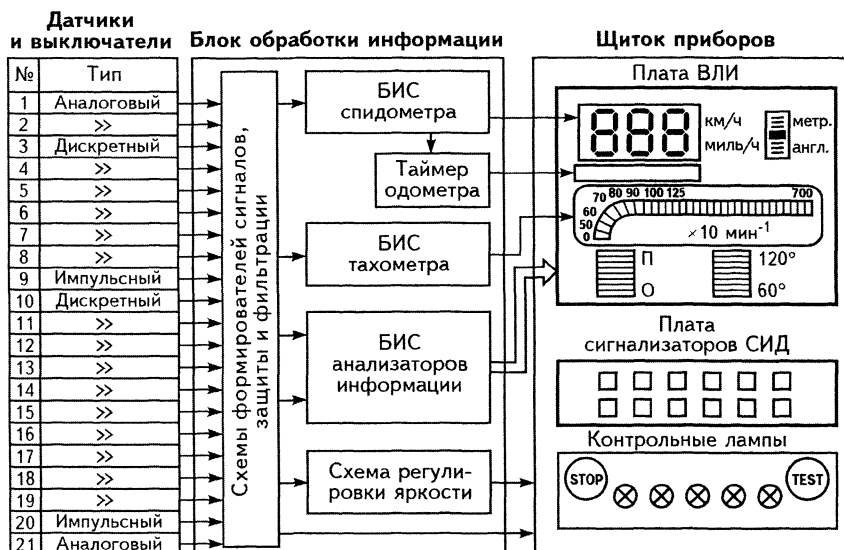


Рис. 5.28. Структурная схема панели приборов автомобиля ВАЗ-2109

- 13 – выключателя аварийной сигнализации;
- 14 – выключателя ручного тормоза;
- 15 – переключателя света фар;
- 16 – выключателя габаритных огней;
- 17 – выключателя задних противотуманных фонарей;
- 18 – замка зажигания;
- 19 – датчика холодного пуска двигателя;
- 20 – электронной системы зажигания;
- 21 – напряжения бортовой сети автомобиля.

Панель приборов (см. рис. 5.28) включает в себя плату вакуумно-люминесцентных индикаторов (ВЛИ), плату аварийных и предупредительных сигнализаторов на светоизлучающих диодах (СИД), а также электромеханический счетчик полного пробега и ламповые индикаторы включения дальнего света, габаритных огней, сигналов поворота и холодного пуска двигателя.

Четыре вакуумно-люминесцентных индикатора зеленого цвета свечения отображают информацию о скорости движения автомобиля, частоте вращения коленчатого вала двигателя, уровне топлива и температуре охлаждающей жидкости.

На индикаторе спидометра отображается информация о скорости движения от 0 до 199 км/ч (либо миль/ч в зависимости от поло-

жения переключателя английских/метрических единиц).

На индикаторе тахометра отображается информация о частоте вращения коленчатого вала двигателя в дискретно-аналоговой форме. Шкала тахометра содержит 30 сегментов: один сегмент – $0...500 \text{ мин}^{-1}$, четыре сегмента – $500...1000 \text{ мин}^{-1}$ с шагом 100 мин^{-1} и 25 сегментов – $1000...7000 \text{ мин}^{-1}$ с шагом 250 мин^{-1} .

Информация об уровне топлива и температуре охлаждающей жидкости отображается в дискретно-аналоговой форме. Шкалы содержат по девять сегментов. Для индикатора уровня топлива нижний сегмент индицирует нулевой уровень, а остальные восемь сегментов имеют массу $1/8$ объема бака. Для индикатора же температуры охлаждающей жидкости нижний сегмент индицирует температуру менее 60°C , а остальные восемь сегментов имеют массу по 10°C каждый.

Двенадцать сигнализаторов БСК выполнены на светоизлучающих диодах красного и оранжевого цветов свечения (см. подраздел 5.3).

Сигнализирующие лампы включаются путем подачи на соответствующий вход устройства напряжения бортовой сети автомобиля. Сигнализатор пуска холодного двигателя загорается, когда датчик пуска холодного двигателя подключает его вход к корпусу автомобиля.

В блок цифровой и аналоговой обработки информации входят электронные схемы формирователей информации, защиты и фильтрации (см. рис. 5.28), а также три специализированные большие интегральные схемы (БИС): БИС спидометра, БИС тахометра и БИС анализаторов информации.

Схема анализаторов информации представляет собой двухканальный аналого-цифровой преобразователь и предназначена для преобразования аналоговых сигналов от датчиков температуры охлаждающей жидкости и уровня топлива в цифровой код. Значения аналоговых сигналов могут изменяться в диапазоне $+2,7 \text{ В}... +4,4 \text{ В}$. Схемы спидометра и тахометра формируют сигналы, пропорциональные соответственно скорости движения автомобиля и частоте вращения коленчатого вала двигателя.

Блок обработки информации включает в себя и входной формирователь сигнала для электромеханического одометра, выполненный на таймере одометра и формирующий необходимую длительность сигнала одометра (0,1 с).

Для обеспечения оптимальной видимости отображаемой информации в блоке обработки информации предусмотрена схема регулировки яркости. С включением габаритных огней индикаторы панели приборов автоматически переходят на пониженную яркость

свечения. Кроме того, имеется регулировка яркости свечения индикаторов для условий повышенной и пониженной освещенности, учитывающая индивидуальные возможности водителя.

Однако широкое применение электронных информационных устройств и индикаторов ограничивается рядом причин. Прежде всего большинство электронных индикаторов не только дорожно-электромеханических приборов, но и обладают меньшей надежностью, устойчивостью к ударам, вибрациям, температурным воздействиям, имеют недостаточную долговечность. Для обеспечения работы индикаторов некоторых типов требуется дополнительный источник высокого напряжения и т. д. Несмотря на указанные недостатки, электронные информационные устройства и индикаторы находят все большее применение и являются неотъемлемой частью современного автомобиля.

Одним из электронных устройств, нашедших достаточно широкое применение на автомобиле, является бортовой компьютер, предназначенный для оказания всесторонней помощи водителю при пользовании автомобилем. Рассмотрим принцип построения и возможности бортового компьютера. Он состоит из универсального блока и блока управления (рис. 5.29), подключенных к системе электрооборудования автомобиля. В универсальный блок поступают сигналы, характеризующие работу системы регулирования подачи топлива, скорость движения автомобиля, уровень топлива в баке, температуру окружающей среды, напряжение аккумуляторной батареи, включение подсветки панели приборов. Универсальный блок управляет работой предупреждающего звукового сигнала, блокировкой зажигания, а при необходимости – дополнительного обогрева.

Связь с компьютером водитель поддерживает с помощью блока управления. Этот блок принимает команды водителя и передает их в универсальный блок, а также осуществляет индикацию результатов работы компьютера на соответствующем элементе поля индикаторов.

С помощью бортового компьютера водитель может получить следующую информацию: средняя скорость движения; средний и мгновенный расход топлива; время суток; температура окружающей среды; расстояние до интересующего пункта; предполагаемое время прибытия; расстояние, которое может проехать автомобиль с имеющимся в наличии запасом топлива. С помощью звукового сигнала бортовой компьютер предупреждает водителя о превышении максимальной скорости и о понижении температуры окружающей среды ниже 3°C и опасности гололеда.

Бортовой компьютер может также выполнять функции противотуманного устройства. Водитель выбирает код, состоящий из четы-



Рис. 5.29. Структурная схема бортового компьютера

рех цифр; если же перед пуском двигателя набрать неправильную комбинацию цифр, двигатель не заведется и будет включен звуковой сигнал.

Примером построения электронных панелей приборов может послужить панель приборов экспериментального автомобиля «Мерседес-Бенц Ауто 2000» (рис. 5.30). На панель приборов этого автомобиля выводится максимально возможное количество информации, отражающей безопасность, экономичность, эксплуатационные характеристики и параметры вождения автомобиля без перегрузки и утомления водителя. На приборной панели постоянно представляется информация о скорости движения, количестве топлива в баке, времени, пройденном пути и режиме движения. Остальные 25 параметров появляются на индикаторах по требованию водителя (при нажатии соответствующей клавиши на рулевом колесе) или в автоматическом режиме.

Панель приборов включает три зоны: постоянной информации (центральную); информации о состоянии автомобиля (левую); внешней информации (правую). В зоне постоянной информации расположены спидометр, указатель уровня топлива в баке, часы, одометр и индикатор режима движения. Верхний индикатор зоны состояний автомобиля выполняет функции БСК. При достижении одним из параметров, контролируемых БСК, критического значения на индикаторе автоматически появляется соответствующий сигнал, который исчезает только после устранения неисправности. Нижний левый индикатор представляет показания контрольных приборов, а также результаты расчета запаса хода, расхода и интервалов обслуживания.

Интервалы обслуживания рассчитываются с учетом пробега автомобиля, расхода топлива, износа тормозных накладок, засоренности воздушных фильтров. Правый верхний индикатор зоны внешней информации является указателем маршрута, в память которого заложена карта-атлас автомобильных дорог Германии. Информация индикатора оказывает помощь водителю в ориентировке и выборе оптимального маршрута. К внешней информации относятся также показания приборов, которым отведено место в правом нижнем углу панели.

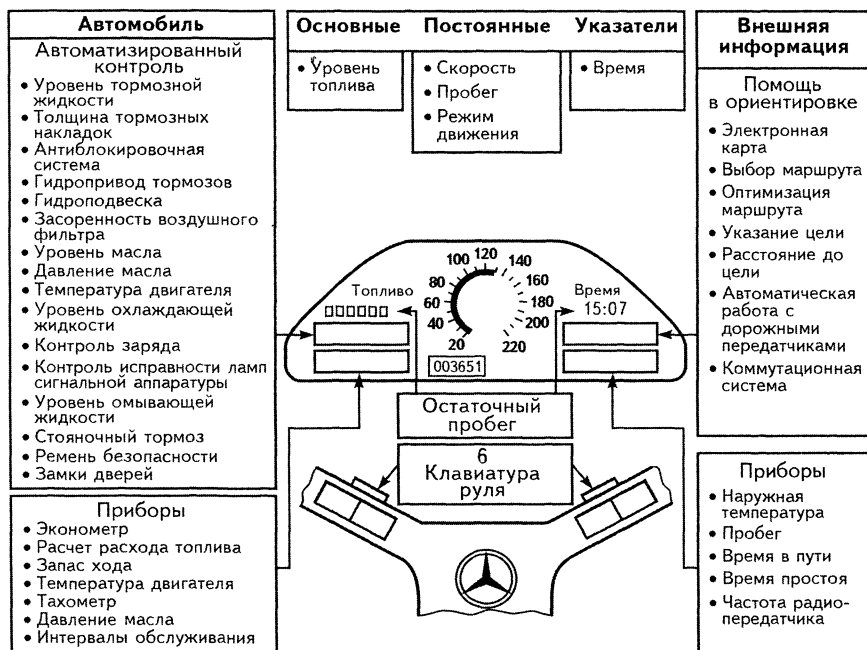


Рис. 5.30. Панель приборов автомобиля «Мерседес-Бенц Ауто 2000»

Вопросы для самоконтроля

1. Какие конструкции контрольно-измерительных приборов применяются на автомобиле?
2. Какими преимуществами обладают логометрические контрольно-измерительные приборы?
3. По какому принципу размещаются контрольно-измерительные приборы и сигнализаторы на панели приборов автомобиля?
4. С какой целью на автомобиле применяется бортовая система контроля?
5. Какие диагностические параметры можно проверять с помощью системы встроенной диагностики?
6. Какую информацию получает водитель с помощью бортового компьютера?
7. Каковы перспективы развития автомобильных информационных систем?
8. Как устроены автомобильные навигационные системы?

ГЛАВА 6. ЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ АГРЕГАТАМИ АВТОМОБИЛЯ

6.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Развитие электроники и микропроцессорной техники привело к широкому внедрению ее на автомобиле, в частности к созданию электронных систем автоматического управления (ЭСАУ) двигателем, трансмиссией, ходовой частью и дополнительным оборудованием. Применение ЭСАУ позволяет снизить расход топлива и токсичность отработавших газов, повысить мощность двигателя, активную безопасность автомобиля, улучшить условия труда водителя.

Внедрению ЭСАУ на автомобиле способствовало принятие во многих странах нормативов, ограничивающих токсичность отработавших газов и расход топлива, вызванных нефтяным и экологическим кризисами. Соблюдение требований этих нормативов требует поддержания на большинстве режимов работы двигателя стехиометрического состава горючей смеси, отключения подачи топлива на режиме принудительного холостого хода, точного и оптимального регулирования момента зажигания или впрыска топлива.

Многочисленные исследования показывают невозможность выполнения всех этих требований без использования электронных автоматических систем.

Применяемые ЭСАУ двигателем включают системы управления топливоподачей, зажиганием (в бензиновых двигателях), клапанами цилиндров, рециркуляцией отработавших газов. Наибольшее распространение получили первые две системы, которые используются для управления двигателем как самостоятельно, так и совместно. Электронные системы управления зажиганием, устанавливаемые на бензиновых двигателях (подробно рассмотрены в гл. 3), позволяют осуществлять гибкое управление углом опережения зажигания и энергией искрообразования, а также могут дополнительно управлять ЭПХХ.

Системы управления клапанами применяются для отключения группы цилиндров с целью экономии топлива и для регулирования фаз газораспределения. Системы управления рециркуляцией отработавших газов обеспечивают возврат во впускной трубопровод потребного количества отработавших газов для смешивания их со свежей горючей смесью.

Популярности ЭСАУ способствовало, кроме того, облегчение пуска холодного двигателя, уменьшение необходимого времени его

прогрева перед началом движения. Электронные антиблокировочные системы позволяют уменьшить практически в 2 раза тормозной путь автомобиля на скользкой дороге, исключая возможность возникновения заноса, и управлять автомобилем в сложных дорожных условиях водителям, не имеющим высокой квалификации.

Внедрение ЭСАУ на автомобилях имеет несомненные перспективы, чему способствует повышение качества и удешевление продукции электронной промышленности.

6.2. ЭЛЕКТРОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ДВИГАТЕЛЕМ

6.2.1. Электронные системы управления топливоподачей бензиновых двигателей

Применение электронных систем автоматического управления (ЭСАУ) топливоподачей бензиновых двигателей обусловлено необходимостью снижения токсичности отработавших газов и повышения топливной экономичности двигателей внутреннего сгорания. ЭСАУ позволяют в большей степени оптимизировать процесс смесяобразования и делают возможным применение трехкомпонентных нейтрализаторов, эффективно работающих при постоянном коэффициенте избытка воздуха α близком к 1.

Кроме того, ЭСАУ двигателем позволяют повысить приемистость автомобиля, надежность холодного пуска, ускорить прогрев и увеличить мощность двигателя.

ЭСАУ топливоподачей бензиновых двигателей разделяют на системы впрыска (во впускной трубопровод или непосредственно в камеру сгорания) и карбюраторные системы с электронным управлением.

Принцип действия системы электронного управления карбюратором заключается в согласованном управлении воздушной и дроссельной заслонками.

Так система Ecotronic фирмы Bosch поддерживает на большинстве режимов стехиометрический состав рабочей смеси, обеспечивает необходимое обогащение смеси на режимах пуска и прогрева двигателя. В системе предусмотрены функции отключения подачи топлива на принудительном холостом ходу и поддержания на заданном уровне частоты вращения коленчатого вала на холостом ходу.

Наибольшее распространение получили системы впрыска во впускной трубопровод. Они разделяются на системы с впрыском в зону впускных клапанов и с центральным впрыском (рис. 6.1).

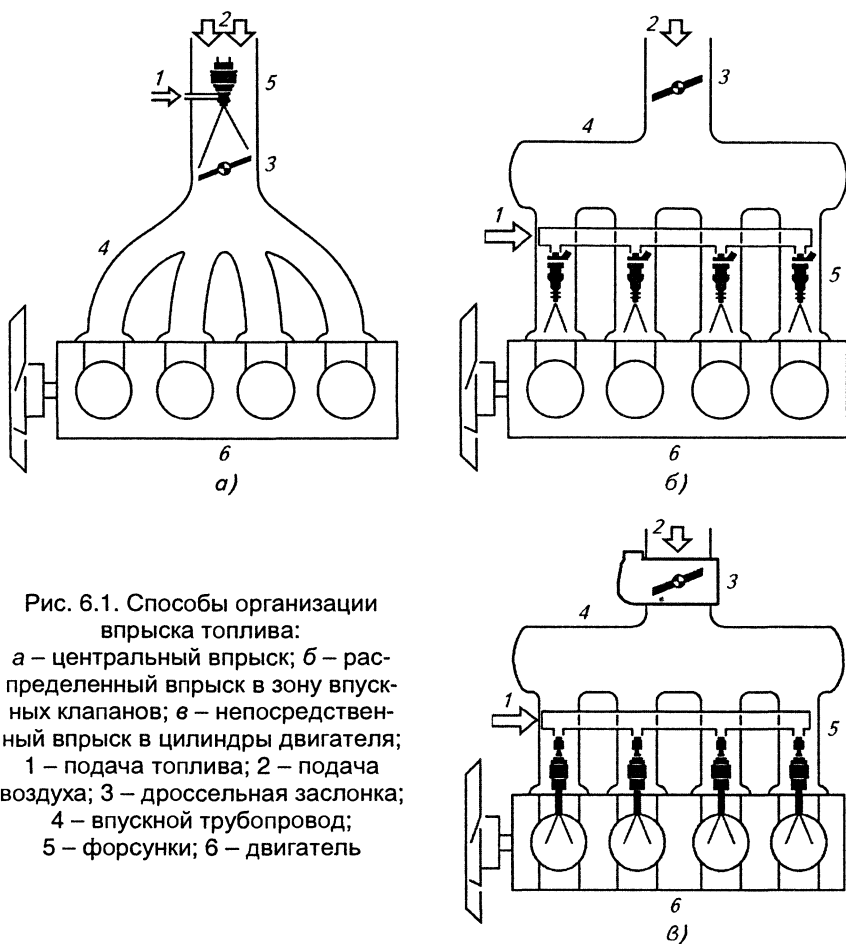


Рис. 6.1. Способы организации впрыска топлива:

а – центральный впрыск; б – распределенный впрыск в зону впускных клапанов; в – непосредственный впрыск в цилиндры двигателя;
 1 – подача топлива; 2 – подача воздуха; 3 – дроссельная заслонка;
 4 – впускной трубопровод;
 5 – форсунки; 6 – двигатель

Система с впрыском в зону впускных клапанов (другое название распределенный или многоточечный впрыск) включает в себя количество форсунок равное числу цилиндров, система с центральным впрыском – одну или две форсунки на весь двигатель. Форсунки в системах с центральным впрыском устанавливаются в специальной смесительной камере, откуда полученная смесь распределяется по цилиндрам. Подача топлива форсунками в системе распределенного впрыска может быть согласована с процессом впуска в каждый цилиндр (фазированный впрыск) и несогласованна –

форсунки работают одновременно или группой (нефазированный впрыск).

Системы с непосредственным впрыском из-за сложности конструкции долгое время не применялись на бензиновых двигателях. Однако ужесточение экологических требований к двигателям делает необходимым развитие этих систем.

Современные ЭСАУ двигателем объединяют в себе функции управления впрыском топлива и работой системы зажигания, поскольку принцип управления и входные сигналы (частота вращения, нагрузка, температура двигателя) для этих систем являются общими.

В ЭСАУ двигателем используется программно-адаптивное управление. Для реализации программного управления в ПЗУ блока управления (БУ) записывается зависимость длительности впрыска (количества подаваемого топлива) от нагрузки и частоты вращения коленчатого вала двигателя (рис. 6.2). Зависимость задается в виде таблицы (характеристической карты) разработанной на основании всесторонних испытаний двигателя. Данные в таблице представлены с определенным шагом, например 5 мин^{-1} , промежуточные значения БУ получает интерполяцией. Аналогичные таблицы используются и для определения угла опережения зажигания. Выбор данных из готовых таблиц является более быстрым процессом, чем выполнение вычислений.

Непосредственное измерение крутящего момента двигателя на автомобиле связано с большими техническими трудностями, поэтому основным датчиком нагрузки являются датчики расхода воздуха и (или) датчик давления во впускном трубопроводе. Для определения частоты вращения коленчатого вала двигателя обычно используется счетчик импульсов от датчика положения коленчатого вала индукционного типа или от датчика-распределителя системы зажигания.

Полученные по таблицам значения корректируются в зависимости от сигналов датчиков температуры охлаждающей жидкости, положения дроссельной заслонки, температуры воздуха, а также напряжения бортовой сети и других параметров.

Адаптивное управление (управление по обратной связи) используется в системах с датчиком кислорода (λ -зондом). Наличие информации о содержании кислорода в отработавших газах позволяет поддерживать коэффициент избытка воздуха α (в мировой практике принято обозначение λ) близким к 1. При управлении топливоподачей по обратной связи БУ первоначально определяет длительность импульсов по данным датчиков нагрузки и частоты вра-

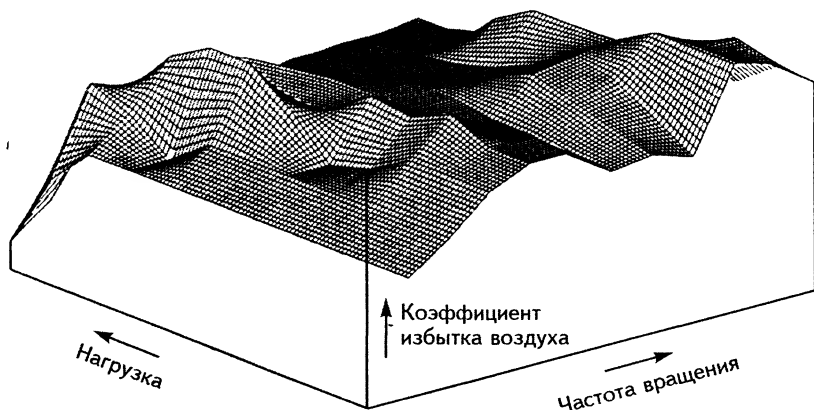


Рис. 6.2. Обобщенная регулировочная характеристика бензинового двигателя по составу смеси

жения коленчатого вала двигателя, а сигнал от датчика кислорода используется для точной корректировки. Управление впрыском топлива по обратной связи осуществляется только на прогретом двигателе и в определенном диапазоне нагрузки.

Принцип адаптивного управления применяется также для стабилизации частоты вращения коленчатого вала в режиме холостого хода и для управления углом опережения зажигания по пределу детонации.

Современные ЭСАУ топливopодачей бензиновых двигателей имеют функцию самодиагностики. БУ проверяет работу датчиков и исполнительных устройств и может идентифицировать определенный перечень неисправностей. При обнаружении неисправности БУ заносит в память соответствующий код и включает аварийную лампу CHECK ENGINE на панели приборов. Для получения информации от БУ используется диагностический прибор, подключаемый к отдельному разъему. Через разъем для диагностики кроме считывания кодов неисправностей возможно определение текущих значений параметров двигателя, и активизация исполнительных механизмов, однако функции диагностического прибора ограничены возможностями БУ.

Применение ЭСАУ повышает надежность работы двигателя за счет обеспечения возможности его работы в «усеченном» режиме. В случае возникновения неисправности в одном или нескольких датчиках, БУ определяет, что их показания не соответствуют дей-

ствительности и отключает эти датчики. В «усеченном» режиме работы информация от неисправных датчиков замещается эталонным значением или косвенно рассчитывается по данным от других датчиков. Например, при неисправности датчика положения дроссельной заслонки его показания можно имитировать расчетом по частоте вращения коленчатого вала и расходу воздуха. При выходе из строя одного из исполнительных механизмов используется индивидуальный алгоритм обхода неисправности. При дефекте в цепи зажигания, например, отключается впрыск в соответствующий цилиндр, с целью предотвращения повреждения каталитического нейтрализатора.

При работе двигателя в «усеченном» режиме возможно снижение мощности, ухудшение приемистости, затрудненный пуск холодного двигателя, увеличение расхода топлива и др.

Для компенсации технологического разброса в характеристиках элементов ЭСАУ и двигателя, учета их изменения при эксплуатации в программе БУ предусмотрен алгоритм самообучения. Как упоминалось выше, сигнал от датчика кислорода используется для корректировки значения длительности впрыска полученного по таблице из ПЗУ БУ. Однако при значительных расхождениях такой процесс занимает много времени.

Самообучение заключается в сохранении в памяти БУ значений коэффициента корректировки. Весь диапазон работы двигателя разбивается, как правило, на четыре характерные зоны обучения: холостой ход, высокая частота вращения при малой нагрузке, частичная нагрузка, высокая нагрузка.

При работе двигателя в любой из зон, происходит корректировка длительности импульсов впрыска до тех пор, пока реальный состав смеси не достигнет оптимального значения. Полученные таким образом коэффициенты корректировки характеризуют конкретный двигатель и участвуют в формировании длительности импульса впрыска на всех режимах его работы. Процесс самообучения применяется также для управления углом опережения зажигания при наличии обратной связи по детонации. Основная проблема функционирования алгоритма самообучения заключается в том, что иногда неправильный сигнал датчика может быть воспринят системой как изменение параметра двигателя. Если ошибка сигнала датчика недостаточно велика, чтобы был зарегистрирован код неисправности, повреждение может остаться необнаруженным. В большинстве систем корректирующие коэффициенты не сохраняются при отключении питания БУ.

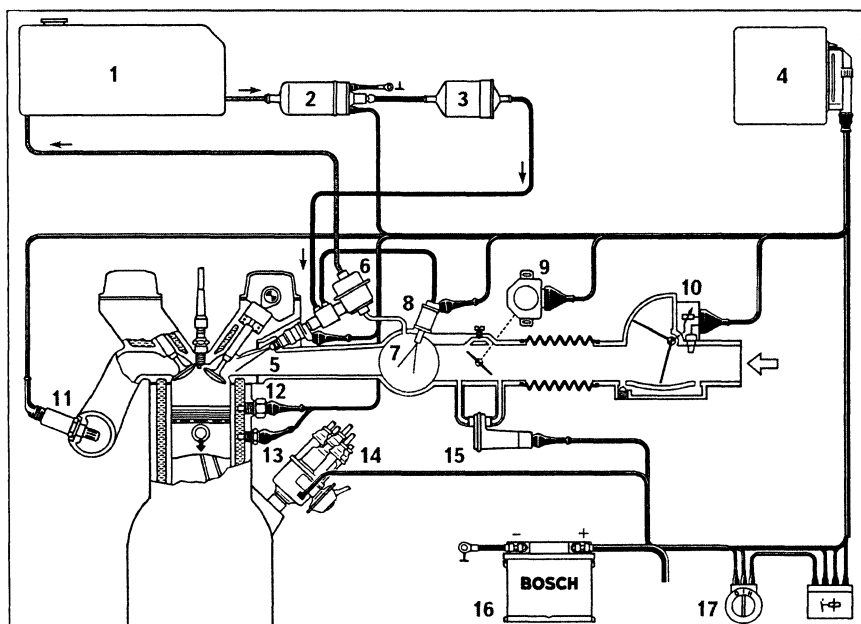


Рис. 6.3 Система L-Jetronic:

1 – топливный бак; 2 – электрический топливный насос; 3 – топливный фильтр; 4 – электронный блок управления; 5 – форсунка; 6 – топливная рампа с регулятором давления топлива; 7 – впускной трубопровод; 8 – клапан холодного пуска; 9 – датчик положения дроссельной заслонки; 10 – датчик расхода воздуха; 11 – датчик кислорода (λ -зонд); 12 – термореле; 13 – датчик температуры двигателя; 14 – датчик-распределитель системы зажигания; 15 – регулятор добавочного воздуха (регулятор холодного хода); 16 – аккумуляторная батарея; 17 – выключатель зажигания

Рассмотрим устройство некоторых ЭСАУ двигателем, получивших широкое распространение. Ведущим производителем систем впрыска бензиновых двигателей является фирма Bosch, начавшая разработку таких систем в 1912 г.

Первая модификация электронной системы L-Jetronic появилась в 1973 г. – это система распределенного нефазируемого впрыска топлива рис. 6.3. Топливо из бензобака 1 электрическим топливным насосом 2 через топливный фильтр 3 подается под давлением 250 кПа в топливную рампу и распределяется по форсункам 5. На конце топливной рампы расположен регулятор давления топлива, который поддерживает разность давления в топливной рампе и впу-

ском коллекторе на постоянном уровне 0,5 атм. Таким образом, количество подаваемого топлива однозначно определяется длительностью открытия форсунки. Остатки топлива возвращаются в бак по сливной магистрали. В БУ 4 поступают сигналы от датчика расхода воздуха 10, датчика положения дроссельной заслонки 9 по которым определяет нагрузка двигателя. Датчик положения дроссельной заслонки позволяет различать режим холостого хода и полной нагрузки. Информация о частоте вращения коленчатого вала двигателя поступает от датчика-распределителя системы зажигания. Для обогащения смеси при пуске холодного двигателя используется клапан холодного пуска 8, который управляется термореле 12. Термореле обеспечивает 8 с работы клапана при температуре -20°C . Датчик температуры двигателя 13 подключенный к БУ позволяет обогащать смесь на режиме прогрева двигателя.

Управление частотой вращения на режиме холостого хода осуществляется регулятором добавочного воздуха 15 с заслонкой управляемой биметаллической пластиной.

При комплектовании системы каталитическим нейтрализатором для корректировки качества рабочей смеси используется датчик кислорода 11.

Система L3-Jetronic (рис. 6.4) является модификацией представленной системы. Основное отличие от L-Jetronic – БУ выполненный в одном корпусе с датчиком расхода воздуха и расположенный в моторном отсеке.

В системе используется алгоритмы диагностики датчиков и «усеченного» режима работы. В системе отсутствует клапан холодного пуска и термореле. Обогащение смеси при пуске холодного двигателя осуществляется увеличением подачи топлива через основные форсунки.

В системе LH-Jetronic (рис. 6.5) для определения нагрузки двигателя используется датчик массового расхода воздуха термоанемометрического типа. В отличие от датчика системы L-Jetronic, определяющего объем проходящего воздуха этот датчик определяет непосредственно массу воздуха, и не требует дополнительной корректировки по его плотности.

Для регулировки частоты вращения коленчатого вала на холостом ходу в системе LH-Jetronic используется поворотный клапан с приводом от реверсивного электродвигателя (трехпроводной). БУ периодически переключает направление вращения электродвигателя, что предотвращает заброс клапана в любую из крайних позиций. Требуемое положение клапана регулируется изменением со-

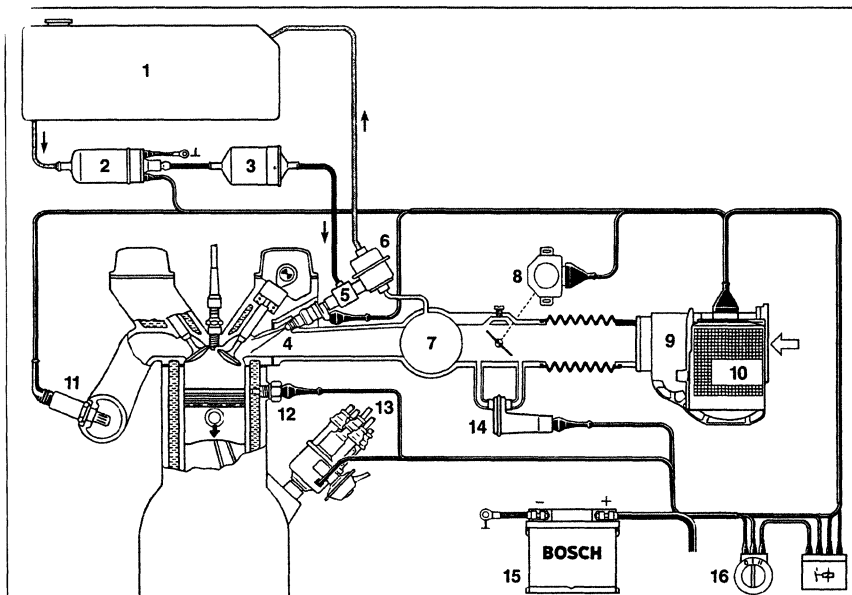


Рис. 6.4. Система L3-Jetronic:

1 – топливный бак; 2 – электрический топливный насос; 3 – топливный фильтр; 4 – форсунка; 5 – топливная рампа; 6 – регулятор давления топлива; 7 – впускной трубопровод; 8 – датчик положения дроссельной заслонки; 9 – датчик расхода воздуха; 10 – электронный блок управления; 11 – датчик кислорода (λ -зонд); 12 – датчик температуры двигателя; 13 – датчик-распределитель системы зажигания; 14 – регулятор добавочного воздуха (регулятор холостого хода); 15 – аккумуляторная батарея; 16 – выключатель зажигания

отношения времени включения электродвигателя в различных направлениях.

В 1982 г. фирмой Bosch была предложена система KE-Jetronic (рис. 6.6), прототипом которой явилась гидромеханическая система K-Jetronic, дополненная электронным блоком управления и датчиком кислорода. В БУ поступают сигналы о положении паруса расходомера, крайних положениях дроссельной заслонки, частоте вращения двигателя, температуре охлаждающей жидкости и содержании кислорода в отработавших газах. Воздействие БУ на состав рабочей смеси осуществляется с помощью электрогидравлического управляющего устройства закрепленного на дозаторе-распределителе топлива (рис. 6.7). Так для обогащения смеси по

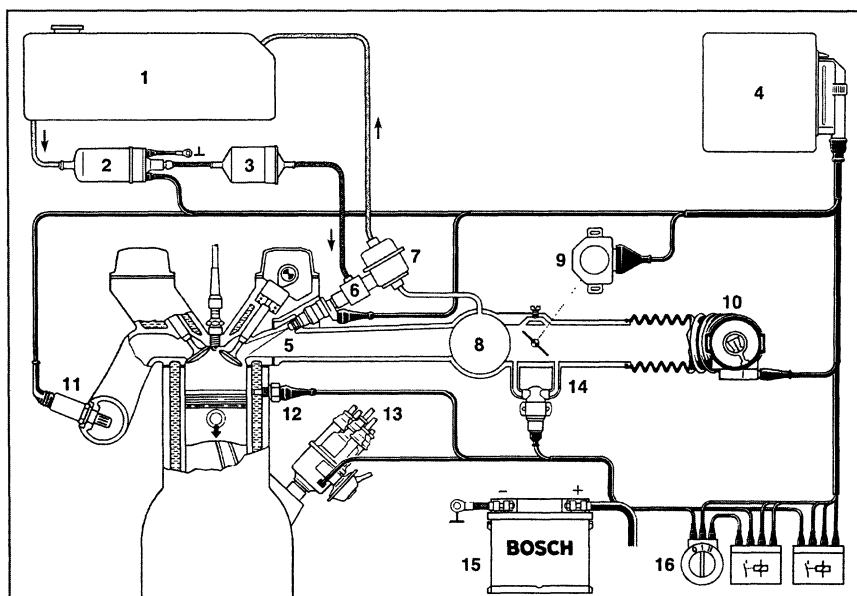


Рис. 6.5. Система LH-Jetronic:

1 – топливный бак; 2 – электрический топливный насос; 3 – топливный фильтр; 4 – электронный блок управления; 5 – форсунка; 6 – топливная рампа; 7 – регулятор давления топлива; 8 – впускной трубопровод; 9 – датчик положения дроссельной заслонки; 10 – датчик массового расхода воздуха; 11 – датчик кислорода (λ -зонд); 12 – датчик температуры двигателя; 13 – датчик-распределитель системы зажигания; 14 – поворотный регулятор холостого хода; 15 – аккумуляторная батарея; 16 – выключатель зажигания

сигналу от БУ управляющая пластина 11 закрывает выпускной канал 12 тем самым, снижая давление в нижних камерах дифференциального клапана 8. Мембраны 9 прогибаются вниз, и количество топлива поступающего к форсункам 4 увеличивается. Управляющее устройство сконструировано таким образом, что при выходе из строя цепи электромагнита будет обеспечиваться стехиометрический состав смеси и двигатель сохранит работоспособность.

Появившаяся в 1983 г. недорогая система центрального впрыска Mono-Jetronic получила широкое распространение, в том числе и на компактных автомобилях. Эта система имеет всего одну топливную форсунку, расположенную перед дроссельной заслонкой (рис. 6.8).

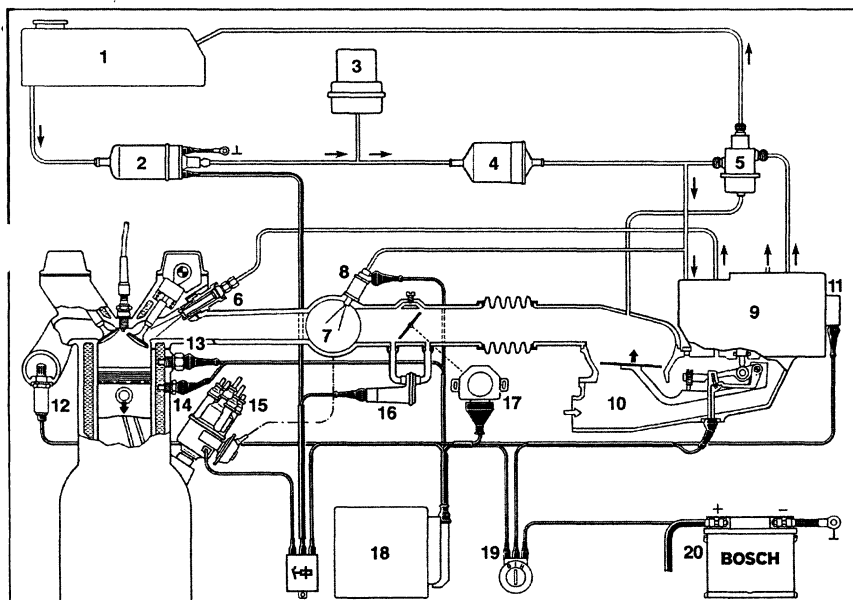


Рис. 6.6. Система KE-Jetronic:

1 – топливный бак; 2 – электрический топливный насос; 3 – топливный аккумулятор; 4 – топливный фильтр; 5 – регулятор начального давления; 6 – форсунка; 7 – впускной трубопровод; 8 – клапан холодного пуска; 9 – дозатор-распределитель топлива; 10 – датчик расхода воздуха; 11 – электрогидравлическое управляющее устройство; 12 – датчик кислорода (λ -зонд); 13 – термореле; 14 – датчик температуры двигателя; 15 – датчик-распределитель системы зажигания; 16 – регулятор добавочного воздуха (регулятор холостого хода); 17 – электронный блок управления; 18 – датчик положения дроссельной заслонки; 19 – аккумуляторная батарея; 20 – выключатель зажигания

Качество смеси задается длительностью импульса открытия форсунки. Топливо в системе Mono-Jetronic подается под более низким давлением, нежели в описанных выше системах — около 0,1 МПа.

Измерения расхода воздуха система Mono-Jetronic не производит. Необходимое количество топлива вычисляется по положению дроссельной заслонки и частоте вращения коленчатого вала. Электронный блок управления обрабатывает информацию от потенциометрического датчика положения дроссельной заслонки, датчика-распределителя системы зажигания, датчиков температуры воздуха и охлаждающей жидкости, а также датчика кислорода.

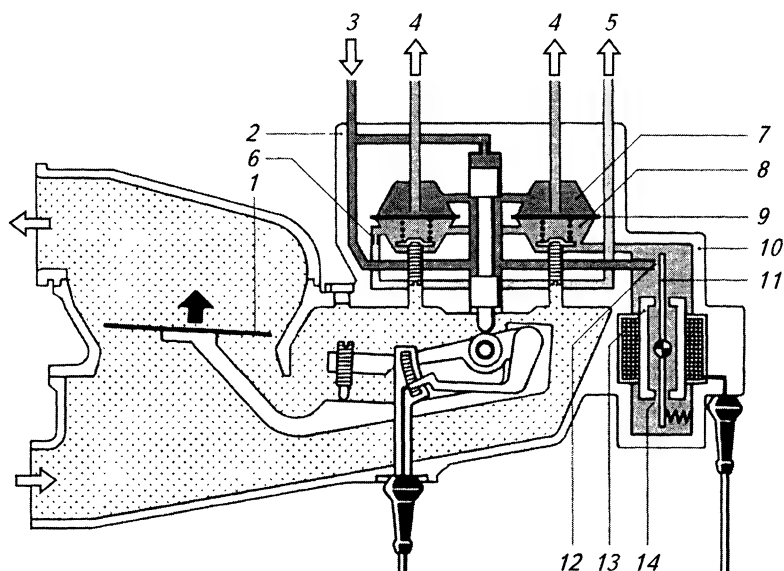


Рис. 6.7. Дозатор топлива системы KE-Jetronic со встроенным электрогидравлическим управляющим устройством.

1 – парус расходомера; 2 – дозатор-распределитель топлива; 3 – поступление топлива от регулятора начального давления; 4 – подача топлива к форсункам; 5 – возврат топлива в регулятор начального давления; 6 – жиклер; 7 – верхняя камера дифференциального клапана; 8 – нижняя камера дифференциального клапана; 9 – диафрагма; 10 – регулятор давления; 11 – управляющая пластина; 12 – выпускной канал; 13 – электромагнит; 14 – воздушный зазор

Топливо-воздушная смесь обогащается при холодном пуске и прогреве двигателя увеличением длительности цикла топливоподачи. Минимальная частота вращения в режиме холостого хода поддерживается путем изменения положения дроссельной заслонки с помощью шагового электродвигателя.

При средних нагрузках и прогревом двигателя подача топлива корректируется обратной связью по датчику кислорода.

Полное открытие дроссельной заслонки переводит БУ в режим обогащения рабочей смеси. Для обеспечения приемистости автомобиля БУ определяет ускорение перемещения педали управления дроссельной заслонкой и адекватно изменяет подачу топлива.

В режиме принудительного холостого хода система Mono-Jetronic работает по общепринятой схеме.

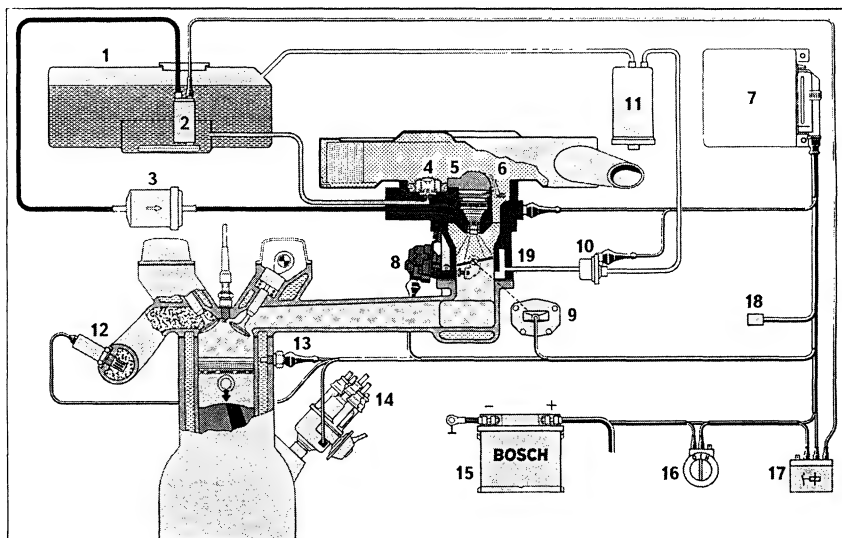


Рис. 6.8. Система Mono-Jetronic:

1 – топливный бак; 2 – электрический топливный насос; 3 – топливный фильтр; 4 – регулятор давления топлива; 5 – форсунка; 6 – датчик температуры воздуха; 7 – электронный блок управления; 8 – электропривод дроссельной заслонки (регулятор холостого хода); 9 – потенциометрический датчик положения дроссельной заслонки; 10 – клапан продувки адсорбера; 11 – угольный адсорбер; 12 – датчик кислорода (λ -зонд); 13 – датчик температуры двигателя; 14 – датчик-распределитель системы зажигания; 15 – аккумуляторная батарея; 16 – выключатель зажигания; 17 – реле; 18 – диагностический разъем; 19 – устройство центрального впрыска

Для ограничения выделения углеводородов (СН) из топливного бака в Mono-Jetronic используется система улавливания паров бензина, к которой относятся емкость с активированным углем – адсорбер 11 и электромагнитный клапан продувки адсорбера 10. Пары бензина из топливного бака поступают в адсорбер. При работе двигателя БУ открывает клапан продувки адсорбера и накопившиеся пары топлива удаляются во впускной трубопровод. БУ регулирует степень продувки адсорбера в зависимости от режима работы двигателя.

К комплексным системам управления двигателем, применяющимся на большинстве современных автомобилей, относятся системы семейства Motronic. Основная функция всех систем Motronic –

согласованное управление зажиганием и впрыском топлива. Принятие законодательных требований к снижению вредных эмиссий и расхода топлива расширяет базовые функции системы Motronic и делает необходимым контроль всех компонентов влияющих на состав отработавших газов. Система Motronic обеспечивает:

- регулировку частоты вращения холостого хода;
- поддержание стехиометрического состава смеси по сигналу датчика кислорода;
- управление системой улавливания паров топлива;
- регулирование угла опережения зажигания по сигналу датчика детонации;
- рециркуляцию отработавших газов для снижения эмиссии оксидов азота (NO_x);
- управление системой подачи вторичного воздуха для снижения эмиссии углеводородов (CH);
- поддержание заданной скорости движения (круиз-контроль).

При более высоких требованиях система может дополняться функциями:

- управление турбонагнетателем, а также изменением конфигурации впускного тракта для повышения мощности двигателя;
- управление фазами газораспределения для снижения токсичности отработавших газов, расхода топлива и повышения мощности двигателя;
- детонационное регулирование, ограничение частоты вращения и скорости для защиты двигателя и автомобиля.

Система Motronic поддерживает работу блоков управления других систем автомобиля. Так совместно с БУ автоматической коробки передач посредством снижения крутящего момента двигателя при изменении передачи обеспечивается предохранение коробки передач. Взаимодействуя с антиблокировочной (АБС) и противобуксовочной (ПБС) системами Motronic создает повышенную безопасность при езде. Современные требования к противоугонным автомобильным системам делают необходимым интеграцию БУ двигателем и иммобилайзера.

Одной из последних разработок фирмы Bosch является система ME-Motronic (рис. 6.9). ME-Motronic сочетает в себе систему распределенного фазированного впрыска топлива в зону впускных клапанов и систему зажигания с низковольтным распределением и индивидуальными катушками.

Определение частоты вращения коленчатого вала и синхронизация системы осуществляется по сигналу индукционного датчика

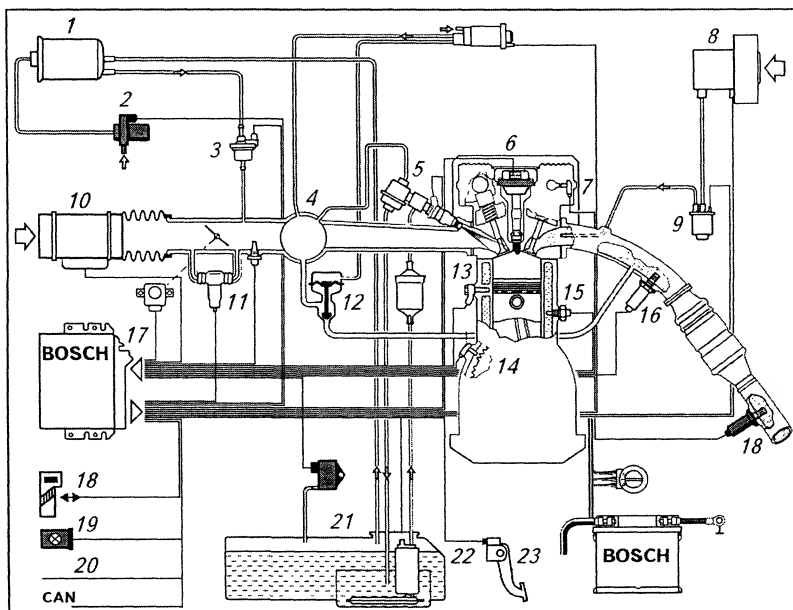


Рис. 6.9. Система ME-Motronic:

1 – угольный адсорбер; 2 – отключающий клапан; 3 – клапан продувки адсорбера; 4 – датчик давления во впускном коллекторе; 5 – топливная рампа с форсунками; 6 – свеча зажигания с индивидуальной катушкой; 7 – фазовый дискриминатор; 8 – насос вторичного воздуха; 9 – клапан вторичного воздуха; 10 – пленочный датчик массового расхода воздуха; 11 – модуль дроссельной заслонки; 12 – клапан рециркуляции; 13 – датчик детонации; 14 – датчик положения коленчатого вала; 15 – датчик температуры двигателя; 16 – датчик кислорода (λ -зонд); 17 – электронный блок управления; 18 – диагностический интерфейс; 19 – аварийная лампа; 20 – к иммобилайзеру; 21 – датчик давления в бензобаке; 22 – погружной электрический топливный насос; 23 – модуль педали управления дроссельной заслонкой; 24 – аккумулятор

положения коленчатого вала 14. Для определения такта впуска в каждом цилиндре, что необходимо при организации фазированного впрыска топлива и зажигания, используется датчик положения распределительного вала – фазовый дискриминатор 7.

Для расчета нагрузки двигателя используется пленочный датчик массового расхода воздуха 10, датчик давления во впускной трубе 4, и датчик положения дроссельной заслонки. Основным отличием системы является отсутствие жесткой механической связи между

дроссельной заслонкой и педалью, ею управляющей. Положение педали управления дроссельной заслонкой определяется с помощью двух закрепленных на ней потенциометров 23. БУ устанавливает дроссельную заслонку 11 в оптимальное положение в зависимости от нагрузки и других параметров двигателя.

В системе используется два датчика кислорода 16. Установка дополнительного датчика после каталитического нейтрализатора повышает надежность работы обратной связи по содержанию кислорода, так как этот датчик лучше защищен от загрязнения отработавшими газами. Кроме того, наличие второго датчика позволяет системе проводить самодиагностику основного датчика стоящего перед нейтрализатором.

БУ ME-Motronic имеет интерфейс последовательной передачи данных (CAN) для взаимодействия с БУ других систем автомобиля.

На базе системы ME-Motronic фирма Bosch разработала систему непосредственного впрыска топлива в цилиндры двигателя MED-Motronic (рис. 6.10). В сравнении с традиционными системами впрыска бензиновых двигателей, системы непосредственного впрыска позволяют снизить расход топлива до 20% и уменьшить выбросы оксидов углерода.

Как и впрыск во впускной коллектор, непосредственный впрыск под высоким давлением спроектирован как система с топливной рампой – аккумулятором давления. В подобных системах топливо может быть непосредственно впрыснуто в цилиндр в любой момент времени с помощью электромагнитных форсунок.

Масса поступающего воздуха может свободно регулироваться с помощью электронного модуля дроссельной заслонки. Точное измерение массы всасываемого воздуха выполняется с помощью пленочного датчика расхода воздуха.

Состав топливо-воздушной смеси контролируется датчиками кислорода в выпускной системе, расположенными перед и после каталитического нейтрализатора.

Электрический топливopодкачивающий насос и регулятор давления, расположенные в бензобаке, обеспечивают подачу топлива под давлением 0,35 МПа к топливному насосу высокого давления.

Задача насоса высокого давления состоит в увеличении давления топлива с исходных 0,35 МПа до 12 МПа, после чего топливо поступает в топливную рампу. На топливной рампе расположен регулятор давления, который поддерживает давление в системе во всем диапазоне работы двигателя независимо от количества впрыскиваемого топлива и производительности насоса.

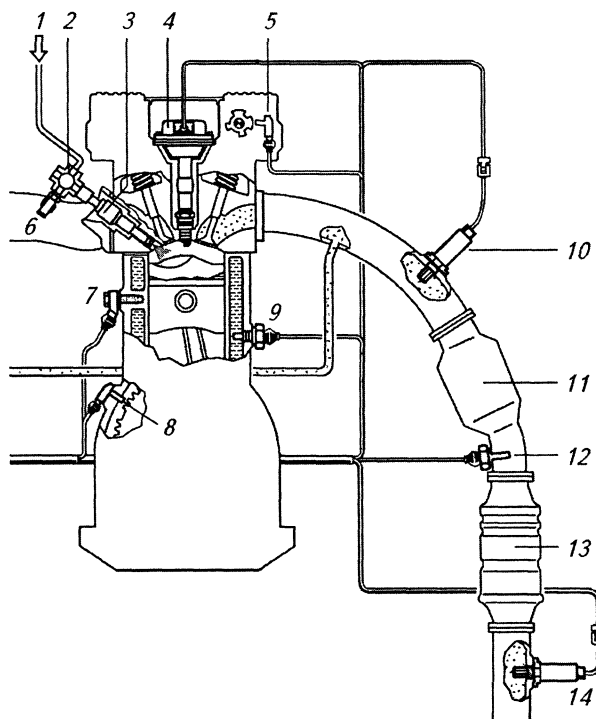


Рис. 6.10 Система непосредственного впрыска топлива MED-Motronic:

1 – топливо под высоким давлением; 2 – топливная рейка (аккумулятор давления); 3 – форсунка; 4 – свеча зажигания с индивидуальной катушкой; 5 – фазовый дискриминатор; 6 – датчик давления топлива; 7 – датчик детонации; 8 – датчик положения коленчатого вала; 9 – датчик температуры двигателя; 10 – датчик кислорода (перед катализатором); 11 – трехкомпонентный каталитический нейтрализатор; 12 – датчик температуры выхлопных газов; 13 – NO_x каталитический нейтрализатор; 14 – датчик кислорода (после нейтрализатора)

Для измерения давления топлива используется датчик, представляющий собой сварную диафрагму из высококачественной стали с тензорезисторами.

Важным компонентом системы непосредственного впрыска топлива являются форсунки высокого давления, которые подсоединяются непосредственно к рампе. Время начала впрыска и количество топлива определяются сигналами от блока управления.

Низкое потребление топлива и высокая мощность двигателя, присущие системе непосредственного впрыска, достигаются путем различной организации двух основных режимов работы: режима малой нагрузки и режима высокой нагрузки.

При малой нагрузке двигатель работает с неоднородной смесью и большим избытком воздуха. Поздний впрыск, прямо перед подачей искры, позволяет создать в зоне свечи область богатой топливо-воздушной смеси, в то время как остальной объем цилиндра заполняет смесь воздуха и оставшихся отработавших газов. Благодаря этому расслоению заряда, достигается работа двигателя на очень бедной смеси, кроме того, даже при малых нагрузках дроссельная заслонка остается открытой, что уменьшает потери на газообмен.

При повышении нагрузки увеличивается и количество впрыскиваемого топлива, неоднородное облако смеси становится все более богатым. Это может вызвать увеличение содержания вредных веществ в отработавших газах, особенно выбросов сажи. Поэтому на высоких нагрузках двигатель переводится на работу на гомогенной смеси.

Во время перехода между этими режимами для стабилизации момента необходимо контролировать количество впрыскиваемого топлива, поступающего воздуха и угол опережения зажигания. Такое управление моментом возможно благодаря использованию электроуправляемой дроссельной заслонки, как и в системе ME-Motronic. Дроссельная заслонка должна быть закрыта вплоть до фактического переключения режима работы с неоднородной на гомогенную смесь.

Особенностью системы непосредственного впрыска является образование оксидов азота (NO_x), содержание которых в условиях избытка кислорода не может быть уменьшено с использованием традиционного трехкомпонентного каталитического нейтрализатора. Для уменьшения содержания NO_x в выхлопе используется специальный каталитический нейтрализатор аккумулирующего действия.

6.2.2. Экономайзер принудительного холостого хода с электронным управлением

В процессе движения автомобиля значительное время занимает режим принудительного холостого хода, когда коленчатый вал двигателя вращается за счет кинетической энергии автомобиля. Этот режим наблюдается, например, при движении автомобиля с высокой скоростью при включенной передаче и отпущенной педали управления подачей топлива, т. е. когда двигатель работает в тор-

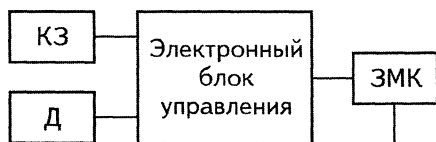


Рис. 6.11. Функциональная схема ЭПХХ

возможном режиме. Экономайзер принудительного холостого хода предназначен для прекращения подачи топлива в двигатель на режиме принудительного холостого хода.

При этом обеспечиваются уменьшение эксплуатационного расхода топлива на 2...3% и снижение выброса токсичных веществ на 15...30%. Режим принудительного холостого хода в ЭПХХ определяют исходя из двух условий: частота вращения коленчатого вала двигателя должна быть больше частоты, соответствующей холостому ходу, а дроссельная заслонка должна быть закрыта.

Прекращение подачи топлива обеспечивается электромагнитными клапанами, установленными в каналах холостого хода карбюратора в ЭПХХ автомобиля ЗИЛ-130. На легковых автомобилях для прекращения подачи топлива используются два клапана. Один из них, вакуумный, устанавливается в канале холостого хода, а другой, электромагнитный, — в магистрали, соединяющей впускной коллектор с диафрагменной камерой вакуумного клапана. На рис. 6.11 приведена функциональная схема ЭПХХ автомобиля ВАЗ-2108, а на рис. 6.12 — схема блока управления ЭПХХ 50.3761.

На основе информации о частоте вращения коленчатого вала, получаемой от первичной цепи системы зажигания *КЗ* (см. рис. 6.12) и о положении дроссельной заслонки, получаемой от датчика положения дроссельной заслонки *Д* электронный блок управления вырабатывает сигнал, управляющий электромагнитным клапаном *ЗМК*, который в свою очередь открывает и закрывает подачу топлива в систему холостого хода карбюратора. Датчик положения дроссельной заслонки представляет собой микровыключатель, механически связанный с приводом дроссельной заслонки, замыкающийся при полностью отпущенной педали управления подачей топлива (режим холостого хода).

Блок управления ЭПХХ структурно состоит из двух компараторов напряжения, цепи обратной связи и несимметричного триггера.

Блок управления работает следующим образом (см. рис. 6.12).

Входной сигнал с прерывателя системы зажигания подается на вывод 4 микросхемы *А1*. На выходе микросхемы *А1* (вывод 3) фор-

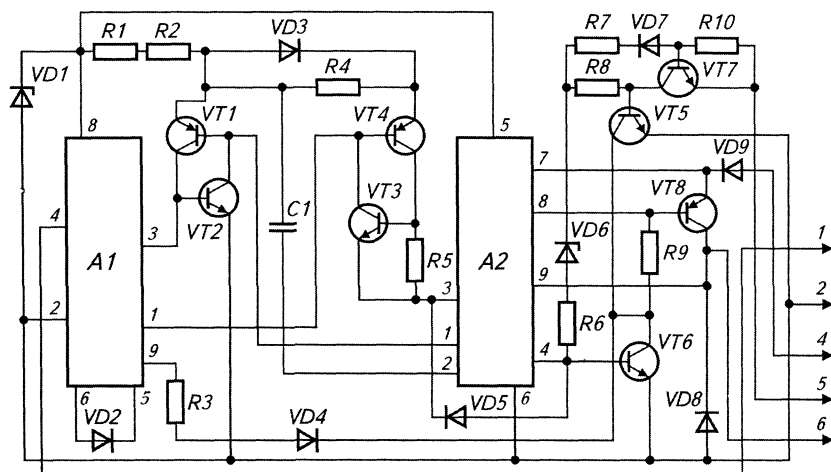


Рис. 6.12. Электрическая принципиальная схема электронного блока управления 50.3761

мируются импульсы постоянной длительности, частота повторения которых соответствует частоте входных сигналов.

На транзисторах $VT1$ и $VT2$ построен ключ, который во время действия импульса на выходе микросхемы $A1$ разряжает времязадающий конденсатор $C1$. В паузе между импульсами конденсатор $C1$ заряжается через резисторы $R1$ и $R2$. Максимальное напряжение, до которого заряжается конденсатор $C1$, увеличивается с уменьшением частоты входного сигнала.

На транзисторах $VT3$ и $VT4$ построен пороговый элемент. Когда напряжение на конденсаторе $C1$ превысит опорное значение, равное примерно 8 В, эти транзисторы открываются. Таким образом, при уменьшении частоты входного сигнала ниже порога включения, конденсатор $C1$ успевает зарядиться до напряжения, превышающего опорное значение порогового элемента. При этом транзисторы $VT3$ и $VT4$ открываются и через микросхему $A2$ на базу транзистора $VT6$ подается сигнал, который открывает транзистор $VT6$ и, следовательно, транзистор $VT8$, в результате чего на нагрузку подается напряжение питания.

При соединении штекера 5 с «массой» (через контакты датчика положения дроссельной заслонки) выходное напряжение на электромагнитном клапане изменяется в зависимости от входной частоты. При отключении штекера 5 от массы закрывается транзистор $VT7$, а транзистор $VT5$ открывается. Соответственно открывается

выходной транзистор VT8. При этом «+» от аккумуляторной батареи постоянно подключен к электромагнитному клапану независимо от частоты входного сигнала. Включенное состояние клапана обеспечивает открытие канала холостого хода карбюратора.

Таким образом, на режиме принудительного холостого хода при частоте вращения коленчатого вала, превышающей порог срабатывания компаратора электронного блока управления, электромагнитный клапан будет обесточен и топливо подаваться не будет. При снижении частоты вращения ниже порога срабатывания компаратора, электромагнитный клапан откроется и подача топлива возобновится.

Когда дроссельная заслонка будет открыта, топливо будет подаваться независимо от частоты вращения коленчатого вала двигателя.

К недостаткам ЭПХХ следует отнести повышенный расход масла при торможении двигателем, происходящий в результате резкого увеличения разрежения в цилиндрах двигателя при работе на этом режиме.

6.2.3. Электронные системы управления топливopодачей дизелей

Применяемые ЭСАУ дизельными двигателями позволяют снизить токсичность отработавших газов, уменьшить дымность, шум, стабилизировать работу двигателя на холостом ходу. Они выполняют функции управления количеством впрыскиваемого топлива, моментом начала впрыска, частотой вращения коленчатого вала на холостом ходу, работой свечей накаливания.

По схемотехническому решению эти системы делятся на три типа: аналоговые системы, состоящие в основном из операционных усилителей; цифровые регуляторы, построенные на элементах средней степени интеграции; микропроцессорные системы.

Аналоговым системам, несмотря на их простоту, присущи следующие недостатки: зависимость качества регулирования от точности изготовления применяемых элементов (резисторов, конденсаторов и др.); зависимость электрических параметров элементов от внешних факторов; невозможность выполнения системой функций, не предусмотренных при проектировании, т. е. узкая специализированность системы.

Цифровые регуляторы позволяют в основном избавиться от этих недостатков, поскольку их точность определяется только выбран-

ной разрядностью и не зависит от влияния внешней среды и времени эксплуатации. Однако это весьма сложные в конструктивном отношении системы, состоящие из значительного числа микросхем и их надежность при использовании на автомобиле невысока. Такие системы также не могут перенастраиваться на другой режим эксплуатации либо на другой тип дизеля.

Для автоматического управления автомобильным дизельным двигателем необходима система, осуществляющая не только комплексную автоматизацию двигателя (объединение функций систем топливоподачи, защиты и рециркуляции в одном блоке), но также обеспечивающая эффективную работу дизеля в широком диапазоне скоростных и нагрузочных режимов при допустимом уровне токсичности отработавших газов. Поэтому аналоговые и цифровые системы находят применение на двигателях, работающих в стационарных условиях, например на дизель-генераторных установках, судах и тепловозах.

На автомобильных дизелях находит все более широкое применение микропроцессорная система управления (рис. 6.13). Она включает в себя микропроцессор (*МП*), осуществляющий все арифметические операции и общее управление устройствами, оперативное запоминающее устройство (*ОЗУ*) для хранения промежуточных результатов вычислений, постоянное запоминающее устройство (*ПЗУ*) для хранения программ управления всей системы в целом. Для сбора информации о работе двигателя в системе предусмотрены три типа датчиков: режимных параметров, коррекции и защиты. К первому типу относятся датчики частоты вращения коленчатого вала n , положения рейки ТНВД $h_{\text{рейки}}$ и положения педали управления подачей топлива $\psi_{\text{педали}}$ по сигналам этих датчиков вычисляется предварительное значение управляющего воздействия на исполнительный механизм. Для более точного регулирования необходимо корректировать управляющее воздействие в зависимости от того, в каких условиях работает двигатель. Коррекция производится по сигналам от датчиков температуры топлива $T_{\text{топлива}}$, температуры всасываемого воздуха $T_{\text{воздуха}}$ и атмосферного давления $p_{\text{атм}}$. Информация от этих датчиков позволяет корректировать необходимую дозу впрыскиваемого топлива.

Датчик температуры масла $T_{\text{масла}}$ в системе смазки двигателя служит для оценки условий пуска двигателя. Для предупреждения аварийных режимов работы двигателя служат датчик температуры охлаждающей жидкости $T_{\text{охл}}$ и датчик давления масла в системе смазки $p_{\text{масла}}$. Для связи с аналоговыми датчиками в системе преду-

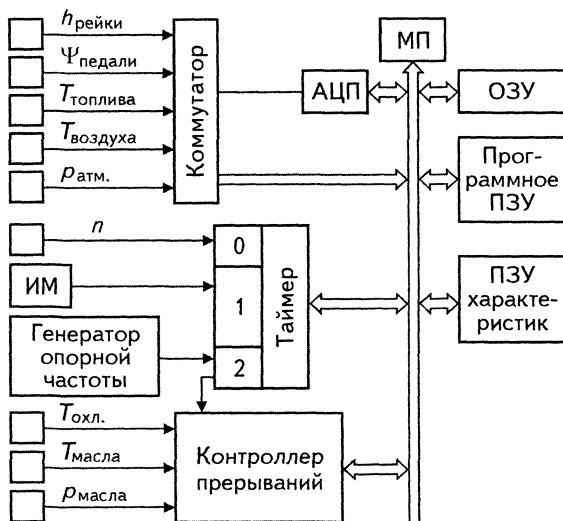


Рис. 6.13. Структурная схема микропроцессорной системы управления дизельным двигателем

смотрен аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) и коммутатор, поскольку в каждый отдельный момент времени АЦП может получать информацию только с одного датчика.

В процессе выполнения программы коммутатор опрашивает последовательно все аналоговые датчики. Для подключения датчика частоты вращения коленчатого вала предусмотрен цифровой таймер. Непосредственное управление перемещением рейки топливного насоса обеспечивается исполнительным механизмом. Контроллер прерываний осуществляет синхронизацию работы программы управления в соответствии с сигналами, снимаемыми с датчиков.

Особо важной задачей топливоподачи дизельного двигателя является качественное обеспечение переходных процессов, так как это непосредственно связано с технико-экономическими показателями работы двигателя. Поэтому в системе производится управление по пропорционально-интегрально-дифференциальному закону с целью устранения статических ошибок регулирования и получения наилучших динамических характеристик регулятора. Интегральная составляющая закона управления формируется в виде суммы всех управляющих воздействий, предшествующих рассчитываемому в данный момент. Дифференциальная составляющая формируется

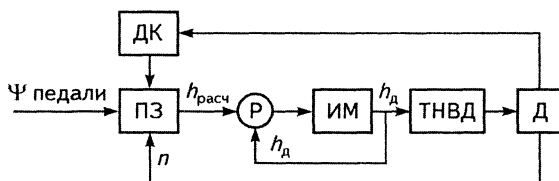


Рис. 6.14. Структурная схема пропорционально-интегрально-дифференциального регулятора топливоподачи

в виде приращений регулируемого параметра за единицу времени, поэтому в системе необходимо иметь устройство измерения времени. Эту функцию выполняет таймер, выдающий сигналы отметок времени, которые, поступая на контроллер прерываний, приостанавливают работу основной программы управления для замера приращения регулируемого параметра через равные промежутки времени.

Аварийные датчики также подключаются к контроллеру прерываний. В случае превышения каким-либо параметром предельно допустимого значения выполнение основной программы приостанавливается и запускается программа автоматической защиты двигателя. Так, например, при достижении температуры охлаждающей жидкости 105°C обеспечивается плавное снижение частоты вращения коленчатого вала до холостого хода с включением аварийной световой и звуковой сигнализации. При недопустимом падении давления масла в системе смазки включается аварийная сигнализация и двигатель останавливается.

Регулирование в зоне частичных характеристик сводится к вычислению расчетного положения рейки топливного насоса, сравнению этого расчетного значения с реальным положением рейки и приведению рейки в нужную точку по оптимальному закону в соответствии с рассогласованием.

Структурная схема системы показана на рис. 6.14. Она состоит из программного задатчика положений рейки *ПЗ*, вычисляемых по значениям частоты вращения коленчатого вала двигателя n , положению педали управления подачей топлива $\Psi_{\text{педали}}$ и информации от датчиков коррекции *ДК*; регулятора *Р*, вычисляющего рассогласование между расчетным значением положения рейки $h_{\text{расч}}$ и действительным h_d ; исполнительного механизма *ИМ*, включенного в контур регулятора и формирующего интегральную составляющую топливного насоса высокого давления *ТНВД* и двигателя *Д*.

Микропроцессорная система управления дизелем изменяет угол опережения впрыска топлива по оптимальному закону в зависимости от нагрузки и частоты вращения коленчатого вала (рис. 6.15).

Реализация подобного закона с помощью центробежной муфты опережения впрыска топлива не представляется возможной.

Среди существующих ЭСАУ автомобильных дизелей можно выделить системы двух типов: с рядным насосом высокого давления и с рампой-аккумулятором.

Система впрыска Bosch с рядным топливным насосом высокого давления (ТНВД), применяемая как на грузовых, так и на легковых автомобилях показана на рис 6.16. Основным управляющим механизмом системы является встроенный в ТНВД электромагнит 4 (рис. 6.17). Количество подаваемого топлива определяется положением рейки ТНВД 1, которая жестко связана с якорем электромагнита. Изменяя силу тока в цепи электромагнита, БУ задает перемещение рейки и соответственно количество впрыскиваемого топлива. Усилие электромагнита уравнивается действием возвратной пружины 2. В ТНВД также встроены индукционный датчик частоты вращения 5 и датчик положения рейки 3. БУ обрабатывает сигналы от пьезорезистивного датчика давления воздуха 19, датчика положения педали управления топливоподачей 27, датчиков температуры топлива 6, охлаждающей жидкости 11, воздуха 18. В некоторых модификациях используются сигналы с выхода фазы генератора и датчика скорости автомобиля. БУ также получает информацию о включении рабочего или вспомогательного тормозов, сцепления.

В системе предусмотрен пульт управления скоростью движения автомобиля 14 (круиз-контроль) и изменения частоты вращения коленчатого вала двигателя в режиме холостого хода.

Для отключения топливоподачи при остановке двигателя используется электромагнитный клапан 5 в топливоподкачивающей магистрали.

Основными параметрами, используемыми БУ при вычислении положения рейки ТНВД являются нагрузка и частота вращения коленчатого вала двигателя. В ПЗУ БУ записаны карты управления

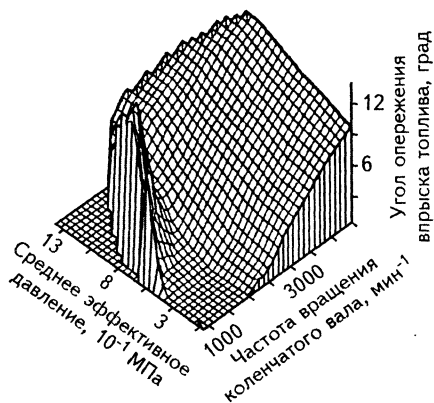


Рис. 6.15. Регулировочная характеристика дизеля по углу опережения впрыска топлива

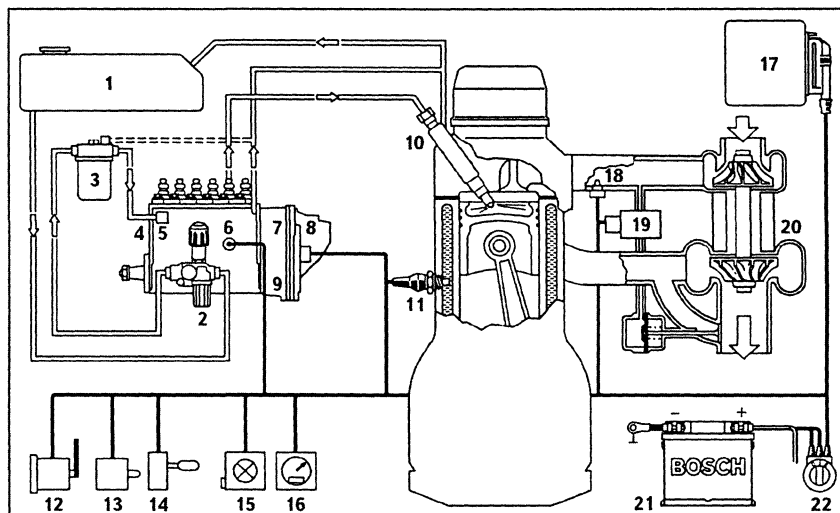


Рис. 6.16. Система впрыска Bosch с рядным топливным насосом высокого давления:

1 – топливный бак; 2 – топливоподкачивающий насос; 3 – топливный фильтр; 4 – рядный топливный насос высокого давления; 5 – электромагнитный клапан отключения топливоподдачи; 6 – датчик температуры топлива; 7 – датчик положения рейки; 8 – управляющий электромагнит; 9 – датчик частоты вращения; 10 – форсунка; 11 – датчик температуры охлаждающей жидкости; 12 – датчик положения педали управления топливоподачей; 13 – датчики включения рабочего тормоза, вспомогательного тормоза, сцепления; 14 – пульт управления; 15 – аварийная лампа и диагностический разъем; 16 – датчик скорости автомобиля; 17 – электронный блок управления; 18 – датчик температуры воздуха; 19 – регулятор давления наддува; 20 – турбокомпрессор; 21 – аккумуляторная батарея; 22 – выключатель стартера и приборов

для режима пуска, холостого хода, полной нагрузки и др. БУ выполнен универсальным и может применяться для широкой номенклатуры двигателей и автомобилей.

В системе используется принцип самодиагностики и усеченного режима работы. Так при выходе из строя датчика частоты вращения в ТНВД его заменяет сигнал с фазы генератора.

Примером ЭСАУ топливоподачей дизельного двигателя с рампой-аккумулятором может служить система Common Rail фирмы Bosch (рис 6.18).

Топливо из бака 5 топливоподкачивающим насосом подается через фильтр 4 в ТНВД 1. Из насоса топливо поступает в рампу-ак-

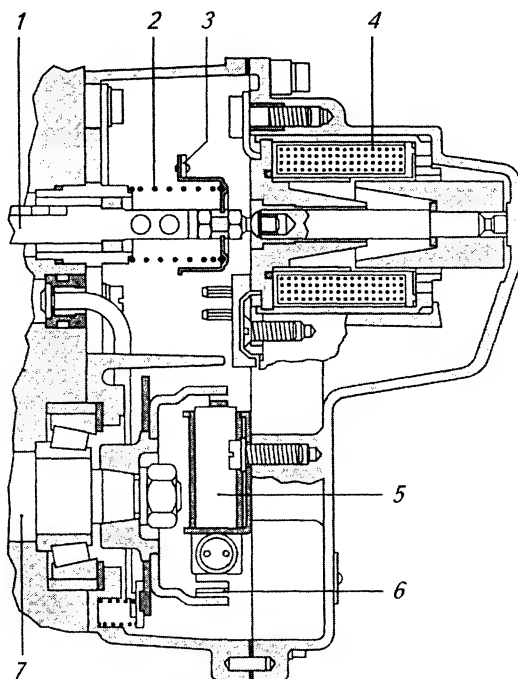


Рис 6.17. Электромагнитное устройство управления рейкой ТНВД:

- 1 – рейка; 2 – возвратная пружина; 3 – датчик положения рейки;
- 4 – управляющий электромагнит; 5 – датчик частоты вращения;
- 6 – зубчатое колесо датчика частоты вращения; 7 – кулачковый вал ТНВД

кумулятор 9 и распределяется по форсункам 14. Давление топлива в рампе-аккумуляторе поддерживается на постоянном уровне 135 МПа, что обеспечивается датчиком 10 и электромагнитным клапаном 3.

Для защиты двигателя используется ограничительный клапан 12 открывающийся при давлении свыше 150 МПа. Количество впрыскиваемого топлива определяется длительностью открытия электромагнитной форсунки. Для снижения потерь энергии на сжатие топлива в режиме холостого хода и частичных нагрузок производительность ТНВД может уменьшаться путем открытия перепускного клапана 2.

По своей структуре ЭСАУ Common Rail во многом аналогична рассмотренным ранее системам впрыска бензиновых двигателей.

Датчик положения коленчатого вала 17 индукционного типа ис-

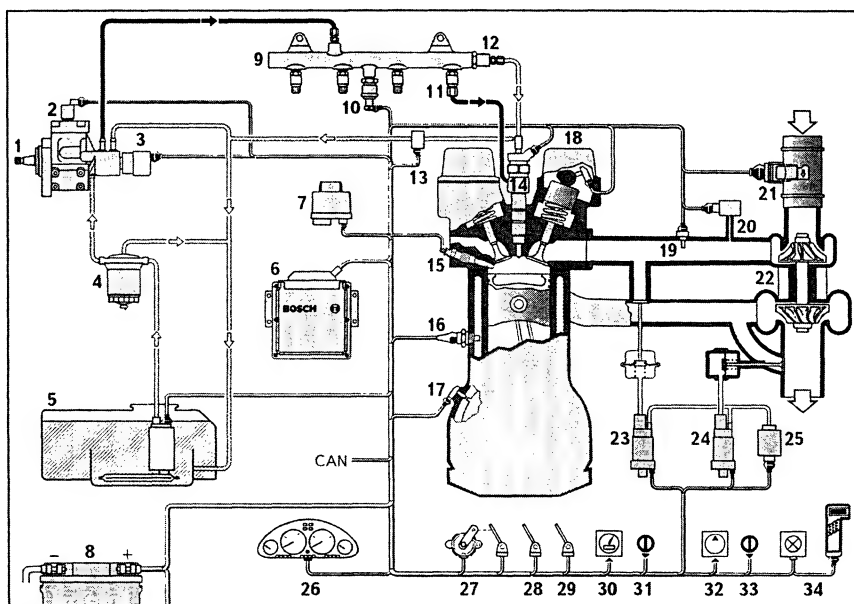


Рис. 6.18. Система топливоподачи дизельного двигателя Bosch Common Rail:

1 – топливный насос высокого давления; 2 – перепускной клапан; 3 – электромагнитный клапан – регулятор давления; 4 – топливный фильтр; 5 – топливный бак с топливоподкачивающим насосом и предварительным фильтром; 6 – электронный блок управления; 7 – реле включения свечей накаливания; 8 – аккумуляторная батарея; 9 – топливная рампа-аккумулятор; 10 – датчик давления топлива в рампе; 11 – топливный жиклер; 12 – предохранительный клапан; 13 – датчик температуры топлива; 14 – электромагнитная форсунка; 15 – свеча накаливания; 16 – датчик температуры охлаждающей жидкости; 17 – датчик положения коленчатого вала; 18 – фазовый дискриминатор; 19 – датчик температуры воздуха на впуске; 20 – датчик давления наддува; 21 – пленочный датчик массового расхода воздуха; 22 – турбокомпрессор; 23 – пневматический клапан управления рециркуляцией; 24 – пневматический клапан управления наддувом; 25 – вакуумный насос; 26 – приборная панель; 27 – датчик положения педали управления топливоподачей; 28 – датчик нажатия педали тормоза; 29 – датчик выключения сцепления; 30 – датчик скорости автомобиля; 31 – пульт управления круиз-контроля; 32 – компрессор кондиционера; 33 – переключатель кондиционера; 34 – аварийная лампа и диагностический разъем

пользуется для определения частоты вращения и положения коленчатого вала. Информации от этого датчика недостаточно чтобы различить конец такта сжатия, поэтому используется датчик положения распределительного вала 18 – фазовый дискриминатор. В основу работы датчика положен эффект Холла.

ЭСАУ получает информацию о температуре охлаждающей жидкости и воздуха на впуске. В некоторых модификациях системы используются датчики температуры масла и топлива.

Для обеспечения точного определения состава рабочей смеси и снижения вредных выбросов, особенно на переходных режимах, используется пленочный датчик массового расхода воздуха устанавливаемый до турбокомпрессора.

Положение педали управления режимом работы двигателя определяется потенциометрическим датчиком, при этом какая-либо механическая связь педали с системой топливоподачи отсутствует.

Для определения давления наддува используется датчик абсолютного давления с пьезорезистивными чувствительными элементами.

В процессе управления двигателем можно выделить следующие функции и режимы: режим пуск двигателя, рабочий режим, режим холостого хода, функция обеспечения равномерности работы двигателя и снижения колебаний при переходных процессах, режим автоматического поддержания заданной скорости автомобиля, ограничение топливоподачи, остановка двигателя.

При пуске двигателя количество впрыскиваемого топлива является постоянной величиной. В рабочем режиме для определения количества топлива используется сигнал датчика положения педали управления топливоподачей и датчика положения коленчатого вала двигателя. БУ обрабатывает информацию от датчиков и используя характеристические карты вычисляет значение угла опережения впрыска (момент подачи топлива) и длительность открытия форсунки.

Для снижения расхода топлива частота вращения коленчатого вала в режиме холостого хода поддерживается на минимальном устойчивом уровне, при этом учитывается температура двигателя и сигналы о включении кондиционера и других устройств, создающих нагрузку.

Функция обеспечения равномерности работы двигателя сводится к учету различий в величине крутящего момента создаваемого отдельными цилиндрами двигателя, для чего количество впрыскиваемого топлива корректируется БУ для каждого цилиндра.

Для предотвращения колебаний частоты вращения двигателя при резком изменении положения педали управления топливоподачей, количество впрыскиваемого топлива изменяется в противофазе с возникшим колебательным процессом.

Режим автоматического поддержания заданной скорости автомобиля – круиз-контроль включается по желанию водителя. Для реализации этой функции к БУ подключается датчик скорости автомобиля. Режим прерывается при воздействии на педаль тормоза или управления топливоподачей.

Ограничение топливоподачи осуществляется с целью снижения вредных выбросов, в том числе сажи, предотвращения механических или температурных перегрузок двигателя.

В системе топливоподачи Common Rail остановка двигателя обеспечивается простым прекращением подачи топлива форсунками.

Кроме форсунок, реле топливоподкачивающего насоса, регулятора давления и перепускного клапана БУ воздействует на пневматические клапаны управления рециркуляцией отработавших газов 23 и давлением наддува 24. ЭСАУ двигателем также контролирует свечи накаливания 15 относящиеся к системам облегчения пуска холодного двигателя.

Посредством последовательной шины данных CAN БУ системы Common Rail взаимодействует с другими электронными системами автомобиля.

Так информация о необходимости изменения крутящего момента двигателя может поступать от антиблокировочной и противобуксовочной систем. Значительное потребление энергии кондиционером делает необходимым его отключение на некоторых режимах работы двигателя. Взаимодействуя с противоугонной системой БУ Common Rail обеспечивает блокировку несанкционированного пуска двигателя.

В системе Common Rail реализованы принципы самодиагностики и усеченного режима работы, описанные ранее для ЭСАУ топливоподачей бензиновых двигателей.

6.2.4. Основные компоненты ЭСАУ двигателем

Электробензонасосы

Электробензонасос постоянно нагнетает топливо из топливного бака. Он может быть встроен непосредственно в топливный бак (погружной) или расположен снаружи (магистральный).

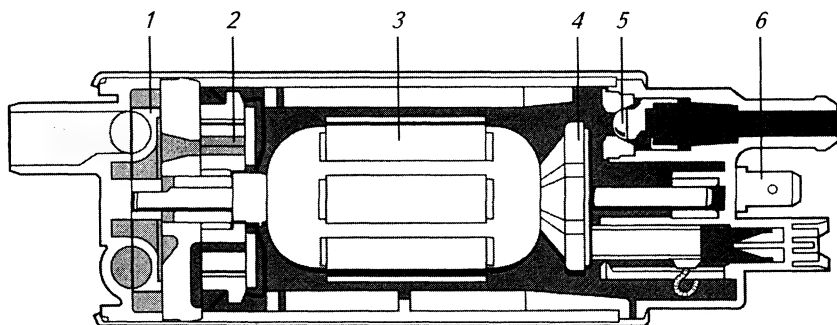


Рис. 6.19. Двухступенчатый электробензонасос
(с шестернями внутреннего зацепления):

1 – первая ступень (секция с боковым каналом); 2 – главная ступень (шестерни внутреннего зацепления); 3 – якорь; 4 – коллектор; 5 – обратный клапан; 6 – штекер

Применяемые в настоящее время погружные насосы (рис. 6.19 и 6.20) смонтированы в баке вместе с датчиком уровня топлива и завихрителем, служащим для отделения пузырьков пара в сливном канале. Во избежание перегрева при применении магистральных насосов, в топливный бак может быть встроен насос подкачки, который подает топливо к главному насосу под малым давлением.

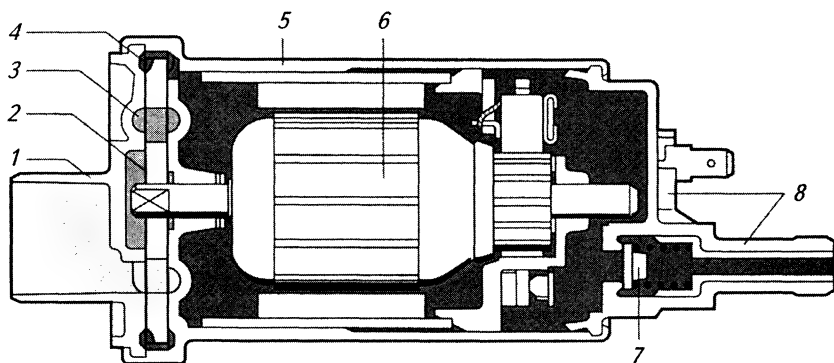


Рис. 6.20. Двухступенчатый электробензонасос (периферийного нагнетания)
1 – всасывающая крышка со штуцером; 2 – крыльчатка; 3 – первая ступень (секция с боковым каналом); 4 – главная ступень (с периферийным нагнетанием); 5 – корпус; 6 – якорь; 7 – обратный клапан; 8 – крышка подключения со штуцером

Для обеспечения требуемого давления на любых режимах, к двигателю подается значительно больше топлива, чем он максимально расходует. Включение электробензонасоса осуществляется по сигналу от БУ двигателя.

Электробензонасосы состоят из насосной части, электродвигателя постоянного тока и крышки подключения.

Электродвигатель и насосная часть электробензонасоса имеют общий корпус и постоянно омываются топливом. Это благоприятно сказывается на охлаждении электродвигателя. Отсутствие кислорода в корпусе исключает возможность образования взрывоопасной смеси. В крышке подключения смонтированы электрические контакты, обратный клапан, нагнетательный и сливной штуцеры. Обратный клапан определенное время сохраняет давление в системе после отключения электробензонасоса во избежание образования паровых пробок. Дополнительно в крышке подключения может быть установлено помехоподавительное устройство.

В зависимости от требований к системам применяются насосы различных принципов действия (рис. 6.21).

Объемные насосы. Роликовые насосы и шестеренчатые насосы внутреннего зацепления относятся к группе объемных насосов.

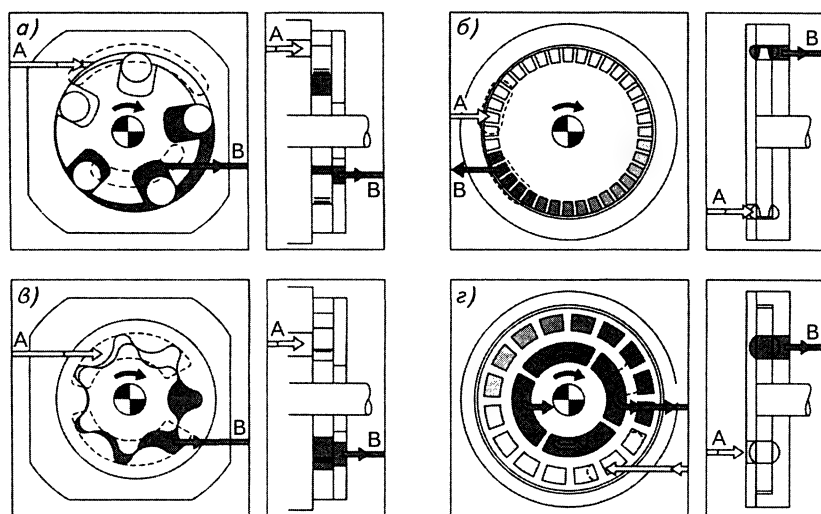


Рис. 6.21. Принцип действия электробензонасосов:

а – роликовый насос; б – периферийный насос; в – шестеренный насос внутреннего зацепления; г – насос с боковым каналом

Действие насоса состоит в том, что вращающиеся камеры меняющейся величины открывают впускной канал и за счет увеличения камеры засасывают топливо. Когда достигается максимальное заполнение, впускной канал закрывается и открывается нагнетательный канал. Посредством уменьшения камер топливо выталкивается. В роликовых насосах камеры образуются за счет вращающихся роликов, находящихся в сепараторе. Под влиянием центробежной силы и топливного давления они прижимаются к эксцентрической поверхности статора. Эксцентриситет между сепаратором и статором обуславливает увеличение и уменьшение объема камер.

Шестеренчатый насос внутреннего зацепления состоит из одной внутренней приводной шестерни, находящейся в зацеплении с эксцентрично установленным ротором, который имеет на один зуб больше. Боковые стороны зуба при вращении образуют в своих промежутках меняющиеся камеры. Роликовые насосы могут применяться при давлении топлива до 650 кПа, шестеренчатый насос внутреннего зацепления до 400 кПа, что вполне достаточно для использования в системах впрыска топлива во впускной трубопровод.

Лопастные насосы. К лопастным насосам относятся периферийные и насосы с боковым каналом. В них топливо ускоряется лопастями крыльчатки и вытесняется в один канал. Периферийные насосы отличаются от насосов с боковым каналом большим количеством лопастей, формой крыльчатки и наличием распределенных по окружности каналов. Периферийные насосы могут создать давление топлива только до 300 кПа, но они отличаются малозумной работой и находят свое применение благодаря непрерывному, практически не пульсирующему течению топлива. Насосами с боковым каналом создается давление только до 100 кПа. Их применяют как подкачивающие насосы в системах с магистральным насосом и как первую ступень при двухступенчатых погружных насосах в автомобилях с проблемами горячего пуска, а также в системах с одноточечным впрыском.

Электроуправляемые форсунки

При распределенном впрыске бензина каждый цилиндр двигателя имеет электромагнитную форсунку. Она впрыскивает топливо строго дозированно и в определяемый блоком управления момент времени непосредственно перед впускным (ыми) клапаном (нами) цилиндра. Электромагнитная форсунка имеет клапанную иглу с насаженным магнитным сердечником (рис. 6.22 и 6.23). Она очень точно прилегает к корпусу распылителя. Спиральная пружина при-

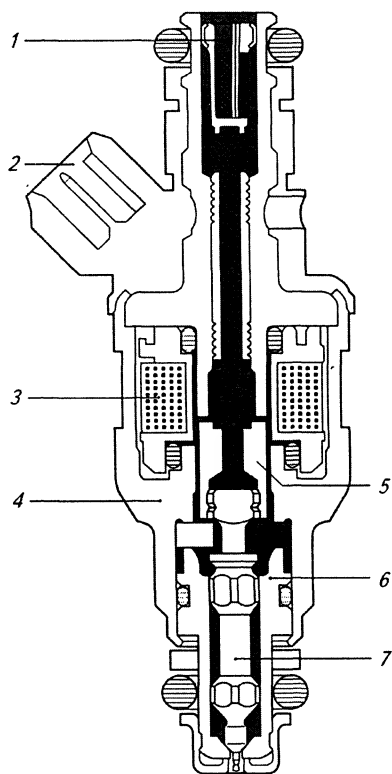


Рис. 6.22. Форсунка с верхним подводом топлива:

1 – фильтр в канале подвода топлива; 2 – разъем; 3 – обмотка; 4 – корпус форсунки; 5 – сердечник; 6 – направляющая иглы; 7 – клапанная игла

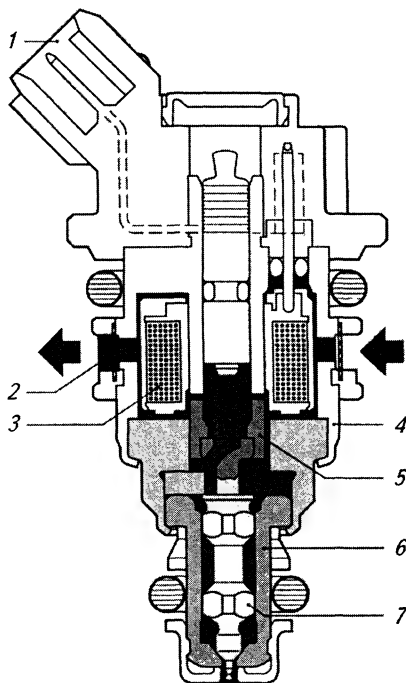


Рис. 6.23. Форсунка с боковым подводом топлива:

1 – разъем; 2 – фильтр в канале подвода топлива; 3 – обмотка; 4 – корпус форсунки; 5 – сердечник; 6 – корпус распылителя; 7 – клапанная игла

жимает клапанную иглу в спокойном состоянии к уплотнительному седлу корпуса распылителя и закрывает, таким образом, выходное топливное отверстие во впускной трубопровод двигателя.

Как только блок управления подключает обмотку форсунки, сердечник с клапанной иглой поднимается на 60...100 мкм, вследствие чего топливо впрыскивается через калиброванное отверстие.

В зависимости от способа впрыска, частоты вращения и нагрузки двигателя время включения составляет 1,5...18 мс при частоте

рабатования 3...125 Гц.

В зависимости от особенностей системы имеются различные типы форсунок.

Форсунка с верхним подводом топлива. В такой форсунке топливо подается сверху по ее вертикальной оси. Верхний конец форсунки вставляется в соответствующей формы отверстие топливной рампы, нижний - во впускной трубопровод двигателя. Форсунка притягивается пружинным фиксатором к топливной рампе. Уплотнение обеспечивается резиновыми кольцами.

Форсунка с боковым подводом топлива. Встроенная в топливную рампу форсунка такого типа омывается топливом. Подвод топлива осуществляется сбоку. Топливная рампа монтируется непосредственно на впускном коллекторе. Форсунка крепится прижимом или крышкой топливной рампы, в которой может располагаться также и электрический разъем. Два уплотнительных кольца предотвращают утечку топлива. Наряду с хорошими характеристиками горячего пуска и работы за счет охлаждения топливом, конструкция модуля, состоящего из топливной рампы и форсунок, отличается меньшей высотой.

По способу дозирования различают форсунки с кольцевым, однодырчатым и многодырчатым распылением (рис. 6.24).

Для оптимизации топливоподачи на двигателях с двумя впускными клапанами используется многодырчатый двухфакельный распылитель.

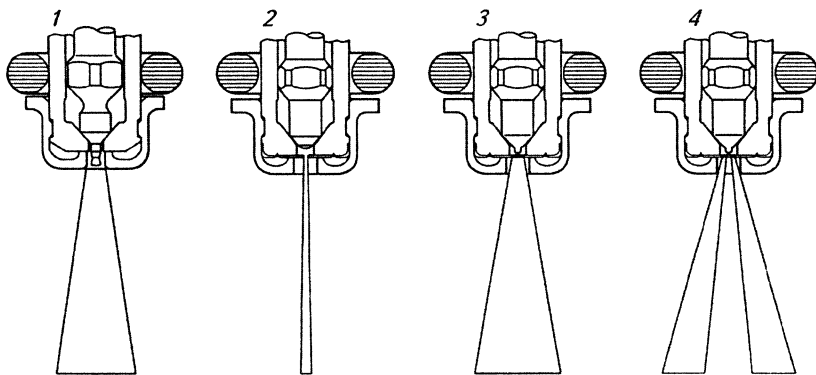


Рис. 6.24. Виды дозирования и смесеобразования:

- 1 – распылитель с кольцевым каналом; 2 – однодырчатый распылитель;
3 – многодырчатый распылитель; 4 – многодырчатый двухфакельный распылитель

При выборе типа топливного дозирования учитывается требование наименьшего образования пленки на стенках впускного канала при хорошей однородности топливоздушнoй смеси. Форсунки с обтеканием воздухом позволяют добиться дальнейшего улучшения смесеобразования. С этой целью воздух из впускной трубы перед дроссельной заслонкой всасывается со звуковой скоростью через калиброванную щель прямо у шайбы распылителя. Благодаря молекулярному взаимодействию топлива и воздуха топливо очень мелко распыляется.

Форсунки непосредственного впрыска. В ЭСУ топливоподачей для организации непосредственного впрыска топлива в цилиндры двигателя используются форсунки с электромагнитным или пьезоэлектрическим приводом. Конструкция электромагнитной форсунки системы топливоподачи для дизельных двигателей Common Rail фирмы Bosch представлена на рис. 6.25. Топливо под давлением 1350 кПа подается к резьбовому штуцеру 4, откуда поступает к распылителю через канал 10 и в управляющую камеру 8 через жиклер 7. Управляющая камера соединена со сливным штуцером 1 через отверстие 6, закрываемое электромагнитным клапаном 5. При закрытом сливном отвер-

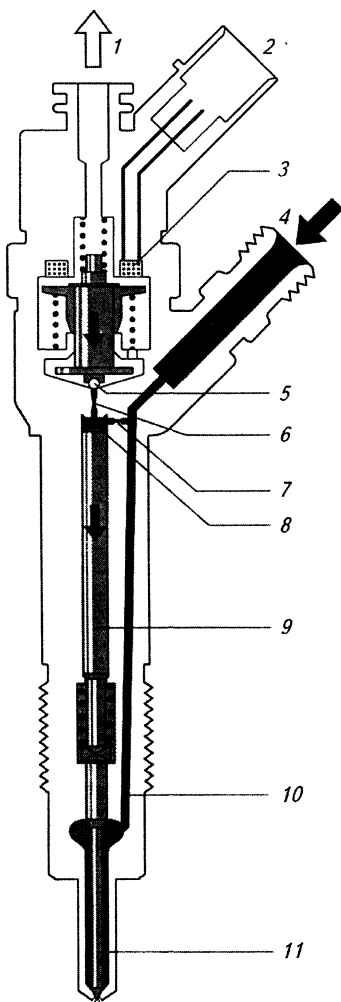


Рис. 6.25. Форсунка системы топливоподачи дизельного двигателя: 1 – сливной штуцер; 2 – разъем; 3 – электромагнит; 4 – резьбовой штуцер; 5 – клапан; 6 – сливное отверстие; 7 – жиклер; 8 – управляющая камера; 9 – плунжер; 10 – топливный канал; 11 – запорная игла

сти к плунжеру 9 приложена гидравлическая сила, прижимающая иглу 11 к седлу.

Открытие электромагнитного клапана приводит к уменьшению давления в управляющей камере 8, поднятию плунжера 9 под действием давления со стороны распылителя и впрыску топлива в цилиндр. При отключении электромагнита 3 сливное отверстие закрывается под действием возвратной пружины. Давление в управляющей камере повышается, и форсунка переходит в закрытое состояние. Применение электрогидравлического управления обусловлено необходимостью создания значительного усилия для быстрого открытия форсунки.

В системе Common Rail третьего поколения используются пьезофорсунки нового образца. Расположение пьезоэлемента в непосредственной близости к игле форсунки позволило увеличить скорость ее срабатывания, снизить массу и число подвижных деталей. Развитие систем непосредственного впрыска направлено на организацию ступенчатого открытия форсунки в зависимости от режима работы двигателя.

Исполнительные механизмы управления частотой вращения коленчатого вала на холостом ходу

Регулирование частоты вращения коленчатого вала на холостом ходу в ЭСАУ бензиновых двигателей осуществляется подачей дополнительного воздуха в обход дроссельной заслонки или управление ее положением.

В первом случае небольшое количество воздуха направляется во впускной коллектор в обход дроссельной заслонки. В этом канале устанавливается клапан регулировки оборотов холостого хода. При изменении количества воздуха, проходящего через клапан, частота вращения коленчатого вала также изменяется.

В системах K, L-Jetronic фирмы Bosch количество добавочного воздуха регулировалось заслонкой, управляемой биметаллической пластиной (рис. 6.26). Впоследствии стал применяться трехпроводной клапан регулировки холостого хода (рис. 6.27) Электродвигатель клапана вращается по или против часовой стрелки в зависимости от подключенной обмотки. БУ периодически переключает направление вращения двигателя, что предотвращает перемещение клапана в любое из крайних положений. Изменяя соотношение времени включения одной или другой цепи, БУ может установить клапан в любое требуемое положение.

В некоторых модификациях систем впрыска используется двухпроводной клапан управляемый электромагнитом с возвратной пруж-

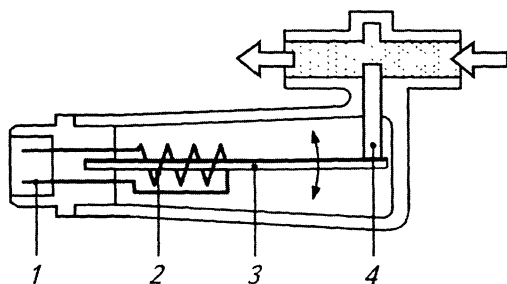


Рис. 6.26. Клапан добавочного воздуха:

1 – разъем; 2 – электронагревательный элемент; 3 – биметаллическая пластина; 4 – заслонка

жиной. БУ подает на электромагнит клапана управляющие импульсы напряжения с постоянной частотой (около 110 Гц). При включении электромагнит преодолевает усилие пружины и открывает клапан. Время открытого состояния клапана определяется скважностью импульса (т.е. относительным временем подачи напряжения). Чем больше скважность импульсов, тем большее количество воздуха пройдет через клапан. При неисправности электромагнита клапан останется в закрытом положении. Даже при полностью закрытом клапане, через него проходит небольшое количество воздуха для обеспечения базовой частоты вращения коленчатого вала на режиме холостого хода.

В современных системах для управления холостым ходом используются шаговые электродвигатели. Шаговый электродвигатель может использоваться для открытия-закрытия клапана, регулирующего поступление воздуха во впускной коллектор или ступенчатого перемещения дроссельной заслонки.

На рис. 6.28 представлен регулятор холостого хода с шаговым электродвигателем. На статоре электродвигателя размещены обмотки, имеющие четыре выхода. В продольных пазах ротора установлены постоянные магниты с чередующимся расположением полюсов. Управление двигателем ведется с помощью электрических импульсов различной полярности подаваемых на обмотки в определенной последовательности. Винтовая передача преобразует вращение вала в поступательное движение клапана.

Датчики для определения нагрузки двигателя

Одной из основных величин для расчета цикловой подачи топлива и угла опережения зажигания является нагрузка двигателя.

Для определения нагрузки двигателя используются следующие чувствительные элементы:

- датчик количества воздуха;
- нитевой датчик массового расхода воздуха;
- пленочный датчик массового расхода воздуха;
- датчик давления во впускной трубе;
- датчик положения дроссельной заслонки.

Датчик количества воздуха. Датчик устанавливается между воздушным фильтром и дроссельной заслонкой и производит измерение объема воздуха ($\text{м}^3/\text{ч}$), поступающего в двигатель (рис. 6.29). Проходящий поток воздуха отклоняет заслонку, противодействуя постоянной силе возвратной пружины. Угловое положение заслонки регистрируется потенциометром. Напряжение с него передается на блок управления, где производится его сравнение с питающим напряжением потенциометра. Это отношение напряжений является

мерой для поступающего в двигатель объема воздуха. Определение отношений напряжений в блоке управления исключает влияние износа и температурных характеристик сопротивлений потенциометра на точность. Чтобы пульсации проходящего воздуха не вели к колебательным движениям воздушной заслонки, она стабилизируется противовесной заслонкой. С целью учета изменения плотности поступающего воздуха при изменении температуры датчик расхода осна-

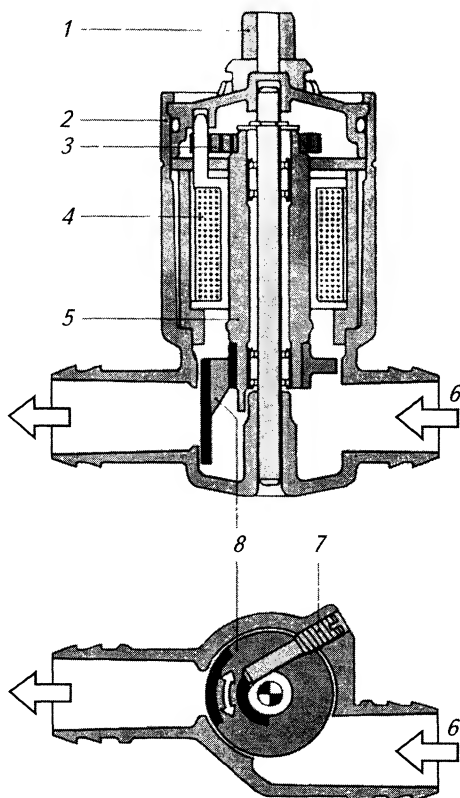


Рис. 6.27. Трехпроводной клапан регулировки холостого хода:

- 1 — разъем; 2 — корпус; 3 — возвратная пружина; 4 — обмотка; 5 — магнитопровод якоря; 6 — поток воздуха; 7 — регулируемый ограничитель; 8 — поворотная заслонка

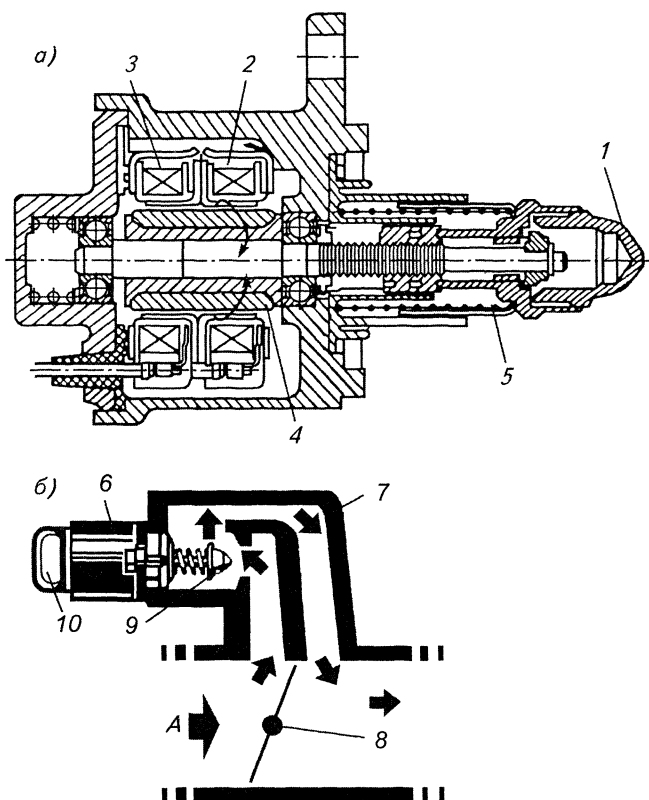


Рис. 6.28. Конструкция регулятора холостого хода с шаговым электродвигателем (а) и схема его работы (б):

1 – клапан; 2, 3 – обмотки шагового электродвигателя; 4 – ротор шагового электродвигателя; 5 – пружина; 6 – РХХ; 7 – дроссельный патрубок; 8 – дроссельная заслонка; 9 – клапан; 10 – разъем; А – поступающий воздух

щен терморезистором. По сопротивлению терморезистора проводится корректировка показаний датчика. Датчик количества воздуха долгое время был составной частью большинства систем Motronic и Jetronic, выпускаемых серийно. Согласно современным требованиям показания датчика расхода воздуха не должны зависеть от атмосферного давления, температуры пульсаций и обратного потока воздуха, возникающих при работе двигателя. Поэтому в настоящее время датчик количества воздуха с заслонкой заменен более совершенными датчиками массового расхода воздуха.

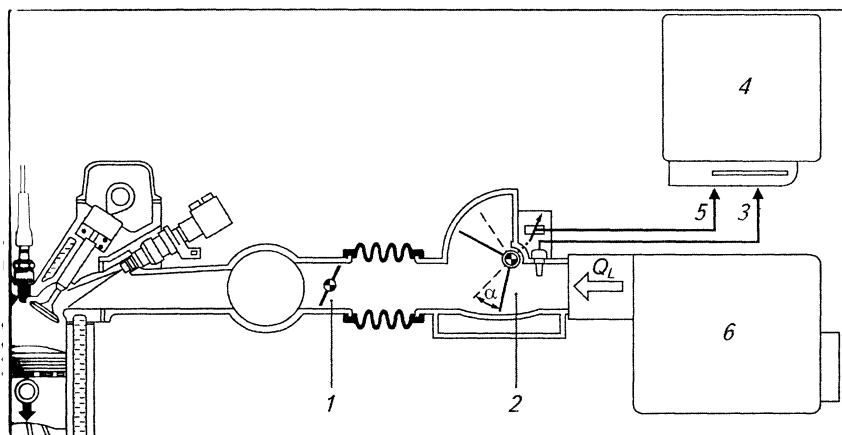


Рис. 6.29. Датчик расхода воздуха во впускной системе:
1 – дроссельная заслонка; 2 – датчик расхода воздуха; 3 – сигнал термопрезистора; 4 – блок управления; 5 – сигнал потенциометра; 6 – воздушный фильтр. Q_L – поступающий воздух; α – угол отклонения заслонки

Датчики массового расхода воздуха. Датчиками массового расхода воздуха называют нитевые или пленочные термоанемометрические датчики. Они устанавливаются между воздушным фильтром и дроссельной заслонкой и измеряют массу воздуха, поступающего в двигатель (кг/ч). Принцип действия обоих датчиков одинаков. В потоке поступающего воздуха находится электрически нагреваемое тело, которое охлаждается воздушным потоком.

Схема регулирования тока нагрева рассчитана таким образом, что всегда имеется положительная разность температуры измерительного тела относительно проходящего воздуха. В данном случае ток нагрева является мерой для массы воздушного потока. При таком методе измерения производится учет плотности воздуха, так как она также определяет величину теплоотдачи нагреваемого тела. Отсутствие в датчике подвижных частей делает его более надежным.

Нитевой датчик массового расхода воздуха. У данного датчика нагреваемым элементом является платиновая нить толщиной 70 мкм. Для учета температуры поступающего воздуха производится ее измерение встроенным компенсационным терморезистором. Нагреваемая нить и терморезистор включены в мостовую схему (рис. 6.30 – 6.32). Ток нагрева образует на прецизионном резисторе падение напряжения, пропорциональное массе проходящего воздуха. С целью предупреждения дрейфа за счет отложения загряз-

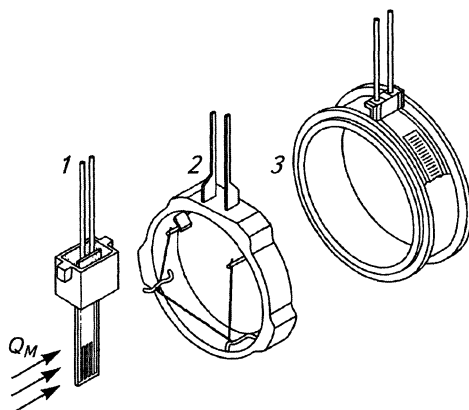


Рис. 6.30. Компоненты нитевого датчика массового расхода воздуха:
1 – компенсационный терморезистор; 2 – кольцо с нагреваемой нитью;
3 – прецизионный резистор; Q_M – поступающий воздух

нений на платиновой нити после отключения двигателя осуществляется ее нагрев «прожиг» в течение нескольких секунд до температуры, ведущей к испарению или осыпанию отложений и тем самым ее очистке.

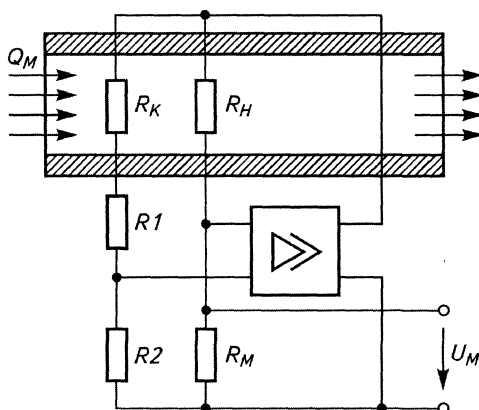


Рис. 3.31. Мостовая схема нитевого датчика массового расхода воздуха:
 R_H – нагреваемая нить; R_K – компенсационный терморезистор; R_M – прецизионный резистор; R_1 , R_2 – балансировочные резисторы; U_M – выходное напряжение; Q_M – поток воздуха

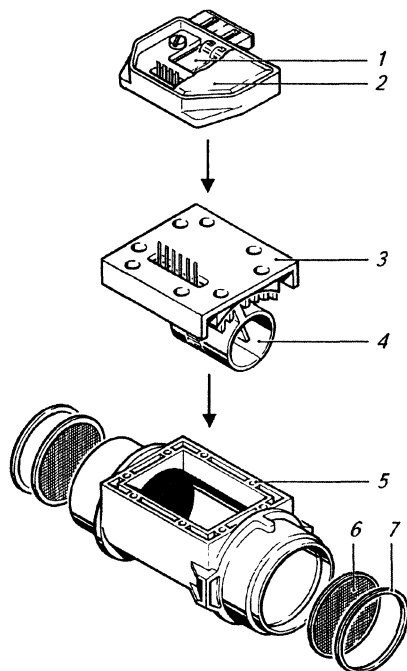


Рис. 6.32. Нитевой датчик массового расхода воздуха:

1 – электронный модуль; 2 – крышка; 3 – металлическая вставка; 4 – внутренняя труба с нагреваемой нитью; 5 – кожух; 6 – защитная решетка; 7 – стопорное кольцо

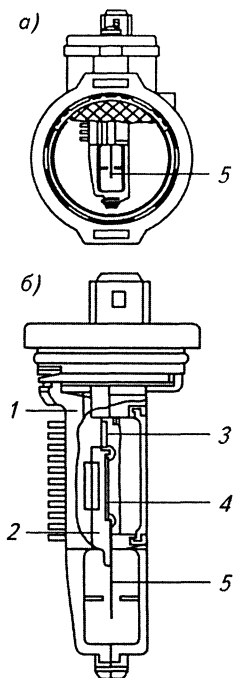


Рис. 6.33. Пленочный датчик массового расхода воздуха:

а – корпус; б – чувствительный элемент с нагреваемой пленкой (смонтирован в центре корпуса); 1 – радиатор; 2 – промежуточная деталь; 3 – силовой блок; 4 – электронный модуль; 5 – чувствительный элемент

Пленочный датчик массового расхода воздуха. У такого датчика нагреваемым элементом является пленочный платиновый резистор, который находится вместе с другими элементами мостовой схемы на керамической подложке (рис. 6.33 – 6.35).

Температура нагреваемого элемента измеряется терморезистором, который включен в мостовую схему. Раздельное исполнение нагревательного элемента и терморезистора удобно для организации управления. Для измерения температуры воздуха используется

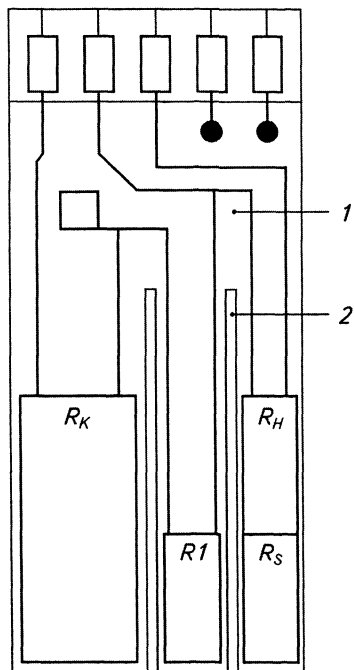


Рис. 6.34. Чувствительный элемент с нагреваемой пленкой:
 1 – керамическая подложка; 2 – паз; R_K – компенсационный терморезистор; R_1 – резистор моста;
 R_H – нагреваемый резистор;
 R_S – терморезистор

компенсационный терморезистор, также расположенный на подложке, но отделенный канавкой. Напряжение на нагреваемом элементе является мерой для массы воздушного потока. Это напряжение преобразовывается электронной схемой измерителя в напряжение, совместимое с блоком управления.

Стабильность показаний датчика сохраняется без «прожига». В связи с тем, что засорение происходит в основном на передней кромке датчика, установка основных элементов произведена по ходу потока так, что засорение не оказывает влияния на датчик.

Датчик давления во впускной трубе. Датчик давления во впускной трубе пневматически соединен с последней и замеряет абсолютное давление (кПа). Он изготавливается в виде встраиваемого в блок управления элемента или как отдельный датчик, который устанавливается вблизи или на самой впускной трубе. При применении встроенного датчика

соединение с впускной трубой производится шлангом. Датчик состоит из пневматической секции с двумя чувствительными элементами и схемы обработки сигнала, установленных на общей керамической подложке (рис. 6.36).

Чувствительный элемент представляет собой колоколообразную толстопленочную мембрану, которая образует камеру с образцовым внутренним давлением.

В зависимости от давления во впускной трубе мембрана прогибается на определенную глубину. На мембране установлены пьезорезисторы, проводимость которых меняется от механического напряжения (рис. 6.37).

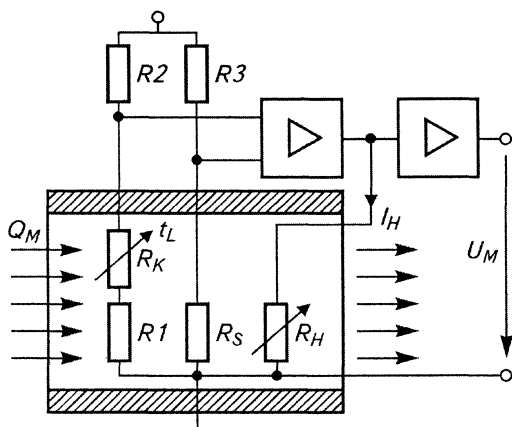


Рис. 6.35. Схема пленочного датчика массового расхода воздуха:
 R_K – компенсационный терморезистор; R_H – нагреваемый резистор;
 R_1, R_2, R_3 – резисторы моста; U_M – выходное напряжение; I_H – ток нагрева;
 t_L – температура воздуха; Q_M – поток воздуха

Пьезорезисторы включены по мостовой схеме, так что смещение мембраны вызывает напряжение рассогласования моста, которое является мерой давления во впускной трубе.

Блок обработки увеличивает напряжения моста, компенсирует влияние температуры и обеспечивает линейный выходной сигнал, пропорциональный давлению.

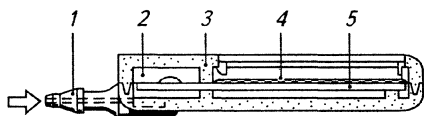


Рис. 6.36. Датчик давления; устанавливаемый в блок управления:
 1 – штуцер; 2 – камера под давлением с чувствительным элементом;
 3 – уплотнительная стенка; 4 – блок обработки; 5 – толстопленочная гибридная схема

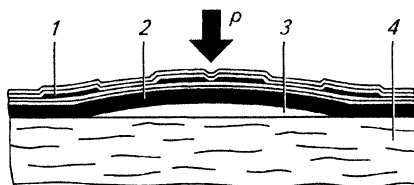


Рис. 6.37. Чувствительный элемент датчика давления:
 1 – пьезорезисторы; 2 – основная мембрана; 3 – камера образцового давления; 4 – керамическая подложка; P – давление

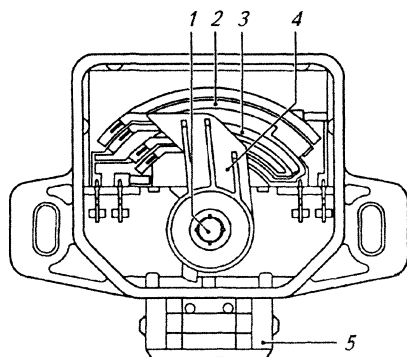


Рис. 6.38. Датчик положения дроссельной заслонки:

- 1 – ось дроссельной заслонки;
- 2, 3 – резисторные дорожки;
- 4 – рычаг с ползунком; 5 – штекер

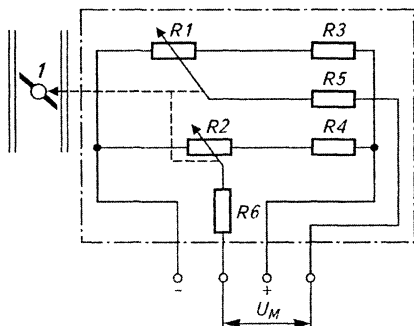


Рис. 6.39. Схема датчика дроссельной заслонки:

U_M – выходное напряжение; R_1 , R_2 – резисторные дорожки; R_3 , R_4 , R_5 , R_6 – балансирующие резисторы; 1 – дроссельная заслонка

Датчик положения дроссельной заслонки. Датчик положения дроссельной заслонки определяет угол ее поворота для расчета вспомогательного сигнала о нагрузке двигателя. Он позволяет получать дополнительную информацию для распознавания режимов (холостой ход, частичная и полная нагрузки) и может использоваться в качестве источника аварийного сигнала при выходе из строя основного датчика нагрузки. Обработка сигнала датчика в БУ позволяет рассчитывать не только положение, но и скорость перемещения педали управления дроссельной заслонкой. В большинстве систем датчик устанавливается на патрубке дроссельной заслонки и находится на одной оси с ней. Потенциометр замеряет угловое положение дроссельной заслонки и передает соотношение напряжений через резисторную схему на блок управления (рис. 6.38 и 6.39). Использование датчика дроссельной заслонки в качестве основного датчика нагрузки предъявляет повышенные требования к его точности, что достигается за счет установки двух потенциометров и усовершенствования опор вращения. Поступающая масса воздуха определяется блоком управления в зависимости от положения дроссельной заслонки и частоты вращения двигателя. Температурные колебания воздушной массы учитываются после обработки сигналов температурных датчиков.

В системах с электроуправляемой дроссельной заслонкой датчик располагается на педали управления топливоподачей.

**Датчики частоты вращения и положения
коленчатого и распределительного валов**

Датчик частоты вращения и положения коленчатого вала. Положение поршня в цилиндре является определяющим для расчета момента зажигания. Датчик на коленчатом валу выдает информацию о положении поршней всех цилиндров. Частота вращения коленчатого вала также рассчитывается по сигналу этого датчика. На коленчатом вале устанавливается магнитопроводящий зубчатый диск с расчетным числом зубьев 60, при этом 2 из них отсутствуют. Индуктивный датчик частоты вращения производит последовательный опрос этих 58 зубьев. Он состоит из постоянных магнитов и сердечника из мягкого железа с медной обмоткой (рис. 6.40). Провод, соединяющий датчик и БУ, выполняется экранированным. При прохождении зубьев через зону чувствительного элемента в нем изменяется магнитный поток.

В обмотке датчика индуцируется переменная ЭДС (рис. 6.41). Амплитуда переменного напряжения уменьшается при увеличении расстояния между датчиком и зубчатым диском и растет с увеличением частоты вращения. Достаточная амплитуда имеет место уже при минимальной частоте вращения (20 мин^{-1}). Геометрия зубьев и полюсов должны соответствовать друг другу. Блок управления формирует из синусоидального напряжения с сильно меняющейся амплитудой прямоугольное напряжение с постоянной амплитудой.

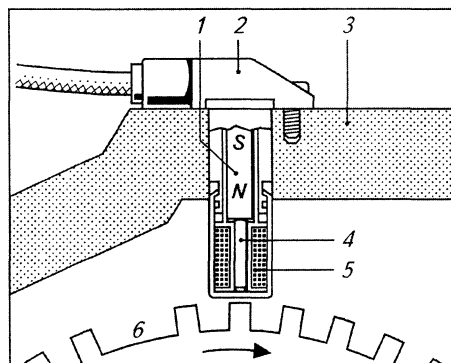


Рис. 6.40. Датчик положения коленчатого вала:

- 1 – постоянный магнит; 2 – корпус; 3 – картер двигателя; 4 – сердечник;
5 – обмотка; 6 – зубчатый диск с опорной меткой
(промежуток между зубьями)

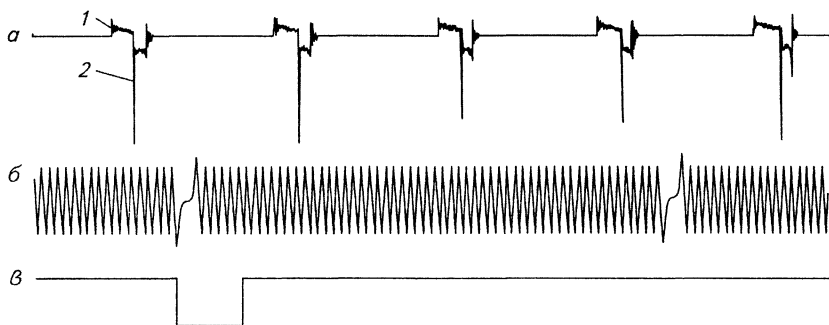


Рис. 6.41. Синхронизация сигналов зажигания; положения коленчатого и распределительного валов:

а – вторичное напряжение катушки зажигания; б – сигнал индукционного датчика положения коленчатого вала; в – сигнал датчика Холла положения распределительного вала; 1 – замкнутое состояние; 2 – зажигание

Боковые фронты прямоугольного напряжения передаются через вход прерываний на процессор. Если текущий период прохождения фронтов в два раза больше как предыдущего, так и последующего, то происходит распознавание опорного промежутка в зубьях. Он сопряжен с определенным положением коленчатого вала. Процессор производит в данный момент синхронизацию положения коленчатого вала. При каждом последующем положительном или отрицательном фронте от боковых кромок зубьев процессор производит дальнейший отсчет положения коленчатого вала на три градуса. Подача сигнала зажигания должна производиться с меньшими шагами. Период между двумя боковыми кромками зубьев разделяется, поэтому, на четыре отрезка. К каждой боковой кромке зуба можно привязать один, два или три таких отрезка времени (благодаря этому можно производить выдачу сигнала зажигания с шагом 0,75 градуса).

Датчик положения распределительного вала. Распределительный вал управляет впускными и выпускными клапанами двигателя. Частота его вращения в два раза ниже, чем частота вращения коленчатого вала.

При движении поршня в верхнюю мертвую точку распределительный вал определяет по положению впускных и выпускных клапанов, находится ли поршень в такте сжатия с последующим зажиганием или же в такте выпуска газов. Эту информацию, исходя из положения коленчатого вала, получить невозможно. Если система зажигания имеет высоковольтный распределитель, который меха-

нически связан с распределительным валом, то ротор распределителя определяет нужный цилиндр и информация о положении распределительного вала для выдачи сигнала зажигания блоку управления не нужна. В системах с распределением искр методом холостой искры и нефазированным впрыском топлива также достаточно сигнала от датчика положения коленчатого вала.

Информация о положении распределительного вала необходима, если реализуется индивидуальная установка момента впрыска топлива для каждого цилиндра, что имеет место при фазированном (последовательном) впрыске, а также при использовании системы зажигания с низковольтным распределением и индивидуальными катушками.

Для определения положения распределительного вала используется датчик на эффекте Холла. Датчик управляется шторкой из магнитопроводящего материала, закрепленной на распределительном валу.

Напряжение с датчика Холла имеет порядок милливольт, поэтому датчик формирует сигнал и передает его в блок управления в виде двоичного сигнала. В простейшем случае процессор проверяет наличие напряжения с датчика Холла и тем самым положение первого цилиндра в рабочем такте в момент прохождения опорного промежутка зубчатого диска. Специальные формы шторок позволяют использовать сигнал положения распределительного вала в качестве аварийного при повреждении датчика частоты вращения. Разрешающая способность сигнала датчика положения распределительного вала является недостаточной для его применения вместо датчика частоты вращения в нормальном режиме.

Датчик кислорода

Датчик кислорода (λ -зонд) регистрирует наличие кислорода в отработавших газах, что является прямым показателем качества рабочей смеси. Присутствие кислорода в отработавших газах характеризует бедную смесь $\alpha > 1$, отсутствие – богатую $\alpha < 1$. Применение датчика кислорода обусловлено необходимостью поддерживать стехиометрический состав рабочей смеси ($\alpha = 1$) для функционирования трехкомпонентного каталитического нейтрализатора. Датчик кислорода устанавливается в выпускной системе двигателя перед нейтрализатором. Иногда применяется второй датчик после нейтрализатора. Наружная поверхность датчика омывается отработавшими газами, а внутренняя сообщается с атмосферой. В настоящее время наибольшее распространение получили датчики на основе диоксида циркония ZrO_2 (рис. 6.42).

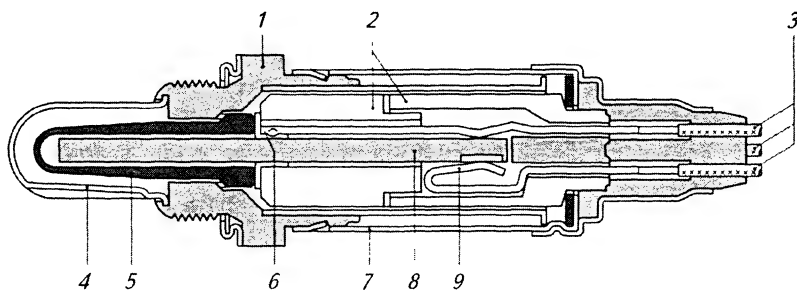


Рис. 6.42. Датчик кислорода с подогревом:

- 1 – корпус зонда; 2 – керамическая опорная трубка; 3 – подсоединительные провода; 4 – защитный колпачок с прорезями; 5 – чувствительный элемент; 6 – контакты; 7 – защитная гильза; 8 – нагревательный элемент; 9 – токоподводящая клемма нагревательного элемента

Датчик этого типа работает как химический источник ЭДС. Основание датчика – колпачок, спеченный из порошка диоксида циркония и выполняющий функцию твердого электролита (рис. 6.43). С внутренней и внешней стороны на колпачок нанесены электроды из пористой платины, имеющие электрические выводы. С внешней стороны датчик покрыт оболочкой из пористого алюминия, через который могут проникать отработавшие газы. При различии в концентрации кислорода между внутренней и наружной поверхностями датчика на платиновых электродах возникает разность потенциалов. Содержание кислорода в воздухе практически постоянно и составляет 21%. При работе двигателя на богатой рабочей смеси напряжение датчика около 900 мВ, на бедной – 50 мВ.

Сигнал датчика изменяется резко при незначительных изменениях концентрации кислорода (рис. 6.44). Однако проводимость керамического электролита при температуре ниже 150°C практически равна 0. Рабочая температура датчика, при которой обеспечивается необходимая скорость срабатывания, составляет 600°C. Предельно допустимая температура 850°C. Диапазон рабочих температур является определяющим при выборе места установки датчика в выпускной системе. Современные датчики оснащаются электроподогревом, включаемым по команде БУ.

Кабель, соединяющий БУ и датчик кислорода, выполняется экранированным. Корпус датчика полностью герметичен. Атмосферный воздух поступает к чувствительному элементу через зазоры изоляции проводов.

Датчик второго типа выполнен из титана и работает за счет изменения сопротивления чувствительного элемента датчика.

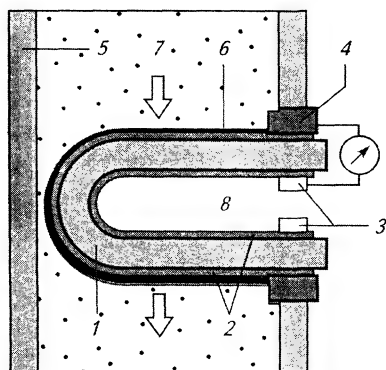


Рис. 6.43. Устройство датчика кислорода:

1 – диоксид циркония – твердый электролит; 2 – электроды из пористой платины; 3, 4 – контакты; 5 – выпускная труба; 6 – пористый защитный слой; 7 – отработавшие газы; 8 – атмосферный воздух

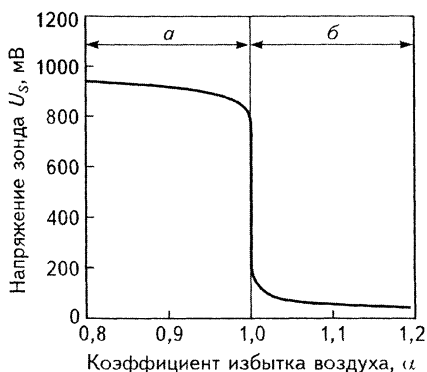


Рис. 6.44. Кривая напряжения датчика кислорода при рабочей температуре 600°C:
а – богатая смесь (недостаток воздуха);
б – бедная смесь (избыток воздуха)

Датчик отличается быстроедействием и устойчивостью к высокой температуре.

Датчики температуры

В ЭСАУ топливоподачей бензиновых и дизельных двигателей используются датчики температуры охлаждающей жидкости, воздуха, топлива, масла. В большинстве современных датчиков используются полупроводниковые терморезисторы с отрицательным температурным коэффициентом. Сопротивление такого элемента с ростом температуры уменьшается от десятков ом при -20°C до десятков килоом при 100°C . На рис. 6.45 показан датчик температуры двигателя.

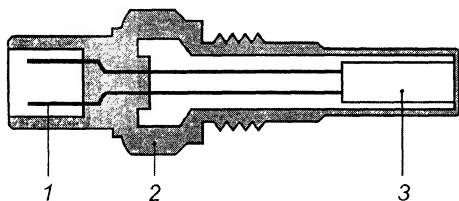


Рис. 6.45. Датчик температуры двигателя:
1 – разъем; 2 – корпус; 3 – терморезистор

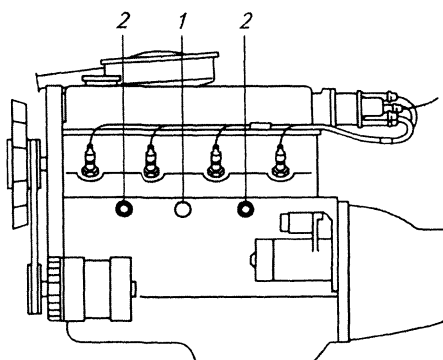


Рис. 6.46. Расположение датчика детонации на двигателе:
1 – датчик установлен между вторым и третьим цилиндрами; 2 – при наличии двух датчиков они установлены между двумя цилиндрическими группами

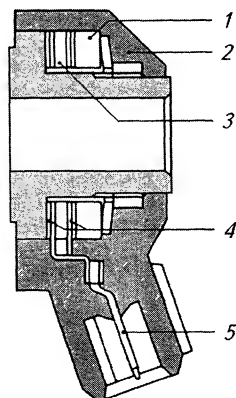


Рис. 6.47. Датчик детонации:
1 – инерционная шайба;
2 – корпус; 3 – пьезокерамика;
4 – обкладки с выводами;
5 – разъем

Датчик детонации

Для выбора оптимального угла опережения зажигания и при управлении наддувом используется датчик детонации. Расположение и количество устанавливаемых датчиков определяется исходя из особенностей конструкции двигателя. Обычно 4-цилиндровые рядные двигатели оснащаются одним датчиком детонации, 6-цилиндровые двумя, 8- и 12-цилиндровые – двумя и более (рис. 6.46). Чувствительный элемент датчика детонации выполняется из пьезокерамики (рис. 6.47). Напряжение на выходе датчика, пропорциональное уровню, шума по экранированному проводу подается в БУ. Обработка сигнала в БУ позволяет определять возникновение детонации в отдельном цилиндре двигателя.

Главное реле и реле бензонасоса

Для коммутации цепи питания ЭСАУ, цепи бензонасоса и других силовых цепей, например, подогрева датчика кислорода, вентилятора системы охлаждения двигателя, электропривода управления фазами газораспределения, используются внешние реле.

Главное реле и реле бензонасоса могут быть объединены в общий блок или применяются стандартные реле.

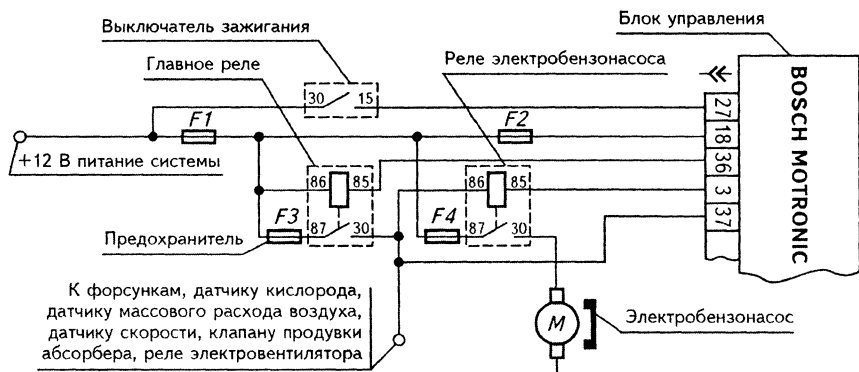


Рис. 6.48. Схема подключения главного реле и реле электробензонасоса на автомобиле ВАЗ 2110

На рис. 6.48 показана характерная схема подключения главного реле и реле топливного насоса.

После включения зажигания БУ подает питание на главное реле. Через контакты главного реле к «+» бортовой сети подключаются силовой вход питания БУ, форсунки, регулятор холостого хода, обмотка реле бензонасоса и др. После выключения зажигания в некоторых системах БУ оставляет питание на несколько секунд включенным для завершения работы и сохранения текущих настроек в энергонезависимой памяти.

Реле бензонасоса коммутирует цепь электродвигателя бензонасоса по сигналу БУ. Так, при включении зажигания БУ включает на несколько секунд реле бензонасоса, чтобы поднять давление топлива в системе для последующего пуска двигателя. Цепь питания бензонасоса остается разомкнутой до тех пор, пока коленчатый вал не начнет вращаться. В некоторых системах реле бензонасоса также коммутирует цепь подогрева датчика кислорода.

6.3. ЭЛЕКТРОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПОДВЕСКОЙ

Применяемые ЭСАУ подвеской предназначены для повышения безопасности и комфортабельности автомобиля путем автоматического изменения упругости рессор и сопротивления амортизаторов. Повышение безопасности движения достигается путем увеличения жесткости подвески при движении с большой скоростью по хорошим дорогам, что уменьшает крен автомобиля при поворотах и оседание при трогании с места, переключении передач и торможении.

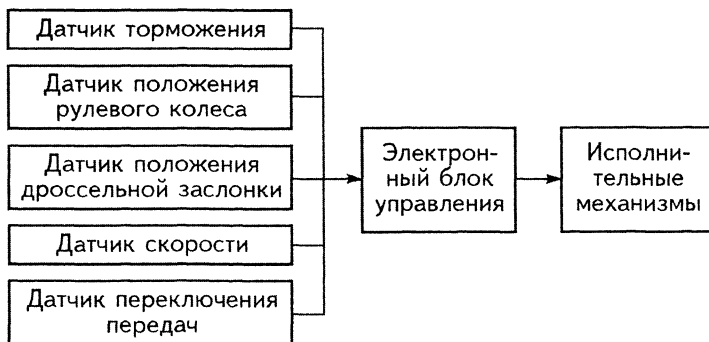


Рис. 6.49. Электронная система управления подвеской

нии. Повышение комфортабельности достигается путем уменьшения жесткости подвески при движении с небольшой скоростью, особенно по несовершенному покрытию. Кроме того, уменьшение крена и оседание кузова также способствуют повышению комфортабельности.

Система работает на основании информации, получаемой от датчиков, определяющих скорость, положение рулевого колеса, интенсивность торможения, угол открытия дроссельной заслонки. Предусматривается также ручное изменение режимов работы системы водителем.

Структурная схема системы показана на рис. 6.49. В качестве датчика скорости используется датчик спидометра, в качестве датчика торможения – выключатель стоп-сигнала. Устройство датчика положения дроссельной заслонки описано в подразделе 6.2.4. Датчик положения рулевого колеса представляет собой, как правило, получивший широкое распространение в робототехнике фотопрерыватель. Датчик состоит из неподвижных светодиода и фототранзистора, между которыми на рулевом валу закреплен диск с прорезями. При вращении рулевого колеса прорези попеременно открывают и закрывают фототранзистор. В моменты, когда фототранзистор открыт, он оказывается под действием светодиода и пропускает электрический ток. Когда диск перекрывает транзистор, ток прекращается. Таким образом, образуется цифровой сигнал, обрабатываемый электронным блоком управления.

В качестве привода, изменяющего силу сопротивления амортизатора, используется дискретный исполнительный механизм, осуществляющий ступенчатое изменение диаметра перепускного отверстия амортизатора при помощи электрического двигателя.

6.4. ЭЛЕКТРОННЫЕ АНТИБЛОКИРОВОЧНЫЕ СИСТЕМЫ

Оптимальное управление тормозной системой является важнейшим элементом обеспечения безопасности движения автомобиля. Новым этапом в длительном процессе совершенствования тормозов стало создание антиблокировочных систем (АБС), которые обеспечивают повышение активной безопасности автомобиля. Принцип, заложенный в конструкцию любой АБС, заключается в поддержании относительного скольжения тормозящих колес в узком диапазоне, при котором обеспечивается высокое значение коэффициента сцепления колес с дорожным полотном, в продольном и поперечном управлении автомобилем, что позволяет сохранить устойчивость и обеспечить высокую эффективность торможения.

В случае, когда передние колеса заблокированы, происходит потеря управляемости автомобилем. Если задние колеса заблокированы, то происходит потеря устойчивости автомобиля, особенно при торможении на дороге с разным коэффициентом сцепления.

АБС регулирует давление в тормозном приводе и не допускает блокировку колес, когда торможение выполняется с целью экстренной остановки. Это обеспечивает хорошую устойчивость автомобиля в направлении его движения при экстренном торможении.

У автомобилей с тормозными системами без АБС при торможении на заснеженной или обледенелой дороге устойчивость движения легко теряется, и чтобы не допустить этого водитель должен несколько раз быстро нажать и отпустить педаль тормоза при попытке остановиться.

При движении автомобиля с постоянной скоростью скорость автомобиля и окружная скорость колес одинаковы. Однако, когда водитель нажимает на педаль тормоза с целью замедления скорости движения автомобиля, окружная скорость колес постепенно уменьшается и уже больше не согласуется со скоростью кузова автомобиля, который движется под воздействием собственной инерции. Соотношение скорости движения автомобиля V_a и окружной скорости колес V_k определяется коэффициентом скольжения (S)

$$S = \frac{V_a - V_k}{V_a} \cdot 100\%.$$

Коэффициент скольжения, равный 0%, характеризует состояние, при котором колеса вращаются свободно без воздействия на них сопротивления трения. А коэффициент скольжения, равный 100%, имеет место в случае, когда колеса полностью заблокированы

и шины скользят по поверхности дороги.

Когда разница между окружной скоростью колес и скоростью движения автомобиля становится слишком большой, начинается скольжение шин по поверхности дороги. При этом создается сила трения скольжения, которая фактически действует как тормозное усилие, замедляющее автомобиль.

Соотношение между тормозной силой и коэффициентом скольжения S показано на рис. 6.50. Тормозная сила не обязательно пропорциональна коэффициенту скольжения, а максимального значения она достигает при значениях коэффициента скольжения от 10% до 30%. Увеличение коэффициента скольжения свыше 30% приводит к постепенному уменьшению тормозной силы.

Поэтому, чтобы тормозная сила была постоянно максимальной, коэффициент скольжения постоянно должен быть в пределах 10–30%. ABS должна поддерживать именно такой коэффициент скольжения, чтобы обеспечить максимальные тормозные характеристики независимо от дорожных условий.

На неровных или на гравийных дорогах, либо на дорогах покрытых снегом, действие ABS может привести к увеличению тормозного пути по сравнению с тормозным путем автомобиля, не оборудованного ABS, но автомобиль, оборудованный ABS, сохраняет управляемое движение при торможении и уменьшается износ шин.

В состав ABS входят:

- датчики;
- электронный блок управления (БУ), получающий информацию от датчиков, обрабатывающий ее и подающий команду на исполнительные механизмы;
- исполнительные механизмы (модуляторы давления рабочего тела).

Для поддержания требуемого скольжения необходимо знать значения линейной скорости автомобиля в каждый момент времени и угловую скорость тормозящего колеса.

Основную трудность представляет замер линейной скорости автомобиля. Непосредствен-

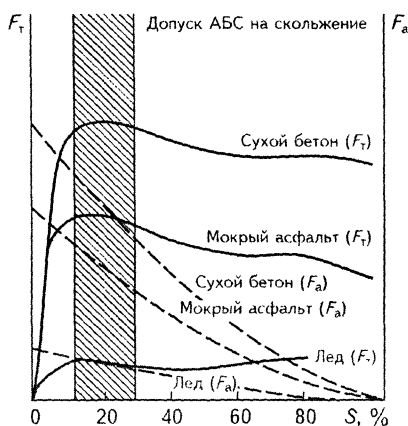


Рис. 6.50. Зависимость тормозной силы F_T и боковой силы F_A от коэффициента скольжения S

ный замер скорости автомобиля возможен только локационными методами, которые для этих целей пока недостаточно разработаны.

В настоящее время линейную скорость автомобиля определяют косвенным путем, например по линейному замедлению с помощью деселерометра. Однако гораздо чаще для определения скорости автомобиля используют датчики угловой скорости колеса.

В блоке управления производится сравнение линейной скорости автомобиля с окружной скоростью колеса. При достижении величины заданного относительного скольжения (порогового значения) блоком управления подается команда исполнительному механизму.

В большинстве АБС замер угловой скорости колеса производится индуктивно-частотными датчиками. Датчик состоит из ротора в виде зубчатого диска (или перфорированного кольца), закрепленного на колесе, и катушки индуктивности, установленной неподвижно с некоторым зазором относительно зубцов диска.

Регулирование только по относительному скольжению не может обеспечить оптимальных характеристик торможения. При таком принципе регулирования (так называемом алгоритме функционирования) не обеспечивается адаптивность, в первую очередь, к изменению дорожных условий (коэффициенту сцепления шин с дорогой).

В АБС используются следующие принципы регулирования:

- по величине замедления тормозящего колеса;
- по величине угловой скорости тормозящего колеса;
- по величине относительного скольжения;
- по давлению рабочего тела (жидкости или воздуха).

В подавляющем большинстве случаев применяется регулирование тормозящего колеса по замедлению и скольжению.

Исполнительные механизмы (модуляторы) АБС могут иметь различное устройство: клапанное, золотниковое, диафрагменное, смешанное. Модуляторы по командам блока управления изменяют давление рабочего тела в тормозных цилиндрах, а в некоторых конструкциях поддерживают определенное время давление постоянным.

Различают модуляторы, работающие по двухфазовым (сброс – увеличение давления) и трехфазовым (сброс – выдержка – увеличение давления) рабочим циклам. Современные модуляторы часто имеют усложненный рабочий цикл. Например, фаза увеличения или уменьшения давления состоит из нескольких этапов, отличающихся темпом изменения давления.

От частоты, с которой модулятор может осуществлять рабочий цикл, зависит диапазон регулирования относительного скольжения (буксования) колеса, а следовательно, в известной мере, и качест-

во работы АБС. Модуляторы гидравлического тормозного привода АБС обеспечивают частоту циклов 4...12 Гц.

Принцип действия системы и типы АБС

В случае экстренного торможения датчики угловой скорости колес отмечают любые изменения их числа оборотов.

Электронный блок управления (БУ) АБС рассчитывает окружную скорость колес и любые изменения этой скорости, затем рассчитывает, исходя из этого, скорость автомобиля. После этого БУ выдает команду исполнительным механизмам обеспечить оптимальное давление тормозной жидкости, в каждом тормозном цилиндре.

Модуляторы работают по команде от БУ, уменьшая или увеличивая давление, или поддерживая давление на постоянном уровне, если это необходимо, для сохранения оптимального коэффициента скольжения (10–30%) и предотвращения блокировки колес.

В настоящее время принимаются следующие разновидности АБС: АБС с трехпозиционными электромагнитными клапанами, которые управляют давлением в три этапа; АБС, в которых объединяются действия двухпозиционных электромагнитных клапанов и калиброванных отверстий для управления давлением; АБС, в которых для управления давлением в цилиндрах тормозов используется давление, создаваемое в системе гидроусилителя рулевого управления.

Из различных типов АБС рассмотрим особенности устройства и работы наиболее популярной в настоящее время АБС (рис. 6.51), в которой управление давлением осуществляется модуляторами с трехпозиционными электромагнитными клапанами.

Регулирование частоты вращения колес при торможении осуществляется при помощи БУ. БУ постоянно принимает сигналы числа оборотов колес от четырех датчиков (КД) и оценивает скорость автомобиля путем вычисления окружной скорости и замедления каждого колеса.

При нажатии на педаль тормоза давление тормозной жидкости в каждом тормозном цилиндре увеличивается, и частота вращения колес начинает падать. Если какое-либо колесо находится на грани блокировки, БУ уменьшает давление жидкости в тормозном цилиндре этого колеса.

На рис. 6.52 представлена зависимость скорости V_a и V_k , ускорения g колеса, тока I_w , подаваемого на электромагнитный клапан и давления P тормозной жидкости в рабочем цилиндре привода – от продолжительности t процессов торможения.

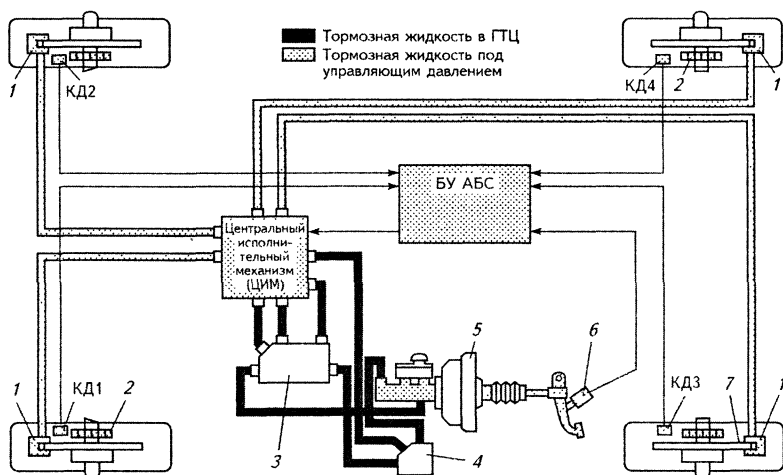


Рис. 6.51. Схема тормозного привода АБС:

1 – колесный тормозной цилиндр; 2 – ротор датчика; 3 – распределитель давления; 4 – тройник; 5 – главный тормозной цилиндр (ГТЦ); 6 – выключатель АБС; 7 – тормозной диск

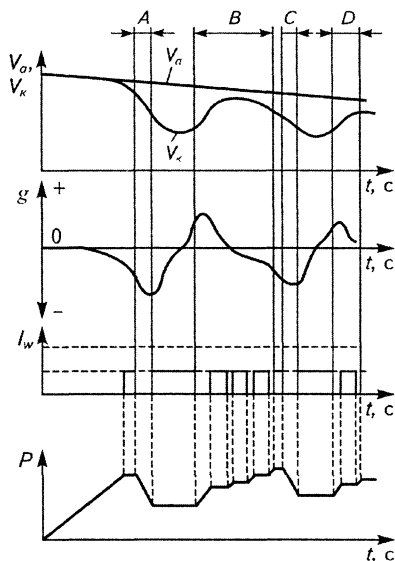


Рис. 6.52. Зависимость скоростей V_a и V_k , ускорения колеса g , тока I_w соленоида электромагнитного клапана и давления P тормозной жидкости в рабочем цилиндре привода – от продолжительности t процессов торможения

Участок А. БУ устанавливает модулятор с трехпозиционным электромагнитным клапаном в режим «снижение давления» в соответствии со степенью замедления колес, что вызывает уменьшение давления жидкости в цилиндре.

После падения давления БУ переключает модулятор клапана в режим «удержание» для определения изменений частоты оборотов колеса. Если БУ определит, что давление необходимо понизить еще больше, оно будет снижено снова.

Участок В. Когда давление жидкости в цилиндре тормоза снижается (участок А), тормозное усилие, создаваемое тормозным механизмом, уменьшается. Это позволяет колесу, которое было на грани блокировки, увеличить число оборотов. Однако, если давление удерживается низким, тормозной момент механизма, действующий на колесо, будет слишком мал. Для предотвращения этого БУ устанавливает модулятор попеременно в режимы «увеличение давления» и «удержание», при этом колесо, бывшее на грани блокировки, восстанавливает частоту вращения.

Участок С. Со временем, когда давление в тормозном цилиндре постепенно увеличивается по команде БУ (участок В), снова возникает вероятность блокировки колеса. Поэтому БУ снова переключает модулятор в режим «снижение давления» для понижения давления в тормозном цилиндре.

Участок D. Поскольку давление в цилиндре колесного тормозного механизма снова снижено (участок С), БУ опять начинает увеличивать давление, как на участке В.

На рис. 6.53 приведена принципиальная электрическая схема системы АБС (фирмы Bosch), в которой главным компонентом является электронный блок управления.

БУ конструктивно выполнен на полупроводниках и микросхемах, заключен в герметичный кожух, который устанавливается либо в салоне, либо в багажнике автомобиля.

С внешними устройствами и бортовой электросетью БУ связан многоконтактным разъемом.

К внешним входным устройствам БУ относятся:

- колесные датчики – 4 шт.;
- датчик замедления (только для полноприводных автомобилей);
- датчик отказа сигнала торможения;
- датчик тормозной педали (выключатель системы АБС);
- датчик аварийного уровня тормозной жидкости;
- датчик стояночного тормоза;

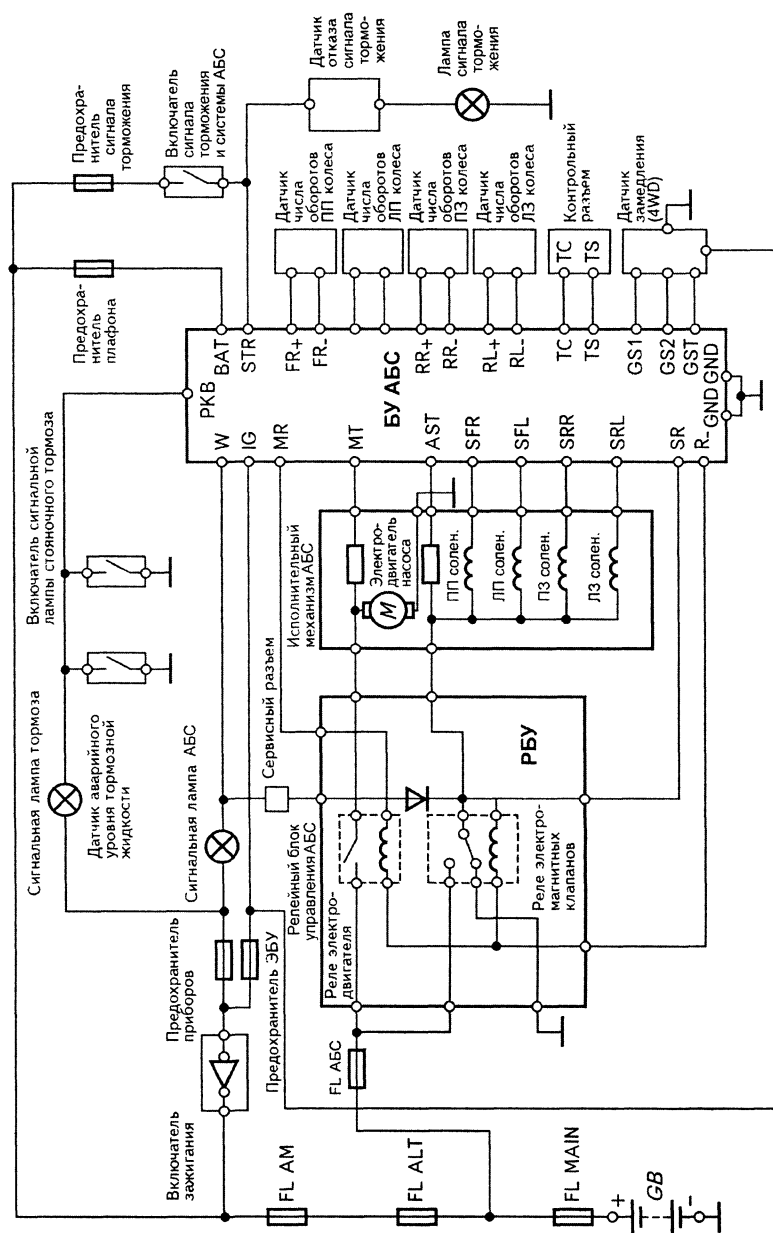


Рис. 6.53. Принципиальная электрическая схема системы АБС (фирмы Bosch)

– предохранители – 8 шт.

К внешним выходным (исполнительным) устройствам БУ относятся:

– релейный блок управления (РБУ). Внутри РБУ установлены два реле с «сухими» контактами. Одно для включения электродвигателя гидронасоса, другое для включения и переключения электромагнитных соленоидов (ПП – правый передний, ЛП – левый передний, ПЗ – правый задний, ЛЗ – левый задний) рабочих гидроклапанов системы АБС;

– модулятор АБС с рабочими гидроклапанами и с электрическим гидронасосом. Каждый рабочий гидроклапан управляется с помощью электромагнитного соленоида, а соленоиды – от электрических сигналов БУ;

– сигнальная лампа АБС. Предназначена для контроля за исправностью системы;

– сервисный разъем для вывода кодов неисправностей системы АБС;

– контрольный разъем для стендовой диагностики.

БУ работает следующим образом. При включении зажигания на контактах *IG* и *BAT* устанавливается напряжение аккумуляторной батареи *GB*. При этом на 3 с загорается контрольная лампа АБС.

Если один из предохранителей *MAIN*, *ALT*, *AM* или лампа АБС перегорают, система АБС не включается.

После пуска ДВС и разгона автомобиля до скорости более 6 км/ч в БУ отработывается функция первичного контроля. При этом выключатель сигнала торможения на педали тормоза должен быть разомкнут. Если в системе все исправно, то загорается лампа контроля сигнала торможения, а на лампу АБС подается код готовности системы АБС к работе. При достижении автомобилем скорости более 6 км/ч обе лампы гаснут. Если в АБС есть неисправность, то в системе отработывается функция самодиагностики и лампа АБС начинает мигать.

В АБС предусмотрена и функция надежности. Эта функция проявляется при появлении любой неисправности. В таком случае сигналы управления от БУ на модулятор АБС не подаются, а тормозная система автомобиля начинает работать без АБС.

Следует отметить, что сигналы БУ низкопотенциальные (поступают от микросхем), а сигналы от РБУ к исполнительному механизму АБС силовые. Напряжение на соленоиды гидроклапанов в режиме снижения давления подается непосредственно от аккумуляторной батареи. Так формируется прямой ток соленоида 5 А. При этом контакты *SFR*, *SFL*, *SRR*, *SRL* через мощные транзисторы в БУ замыкаются на «массу».

В режиме «удержания давления» через соленоиды протекает обратный ток 2 А (см. рис. 6.53). При этом в соленоидах направление магнитного потока изменяется на противоположное. Это способствует быстрому срабатыванию гидроклапанов при меньшем токе управления и фиксирует их в заданном для данного режима положении.

Если в тормозной системе автомобиля срабатывает датчик аварийного уровня тормозной жидкости, или введен в действие стояночный тормоз, то БУ выключается (от закорачивания на «массу» контакта РКВ).

В настоящее время на современных автомобилях начали устанавливаться электрогидравлические тормоза. На рис. 6.54 приведена одна из таких схем.

На рис. 6.55 показана динамика срабатывания электрогидравлических тормозов и современных гидравлических тормозов системы АБС.

«Развязка» педали тормоза и рабочей гидравлики тормозной системы – следующий шаг после внедрения «электронных» педаль газа. Нажимая педаль тормоза, водитель только посылает команду блоку управления. А давление (150 бар) в тормозной системе теперь создает гидронасос. В чем преимущества электрогидравлических тормозов? Во-первых, сокращается время срабатывания. Обычные тормозные

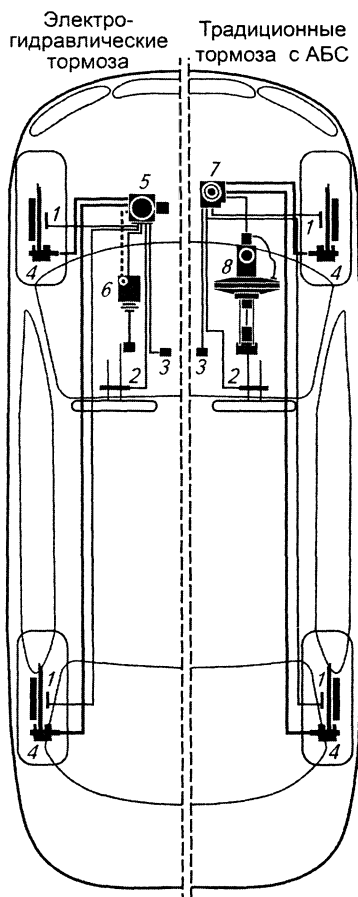


Рис. 6.54. Сравнение традиционных и электрогидравлических тормозов:

1 – датчик частоты вращения колеса; 2 – датчик угла поворота руля; 3 – датчик поперечного ускорения; 4 – тормозной суппорт; 5 – электрогидравлический блок управления; 6 – электронная педаль тормоза со вспомогательным гидроцилиндром; 7 – распределительный блок АБС; 8 – главный тормозной цилиндр

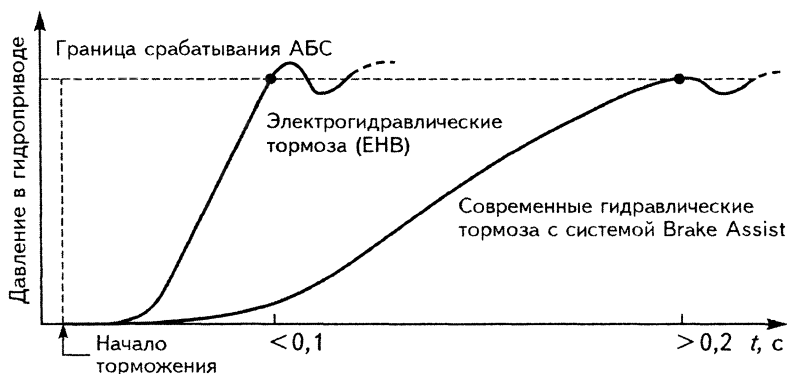


Рис. 6.55. Динамика срабатывания тормозов

системы выходят на максимальное давление минимум через 0,2 с, даже с помощью популярных нынче систем, типа Brake Assist, а электрогидравлические тормоза способны создать то же давление менее чем за 0,1 с. Во-вторых, происходит более точное распределение тормозных сил между колесами. В-третьих, такая система более гибко коммутируется с АБС и различными системами стабилизации движения. В-четвертых, на педали не чувствуется пульсации при срабатывании АБС, характерной для современных гидромеханических тормозных систем. В-пятых, отпадает необходимость в вакуумном усилителе, что особенно актуально для автомобилей с дизельными двигателями. К тому же ход педали тормоза, усилие на ней, ее расположение и кинематику теперь можно будет выбирать только с точки зрения эргономики.

Все системы АБС имеют функцию диагностики. Диагностика может осуществляться сигнальной лампой в комбинации приборов или при помощи специализированного оборудования, подключаемого к диагностическому разъему системы АБС.

Способы диагностирования

Диагностика неисправностей АБС без использования специализированной аппаратуры (АБС 2S фирмы Bosch). Для автомобилей, оборудованных АБС фирмы Bosch, в случаях, когда при появлении неисправностей сигнальная лампа в комбинации приборов не загорается, следует прежде всего определить, где возникла неисправность: в системе тормозов или в АБС. Для этого выключить реле питания АБС и проверить работу системы при движении автомобиля.

Глава 6. Электронные системы автоматического управления

Возможные состояния контрольной лампы в комбинации приборов указаны в табл. 6.1.

Таблица 6.1.

Операции проверки	Состояние сигнальной лампы	
	Исправна	Неисправна
Выключение зажигания	Не горит	Горит
Включение зажигания, без пуска двигателя	Не горит	Загорается на 0,5 с, затем гаснет
		Не горит
Пуск двигателя	Не горит	Загорается через 20 с
		Горит
		Мигает
Проверка на ходу автомобиля, применяя аварийное торможение	Не горит	Загорается
		Горит
		Мигает

Если отмеченная неисправность сохраняется, то причина может быть не связана с АБС, тогда проверяют состояние тормозных колодок, главного тормозного цилиндра, шлангов и трубопроводов тормозной системы суппортов и т. п.

Диагностика при помощи специализированных приборов. Рассмотрим один из них. Прибор KTS500 фирмы Bosch присоединяют непосредственно к БУ с помощью разъема для диагностики. После подключения прибора можно получить доступ к информации, имеющейся в памяти БУ (постоянные и периодически появляющиеся неисправности), а также проверять работу управляющих органов АБС (электромагнитных клапанов). С помощью прибора можно стирать данные в накопителях памяти БУ.

Данные о БУ и параметры системы (частота вращения колес и др.) высвечиваются на дисплее на жидких кристаллах.

С левой стороны прибор имеет строчный индикатор, на котором высвечиваются данные о наличии неисправностей в электрической и электронной частях АБС (короткие замыкания, нарушение изоляции и целостности проводов, несоответствие тока питания и нарушения функционирования БУ, реле электромагнитных клапанов, датчиков).

Напротив строчного индикатора крепится соответствующая проверяемой системе диагностическая карта, по которой определяют неисправности. Значения данных строчного индикатора и порядок работы изложены в инструкциях по ремонту или в памятках по диагностике, прилагаемых к прибору.

6.5. ГИДРОМЕХАНИЧЕСКАЯ ПЕРЕДАЧА С ЭЛЕКТРОННЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Гидромеханическая передача (ГМП) с электронным управлением предназначена для применения на автобусах. Ее использование облегчает работу водителя, особенно при движении в городских условиях. Применение электронного управления упрощает конструкцию гидравлических и механических элементов передачи, повышает надежность системы в целом и позволяет оптимизировать закон переключения передач, обеспечивая тем самым снижение расхода топлива.

В ГМП входят (рис. 6.56):

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

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

КУ – контроллер управления – ступенчатый переключатель на пять положений;

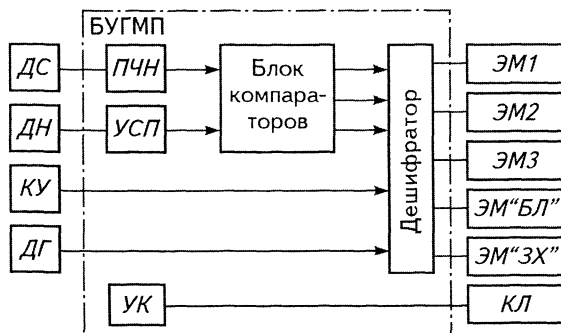


Рис. 6.56. Функциональная схема ГМП

ДГ – контактный датчик включения гидрозамедлителя;

БУГМП – электронный блок управления;

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

КЛ – контрольная лампа индикации аварийного режима.

Сигнал датчика скорости *ДС* поступает в преобразователь частоты в напряжение (*ПЧН*), где преобразуется в сигнал постоянного тока, напряжение которого пропорционально частоте входного сигнала. Напряжение с выхода *ПЧН* подается на вход блока компараторов. Этот блок содержит три компаратора, сигнальные входы которых объединены.

Опорным сигналом для компараторов является сигнал, формируемый в устройстве сдвига порогов *УСП*. Каждый из компараторов настроен таким образом, что при увеличении (или уменьшении) скорости автобуса происходит поочередное переключение компараторов. При срабатывании первого компаратора формируется команда на включение второй передачи.

Второй и третий компараторы соответственно формируют команды на включение третьей передачи и блокировки *БЛ* гидротрансформатора. Отсутствие сигналов на входах компараторов свидетельствует о включении первой передачи. Устройство сдвига порогов изменяет пороги срабатывания компараторов в зависимости от положения датчика нагрузки двигателя. При увеличении нагрузки переключение компараторов будет происходить при больших скоростях движения автобуса.

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

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

6.6. ЭЛЕКТРОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЕМ ФАР

Стандартами, принятыми во всех странах, определены границы освещенной зоны при ближнем свете. Если по каким-либо причинам граница освещенной зоны приближается к автомобилю, то видимость дороги ухудшается. Если же граница освещенной зоны удаляется, то ухудшаются условия видимости для водителей встречных автомобилей. Практика показала, что граница освещенной зоны при ближнем свете может значительно изменяться в зависимости от нагрузки автомобиля. На рис. 6.57 показана эта зависимость для легкового автомобиля средних размеров с классической компоновкой (двигатель впереди, багажник сзади).

Положения границы освещенной зоны, соответствующие различным нагрузкам, получены на экране, расположенном на расстоянии 10 м. Основная регулировка соответствует тому случаю, когда в автомобиле находится только водитель. Варианты нагрузки: 1 – автомобиль без нагрузки; 2 – 6 – соответственно 1...5 чел.; 5...7 чел. и максимальная загрузка багажника; 8 – водитель и 100 кг багажа; 9 – водитель и загрузка багажа до максимальной нагрузки на ось.

Чтобы снизить влияние нагрузки на границу освещенности, были сделаны попытки устанавливать фары в соответствии с наиболее часто встречающимися режимами нагрузки. Однако существенное улучшение условий освещения обеспечивают лишь системы регулирования, поддерживающие почти неизменную границу освещенной зоны при изменениях нагрузки.

На рис. 6.58 показана функциональная схема системы, регулирующей положение фар фирмы Bosch. Индуктивные датчики 1 воспри-



Рис. 6.57. Изменение границы освещенной зоны автомобиля при ближнем свете в зависимости от нагрузки автомобиля:

I – положение границы освещенной зоны; II – граница при основной регулировке

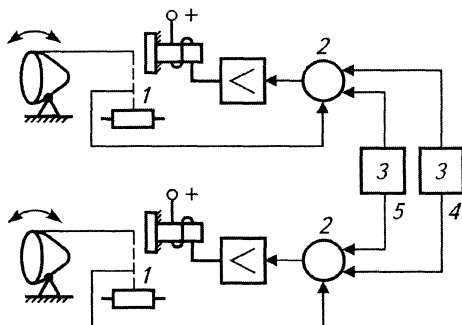


Рис. 6.58. Функциональная схема системы, регулирующей положение фар фирмы Bosch:

1 – индуктивные датчики; 2 – элементы сложения сигналов; 3 – задатчики эталонного сигнала; 4 и 5 – соответственно задний и передний мосты

нимают перемещение переднего 5 и заднего 4 мостов относительно кузова.

Полученный электрический сигнал, характеризующий действительное положение моста относительно кузова, сравнивается с эталонным сигналом, установленным с учетом технических требований. Сигнал рассогласования, полученный в элементе сложения, усиливается и поступает к биметаллическому исполнительному органу. В зависимости от рассогласования биметаллический элемент нагревается и с помощью рычажной передачи поворачивает корпус фары вокруг нижней точки крепления. Система регулирования устроена так, что положение фар не изменяется под воздействием колебаний ходовой части и кузова, возникающих из-за неровностей дороги. Добиться этого сравнительно легко, так как помеховые напряжения, имеющие высокую частоту, хорошо отделяются.

Различные автоматические регуляторы положения фар отличаются от рассмотренной системы лишь конструкцией отдельных элементов.

6.7. АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ СТЕКЛООЧИСТИТЕЛЕМ

Увеличивающаяся интенсивность движения на автомобильных дорогах делает все более сложным управление автомобилем, особенно на высоких скоростях. Поэтому любое облегчение труда водителя положительно сказывается на безопасности дорожного движения.

Серьезной помехой работе водителя является загрязнение лобового стекла, особенно при незначительной интенсивности осад-

ков, когда водителю приходится периодически включать и выключать стеклоочиститель, отвлекаясь от управления автомобилем. Существующие уже достаточно долгое время электронные устройства «Пауза», позволяющие плавно изменять промежутки времени между срабатываниями стеклоочистителя, рассчитаны на работу при слабом дожде и не включают стеклоочиститель при загрязнении лобового стекла мелкими частицами грязной воды от встречных и попутных автомобилей. При этом водитель включает стеклоомыватель вручную.

С целью автоматизации очистки стекла в нашей стране и за рубежом разработаны различные автоматические системы управления стеклоочистителем (АСУС) и стеклоомывателем. Функциональная схема отечественной системы показана на рис. 5.59, а оптическая схема оптоэлектронного датчика на рис. 6.60.

Используемый для информирования системы о состоянии лобового стекла 2 оптоэлектронный датчик состоит из полупроводниковых светодиода ИИ и фотодиода ФП, собирающих линз Л1 и Л2, призм 1 и 3, светоотражающего покрытия 4. Датчик располагается внутри автомобиля на лобовом стекле в районе зеркала заднего вида. Сигналы от генератора импульсов ГИ (см. рис. 6.59) через делитель У1 и полупроводниковый светодиод ИИ поступают на контролируемое стекло. При попадании на лобовое стекло частиц грязи

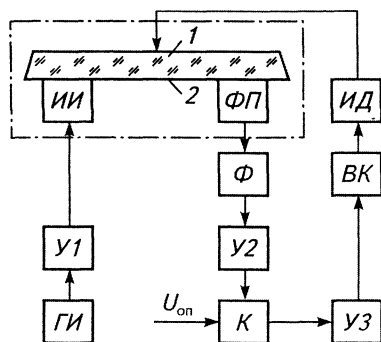


Рис. 6.59. Функциональная схема АСУС, обеспечивающая контроль в поддержание чистоты одной из поверхностей стекла:

- 1 – контролируемое стекло;
2 – светоотражатель

и воды отражающая способность лобового стекла изменяется и фотодиод ФП через фильтр Ф и усилитель тока У2 подает сигнал на компаратор К, который в свою очередь через усилитель тока У3 и коммутатор ВК обеспечивает включение стеклоочистителя ИД. Такая система позволяет очищать только наружную поверхность стекла.

Однако внутренняя поверхность стекла также подвержена загрязнению (например, запотеванию). Система, функциональная схема которой показана на рис. 6.61, позволяет контролировать чистоту как внешней, так и внутренней поверхностей стекла.

Оптоэлектронный датчик такой системы включает в себя два фотодиода $\Phi П1$ и $\Phi П2$, управляющие отдельными каналами схемы. Для очистки внутренней поверхности стекла от запотевания включается управляющее воздействие $ИД2$, заключающееся в его обогреве (обдуве). Элемент $Д$ на схеме – делитель напряжения.

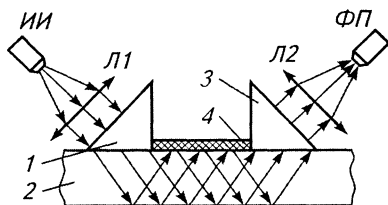


Рис. 6.60. Оптическая схема оптоэлектронного датчика

6.8. АВТОМАТИЧЕСКАЯ БЛОКИРОВКА ДВЕРЕЙ

На многих современных автомобилях устанавливается система автоматической блокировки дверей, повышающая безопасность и удобство эксплуатации автомобиля. Повышение безопасности движения обеспечивается путем подачи водителю светового или звукового сигнала при попытке начать движение с незакрытыми дверями. Кроме того, система не позволяет открыть двери на ходу, автоматически блокируя дверные замки. Система автоматической блокировки дверей позволяет закрыть замки всех дверей, крышки багажника и лючка бензобака путем нажатия кнопки с места водителя или снаружи автомобиля дистанционно. При этом автоматически включается охранная сигнализация. Дистанционное отпирание дверей осуществляется при помощи инфракрасного «ключа», лучом от которого достаточно осветить специальный датчик на лобовом стекле автомобиля. В случае попытки открыть автомобиль лицами, не имеющими соответствующего «ключа», срабатывает охранная сигнализация.

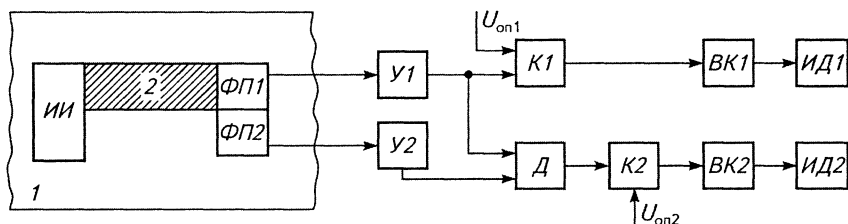


Рис. 6.61. Функциональная схема АСУС, обеспечивающая одновременный контроль и поддержание чистоты наружной и внутренней поверхностей стекла:

1 – контролируемое стекло; 2 – светоотражатель

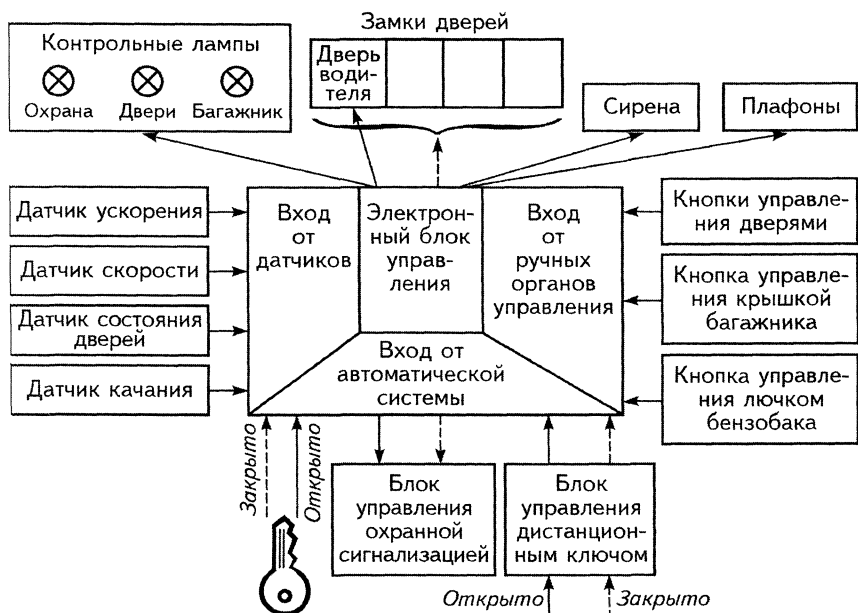


Рис. 6.62. Структурная схема системы автоматической блокировки дверей

Система автоматической блокировки дверей (рис. 6.62) состоит из электронного блока управления, органов управления, датчиков и исполнительных механизмов.

Электронный блок связан с блоками управления охранной сигнализацией и дистанционным «ключом». Управление отпиранием и запираемостью дверей он осуществляет по сигналам дистанционного или традиционного механического «ключа», а также кнопок управления, расположенных внутри автомобиля.

Кроме того, электронный блок управления получает сигналы от следующих датчиков:

- датчик ускорения – сигнализирует об аварийном ускорении автомобиля, требующем выключения блокировки дверей (например, при аварии);
- датчик скорости – подает сигнал о начале движения;
- датчики состояния дверей – сигнализируют об открытии (неполном закрытии) дверей, крышки багажника, лючка бензобака;
- датчик качания – срабатывает при попытке злоумышленников совершить кражу колес автомобиля.

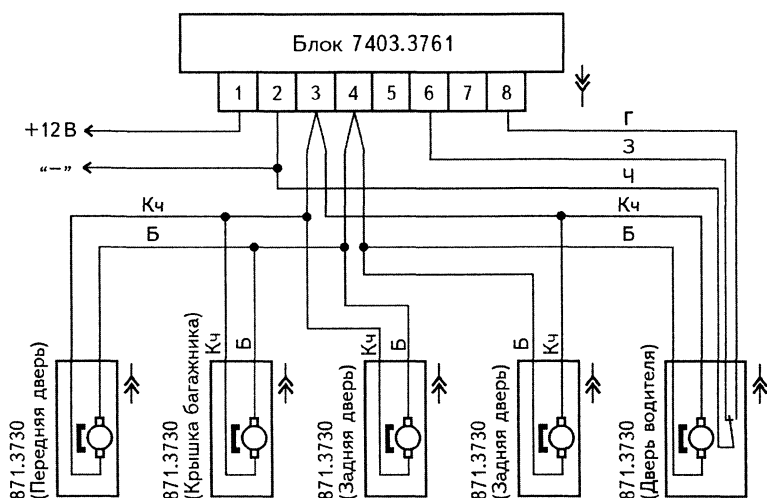


Рис. 6.63. Схема электрической блокировки замков дверей автомобиля Москвич-214145 «Святогор». Буквами на схеме обозначены цвета проводов: Б – белый; Г – голубой; З – зеленый; Кч – коричневый; Ч – черный

На основании сигналов от датчиков и органов управления электронный блок управляет механизмами управления дверных замков, крышки багажника, лючка бензобака, контрольными лампами, сиреной охранной сигнализации, плафонами освещения салона.

Надежность современных конструкций дверных замков позволяет дверям автомобиля оставаться закрытыми даже при значительных повреждениях кузова и неизбежно возникающих при аварии механических нагрузках. Поэтому в блокировании дверей используются штатные дверные замки. Исполнительный механизм замка состоит из шагового электродвигателя, на валу которого установлен кулачок, блокирующий замок.

В случае отказа системы автоматической блокировки дверей предусматривается возможность их механического отпирания и запираания.

Схема электрической блокировки замков дверей автомобиля Москвич-214145 «Святогор» (рис. 6.63) состоит из блока управления 7403.3761, управляющего моторедуктора для двери водителя 87.3730 и исполнительных моторедукторов остальных дверей 871.3730. Возможна также комплектация двумя управляющими моторедукторами в обеих передних дверях. Блок 7403.3761 может управляться системой охранной сигнализации автомобиля.

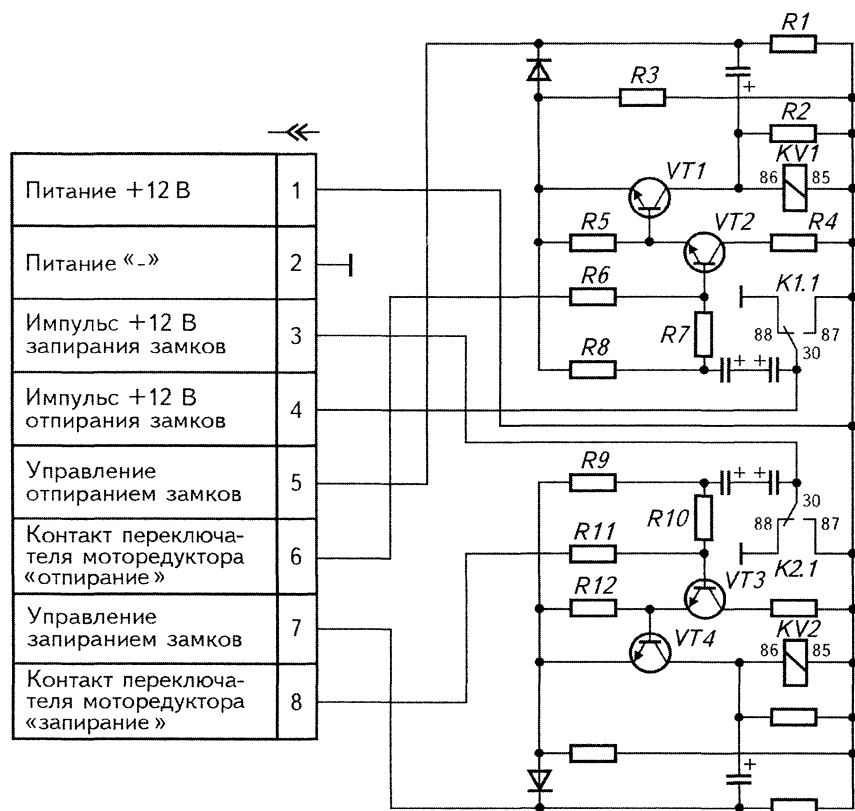


Рис. 6.64. Принципиальная электрическая схема блока управления

На рис. 6.64 показана принципиальная электрическая схема блока управления 7403.3761. Микропереключатель, расположенный в моторедукторе 87.3730, подает сигнал на клемму «6» блока управления при открывании двери водителя ключом или системой охранной сигнализации. При этом в течение 0,5...1,5 с на клемме «3» блока управления образуется отрицательный потенциал, а на клемме «4» – положительный. Срабатывают моторедукторы 871.3730 и все двери автомобиля разблокируются.

При запирании двери водителя ключом или включении охранной сигнализации микропереключатель в моторедукторе 87.3730 замыкает на массу автомобиля клемму «8» блока управления. На клемму «3» подается положительный потенциал, а на клемму «4» – отрицательный. Замки всех дверей блокируются.

Вопросы для самоконтроля

1. Каковы перспективы применения в конструкции автомобилей электронных систем управления двигателем и трансмиссией?
2. Какие преимущества по сравнению с традиционной системой топливоподачи имеет система автоматического управления впрыском топлива и чем они обусловлены?
3. Какие существуют и как устроены электронные системы управления топливоподачей бензиновых двигателей?
4. Как осуществляется электронное управление карбюратором?
5. Каковы назначение и принцип действия экономайзера принудительного холостого хода?
6. Как устроена система автоматического управления топливоподачей автомобильных дизелей?
7. Каковы назначение и принцип действия антиблокировочных систем?
8. Как осуществляется автоматическое управление коробкой передач?
9. Как работает автоматическая система управления подвеской?
10. Как осуществляется автоматическое управление агрегатами и узлами автомобиля, влияющими на безопасность дорожного движения?

ГЛАВА 7. ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ

7.1. ЭЛЕКТРОПРИВОД ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ АВТОМОБИЛЯ

Вспомогательным электрооборудованием называют группу вспомогательных приборов и аппаратов, обеспечивающих отопление и вентиляцию кабины и кузова, очистку стекол кабины и фар, звуковую сигнализацию, радиоприем и другие вспомогательные функции.

Тенденции развития различных систем автомобиля, связанные с повышением экономичности, надежности, комфорта и безопасности движения, приводят к тому, что роль электрооборудования, в частности электропривода вспомогательных систем, неуклонно возрастает. Если 25...30 лет назад на серийных автомобилях практически не встречалось механизмов с электроприводом, то в настоящее время даже на грузовых автомобилях устанавливается минимум 3...4 электродвигателя, а на легковых – 5...8 и более, в зависимости от класса.

Электроприводом называется электромеханическая система, состоящая из электродвигателя (или нескольких электродвигателей), передаточного механизма к рабочей машине и всей аппаратуры для управления электродвигателем. Основными устройствами автомобиля, где находит применение электропривод, являются отопители и вентиляторы салона, предпусковые подогреватели, стекло- и фароочистители, механизмы подъема стекол, антенн, перемещения сидений и др.

Длительность работы и ее характер определяют рабочий режим привода. Для электропривода принято различать три основных режима работы: продолжительный, кратковременный и повторно-кратковременный.

Продолжительный режим характеризуется такой длительностью, при которой за время работы электродвигателя его температура достигает установившегося значения. В качестве примера механизмов с длительным режимом работы можно назвать отопители и вентиляторы салона автомобиля.

Кратковременный режим имеет относительно краткий рабочий период и температура двигателя не успевает достигнуть установившегося значения. Перерыв же в работе исполнительного механизма достаточен для того, чтобы двигатель успевал охладиться до температуры окружающей среды. Такой режим работы характерен

для самых различных устройств кратковременного действия: подъема стекол, привода антенн, перемещения сидений и др.

Повторно-кратковременный режим характеризуется рабочим периодом, который чередуется с паузами (остановка или холостой ход), причем ни в один из периодов работы температура двигателя не достигает установившегося значения, а во время снятия нагрузки двигатель не успевает охладиться до температуры окружающей среды. Примером устройств автомобиля, работающих в таком режиме, могут служить стеклоочистители (на соответствующих режимах), стеклоомыватели и др.

Характерной чертой для повторно-кратковременного режима является отношение рабочей части периода T' к всему периоду T . Этот показатель именуется относительной продолжительностью работы PR или относительной продолжительностью включения $PВ$, измеряемыми в процентах.

Требования, предъявляемые к электродвигателям, устанавливаемым в том или ином узле автомобиля, отличаются особой спецификой и обусловлены режимами работы этого узла. При выборе типа двигателя необходимо сопоставить условия работы привода с особенностями механических характеристик различных видов электродвигателей. Принято различать естественную и искусственную механические характеристики двигателя. Первая соответствует номинальным условиям его включения, нормальной схеме соединений и отсутствию каких-либо добавочных элементов в цепях двигателя. Искусственные характеристики получаются при изменении напряжения на двигателе, включении добавочных элементов в цепи двигателя и соединении этих цепей по специальным схемам.

Одним из наиболее перспективных направлений в развитии электропривода вспомогательных систем автомобиля является создание электродвигателей мощностью до 100 Вт с возбуждением от постоянных магнитов.

Применение постоянных магнитов позволяет в значительной мере повысить технико-экономические показатели электродвигателей: уменьшить массу, габаритные размеры, повысить КПД. К преимуществам следует отнести отсутствие обмоток возбуждения, что упрощает внутренние соединения, повышает надежность электродвигателей. Кроме того, благодаря независимому возбуждению все электродвигатели с постоянными магнитами могут быть реверсивными.

Типичная конструкция электродвигателя с постоянными магнитами, применяемого в отопителях, показана на рис. 7.1. Постоянные

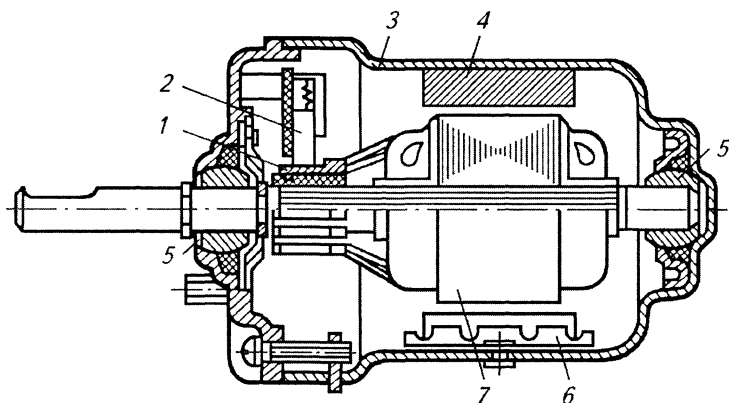


Рис. 7.1. Электродвигатель с постоянными магнитами

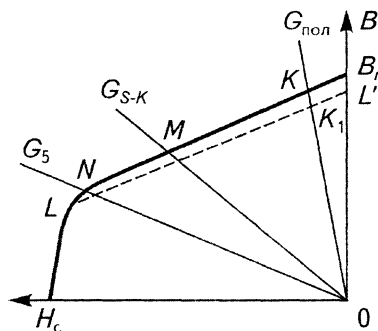
магниты 4 закреплены в корпусе 3 с помощью двух стальных плоских пружин 6, прикрепленных к корпусу. Якорь 7 электродвигателя вращается в двух самоустанавливающихся подшипниках скольжения 5. Графитные щетки 2 прижимаются пружинами к коллектору 1, выполненному из полосы меди и профрезерованному на отдельные ламели.

Принцип действия электрических машин с постоянными магнитами аналогичен общеизвестному принципу действия машин с электромагнитным возбуждением – в электродвигателе взаимодействие полей якоря и статора создает вращающий момент. Источник магнитного потока в таких электродвигателях – постоянный магнит. Характеристикой магнита является кривая его размагничивания (часть петли гистерезиса, лежащая во II квадранте), представленная на рис. 7.2. Свойства материала определяются значениями остаточной индукции B_r и коэрцитивной силы H_c . Полезный поток, отдаваемый магнитом во внешнюю цепь, не является постоянным, а зависит от суммарного воздействия внешних размагничивающих факторов.

Как видно из рис. 7.2, рабочая точка магнита вне системы электродвигателя N , рабочая точка в сборе с корпусом M и рабочая точка магнита в электродвигателе в сборе K различны. Причем для большинства магнитных материалов процесс размагничивания магнита необратим, так как возврат из точки с меньшей индукцией в точку с большей индукцией (например, при разборке и сборке электродвигателя) происходит по кривым возврата, не совпадающим с кривой размагничивания.

Рис. 7.2. Кривая размагничивания анизотропного оксидо-бариевого магнита:

B_r – остаточная индукция; H_c – коэрцитивная сила; ON – линия проводимости рассеяния для магнита в свободном состоянии; OM – линия проводимости внешней цепи для магнита в сборе с корпусом; OK – линия проводимости внешней цепи для магнита в сборе с электродвигателем (без учета насыщения); LL' – кривая возврата (аппроксимированная прямая); K , M и N – рабочие точки



В связи с этим важным преимуществом используемых в автотракторной промышленности оксидно-бариевых магнитов является не только их относительная дешевизна, но и совпадение в определенных пределах (до точки перегиба) кривых возврата и размагничивания. Если воздействие внешних размагничивающих факторов таково, что рабочая точка магнита перемещается за колено, то возврат в точку K уже невозможен и рабочей точкой в собранной системе будет уже точка K_1 с меньшей индукцией. Поэтому при расчете электродвигателей с постоянными магнитами очень важен правильный выбор объема магнита, обеспечивающего не только рабочий режим электродвигателя, но и стабильность рабочей точки при воздействии максимально возможных размагничивающих факторов.

Электродвигатели предпусковых подогревателей. Предпусковые подогреватели используются для обеспечения надежного пуска ДВС при низких температурах. Назначение электродвигателей этого типа – подача воздуха для поддержания горения в бензиновых подогревателях, подача воздуха, топлива и обеспечение циркуляции жидкости в дизелях.

Особенностью режима работы является то, что при таких температурах необходимо развивать большой пусковой момент и функционировать не продолжительное время. Для обеспечения этих требований электродвигатели предпусковых подогревателей выполняются с последовательной обмоткой и работают в кратковременном и повторно-кратковременном режимах. В зависимости от температурных условий электродвигатели имеют различную продолжительность включения: $-5...-10^{\circ}\text{C}$ не более 20 мин; $-10...-25^{\circ}\text{C}$ не более 30 мин; $-25...-50^{\circ}\text{C}$ не более 50 мин.

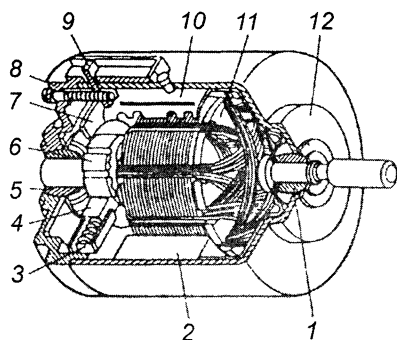


Рис. 7.3. Электродвигатель с возбуждением от постоянных магнитов для отопителей:

- 1 и 5 – подшипник скольжения;
- 2 – постоянный магнит; 3 – щеткодержатель; 4 – щетка; 6 – коллектор; 7 – траверса; 8 – крышка;
- 9 – крепежная пластина; 10 – пружина; 11 – якорь; 12 – корпус

Нашедшие широкое применение в предпусковых подогревателях электродвигатели МЭ252 (24 В) и 32.3730 (12 В) имеют номинальную мощность 180 Вт и частоту вращения 6500 мин⁻¹. Электродвигатели для привода вентиляционных и отопительных установок. Вентиляционные и отопительные установки предназначены для обогрева и вентиляции салонов легковых автомобилей, автобусов, кабин грузовых автомобилей и тракторов. Действие их основано на использовании тепла двигателя внутреннего сгорания, а производительность в значительной степени зависит от характеристик электропривода. Все электродвигатели такого назначения представляют собой двигатели длительного режима работы, эксплуатируемые при температуре окружающей среды –40...+70°С. В зависимости от компоновки на автомобиле отопительной и вентиляционной установки электродвигатели имеют разное направление вращения. Эти электродвигатели одно- или двухскоростные в основном с возбуждением от постоянных магнитов. Двухскоростные электродвигатели обеспечивают два режима работы отопительной установки. Частичный режим работы (режим низшей скорости, а следовательно, и низшей производительности) обеспечивается за счет дополнительной обмотки возбуждения.

На рис. 7.3 показано устройство электродвигателя с возбуждением от постоянных магнитов для отопителей. Постоянные магниты 2 закреплены на корпусе 12 пружинами 10. Крышка 8 прикреплена к корпусу винтами, которые вворачиваются в крепежные пластины 9, расположенные в пазах корпуса. В корпусе и крышке установлены подшипники 1 и 5 в которых вращается вал якоря 11. Все щеткодержатели 3 находятся на траверсе 7 из изоляционного материала.

Траверса закреплена на крышке 8. Щетки 4, по которым ток подводится к коллектору 6, размещены в щеткодержателях 3 ко-

робчатого типа. Коллекторы, так же, как и в электродвигателях с электромагнитным возбуждением штампуются из медной ленты с последующей опрессовкой пластмассой или из трубы с продольными пазами на внутренней поверхности.

Крышки и корпус изготовлены из листовой стали. У электродвигателей стеклоомывателей крышка и корпус могут быть выполнены из пластмассы.

Кроме отопительных установок, использующих тепло ДВС, находят применение отопительные установки независимого действия. В этих установках электродвигатель, имеющий два выхода вала, приводит во вращение два вентилятора, один направляет холодный воздух в теплообменник, а затем в отапливаемое помещение, другой подает воздух в камеру горения.

Применяемые на целом ряде моделей легковых и грузовых автомобилей электродвигатели отопителей имеют номинальную мощность 25...35 Вт и номинальную частоту вращения 2500...3000 мин⁻¹.

Электродвигатели для привода стеклоочистительных установок. К электродвигателям, используемым для привода стеклоочистителей, предъявляются требования обеспечения жесткой механической характеристики, возможности регулирования частоты вращения при различных нагрузках, повышенного пускового момента. Это связано со спецификой работы стеклоочистителей – надежной и качественной очистки поверхности ветрового стекла в различных климатических условиях.

Для обеспечения необходимой жесткости механической характеристики используются двигатели с возбуждением от постоянных магнитов, с параллельным и смешанным возбуждением, а для увеличения момента и снижения частоты вращения используется специальный редуктор. В некоторых электродвигателях редуктор выполнен как составная часть электродвигателя. В этом случае электродвигатель называют моторредуктором. Изменение скорости электродвигателей с электромагнитным возбуждением достигается изменением тока возбуждения в параллельной обмотке. В электродвигателях с возбуждением от постоянных магнитов изменение частоты вращения якоря достигается установкой дополнительной щетки и организацией прерывистого режима работы.

На рис. 7.4 приведена принципиальная схема электропривода стеклоочистителя СЛ136 с электродвигателем на постоянных магнитах. Режим прерывистой работы стеклоочистителя осуществляется включением переключателя 1 в положение III. В этом случае в цепь якоря 4 электродвигателя включается реле 7. Реле имеет на-

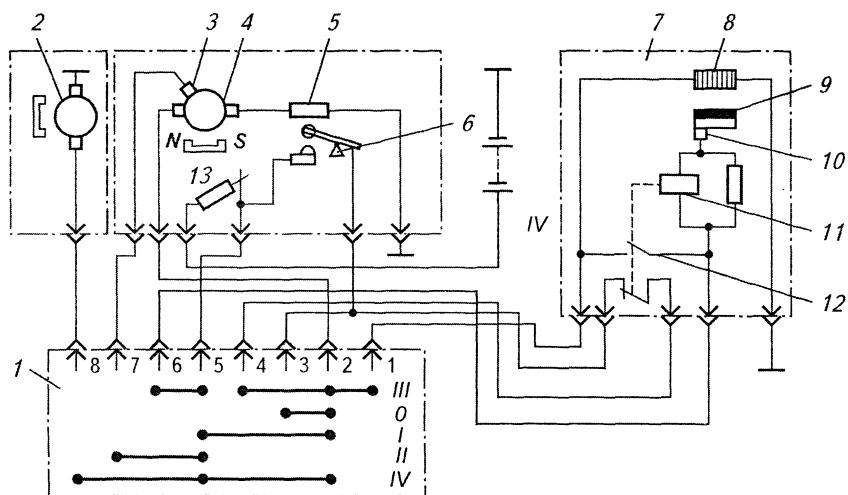


Рис. 7.4. Принципиальная схема электропривода стеклоочистителя

гревательную спираль 8, которая нагревает биметаллическую пластину 9. По мере нагрева биметаллическая пластина изгибается и контакты 10 размыкаются, отключая питание реле 11, контакты 12 которого прерывают питание якорной цепи электродвигателя. После того, как пластина 9 остынет и замкнутся контакты 10, реле 11 сработает и на электродвигатель вновь будет подаваться питание. Цикл работы стеклоочистителя повторяется 7–19 раз в минуту.

Режим малой скорости осуществляется путем включения переключателя 1 в положение II. При этом питание на якорь 4 электродвигателя подается через дополнительную щетку 3, установленную под углом к основным щеткам. В этом режиме ток проходит только по части обмотки якоря 4, что является причиной уменьшения частоты вращения якоря и вращающего момента. Режим большой скорости стеклоочистителя происходит при установке переключателя 1 в положение I. При этом питание электродвигателя осуществляется через основные щетки и ток проходит по всей обмотке якоря. При установке переключателя 1 в положение IV питание подается на якоря 4 и 2 электродвигателей стеклоочистителя и омывателя ветрового стекла и происходит их одновременная работа. После выключения стеклоочистителя (положение переключателя 0) электродвигатель остается включенным под напряжение до момента подхода кулачка 6 к подвижному контакту 5. В этот момент кулачок разомкнет цепь и двигатель остановится. Выключение электродвигателя

теля в строго определенный момент необходимо для укладки щеток стеклоочистителя в первоначальное положение. В цепь якоря 4 электродвигателя включен термобиметаллический предохранитель 13, который предназначен для ограничения силы тока в цепи при перегрузке.

Работа стеклоочистителя при морозящем дожде или слабом снеге осложняется тем, что на ветровое стекло попадает мало влаги. По этой причине увеличиваются трение и износ щеток, а также расход энергии на очистку стекла, что может вызвать перегрев приводного двигателя. Периодичность включения на один-два такта и выключение, осуществляемое водителем вручную, неудобно, да и небезопасно, так как внимание водителя на короткое время отвлекается от управления автомобилем.

Для организации кратковременного включения стеклоочистителя система управления электродвигателем может дополняться электронным регулятором тактов, который через определенные промежутки времени автоматически выключает электродвигатель стеклоочистителя на один-два такта. Интервал между остановками стеклоочистителя может изменяться в пределах 2...30 с. Большинство моделей электродвигателей стеклоочистителей имеют номинальную мощность 12...15 Вт и номинальную частоту вращения 2000...3000 мин⁻¹.

В современных автомобилях получили распространение стеклоомыватели переднего стекла и фароочистители с электрическим приводом. Электродвигатели омывателей и фароочистителей работают в повторно-кратковременном режиме и выполняются с возбуждением от постоянных магнитов, имеют небольшую номинальную мощность (2,5...10 Вт).

Помимо перечисленных назначений, электродвигатели используются для привода различных механизмов: подъема стекол дверей и перегородок, перемещения сидений, привода антенн и др. Для обеспечения большого пускового момента эти электродвигатели имеют последовательное возбуждение, используются в кратковременном и повторно-кратковременном режимах работы.

В процессе работы электродвигатели должны обеспечивать изменение направления вращения, т. е. быть реверсивными. Для этого в них имеются две обмотки возбуждения, попеременное включение которых обеспечивает разные направления вращения. Конструктивно электродвигатели этого назначения выполнены в одной геометрической базе и по магнитной системе унифицированы с электродвигателями отопителей мощностью 25 Вт.

Электропривод с каждым годом находит все большее применение на автомобилях. Требования к электродвигателям постоянно возрастают, и это связано с повышением качества различных систем автомобиля, безопасности движения, снижением уровня радиопомех, токсичности, повышением технологичности изготовления. Выполнение этих требований обусловило переход от электродвигателей с электромагнитным возбуждением к электродвигателям с возбуждением от постоянных магнитов. При этом масса электродвигателей снизилась, а КПД увеличился примерно в 1,5 раза. Их срок службы достигает 250...300 тыс. км пробега.

Электродвигатели отопительных, вентиляционных и стеклоочистительных устройств разрабатываются на базе четырех типоразмеров анизотропных магнитов. Это позволяет сократить число выпускаемых типов электродвигателей и провести их унификацию.

Другим направлением является применение в конструкциях электродвигателей эффективных фильтров радиопомех. Для электродвигателей мощностью до 100 Вт фильтры будут унифицироваться применительно к каждой базе электродвигателя и выполняться встроенными. Для перспективных электродвигателей мощностью 100...300 Вт разрабатываются фильтры с применением конденсаторов – проходных или блокировочных больших емкостей. В случае невозможности обеспечения требований по уровню радиопомех за счет встроенных фильтров намечаются применение выносных фильтров и экранирование электродвигателей.

В более отдаленной перспективе предполагается использовать бесконтактные двигатели постоянного тока. Эти двигатели снабжаются статическими полупроводниковыми коммутаторами, заменяющими механический коммутатор-коллектор, и встроенными датчиками положения ротора. Отсутствие щеточно-коллекторного узла позволяет увеличить ресурс электродвигателя до 5 тыс. ч и более, значительно повысить его надежность и снизить уровень радиопомех.

Проводятся работы по созданию электродвигателей с ограниченными осевыми размерами, что необходимо, например, для привода вентилятора охлаждения ДВС. В этом направлении поиск ведется по пути создания двигателей с торцовым коллектором, который располагают совместно со щетками внутри полого якоря, или с дисковыми якорями, выполненными со штампованной или печатной обмоткой.

Имеют свое продолжение разработки специальных электродвигателей, в частности герметизированных электродвигателей пред-

пусковых подогревателей, что необходимо для повышения надежности и применения на специальных автомобилях.

7.2. СТЕКЛООЧИСТИТЕЛИ, ОМЫВАТЕЛИ И ФАРООЧИСТИТЕЛИ

Стеклоочиститель предназначен для механической очистки лобового стекла (в некоторых моделях легковых автомобилей, например ВАЗ-2108, и заднего стекла) от атмосферных осадков и грязи. По типу привода различают вакуумные, пневматические и электрические стеклоочистители. Последние получили наибольшее распространение.

Электрический стеклоочиститель состоит из электродвигателя, червячного редуктора (обычно выполненного в одном корпусе с электродвигателем), кривошипного механизма, системы рычагов и щеток (рис. 7.5). Электродвигатель 3 стеклоочистителя через червячный редуктор 4 приводит во вращение кривошип 2, который через систему приводных рычагов и тяг сообщает рычагам щеток 1 качательное движение. Щетки должны перемещаться по стеклу плавно, без толчков, с определенными углом размаха и усилием прижатия к стеклу. Применение на современных автомобилях гнутых передних стекол усложняет работу стеклоочистителя, так как становится трудно обеспечить плотное прилегание щеток к поверхности стекол. Поэтому щетки стеклоочистителей выполняют гибкими

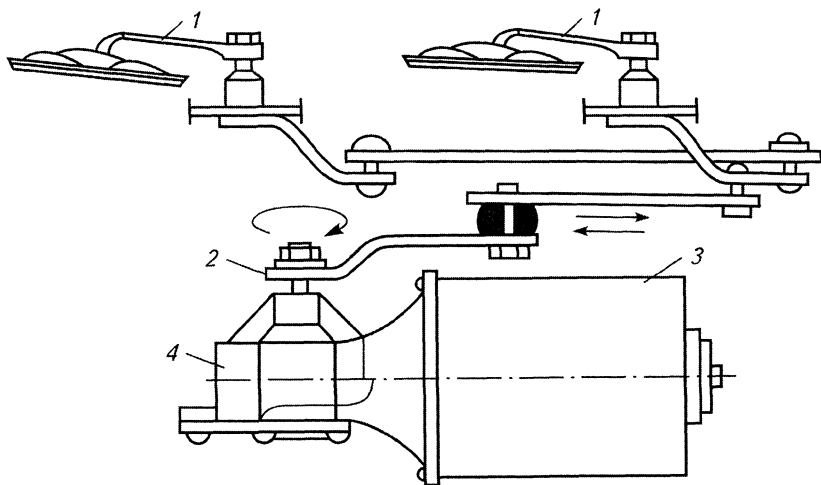


Рис. 7.5. Кинематика стеклоочистителя

и увеличивают усилие пружин, прижимающих щетки. Гибкость щеток достигается увеличением числа коромысел держателя щетки и придания профилю щетки рациональной формы.

Различные климатические условия и скоростные режимы движения автомобиля обуславливают необходимость изменения производительности стеклоочистителя. Поэтому современные стеклоочистители имеют две или три скорости.

Конструкция стеклоочистителя представлена на рис. 7.6. На рисунке введены следующие обозначения: 1 – гайка крепления рычага; 2 – поводок рычага; 3 – защитная гайка; 4, 30 – подшипник; 5 – гайка крепления штуцера; 6, 12 – тяги; 7 – штуцер; 8 – вал рычага; 9 – электродвигатель; 10 – резистор; 11 – биметаллический предохранитель; 13 – кронштейн крепления; 14 – контактный диск; 15 – червячная шестерня; 16 – заглушка; 17 – упорный шарик; 18 – корпус редуктора; 19 – червяк; 20 – соединительная муфта; 21, 24 – крышки электродвигателя; 22 – якорь; 23 – обмотка возбуждения; 25 – коллектор; 26 – стяжной винт; 27 – панель щеткодержателей; 28 – фетровая шайба с запасом смазочного материала; 29 – вал электродвигателя; 31 – щетка электродвигателя; 32, 37 – пружины; 33 – вал редуктора; 34 – контакт концевого выключателя; 35 – рычаг щетки; 36 – щетка стеклоочистителя.

Вращение вала 29 электродвигателя 9 через соединительную муфту 20 передается червяку 19 и далее червячной шестерне 15 понижающего редуктора. На валу червячной шестерни 15 жестко закреплен кривошип. Вращение кривошипа посредством рычажной системы преобразуется в качание рычагов 35, на которых установлены щетки 36.

Биметаллический предохранитель разрывает цепь электроснабжения электродвигателя при появлении недопустимых перегрузок, когда, например, щетки примерзают к стеклу или по каким-либо причинам резко возрастает сопротивление вращения якоря электродвигателя. Включение электродвигателя после остывания биметаллической пластины предохранителя происходит автоматически. В случае неоднократного срабатывания предохранителя следует выключить стеклоочиститель, найти причину неисправности и устранить ее.

В дополнение к стеклоочистителям часто устанавливают омыватели переднего стекла. При движении по сырой грязной дороге даже при отсутствии дождя стекло водителя забрызгивается грязью от встречных автомобилей. Щетки стеклоочистителя не очищают стекло, а лишь размазывают по нему подсыхающую грязь. Омыватели стекла состоят из небольшого бачка с чистой водой и насоса,

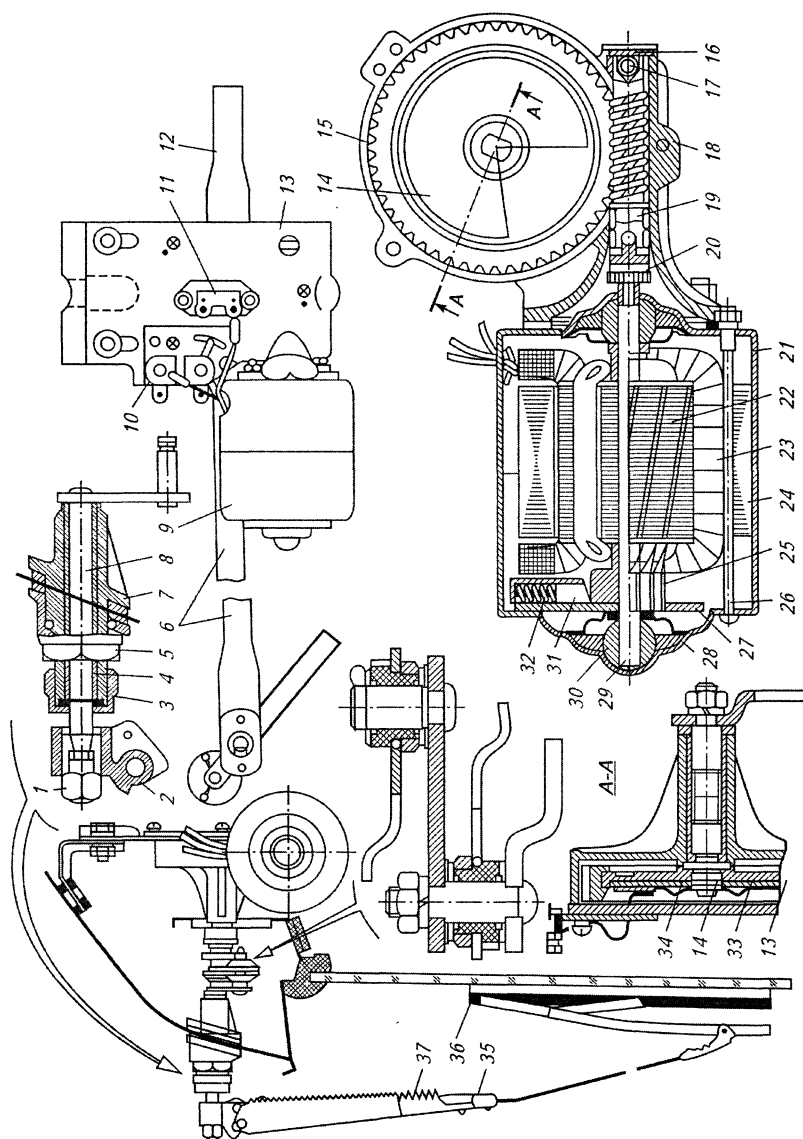


Рис. 7.6. Конструкция стеклоочистителя

приводимого в движение электродвигателем. При работе омывателя переднее стекло автомобиля смачивается струйками воды из форсунок, установленных около стеклоочистителей. Увлажненная грязь затем легко очищается щетками стеклоочистителя.

С целью повышения безопасности движения на легковых автомобилях последних выпусков устанавливают фарочистители, которые предназначены для чистки стекол фар от грязи, нарушающей нормальное светораспределение при движении автомобиля в темное время суток и неблагоприятных климатических условиях. Существуют два способа очистки фар: щеточный и струйный. Принцип действия и устройство щеточного фарочистителя аналогичны принципу действия и устройству стеклоочистителя ветрового стекла. Принцип действия струйного фарочистителя заключается в том, что частицы грязи на стекле фары отбиваются и смываются водой, которая подается от специального электрического насоса через форсунку под большим давлением – до 0,3 МПа.

Преимуществами такой очистки являются высокая надежность и эффективность в работе, возможность очистки фар любой формы, кратковременное вмешательство в светораспределение. К недостаткам можно отнести необходимость использования мощного электронасоса высокого давления и сравнительно большой расход воды.

7.3. ЗВУКОВЫЕ СИГНАЛЫ

Звуковые сигналы предназначены для обеспечения безопасности движения автомобилей и служат для оповещения пешеходов и других водителей о присутствии транспортного средства. На автомобилях применяют электрические вибрационные и пневматические звуковые сигналы.

Электрические звуковые сигналы подразделяются на тональные и шумовые. Тональные звуковые сигналы выполняются с рупорным резонатором, а шумовые – с дисковым. Сигналы рассчитаны для работы в сети постоянного тока с номинальным напряжением 12 или 24 В в повторно-кратковременном режиме с продолжительностью включения 20% от цикла (продолжительность цикла 5 с). На большинстве автомобилей устанавливают комплект из двух звуковых сигналов – одного низкого и одного высокого тона, а для легковых автомобилей высшего класса из трех сигналов – одного низкого и двух высокого тона. Сигналы комплекта настраиваются в гармонический аккорд и звучат одновременно.

Электрический звуковой сигнал (рис. 7.7) состоит из штампованного стального корпуса 1, к которому прикреплены сердечник 4,

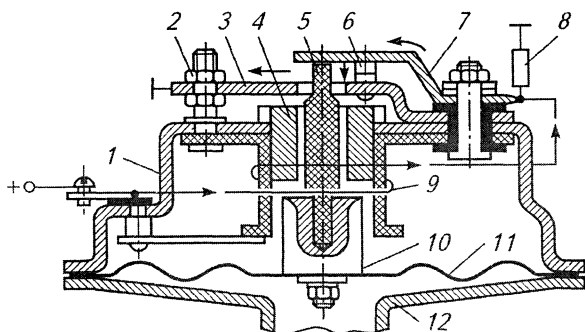


Рис. 7.7. Электрический звуковой сигнал СЗ03-Г

пластина 3 неподвижного контакта и пружинящая пластина 7 с контактом. Между корпусом 1 и резонатором 12 зажата мембрана 11, выполненная из легированной закаленной стали, к которой присоединены якорь 10 со штифтом 5. Обмотка электромагнита 9 включена последовательно контактам 6 прерывателя, зазор между которыми регулируется гайками 2. Параллельно контактам прерывателя включен резистор 8 для уменьшения искрения. Контакты 6 приварены к пластинам и нормально замкнуты.

При замыкании цепи обмотки 9 электромагнита сердечник 4 намагничивается и притягивает к себе якорь 10, что в свою очередь вызывает прогиб мембраны 11. Якорь 10 через штифт 5 воздействует на упругую пластину 7 и вызывает размыкание контактов 6. В результате этого происходит размыкание электрической цепи электромагнита, сердечник и якорь размагничиваются, а мембрана 11 за счет своей упругости принимает прежнюю форму и отводит якорь от сердечника. Контакты 6 вновь замыкаются, и работа сигнала повторяется. Колебания воздуха, вызванные мембраной, обеспечивают получение определенной частоты звучания (200...400 Гц). Получение звука необходимого тона зависит от размеров мембраны, дискового резонатора, а также от длины и конфигурации рупорного резонатора. Чем короче рупор и толще мембрана, тем выше тон сигнала.

На рис. 7.8. представлена конструкция выключателя безрупорного сигнала. При установке на автомобиле двух или более сигналов ток, проходящий через контакты кнопки включения сигнала, может достигать 20...25 А, что может нарушить ее работу. Для разгрузки контактов кнопки сигнала применяется электромагнитный выключатель, называемый реле сигналов (рис. 7.9). При нажатии на кнопку

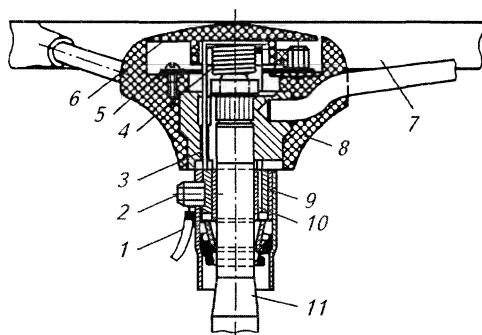


Рис. 7.8. Выключатель звукового сигнала:

1 – провод; 2 – вывод; 3 – подвижная контактная скоба; 4 – пружина; 5 – панель; 6 – кнопка включения звукового сигнала; 7 – рулевое колесо; 8 – ступица рулевого колеса; 9 – контактное кольцо; 10 – изоляционное кольцо; 11 – вал рулевого колеса

ток проходит по обмотке 4 реле, сердечник намагничивается, притягивает якорь 3 и контакты 2 замыкаются. Замыкание контактов реле обеспечивает подключение сигналов 1 к источнику питания электрической энергии, и тем самым ток, проходящий через контакты кнопки включения сигнала 5, оказывается небольшим, необходимым только для намагничивания сердечника.

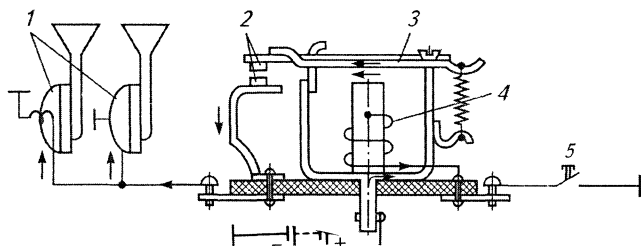


Рис. 7.9. Схема включения реле сигнала.

7.4. ЭЛЕКТРОННЫЕ ПРОТИВОУГОННЫЕ СИСТЕМЫ

В связи с неумениящимся числом угонов автомобилей, как в нашей стране, так и за рубежом, и совершенствованием технического оснащения преступников большое распространение получили электронные противоугонные системы (ЭПС), классификация которых представлена на рис. 7.10.



Рис. 7.10. Классификация электронных противоугонных систем

В ряде стран приняты законы, делающие обязательным оборудование всех выпускаемых автомобилей ЭПС. В связи с очевидным повышением устойчивости ЭПС к взлому при ее нестандартной установке большое распространение получили системы, устанавливаемые дополнительно.

Основными функциями ЭПС в режиме охраны является блокировка систем, обеспечивающих пуск и работу двигателя, и подача тревожных сигналов при регистрации датчиками определенных внешних воздействий. При наличии соответствующих датчиков ЭПС контролирует открывание дверей, капота, багажника, удары по кузову автомобиля, в том числе разбивание стекол, перемещение, как внутри салона, так и в непосредственной близости от автомобиля, тем самым не только препятствует угону, но и защищает отдельные детали автомобиля и оставленные в автомобиле вещи.

В современных системах используются алгоритмы защиты от насильственного захвата автомобиля (режим Anti Hijack), делающие невозможным несанкционированное движение автомобиля через небольшой промежуток времени после захвата.

Наряду с выполнением основных функций ЭПС существенно повышают комфортность автомобиля, управляя другим электрооборудованием, например электроприводом стеклоподъемников и замков дверей, освещением салона. Некоторые ЭПС позволяют осуществлять дистанционный пуск двигателя с целью его предварительного прогрева.

В последние годы получили распространение системы с возможностью удаленного контроля и системы радиопоиска автомобиля, для чего используется связь стандарта GSM, спутниковая система глобального позиционирования GPS и другие передовые технологии.

Рассмотрим особенности ЭПС на конкретных примерах.

Примером штатной ЭПС может служить система АПС-4, устанавливаемая на семействе автомобилей ВАЗ с электронной системой управления двигателем (ЭСУД), например Bosh MP7.0. Система состоит из электронного блока управления, скрыто установленного в салоне автомобиля, и приемо-передающей антенны, расположенной рядом с выключателем зажигания на панели приборов. К АПС-4 также относится часть программы контроллера системы управления двигателем. Система комплектуется двумя рабочими кодовыми ключами и одним обучающим ключом. Для индикации состояния системы используется светодиод, расположенный в корпусе антенны, и зуммер, установленный внутри блока управления. На рис. 7.11 показана схема подключения АПС-4. Блок управления АПС-4 подключен к диагностической линии «К» контроллера ЭСУД, причем имеет приоритет над подключаемыми к колодке диагностики приборами. Для активизации режима опроса кодового ключа и автоматического перехода в режим охраны используется сигнал от датчика открывания двери водителя системы салонного освещения и сигнал о включении зажигания.

Переход противоугонной системы в режим охраны происходит автоматически через 5 мин после выключения зажигания или через 30 с, если открывалась дверь водителя. При помощи светодиодного индикатора и зуммера подается предупредительный сигнал о включении режима охраны. Блок управления системы АПС-4 в режиме охраны выдает запрещающую кодовую комбинацию на контроллер ЭСУД и делает невозможным пуск двигателя. При открыва-

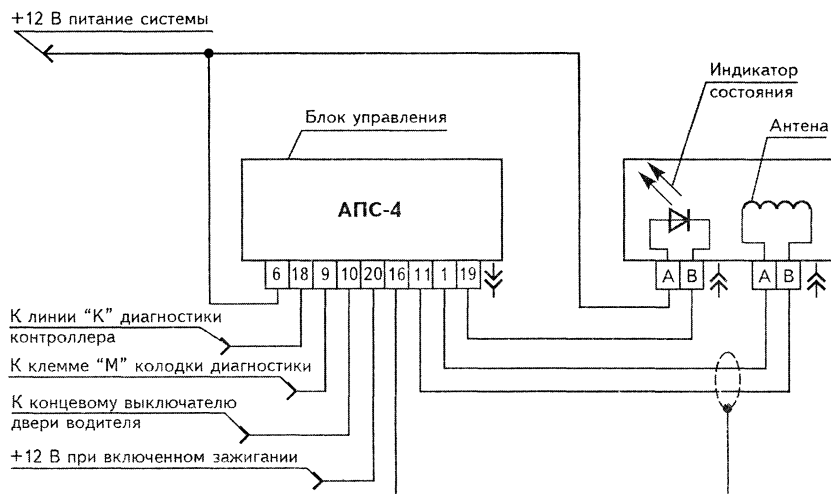


Рис. 7.11. Схема подключения АПС-4

нии двери водителя или включении зажигания система переходит в режим «чтения» (опроса) кода ключа. Для снятия противоугонной системы с охраны необходимо поднести рабочий кодовый ключ к приемо-передающей антенне. Кодовый ключ передает кодовое значение в зашифрованном, постоянно меняющемся виде.

Дополнительной функцией АПС-4 является задержка и плавное выключение освещения салона после закрытия двери водителя.

Обучающий ключ хранит пароль системы, который также записан в энергонезависимой памяти контроллера ЭСУД и блока управления АПС.

Пароль генерируется самой системой и записывается при первоначальном переводе нового контроллера ЭСУД и блока управления АПС в рабочее состояние.

Этот ключ используется при обучении новых рабочих кодовых ключей взамен утраченных, переходе в режим технического обслуживания и замене в случае неисправности контроллера или блока управления.

Режим технического обслуживания полезен при проведении ремонтных работ и в других случаях, когда необходимо временно отключить автоматическое включение охраны. То есть в этом режиме АПС не препятствует пуску двигателя, однако контроллер продолжает запрашивать у АПС пароль для пуска двигателя и при обрыве связи двигатель не заведется.

Электронные противоугонные системы, выполняющие исключи-

тельно функции блокировки пуска двигателя и движения автомобиля, как АПС-4, получили отдельное название – иммобилайзеры.

Электронные противоугонные системы АПС-4 во многом являются аналогом систем, применяемых на зарубежных автомобилях. В некоторых версиях электронный ключ выполняется заодно с ключом зажигания. Отличительной особенностью штатных ЭПС фирмы Bosch, применяемых на автомобилях с дизельными двигателями, является электрическое блокирующее устройство, встроенное в насос высокого давления, это значительно повышает эффективность блокировки.

Большое распространение получили многофункциональные ЭПС, выпускаемые для дополнительной установки. В системах такого типа предусматривается совместимость с электрооборудованием практически любого автомобиля. Необходимо только учитывать напряжение бортовой сети 12 или 24 В. В качестве примера кратко рассмотрим устройство отечественной охранной системы Fortress Type 3.

На рис. 7.12 представлена схема подключения этой охранной системы. В состав системы входит электронный блок управления (БУ), несколько дистанционных пультов управления – радиобрелоков, кнопка аварийного отключения, индикатор состояния системы, датчики открывания дверей, капота и багажника, датчик удара, микроволновой датчик перемещения, сирена. Возможно подключение радио-пейджера с передатчиком и другого дополнительного оборудования.

Блок управления по своей структуре аналогичен контроллерам других электронных систем автомобиля. В него входит микропроцессор с запоминающим устройством и интерфейсом ввода/вывода, драйверы исполнительных механизмов, блок питания. В центральный блок также входит принимающее устройство с антенной и силовые реле для управления указателями поворота и электроприводами замков дверей. БУ скрытно монтируется в салоне автомобиля, для подключения к электрооборудованию автомобиля, датчикам и другим устройствам на корпусе БУ расположены отдельные разъемы.

Питание БУ, указателей поворота в режиме тревожной сигнализации, электроприводов замков дверей и других дополнительных устройств осуществляется от бортовой сети автомобиля через отдельные предохранители. БУ имеет энергонезависимую память, поэтому временное отключение питания не влияет на настройку и текущее состояние системы.

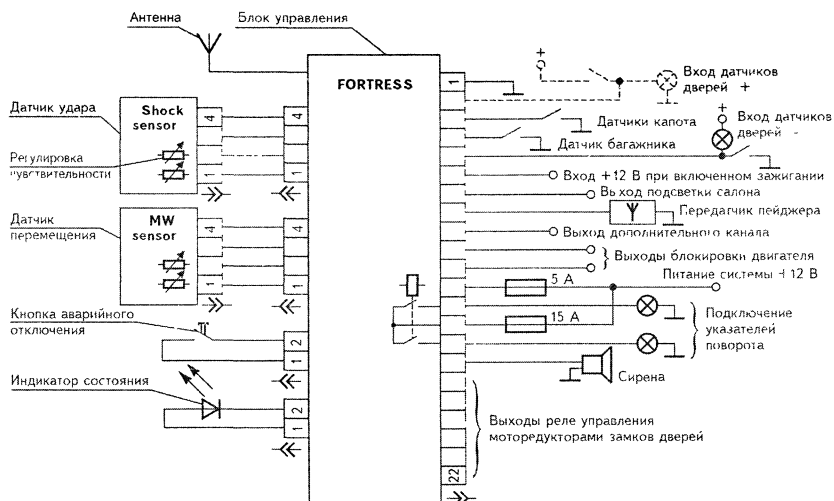


Рис. 7.12. Схема подключения охранной системы

Радио-брелоки представляют собой портативные радиопередатчики. Согласно принятым стандартам радио-брелоки работают на частоте 433,92 МГц и формируют кодированный сигнал. В системах FORTRESS для защиты от несанкционированного сканирования (радиоперехвата) и подбора кода используется специальная технология формирования сигнала Keeloq фирмы Microchip (США). Дальность работы радио-брелоков в значительной степени зависит от условий распространения радиосигнала, наличия помех, присущих городским условиям, расположения антенны в автомобиле и составляет несколько десятков метров.

Радио-брелок имеет 2 кнопки. Для расширения возможностей радио-брелоков функции кнопок изменяются в зависимости от времени их удержания в нажатом положении, одновременного нажатия различных сочетаний кнопок и последовательного двойного или тройного нажатия кнопки за короткий промежуток времени. Функции кнопок зависят от наличия подключенного дополнительного оборудования и могут быть выбраны при настройке системы.

Питание радио-брелоков осуществляется от встроенного элемента питания типа А 23. Периодичность замены элемента питания составляет примерно один год. В системе предусмотрена функция

Кнопка степени разряженности батареек.

режима охраны при отключении используется для отключения режима охраны при помощи радио-брелока. Защита от несанкцио-

нированного отключения обеспечивается скрытной установкой кнопки и использованием двухзначного кода для аварийного отключения.

Индикация состояния системы осуществляется с помощью светодиода, который обычно располагают на видном как снаружи автомобиля, так и для водителя месте. Светодиод позволяет различать такие режимы работы как: охрана выключена, охрана включена, включен режим обслуживания. По частоте и характеру мигания СИД можно определить зону, вызвавшую последнее срабатывание тревожной сигнализации, неисправный датчик, выход, отключенный из-за перегрузки и др.

Для регистрации внешних воздействий на охраняемый автомобиль и формирования соответствующих электрических сигналов, передаваемых центральному блоку ЭПС, в базовую конфигурацию системы Fortress Type 3 входят датчики открывания капота, багажника, дверей, датчик удара и перемещения.

Датчики открывания капота, багажника, дверей представляют собой элементарные контакты. В качестве датчиков открывания дверей могут использоваться штатные концевые выключатели системы освещения салона. Наличие двух входов различной полярности для концевых выключателей дверей обеспечивает совместимость ЭПС с электрооборудованием различных автомобилей.

Для регистрации несанкционированной попытки завести двигатель и ряда других функций в ЭПС предусмотрен вход от клеммы «15» выключателя зажигания.

Датчик удара является наиболее широко используемым в автомобильных ЭПС, его также называют датчиком вибрации (Shock Sensor). Датчик регистрирует удары по кузову автомобиля и основной его задачей является включение сигнализации при разбивании стекла.

Микроволновый датчик перемещения предназначен для обнаружения движения внутри салона и вблизи автомобиля. Принцип действия датчика основан на регистрации изменений интерференционной картины радиоволн сантиметрового диапазона, формируемой передатчиком. Зона действия микроволнового датчика в значительной степени зависит от его расположения, наличия поблизости металлических предметов (панели кузова, каркасы сидений, посторонние предметы в салоне автомобиля).

Оба датчика, выполнены в виде самостоятельных устройств, подключаются к отдельным разъемам БУ. Питание к датчикам подается в режиме охраны. В системе Fortress Type 3 порога срабатывания двухуровневые датчики. Такие датчики издают короткий сигнал сирены, вания. При слабом воздействии пол-

при срабатывании второго уровня включается полный цикл тревожной сигнализации.

К датчикам предъявляются противоречивые требования: обеспечить высокую чувствительность и исключить ложные срабатывания. Поскольку чувствительность датчика значительно зависит от места его установки, температуры и других факторов, конструкция датчиков предусматривает регулировку. Регулировка осуществляется отдельно для каждого уровня посредством двух переменных резисторов на корпусе датчика. Кроме того, в ЭПС предусмотрена возможность временного отключения датчика удара и микроволнового датчика перемещения и ограничено количество срабатываний тревожной сигнализации, после чего эти датчики отключаются до конца цикла охраны.

В системе Fortress Type 3 предусмотрена диагностика датчиков, которая проводится каждый раз после постановки на охрану.

Для подачи тревожных сигналов БУ системы Fortress Type 3 имеет силовой выход для подключения сирены, два выхода, подключаемых к указателям поворота правого и левого борта отдельно, и слаботочный выход на передатчик пейджера. Выходы указателей поворота коммутируются отдельными контактами встроенного реле. Выходы сирены и пейджера имеют защиту от перегрузки. В качестве устройств для подачи тревожных звуковых сигналов в ЭПС используются как отдельные электронные сирены, так и штатные звуковые сигналы. Мощность, потребляемая сиренами, составляет 10–25 Вт, а развиваемое звуковое давление составляет 100–130 дБ.

Сирену рекомендуется располагать в труднодоступных местах в моторном отсеке, что предъявляет дополнительные требования по устойчивости сирены к пыли, влаге, вибрациям и температуре.

Сирены различают неавтономные и автономные. Сирены со встроенным автономным источником питания подключаются непосредственно к бортовой сети автомобиля и имеют управляющий вход. Сирена включается как при подаче сигнала от центрального блока ЭПС на управляющий вход, так и при отключении ее от бортовой сети. Выключатель встроенного источника питания сирены выполняется в виде замка с ключом.

Различают однотональные и многотональные сирены. Современные сирены позволяют при настройке произвольно выбирать или составлять из отдельных звуков оригинальную мелодию.

Длительность и количество следующих подряд циклов подачи звуковых сигналов ограничено. Кроме того, в ряде стран использование тревожной звуковой сигнализации запрещено законодательством.

Радио-пейджеры предназначены для информирования владельца о состоянии автомобиля и подачи сигнала тревоги при нарушении охраняемых зон. Использование пейджера позволяет отказаться от тревожной звуковой сигнализации.

Система радио-пейджера состоит из радиопередатчика с антенной, установленного в автомобиле и питающегося от бортовой сети, и портативного радиоприемника – пейджера. Радиопередатчик подключается либо к специальному выходу ЭПС, либо к выходу для сирены. Пейджер работает на частоте 433,92 МГц. Дальность действия пейджера зависит от условий распространения радиоволн и составляет от нескольких сотен метров до двух–трех километров. Важной характеристикой пейджера является количество различаемых им зон охраны. Современные пейджеры имеют жидкокристаллический дисплей, отображающий информацию о датчике, вызвавшем тревогу и различные мелодии соответствующие отдельным зонам. Различают односторонние пейджеры и пейджеры с обратной связью.

Односторонний пейджер через несколько минут после включения режима охраны принимает сигнал от радиопередатчика для контроля дальности действия, после чего переходит в режим ожидания. Недостатком такой системы является возможность выхода пейджера из зоны действия передатчика без ведома владельца автомобиля как случайным образом, так и при умышленном создании радиопомех.

В системах с обратной связью происходит периодический обмен сигналами между пейджером и радиопередатчиком. И при нарушении связи подается тревожный сигнал. В некоторых моделях ЭПС радио-пейджеры и радио-брелоки объединены в один дистанционный пульт с двухсторонней связью.

Для блокировки пуска и работы двигателя в ЭПС Fortress Type 3 имеется два слаботочных выхода, подключаемых к дополнительным реле. Блокировка может быть обеспечена размыканием цепи систем пуска, зажигания, электронной системы управления двигателем, и др.

Блокировка двигателя осуществляется при включении режима охраны, и в режиме защиты от насильственного захвата автомобиля при работающем двигателе. Однако блокировка работающего двигателя может создать опасность при дорожном движении и ее применение запрещено на территории России и Единого Европейского Содружества (ГОСТ Р 41.97 и Правила ЕЭК ООН № 97). Для обеспечения безопасности в системе Fortress Type 3 предусмотрен алгоритм постепенной блокировки зажигания, имитирующий неисправность и исключающий резкую остановку автомобиля.

Более скрытной является блокировка двигателя с помощью специальных реле, управляемых по штатной проводке автомобиля. Фирма Izicom разработала реле Power Net, выполненное в корпусе обычного автомобильного реле типа 904.3747 и управляемое высокочастотным кодированным сигналом по цепи питания. В зависимости от предварительно записанной программы реле могут выполнять блокировку различных цепей двигателя и управлять электроприводом замка капота.

В системе Fortress Type 3, как в большинстве современных ЭПС, предусмотрена возможность управления блокировкой замков дверей. Наличие двух встроенных реле с переключающими контактами позволяет управлять как штатными системами блокировки замков дверей, так и установленными дополнительно электроприводами.

На рис. 7.13 показана возможная схема подключения дополнительных моторедукторов для управления замками дверей к встроенным реле. Блокировка и деблокировка замков дверей осуществляется при включении и выключении режима охраны соответственно. Возможно подключение функции блокировки замков при включении зажигания и организация отдельного отпирания двери водителя и пассажиров. Длительность управляющих импульсов может программно изменяться.

Наличие выхода дополнительного канала позволяет обеспечить дистанционное управление различными устройствами, например электроприводом замка багажника или капота.

Еще одной функцией, существенно повышающей как комфортность, так и безопасность автомобиля, является управление электроприводом стеклоподъемников и люка крыши.

В системе Fortress Type 3 предусмотрена возможность закрывания стекол дверей при включении режима охраны, для чего используется один из выходов блокировки. Способ подключения этой функции существенно зависит от типа применяемых электростеклоподъемников и может потребовать использование дополнительных модулей.

Функции системы Fortress Type 3, как и любой ЭПС, устанавливаемой дополнительно, в значительной степени зависят от имеющегося на автомобиле электрооборудования и могут быть расширены при применении дополнительных модулей, например системы дистанционного пуска двигателя.

Значительного повышения комфорта в управлении ЭПС удастся достичь при применении электронных ключей – транспондеров. Так в системе Blask Bug Super транспондеры выполнены в виде брело-

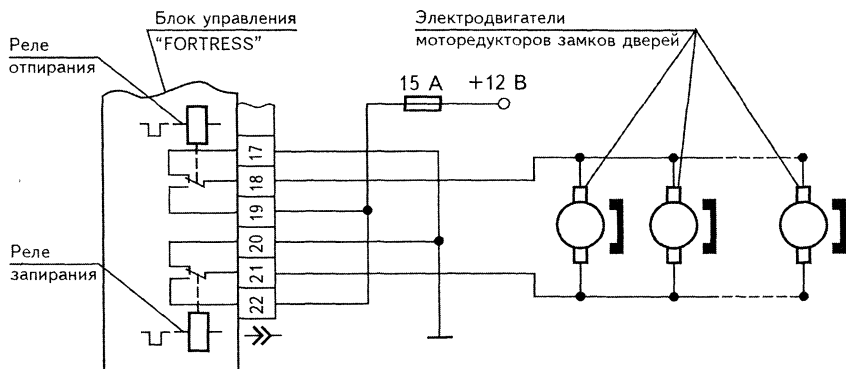


Рис. 7.13. Схема подключения дополнительных моторедукторов для управления замками дверей к встроенным реле

ка-метки или пластиковой карточки, не требующей элемента питания. Система должна опознавать транспондер, находящийся у водителя в кармане. Антенну встраивают в спинку сиденья или дверь водителя либо располагают в салоне автомобиля в непосредственной близости от места водителя. Режим охраны включается автоматически, если водитель с имеющимся у него транспондером после выключения зажигания и закрывания двери отошел от автомобиля на расстояние больше 0,8 м. Выключение режима охраны осуществляется при приближении водителя к автомобилю на расстояние действия транспондера. Управление с помощью метки позволяет эффективно реализовывать функцию защиты от насильственного захвата автомобиля (Anti Hijack). Открывание двери водителя при заведенном двигателе инициирует режим опроса транспондера. Если метка не будет распознана, т. е. водитель был вынужден покинуть автомобиль, то при нажатии педали тормоза двигатель блокируется.

При рассмотрении ЭПС Fortress Type 3 были перечислены распространенные способы подачи тревожных сигналов, в том числе и с использованием радио-пейджеров. Перспективным является способ дистанционного оповещения владельца автомобиля с использованием телефонной сотовой связи.

Примером может служить система Autotel, которая работает в сети GSM 900/1800. Система Autotel предназначена для использования как независимо, так и в паре с любой ЭПС. Для работы системы необходимо ее подключение к оператору сотовой связи как обычного мобильного телефона. В память системы записывается до трех телефонных номеров владельца (сотовых или стационарных).

При попытке угона Autotel автоматически дозванивается по этим номерам, и воспроизводит голосовое сообщение: «Вызываю помощь». Одновременно на сотовый телефон приходит текстовое (SMS) сообщение с указанием причины и времени тревожного события, а также с номером соты базовой станции оператора связи, по которому возможно определить местонахождение автомобиля. Кроме того, автовладелец может дистанционно заблокировать двигатель, включить подогреватель салона, открыть центральный замок, или управлять любыми другими исполнительными устройствами с мобильного телефона. Для этого он должен послать на телефонный номер Autotel SMS-сообщение с командой и личным паролем. К недостаткам такой системы можно отнести необходимость оплаты услуг оператора сотовой связи.

Особое место в ряду ЭПС занимают радиопоисковые системы. Их задача состоит в определении точного местоположения автомобиля после угона. Выполнение задачи обеспечивается с привлечением силовых структур. Дополнительными функциями могут быть, вызов экстренных служб нажатием кнопки, проверка состояния автомобиля (открыты ли двери, заведен ли двигатель), дистанционное блокирование или пуск двигателя, управление замками дверей. Радиопоисковые системы можно разделить на две группы: спутниковые, например «Цезарь Сателлит», «Навигатор-С», «Гранит», и наземные «Автолокатор», «КОРЗ», Lo Jack.

В спутниковых системах связь с автомобилем происходит через наземную радиосистему, а его местоположение определяется с помощью системы глобального позиционирования – GPS. В наземных системах для поиска автомобиля используются стационарные и расположенные в патрульных автомобилях устройства, пеленгующие радиосигнал от угнанного автомобиля.

На рис. 7.14 показана схема функционирования спутниковой системы охраны «Цезарь Сателлит». Система состоит из двух основных частей: мобильного устройства, скрытно устанавливаемого в автомобиль и диспетчерского центра, где на специальном мониторе в случае тревожной ситуации отображается местоположение автомобиля, и диагностическая информация в реальном масштабе времени.

В состав мобильного устройства входят блок управления, устройство определения координат, блок связи с пультом охраны, устройство блокировки двигателя. Система подключается к штатной или установленной дополнительно сигнализации и может использовать отдельные датчики. При нарушении хотя бы одного из контуров защиты автомобиля, определив при помощи системы спутников координаты, мобильное устройство по высокоскоростному кана-

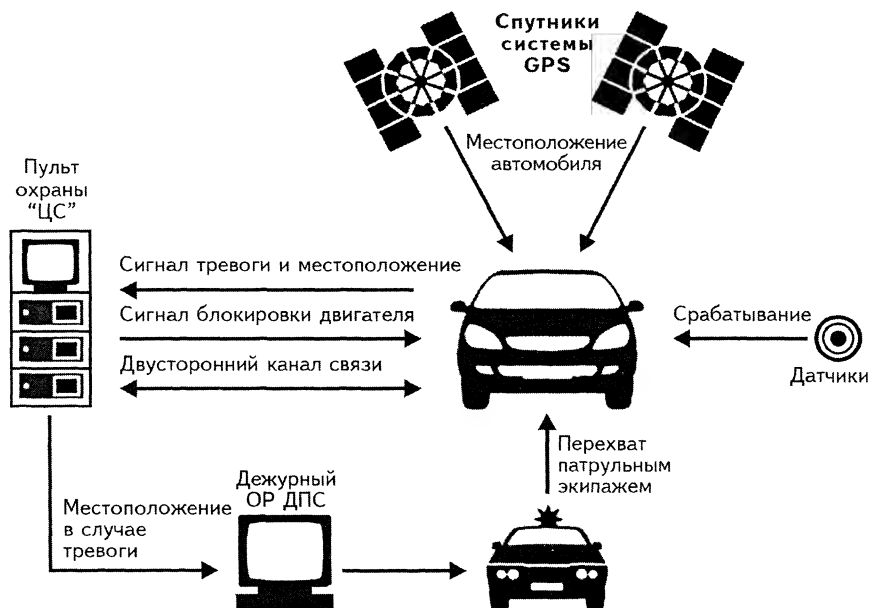


Рис. 7.14. Схема функционирования спутниковой системы охраны «Цезарь Сателлит»

лу связи, сообщает о произошедшем в диспетчерский центр. Для связи автомобиля с пультом охраны может использоваться прямая радиосвязь, сотовая, спутниковая и другие виды связи.

В отличие от радиопоисковых систем, «Цезарь Сателлит» работает по всей территории РФ, странах СНГ и Западной Европы.

Распространение радиопоисковых систем ограничивает высокая стоимость оборудования и услуг по сравнению с другими ЭПС.

Вопросы для самоконтроля

1. Какие приборы входят в состав вспомогательного электрооборудования?
2. Какое применение находит электропривод на автомобиле?
3. Какие существуют режимы работы электропривода?
4. Каковы устройство и принцип действия электродвигателей с постоянными магнитами?
5. Как устроены стеклоочиститель и фарочиститель?
6. Как устроены звуковые сигналы?
7. Существующие противоугонные системы.

ГЛАВА 8. СХЕМЫ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ. КОММУТАЦИОННАЯ АППАРАТУРА

8.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Основные цели функционирования электрической цепи – передача и распределение электрической энергии заданного качества к потребителю.

Электрические сети автомобилей характеризуются родом тока, напряжением и способом распределения электроэнергии. Автомобильные электрические сети – сети постоянного тока с номинальным напряжением 12 или 24 В. С целью экономии расхода проводов и упрощения монтажа электрооборудования на автомобилях используется однопроводная система передачи электроэнергии: общим токопроводом для всех изделий электрооборудования является корпус («масса») автомобиля. Двухпроводная система передачи электрической энергии применяется на автомобилях в редких случаях, например: для фонарей огней стоянки, которые должны работать независимо от положения выключателя «массы»; звуковых сигналов, подключаемых без промежуточного электромагнитного реле, и др. Недостатком однопроводной системы является повышенная вероятность возникновения короткого замыкания на «массу».

Распределение электроэнергии на автомобилях централизованное: провода от источников питания идут к центральному распределительному устройству, которое подключает потребители к источнику электроэнергии. В качестве распределительного устройства на автомобилях служит щиток приборов, на котором расположена основная защитная и коммутационная аппаратура. На современных автомобилях (последние модели ВАЗа) имеется центральный блок реле и предохранителей как отдельное устройство.

Можно выделить следующую цепочку прохождения электрического тока от источника к потребителю: источники электроэнергии (генератор, аккумулятор) – магистральная сеть – распределительное устройство – распределительная сеть – потребитель.

Магистральная сеть соединяет источники электроэнергии с распределительным устройством. Она имеет небольшую длину (3–15 м) и не содержит коммутационных и защитных устройств (рис. 8.1, а).

На современных автомобилях применяются также двухканальные магистральные сети (рис. 8.1, б). В этом случае питание потре-

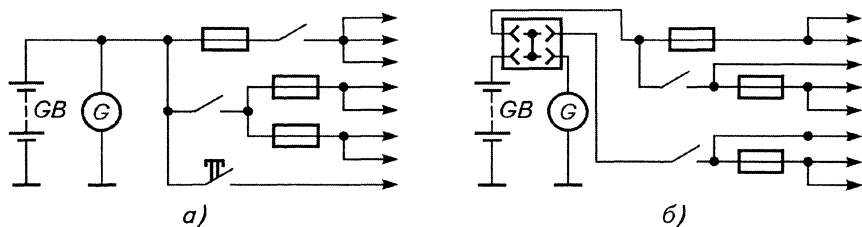


Рис. 8.1. Централизованная система распределения электроэнергии на автомобилях:

а — одноканальная; б — двухканальная

бителей электроэнергии на автомобилях осуществляется по двум каналам (например, на ВАЗ-2106). Первый канал питает аппараты системы зажигания, контрольные приборы, реле указателей поворота, второй — тяговое реле стартера, стеклоочиститель, отопитель, звуковые сигналы, плафоны кабины. За счет введения второго канала питания увеличивается надежность системы электроснабжения и уменьшаются потери напряжения в цепи источника электроэнергии — распределительное устройство.

С целью облегчения нахождения неисправностей в электрической сети, унификации жгутов проводов на различных моделях автомобилей, облегчения монтажа и замены жгутов в эксплуатации предохранители и реле в цепях управления на современных автомобилях конструктивно объединяют в один блок (например, на ВАЗ-2105). В этом случае блок является центральным распределительным устройством (рис. 8.2), к которому при помощи штекерных колодок подключаются основные жгуты проводов, идущие в моторное отделение, на щиток приборов, к задним фонарям.

В связи с большим потреблением меди остро стоит вопрос экономии проводов в электрических сетях автомобилей. Например, на автомобиль ЗИЛ-130С в обычном исполнении требуется 160 м проводов и 247 м — с модернизированным тормозным приводом. На новый дизельный грузовой автомобиль ЗИЛ-4331 расходуется 430 м медных проводов.

Общая длина проводов автомобилей МАЗ, КамАЗ достигает 700 м. Суммарная длина проводов легковых автомобилей составляет, например, на ГАЗ-24 — 178 м, на ВАЗ-2107 — 250 м, на «Москвиче-2141» — 220 м. Для уменьшения расхода меди проводятся исследовательские работы по использованию на автомобилях принципиально новых систем распределения электрической энергии: с много-

канальным уплотнением (мультиплексированием) и применением волоконной оптики. Однако внедрение на автомобилях массового производства подобных устройств на сегодняшний день ограничено их высокой стоимостью. Поэтому реальным путем уменьшения расхода проводов в ближайшее время является применение проводов меньших сечений.

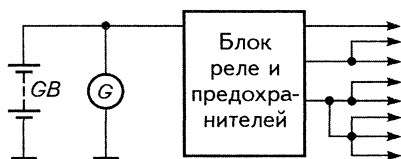


Рис. 8.2. Централизованная система распределения электроэнергии на автомобилях от блока реле и предохранителей

8.2. КОММУТАЦИОННАЯ АППАРАТУРА

В систему электрооборудования транспортных средств, помимо источников электроэнергии и потребителей, входит также установочная и коммутационная аппаратура. Указанные изделия могут быть разбиты на три группы: выключатели и переключатели; электромагнитные реле и контакторы; разъемы и соединительные панели.

Основным узлом коммутационных устройств является контактная часть, имеющая в конструкции изделий первой группы механический (ручной, пневматический) привод, и в конструкции изделий второй группы – электромагнитный привод. По схеме коммутации выключатели и переключатели отличаются числом коммутационных цепей, позиций и выводов. Кроме того, они отличаются по токовой нагрузке и исполнению привода (клавишные, кнопочные, повторные, вытяжные и т. д.).

Основными параметрами выключателей и переключателей являются номинальное напряжение, номинальный ток, схема коммутации, падение напряжения на контактах, ресурс по числу циклов включения-отключения.

По функциональному назначению можно выделить: главный выключатель (выключатель зажигания, приборов и стартера); центральный переключатель света; многофункциональный подрулевой переключатель; переключатель системы стеклоочистки; переключатель отопления; переключатель указателей поворота; выключатель стоп-сигнала; выключатель аварийной световой сигнализации; выключатель различных управляющих и исполнительных устройств. Выключатели отопителей, стеклоочистителей, плафонов освещения и других приборов выполняются в виде тумблеров, клавишных выключателей (ВА3) и, как более надежные, кнопочного типа.

В схемах электрооборудования автомобилей все большее распространение получают реле. Они применяются для включения стартера, сигналов дальнего и ближнего света фар, электровентилатора в системе охлаждения двигателя, обогрева заднего стекла, отопителя, фароочистителей, отключения обмотки возбуждения генератора. Реле-прерыватели применяются в схемах контрольной лампы ручного тормоза, стеклоочистителя и т. д. Электромагнитные реле подразделяются на три группы по конструктивному исполнению: обычные; малогабаритные; специальные. Внутри каждой из этих групп реле подразделяются по напряжению – на 12 и 24 В с разными обмоточными характеристиками.

По схеме коммутации реле подразделяются на замыкающие, размыкающие и переключающие. Кроме того, реле обычного типа отличаются режимом работы: продолжительный и кратковременный режим.

Срок службы реле в зависимости от напряжения составляет от 25 тыс. до 200 тыс. включений и от 100 тыс. до 300 тыс. км пробега автомобиля. Для удобства монтажа и смены на современных автомобилях реле имеют штекерные выводы и устанавливаются в едином блоке вместе с предохранителями (ВАЗ-2105, ВАЗ-2108, МАЗ-64227).

В силовых цепях с токами свыше 50 А необходимо использовать контакторы, которые выпускаются трех типов: на 12 В и на 24 В с замыкающими контактами и на 24 В с переключающими контактами.

Разъемы и соединительные панели служат для обеспечения монтажа жгутов и приборов электрооборудования, соединения тягача с прицепом, подключения внешнего питания, переносной лампы и т. д.

8.3. ПРОВОДА И СПОСОБЫ ЗАЩИТЫ ОТ АВАРИЙНЫХ РЕЖИМОВ

Автомобильные провода делятся на провода низкого напряжения (до 48 В) и высокого напряжения (для вторичной цепи системы зажигания). В качестве изоляции проводов применяют поливинилхлоридный пластикат, который является масло- и бензостойким, не распространяет горения, работоспособен при низких и высоких температурах. Провода марок ПВА (провод с полихлорвиниловой изоляцией автомобильный), ПВАЭ (Э – экранированный) и ПВАЛ (Л – лакокостойкий) используются при температуре –40...+150°С, осталь-

ных марок от $-40...+70^{\circ}\text{C}$. Если при соединении приборов требуется экранирование провода, то применяют провода марок ПВАЭ и ПГВАЭ (Г – гибкий), а в случае необходимости защиты от механических повреждений применяют провода с бронированной изоляцией марки ПГВАБ (Б – бронированная изоляция).

Для облегчения монтажа, нахождения неисправностей и ремонта электрических сетей на автомобилях применяется маркировка проводов по цвету изоляции. Провода могут иметь сплошную или комбинированную расцветку. Сплошная расцветка имеет 11 цветов (белый, желтый, оранжевый, красный, розовый, синий, зеленый, коричневый, черный, серый, фиолетовый). Комбинированная расцветка представляет собой сплошную расцветку с нанесенной на нее эмалью в виде полос или колец 4 цветов (белый, красный, черный, голубой). Срок службы проводов не менее 8 лет.

В зависимости от марки провода сечение его жилы может быть следующего размера: 0,5; 0,75; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0; 6,0; 10; 16; 25; 35; 50; 70 и 95 мм². Минимальные сечения проводов ограничиваются необходимой механической прочностью при монтаже и эксплуатации (статическое усилие разрыва не менее диапазона значений 100...120 Н).

Провода высокого напряжения, применяемые для соединения в цепях системы зажигания, подразделяются на обычные марки ПВВ (провод с полихлорвиниловой изоляцией высоковольтный) с металлическим многожильным проводом и помехоподавительные провода марок ПВБО (О – высокоомное распределенное сопротивление) и ПВВП (П – помехоподавительный). При использовании проводов марки ПВВ необходимо применять наконечники с подавительными резисторами у каждой свечи.

Для определения допустимого тока в низковольтном проводе с учетом предельной температуры изоляции используется тепловой расчет, который проводится на основе математического моделирования и экспериментальных данных. При тепловом расчете жгутов проводов рассматривают самый неблагоприятный случай, когда по всем проводам проходит максимальный ток. Тогда тепловой моделью жгута является цилиндр, однородный в тепловом отношении и обладающий эквивалентным коэффициентом теплопроводности $\lambda_{\text{экв}}$. Диаметр цилиндра равен диаметру жгута проводов. Дискретные источники тепла внутри цилиндра оказывают на любую точку модели такое же температурное воздействие, как если бы они были распределены равномерно по всему объему. Максимально допустимая температура t_d бывает в центре жгута и ограничивается допустимой температурой нагрева изоляции проводов $t_d = 105^{\circ}\text{C}$.

Расчеты для температуры окружающего воздуха $t_b = 20^\circ\text{C}$ позволили определить допустимые длительные токовые нагрузки одиночных проводов марки ПВА для сечений 0,75; 1,0 и 1,5 мм², которые соответственно равны 20,7; 24,6 и 31,1 А.

Увеличение допустимой плотности тока с уменьшением сечения провода при прочих равных условиях объясняется тем, что с уменьшением сечения увеличивается поверхность провода, приходящаяся на единицу сечения, и тем самым улучшаются условия охлаждения.

Для температуры окружающего воздуха 20°C допустимые токовые нагрузки жгутов из 7 проводов марки ПВА сечением 0,75; 1,0 и 1,5 мм равны соответственно 12; 14 и 18 А. Для жгута из 19 проводов с теми же сечениями токи соответственно равны 8,4; 10 и 13 А. Отметим, что допустимые токовые нагрузки проводов при прокладке в жгутах в 1,8...2,5 раза меньше, чем при одиночной прокладке.

Для инженерных расчетов допустимых токовых нагрузок I_d можно использовать следующие выражения.

Для одиночных проводов

$$I_d = \sqrt{\Delta t(4S_m + 4S_m^{1,5})},$$

где Δt – допустимый перегрев провода относительно температуры окружающей среды, $^\circ\text{C}$; S_m – номинальное сечение провода по меди, мм².

Для жгутов из 2–3 проводов

$$I_d = \sqrt{\Delta t(4S_m + 1,7S_m^{1,5})}.$$

Защита электрических цепей от коротких замыканий и перегрузок обеспечивается плавкими и термобиметаллическими предохранителями. Основным показателем предохранителей, определяющим эффективность их действия, является ампер-секундная характеристика, представляющая собой зависимость времени срабатывания предохранителя от тока нагрузки.

Сопоставление ампер-секундных характеристик автомобильных предохранителей различных конструкций (плавких проволочных и ленточных, кнопочных биметаллических) показывает, что биметаллические предохранители по сравнению с плавкими более инерционны в зоне больших перегрузок $I/I_n \geq 2$ и более чувствительные в зоне малых перегрузок $I/I_n : 2$. Поэтому биметаллические предохранители рекомендуются в первую очередь для защиты цепей с

электродвигателем, когда пусковые токи могут в 4...6 раз превышать номинальные токи. Кнопочные термобиметаллические предохранители служат в основном для защиты моторедукторов стеклоочистителей, стеклоподъемников, электродвигателей отопителя, вентиляторов и т. д.

Плавкие предохранители в основном объединены в блоки, содержащие несколько предохранителей на различные номинальные токи. Имеются также одиночные плавкие ленточные предохранители в разъемном корпусе и устанавливаемые непосредственно на жгуте проводов одиночные плавкие проволочные предохранители в стеклянном корпусе. В настоящее время разрабатываются и внедряются предохранители штекерного типа.

Для выбора номинального тока предохранителя I_n необходимо сравнить ампер-секундные характеристики предохранителей и защищаемого провода. Под ампер-секундной характеристикой провода подразумевается зависимость времени достижения изоляцией провода предельной температуры от тока нагрузки. На одном графике строят ампер-секундные характеристики проводов и выбранного предохранителя. На этот график наносят также силу тока короткого замыкания или перегрузку в защищаемой цепи. Предохранитель защищает провод, если его ампер-секундная характеристика проходит ниже, чем таковая у провода в зоне действующих перегрузок.

Расчет токов короткого замыкания $I_{кз}$ производится так:

$$I_{кз} = U_n / (R_6 - R_{кз}),$$

где U_n – номинальное напряжение аккумуляторной батареи, В; R_6 – внутреннее сопротивление аккумуляторной батареи, Ом; $R_{кз}$ – сопротивление цепи короткого замыкания, Ом.

Сопротивление цепи короткого замыкания

$$R_{кз} = \sum R_k - R_m - R_{пр},$$

где $\sum R_k$ – сумма переходных сопротивлений контактов коммутационной, защитной и установочной аппаратуры; R_m – сопротивление по «массе» автомобиля; $R_{пр}$ – сопротивление проводов.

Номинальные токи плавкого ленточного предохранителя равны 10 А для сечения проводов 0,75 и 1,0 мм² и 16 А для сечения 1,5 мм². Номинальные токи биметаллического предохранителя равны для сечений проводов 0,75 и 1,0 мм² – 15 А, для сечения 1,5 мм² – 20 А.

Для сокращения числа контактных соединений в электрических

цепях и уменьшения расхода проводов на автомобилях применяется групповой способ защиты электрических цепей.

С целью обеспечения удобства работы водителей и безопасности движения не должны подключаться к одному предохранителю взаимозаменяемые приборы, например розетки переносной и подкапотной ламп, освещение контрольных приборов и плафона салона. Индивидуальным предохранителем должно быть защищено реле указателей поворота в режиме аварийной сигнализации.

Для обеспечения надежной защиты электрических цепей на один предохранитель должны подключаться потребители электроэнергии, близкие по мощности.

Для повышения надежности наиболее важных электрических цепей путем исключения из них дополнительных контактных соединений не защищаются цепи заряда аккумуляторной батареи, пуска, зажигания.

8.4. ПОТЕРИ НАПРЯЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ АВТОМОБИЛЯ

При передаче электрической энергии от источника к потребителям происходит частичная потеря энергии за счет нагрева проводов, коммутационной и защитной аппаратуры. Такое рассеивание энергии характеризуется падением напряжения на участке между источником энергии и потребителем.

Допустимые потери напряжения в цепях электрооборудования автомобилей выбирают из условия обеспечения на выводах потребителей электроэнергии напряжения питания, необходимого для их нормального функционирования. Расчет потерь напряжения в электрических сетях автомобилей должен проводиться с учетом переходных сопротивлений контактов, сопротивления проводов, предохранителя.

В зависимости от требований к условиям работы изделий электрооборудования электрические сети автомобилей условно разделяются на цепи заряда аккумуляторной батареи, пуска, внешних световых приборов и других потребителей электроэнергии.

Рассмотрим критерии определения допустимых потерь напряжения в каждой из этих цепей. Допустимые потери напряжения в цепи заряда аккумуляторной батареи (генератор – аккумуляторная батарея) определяют из условия обеспечения зараженности батареи не менее 75% и исключения ее перезаряда. Это условие выполняется, если напряжение на батарее равно регулируемому, измеряемому на выводах регулятора напряжения.

Рассмотрим наиболее распространенную схему включения генератора переменного тока и батареи на отечественных автомобилях (рис. 8.3). Напряжение на выводе «+» батареи относительно «массы» автомобиля (потерей напряжения по «массе» автомобиля пренебрегаем)

$$U_6 = U_r - \Delta U_1 - \Delta U_2, \quad (8.1)$$

где U_r – напряжение на выводе «+» генератора относительно «массы» автомобиля; ΔU_1 – потеря напряжения на участке вывод «+» генератора – вывод «4» амперметра; ΔU_2 – потеря напряжения на участке вывод «+» амперметра – вывод «+» батареи.

Напряжение на выводе «+» генератора

$$U_r = U_p + \Delta U_3 - \Delta U_2, \quad (8.2)$$

где U_p – регулируемое напряжение на выводе «+» регулятора напряжения относительно «массы» автомобиля; ΔU_3 – потеря напряжения на участке вывод «+» амперметра – вывод «+» регулятора напряжения.

Подставив выражение (8.2) в формулу (8.1), получим напряжение

$$U_6 = U_p + \Delta U_3 - \Delta U_2. \quad (8.3)$$

Выражение (8.3) показывает, что напряжение на аккумуляторной батарее равно регулируемому, когда $\Delta U_2 = \Delta U_3$. Если ΔU_3 значительно больше ΔU_2 , то возможен недопустимый перезаряд батареи. В случае когда ΔU_2 значительно превышает ΔU_3 , возможен недозаряд батареи. Так как нагрузка в цепи заряда батареи меняется, то обычно нормируется сопротивление этой цепи – не более 0,025 Ом.

Допустимые потери напряжения в цепи аккумуляторная батарея – стартер устанавливают исходя из условия обеспечения на выводах стартера напряжения, при котором возможен пуск двигателя без применения устройств облегчения пуска при минусовых температурах: карбюраторных двигателей до -25°C , дизельных до -17°C с полностью заряженной батареей и на первой попытке пуска. Поте-

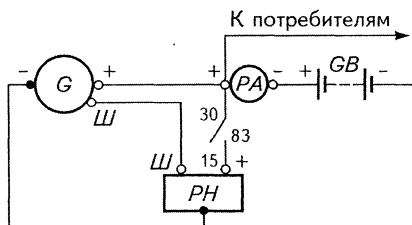


Рис. 8.3. Схема включения генератора G и аккумуляторной батареи GB на автомобилях: PH – регулятор напряжения; $B3$ – выключатель зажигания; PA – амперметр

ри напряжения в цепи аккумуляторная батарея – стартер не должны превышать 0,2 В на 100 А.

По стандартам США падение напряжения в стартерной цепи для системы на 12 В не должно превышать 0,2 В на 100 А, для системы на 24 В – 0,4 В на 100 А; по стандартам ФРГ это падение не должно превышать 4% напряжения на стартере.

Для обеспечения номинального светового потока от внешних световых приборов на клеммах автомобильных ламп необходимо поддерживать установленное для каждой лампы расчетное напряжение.

Допустимые потери напряжения в цепях внешних световых приборов ΔU_d рассчитывают с учетом минимально допустимого напряжения питания:

$$\Delta U_d = U_{c \min} - U_{\min}, \quad (8.4)$$

где $U_{c \min}$ – минимальное напряжение в бортовой сети автомобилей.

Значение $U_{\min}$ для внешних световых приборов устанавливается по критерию обеспечения безопасности движения. Например, для системы на 12 В минимальное напряжение питания световых приборов для дальнего и ближнего света равно 12 В, для габаритных огней – 12,3 В, для сигнала торможения – 12,7 В. Для системы на 24 В минимальные напряжения питания для тех же световых режимов равны соответственно 25,1; 25,5 и 26,3 В.

Допустимые потери напряжения в цепях внешних световых приборов зависят от минимального напряжения в бортовой сети автомобилей $U_{c \min}$. Минимальное значение напряжения в бортовой сети автомобилей определяется регулируемым напряжением U_p на выводе «+» генератора:

$$U_{c \min} = U_{p \min} + \Delta U,$$

где $U_{p \min}$ – минимальное регулируемое напряжение на выводах регулятора напряжения; ΔU – падение напряжения в проводах, соединяющих выводы «+» амперметра и регулятора напряжения, а также в штекерных соединениях и контактах выключателя зажигания.

Напряжение между выводом «+» генератора и «массой», а также напряжение между другими точками бортовой сети автомобиля и «массой» отличается от значения $U_{c \min}$ и зависит от схемы подключения регулятора напряжения.

Регулируемое напряжение в автомобильной бортовой сети (как указывалось в гл. 1) устанавливается в зависимости от условий

эксплуатации автомобиля и места установки аккумуляторной батареи. Минимальное регулируемое напряжение $U_{p \min}$ устанавливается для жаркой климатической зоны в зависимости от номинального напряжения бортовой сети равным 13 или 26 В. Учитывая, что напряжение бортовой сети автомобилей больше регулируемого, примем $U_{c \min} = 13,5$ В для системы с номинальным напряжением 12 В и $U_{c \min} = 26,7$ В для системы на 24 В.

Согласно выражению (8.4) рассчитывают допустимые потери напряжения в цепях внешних световых приборов. Например, для системы на 12 В допустимые потери напряжения в цепях внешних световых приборов равны для ближнего и дальнего света 0,9 В, для габаритных огней 1,2 В, для сигнала торможения 0,8 В. Для системы на 24 В допустимые потери напряжения для тех же цепей равны соответственно 1,6; 1,2 и 0,4 В. Отметим, что допустимые потери напряжения в цепях внешних световых приборов составляют 2...10% номинального напряжения в бортовой сети автомобилей.

Допустимые потери напряжения в цепях других потребителей электроэнергии (контрольных приборов, электродвигателей, электромагнитных реле) устанавливаются с учетом обеспечения на их выводах напряжения, близкого к 13,5 В или 27 В (в зависимости от номинального напряжения системы), при котором осуществляется их настройка, определяются погрешности, производятся испытания на нагрев и срок службы. Учитывая, что номинальное напряжение автомобильных генераторов равно 14 или 28 В, допустимые потери напряжения в рассматриваемых цепях равны соответственно 0,5 или 1,0 В.

8.5. ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СХЕМ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ

Электрооборудование современных автомобилей представляет сложный комплекс источников электроснабжения, аппаратов зажигания, электрических машин, контрольных приборов, приборов внешнего освещения и сигнализации, различного типа коммутационных приборов, предохранителей и соединительных проводов, объединенных в общую электрическую схему. Для выполнения отдельных функций в автомобильных схемах используется, как правило, не одно изделие, а группа изделий.

Унифицированные схемы электрооборудования автомобилей разрабатывают на базе унифицированных схем отдельных функциональных систем. При выборе мест подключения потребителей электроэнергии нужно выполнять определенные требования.

Потребители большой мощности и работающие кратковременно, а также приборы, работа которых необходима в аварийных случаях, подключаются к линии аккумуляторная батарея – амперметр (стартер, звуковые сигналы, прикуриватель, аварийная сигнализация с указателями поворота, штепсельная розетка переносной лампы). Остальные потребители подключаются к линии амперметр – генератор.

В этой группе в зависимости от характера работы приборы и аппараты должны подключаться: через выключатель зажигания (выключатель приборов и стартера), если они работают только при пущенном двигателе (отопитель, стеклоочиститель, контрольные приборы); через центральный переключатель – все приборы внешнего освещения. Необходимо отметить, что у некоторых автомобилей амперметр отсутствует, в этом случае напряжение бортовой сети автомобиля равно напряжению между клеммой «+» батареи и «массой».

Схемы электрооборудования по части графического выполнения должны быть наглядными и легко читаемыми; обеспечивать анализ возможных неисправностей в сетях; давать возможность проследить пути тока в электрических цепях; отражать фактическую прокладку и группировку проводов в жгуты.

Существует два типа электрических схем электрооборудования автомобилей: принципиальная и схема соединений. На автомобильных заводах используют монтажные схемы, необходимые для правильной установки изделий электрооборудования на автомобиль, а также чертежи жгутов, показывающие, какие провода входят в жгут, геометрические размеры жгута, клеммные колодки и наколенники жгута.

В принципиальной электрической схеме главные питающие цепи располагаются горизонтально, а потребители электрической энергии включаются между ними и «массой» автомобиля. Контур изделия изображают в виде прямоугольника, выделяемого тонкой сплошной линией. Внутри контура показывают внутреннюю электрическую схему изделия. Графические обозначения отдельных элементов изделий электрооборудования должны соответствовать стандартам ЕСКД. На рис. 8.4 и 8.5 изображены электрические схемы электрооборудования автомобилей ЗИЛ и Ford.

На рис. 8.4 приведена принципиальная схема электрооборудования автомобилей ЗИЛ-431410: 1 – регулятор; 2 – генератор; 3 – амперметр; 4 – аккумуляторная батарея; 5 – реле стартера;

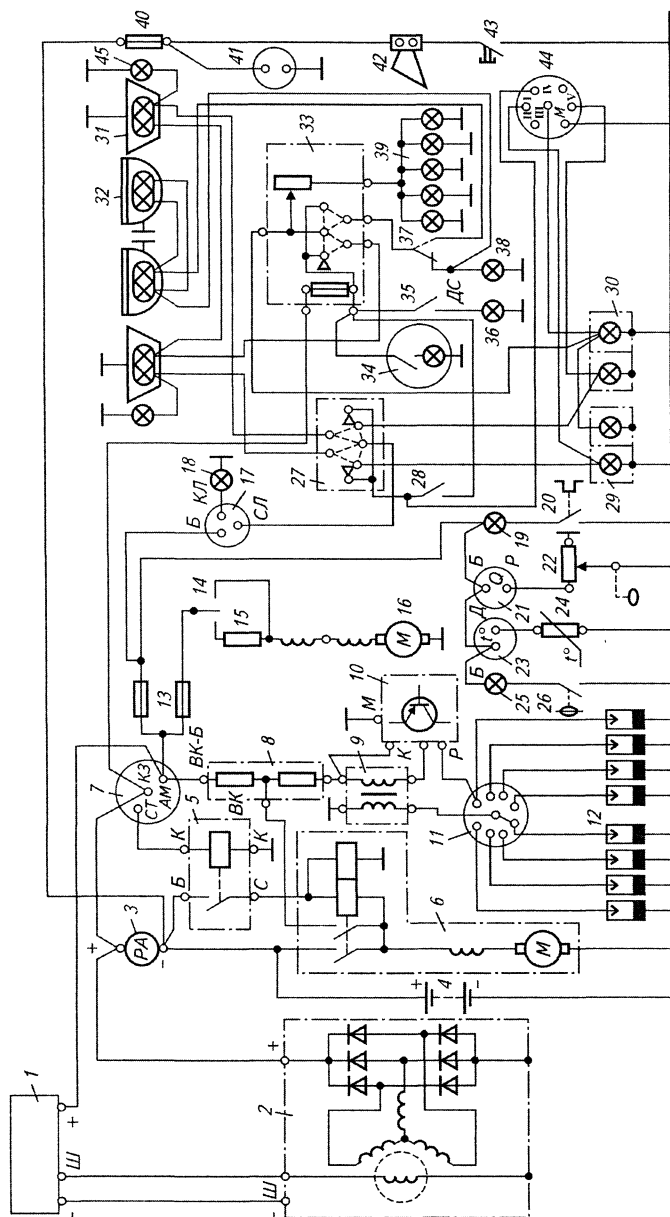


Рис. 8.4. Принципиальная схема электрооборудования автомобилей ЗИЛ-431410

6 – стартер; 7 – выключатель зажигания; 8 – добавочный резистор; 9 – катушка зажигания; 10 – транзисторный коммутатор; 11 – распределитель; 12 – свеча зажигания; 13 – блок биметаллических предохранителей; 14 – переключатель электродвигателя отопителя; 15 – резистор электродвигателя отопителя; 16 – электродвигатель отопителя, 17 – реле-прерыватель поворота; 18 – контрольная лампа; 19 – контрольная лампа аварийного перегрева воды; 20 – датчик температуры; 21 и 23 – соответственно указатели уровня топлива и температуры воды; 22 и 24 – датчики указателей соответственно уровня топлива и температуры воды; 25 – контрольная лампа аварийного падения давления масла; 26 – датчик контрольной лампы давления; 27 – переключатель указателей поворота; 28 – выключатель сигнала торможения; 29, 30 – задние фонари; 31 – подфарник; 32 – фара; 33 – переключатель света, 34 – подкапотный фонарь; 35 – выключатель плафона; 36 – плафон; 37 – ножной переключатель света, 38 – контрольная лампа дальнего света фар; 39 – лампы освещения приборов; 40 – биметаллический предохранитель; 41, 44 – штепсельные розетки; 42 – звуковой сигнал; 43 – кнопка звукового сигнала; 45 – фонарь повторителя указателя поворота

На рис. 8.5 приведена принципиальная схема электрооборудования автомобиля «Ford Scorpio» (с карбюраторными двигателями REC и NEL): 1 – катушка зажигания; 2 – датчик-распределитель; 3 – блок управления; 4 – разъем для корректора начального угла опережения зажигания; 5 – датчик температуры охлаждающей жидкости; 6 – подогреватель всасываемого воздуха; 7 – реле включения подогревателя всасываемого воздуха (M1); 8 – к автоматической КПП, кондиционеру и элементу обогрева ветрового стекла; 9 – аккумуляторная батарея; 10 – стартер; 11 – система автоблокировки колес; 12 – выключатель зажигания; 13 – к радиоприемнику; 14 – реле питания (I); 15 – стабилизатор напряжения; 16 – реле питания (XI); 17 – нагреватель автомата пуска и подогрева; 18 – генератор; 19 – спидометр; 20 – тахометр; 21 – указатель уровня топлива; 22 – указатель температуры охлаждающей жидкости; 23 – контрольная лампа аварийного давления масла; 24 – контрольная лампа уровня тормозной жидкости и включения стояночного тормоза; 25 – контрольная лампа заряда аккумуляторной батареи; 26 – к очистителям и омывателям стекол; 27 – выключатель обогрева заднего стекла; 28 – к схеме противотуманных фар; 29 – переключатель вентилятора отопителя и кондиционера (если он установлен); 30 – датчик спидометра; 31 – датчик уровня топлива; 32 – датчик температуры охлаждающей жидкости; 33 – дат-

чик аварийного давления; 34 – датчик низкого уровня тормозной жидкости; 35 – датчик включения стояночного тормоза; 36 – прикуриватель; 37 – реле включения сигналов; 38 – звуковые сигналы; 39 – выключатель звуковых сигналов; 40 – реле включения обогревателя заднего стекла; 41 – обогреватель заднего стекла; 42 – электровентилятор отопителя; 43 – к кондиционеру и электромагнитному клапану заслонки рециркуляции воздуха; 44 – выключатель стоп-сигнала; 45 – выключатель огней заднего хода; 46 – выключатель аварийной сигнализации; 47 – прерыватель указателей поворота и аварийной сигнализации; 48 – переключатель указателей поворота; 49 – переключатель света фар и выключатель сигнализации дальним светом; 50 – переключатель освещения; 51–54 – лампы соответственно левого переднего, левого заднего, правого переднего и правого заднего габаритных огней; 55 – подкапотная лампа; 56 – регулятор освещения приборов; 57 – к системе централизованной блокировки дверей; 58 – к кондиционеру (если он установлен); 59 – часы; 60 – лампы стоп-сигналов; 61 – к схеме очистителя и омывателя заднего стекла; 62 – лампы огней заднего хода; 63 – лампы передних левых указателей поворота; 64 – лампа левого заднего указателя поворота; 65 – контрольная лампа левых указателей поворота; 66 – контрольная лампа правых указателей поворота; 67 – лампы передних правых указателей поворота; 68 – лампа правого заднего указателя поворота; 69 – реле включения дальнего света фар; 70 – контрольная лампа дальнего света; 71 – лампы (нити) дальнего света левой стороны; 72 – лампы (нити) дальнего света правой стороны; 73 – реле ближнего света; 74, 75 – нить ближнего света соответственно левой и правой сторон; 76 – к выключателю противотуманных огней; 77 – лампа освещения багажного отделения; 78 и 79 – лампы освещения соответственно пепельницы и прикуривателя; 80 – лампа и выключатель освещения вещевого ящика; 81 – лампы освещения номерного знака; 82 – лампы освещения комбинации приборов; 83 – лампа освещения ручек управления отопителем; 84 – лампы освещения переключателей; 85 – лампы освещения вещевого ящика; 86 – плафон освещения салона; 87 – лампы фонаря подсветки зеркала пассажира; 88 – выключатель лампы освещения вещевого ящика; 89–92 – выключатели плафона освещения салона в стойки дверей соответственно левой задней, левой передней, правой передней и правой задней. Буквами на схеме обозначены цвета проводов: Г – голубой; Кч – коричневый; Ж – желтый; С – серый; З – зеленый; Р – розовый; К – красный; Ч – черный; Ф – фиолетовый; Б – белый участка С, соединяющего изделие с корпусом автомобиля.

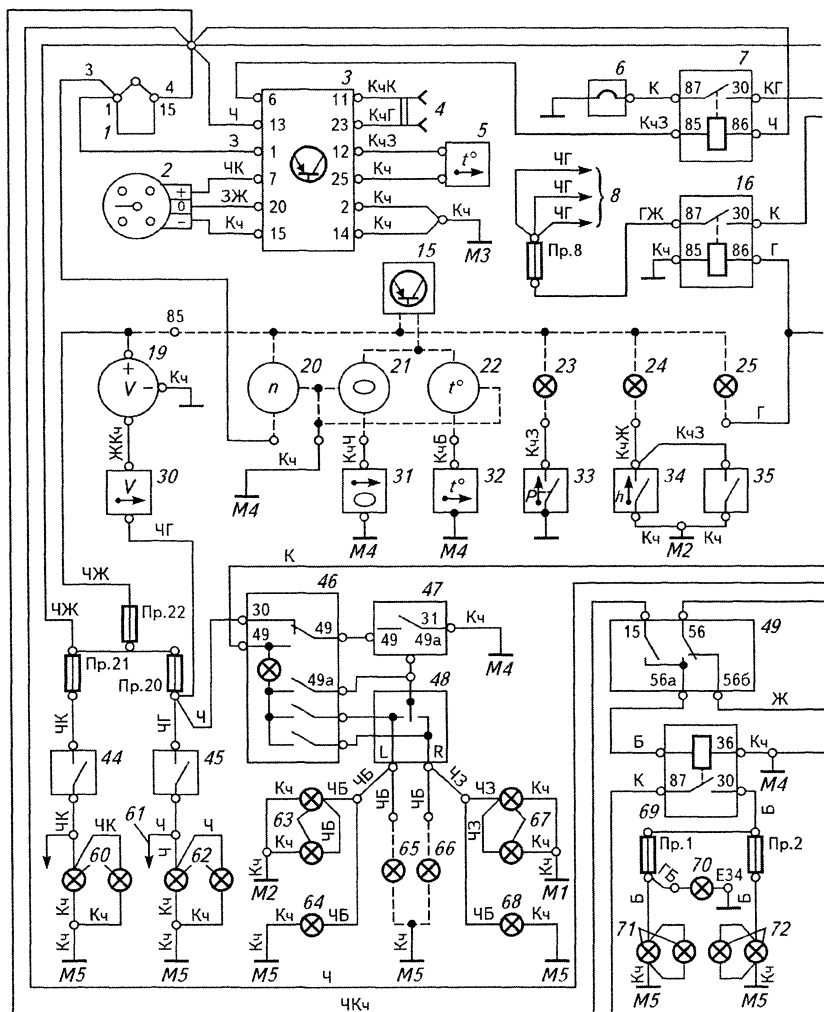
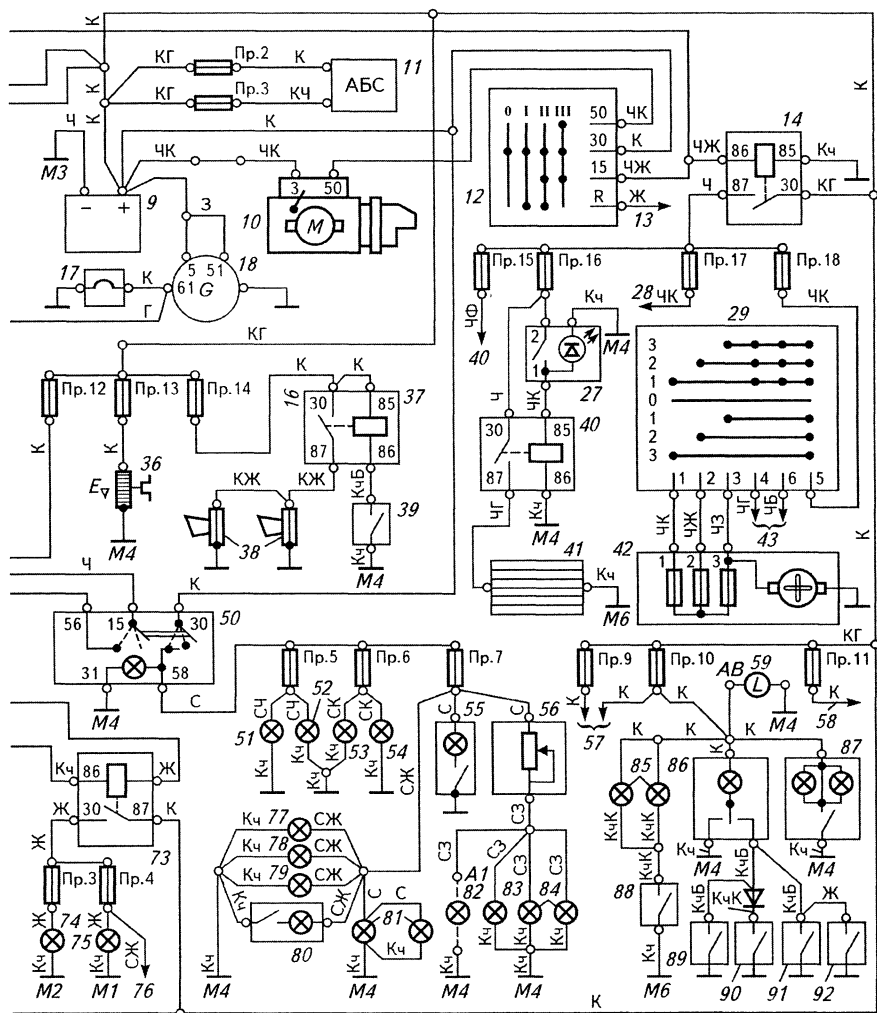


Рис. 8.5. Принципиальная схема электрооборудования

На схеме соединений расположение деталей электрооборудования относительно друг друга должно соответствовать их фактическому размещению на автомобиле. Изделия следует изображать в виде схематических контуров, отражающих очертания реального прибора. На схеме соединения должна быть показана группировка проводов в жгуты, взаимное расположение жгутов должно соответ-



автомобиля «Ford Scorpio»

ствовать их действительной трассировке на автомобиле. Отдельная электрическая цепь состоит из трех основных участков (рис. 8.6).

Цветовая маркировка проводов участка *A* осуществляется по цвету провода той или иной линии питания, к которой присоединяется электрическая цепь. Цветовая маркировка проводов участка *B* осуществляется по следующим принципам:

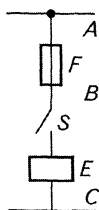


Рис. 8.6. Участки автомобильной электрической цепи

– участки цепи, разделенные контактами, обмотками реле, резисторами, предохранителями, должны иметь различную расцветку;

– участки цепи, проходящие через разъемные, разборные и неразборные контактные соединения и являющиеся продолжением одной цепи, должны иметь одну расцветку;

– расцветка изоляции проводов может повторяться, если провода проложены в различных жгутах или выходят из одного жгута в различных местах.

Цвет изоляции провода участка C должен быть одинаковым для всей системы электрооборудования (например, черный).

На рис. 8.7 показана типовая принципиальная схема электропитания легкового автомобиля. Регулятор напряжения и обмотка возбуждения подключены к трем диодам выпрямительного моста генератора 1. Контрольная лампа 2 служит для индикации подпитки ОВ в момент пуска двигателя и сигнализирует об исправности генераторной установки. При включении выключателя зажигания 3 контрольная лампа 2 загорается. После того как напряжение на выводе Д генератора достигнет номинального значения, контрольная лампа 2 гаснет.

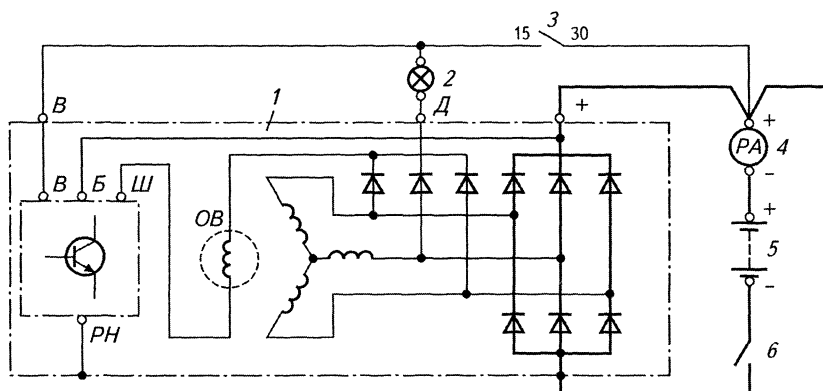


Рис. 8.7. Принципиальная типовая электрическая схема системы электропитания для автомобилей с карбюраторными двигателями:

- 1 – генератор; 2 – контрольная лампа; 3 – выключатель зажигания;
- 4 – амперметр; 5 – аккумуляторная батарея; 6 – выключатель «массы»

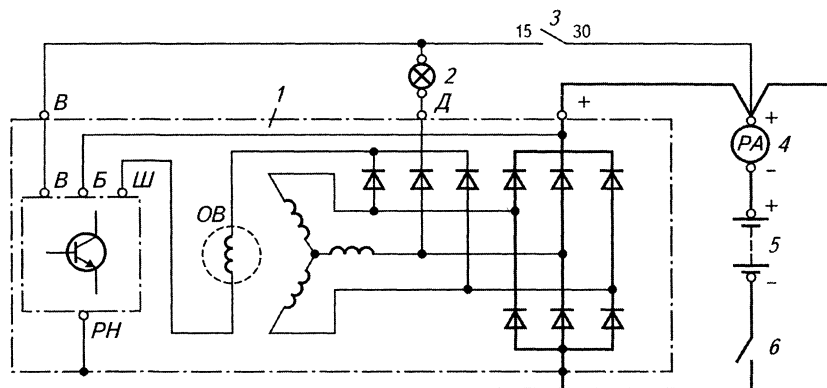


Рис. 8.8. Принципиальная электрическая схема системы электроснабжения для грузовых автомобилей с карбюраторными двигателями (обозначения см. на рис. 8.7)

Регулируемое напряжение U_p в этой схеме измеряется между выводом $Д$ генератора и «массой». Разница напряжений между выводами $Д$ и «+» генератора, определяемая потерями напряжения в плюсовой группе диодов основного и дополнительного выпрямителей, незначительна и поэтому можно считать, что напряжения на этих выводах равны.

Следовательно, в рассматриваемой схеме системы электроснабжения сопротивление цепи генератор – вход $РН$ (вывод $В$) минимально, не изменяется в процессе эксплуатации и поэтому исключено явление уменьшения частоты переключения $РН$.

Напряжение в бортовой сети автомобилей U_c (на выводе «+» амперметра) будет меньше регулируемого на размер потери напряжения в цепи генератор – амперметр (на 0,3...0,5 В).

У грузовых автомобилей с карбюраторными двигателями аккумуляторная батарея вынесена из подкапотного пространства. За счет увеличения длины проводов общее сопротивление цепи генератор – аккумуляторная батарея у них в 1,5...2 раза больше, чем у легковых.

Для обеспечения заряженности батареи следует стремиться к минимальным потерям напряжения в цепи заряда. На рис. 8.8 приведена типовая принципиальная схема системы электроснабжения для грузовых автомобилей с карбюраторными двигателями. Питание $РН$ осуществляется не через дополнительные диоды, а от силовой цепи генератора через выключатель зажигания $З$.

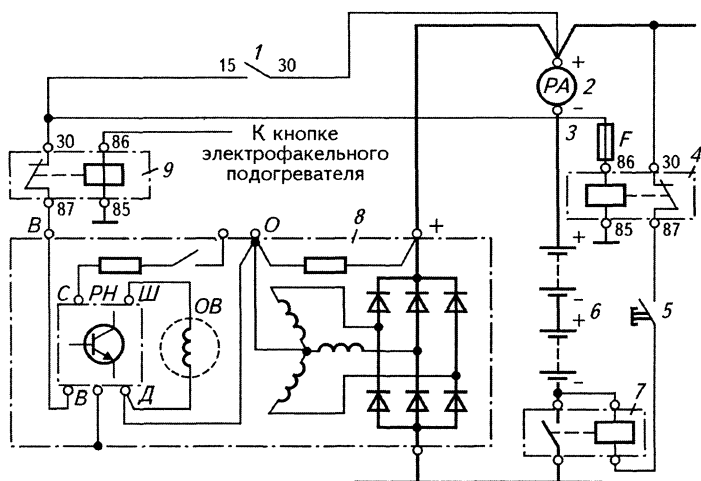


Рис. 8.9. Принципиальная типовая электрическая схема системы электрооборудования для грузовых автомобилей с дизельными двигателями:
 1 – выключатель приборов и стартера; 2 – амперметр; 3 – предохранитель; 4 и 9 – промежуточные реле; 5 – кнопка выключателя «массы»; 6 – аккумуляторная батарея; 7 – выключатель «массы»; 8 – генератор

В этом случае регулируемое напряжение U_p измеряется между выводом B регулятора напряжения и «массой». Напряжение U_c будет выше U_p на размер потерь напряжения на участке вывод «+» амперметра – вывод B генератора, что компенсирует потери напряжения в цепи заряда батареи.

Для отключения аккумуляторной батареи на длительной стоянке автомобиля в типовых схемах электроснабжения автомобилей с карбюраторными двигателями введен выключатель 6 «массы».

На рис. 8.9 приведена типовая принципиальная схема системы электроснабжения грузового автомобиля с дизельным двигателем. Питание обмотки возбуждения OB , расположенной на роторе, осуществляется от нулевой точки статора генератора. Напряжение в этой точке относительно «массы» автомобиля равно половине выпрямленного (14 В). Поэтому при применении этой схемы имеется возможность унифицировать роторы генераторов на напряжение 14 и 28 В. Питание PH производится от силовой цепи генератора через выключатель приборов 1.

При проектировании системы электроснабжения грузовых автомобилей следует стремиться к тому, чтобы потеря напряжения на участке амперметр – вывод B регулятора была равна потери на-

пряжения в цепи амперметр – аккумуляторная батарея. В этом случае напряжение на аккумуляторной батарее будет незначительно отличаться от регулируемого.

Чтобы частота переключения *РН* не была ниже 30 Гц, потеря напряжения в цепи генератор – *РН* в типовых схемах электроснабжения грузовых автомобилей не должна превышать 0,5 В.

В типовой схеме электроснабжения грузового автомобиля с дизельным двигателем невозможно отключить выключатель 7 «массы» при работающем генераторе. В схеме использован дистанционный выключатель «массы» импульсного действия с фиксированными контактами. Для его включения необходимо подать импульс напряжения на управляющую обмотку. При снятии питания контакты выключателя «массы» остаются в замкнутом положении. Для отключения выключателя «массы» необходимо к его обмотке вторично приложить импульс напряжения.

В схему введено блокировочное реле 4, размыкающие контакты которого включены в цепь обмотки дистанционного выключателя «массы». При работающем генераторе 8 от вывода 15 выключателя 1 приборов и стартера подается питание на обмотку реле 4. Контакты реле разомкнуты и цепь питания выключателя 7 «массы» разорвана. Чтобы отключить выключатель 7 «массы», необходимо выключатель 1 перевести в нейтральное положение. При этом обесточивается вывод 15 выключателя 1 и отключается питание регулятора напряжения.

В типовых схемах системы электроснабжения аварийный режим короткого замыкания в цепи *ОВ* не опасен для *РН*. Выходной транзистор в цепи *ОВ* изолирован от аккумуляторной батареи. При закорачивании цепи *ОВ* генератор развозбуждается и цепь транзистора обесточивается.

В соответствии с установившейся в нашей стране традицией рекомендуется следующая маркировка выводов генераторных установок: «+» (вывод основного питания), «Д» (вывод дополнительного питания), «В» (к выключателю зажигания), «0» (вывод нулевой точки).

На современных автомобилях используется дистанционное управление стартером при помощи выключателя, как правило, конструктивно объединенного с выключателем зажигания и приборов. С целью уменьшения потерь напряжения в цепи системы пуска аккумуляторная батарея соединяется со стартером проводом сечения 16...20 мм².

На рис. 8.10 показана типовая принципиальная схема системы пуска. Управление стартером осуществляется выключателем 6.

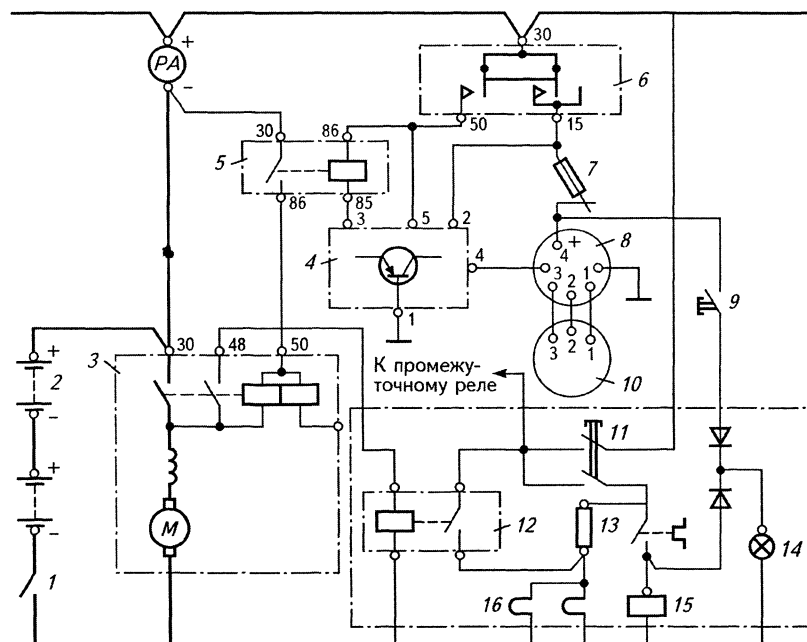


Рис. 8.10. Принципиальная типовая электрическая схема системы пуска для грузовых автомобилей с дизельным двигателем:

- 1 – выключатель «массы»; 2 – аккумуляторная батарея; 3 – стартер;
 4 – реле блокировки; 5 – реле стартера; 6 – выключатель приборов и реле стартера;
 7 – предохранитель; 8 – тахометр; 9 – кнопка проверки исправности контрольной лампы;
 10 – датчик тахометра; 11 – кнопка электрофакельного подогревателя; 12 – промежуточное реле;
 13 – терморезистор; 14 – контрольная лампа; 15 – электромагнитный клапан;
 16 – свеча накаливания

Для разгрузки контактов выключателя служит промежуточное электромагнитное реле стартера 5. В схеме предусмотрена блокировка включения стартера по частоте вращения двигателя. Для этой цели используется реле блокировки 4. Управляющий импульс питания на реле блокировки поступает от вывода 4 тахометра 8, частота появления импульсов напряжения на котором пропорциональна частоте вращения коленчатого вала двигателя. Реле блокировки может питаться не только от тахометра, но и непосредственно от генератора.

В показанной типовой схеме перегорание свечей накаливания электрофакельного подогревателя путем закорачивания терморе-

зистора 13 в их цепи исключено только при пуске стартера. Поэтому питание обмотки реле 12 осуществляется при замыкании контактов тягового реле стартера, т. е. когда шестерня стартера войдет в зацепление с венцом маховика. Напряжение бортовой сети уменьшается до 18...19 В и устраняется возможность выхода из строя свечей накаливания.

При столкновении зуба шестерни стартера и зуба венца маховика контакты тягового реле стартера и реле 12 не замыкаются. Свечи накаливания остаются подключенными к бортовой сети через терморезистор 13.

В соответствии с рекомендациями СЭВ по стандартизации для изделий системы пуска установлена следующая унифицированная маркировка выводов изделий: стартер – 30, 50, 48; реле стартера – 30, 85, 86, 88; выключатель приборов и стартера – 30, 15, 50.

Существующие периферийные устройства ЭВМ, такие, как графические дисплеи (цветные, многотональные), графопостроители, устройства внешней памяти большого объема (магнитные диски, ленты) и развитое программное обеспечение позволяют создать системы автоматизированного проектирования электрооборудования автомобилей (САПР). Предполагается, что внедрение САПР в скором времени вытеснит существующие методы проектирования, изготовления чертежей и документации. Это приведет к резкому увеличению производительности труда проектировщика за счет улучшения качества разрабатываемых схем и сокращения времени на их создание. Такие системы уже начали внедряться на передовых предприятиях отечественного автомобилестроения.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое «однопроводная передача энергии»?
2. Что входит в состав коммутационной аппаратуры?
3. Используемые марки проводов и способы защиты от коротких замыканий и перегрузок.
4. Допустимые потери напряжения в электрических цепях автомобиля.
5. Как осуществляется построение схем электрооборудования?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Автомобильные** двигатели. Системы управления и впрыска топлива. Руководство по обслуживанию и ремонту. 2000, «Альфамер», Хельсинки, Финляндия.
2. **Акимов С.В., Чижков Ю.П.** Электрооборудование автомобилей. Учебник для вузов. М. «За рулем», 2001 г., 384 с.
3. **Балагуров В.А.** Аппараты зажигания. М.: Машиностроение, 1968. 479 с.
4. **Балагуров В.А.** Проектирование специальных электрических машин переменного тока: Учеб. для вузов: М.: Высшая школа, 1982, 272 с.
5. **Банников С.П.** Электрооборудование автомобилей. М.: Транспорт, 1977, 288 с.
6. **Боровских Ю.И., Буравлев Ю.В., Морозов К.А.** Устройство автомобиля. М.: Высшая школа, 1988, 288 с.
7. **Буна Б.** Электроника на автомобиле / Пер. с венг. М.: Транспорт, 1979, 130 с.
8. **Галкин Ю.М.** Электрооборудование автомобилей и тракторов. М.: Машиностроение, 1967, 280 с.
9. **Гируцкий О.И., Есеновский-Лашков Ю.К., Поляк Д.Г.** Электронные системы управления агрегатами автомобиля. М.: Транспорт, 2000, 213 с.
10. **Кисуненко Б.В., Эйдинов А.А.** Требования к осветительным и светосигнальным приборам автомобилей в Европе и США, этапы их гармонизации. М.: «НАМИ», 2001, 96 с.
11. **Левитин К.М.** Безопасность движения автомобилей в условиях ограниченной видимости. М.: Транспорт, 1986, 111 с.
12. **Мирошников А.** Противоугонные автомобильные системы. С рекомендациями журнала «За рулем». – М.: Издательство «За рулем», 2000. – 112 с.
13. **Опарин И.М., Купеев Ю.А., Белов Е.А.** Электронные системы зажигания. М.: Машиностроение, 1987, 196 с.
14. **Покровский Г.П.** Электроника в системах подачи топлива автомобильных двигателей. М.: Машиностроение, 1990, 175 с.
15. **Сергеев А.Г., Ютт В.Е.** Диагностирование электрооборудования автомобилей. М.: Транспорт, 1987, 159 с.
16. **Система управления двигателем ВАЗ-2111 (1,5 л 8 кл.) с распределенным впрыском топлива (контроллер МР7.ОН «Bosch» – СПб., Петер Гранд, 2000. – 96 с.**
17. **Система управления двигателем Motronic.** Техническое руководство Роберт Бош GmbH, 1994.
18. **Скобелев В.М.** Световые приборы автомобилей и тракторов. М.: Энергоиздат, 1981, 279 с.
19. **Чижков Ю.П., Квайт С.М., Сметнев Н.Н.** Электростартерный пуск автотракторных двигателей. М.: Машиностроение, 1985, 160 с.
20. **Ютт В.Е.** Электрооборудование автомобилей. М.: Транспорт, 2000, 320 с.
21. **BOSCH Automotive Handbook** Роберт Бош GmbH, 2002.
22. **Torges Gerhard.** Electrotechnische Ausrüstung des Kraftfahrzeuges. Berlin: Verlag Technik, 1988. 292 с.