

Министерство сельского хозяйства  
Российской Федерации

Технологический институт-филиал ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ

И.Р. Салахутдинов  
В.А. Голубев  
А.А. Хохлов  
А.Л. Хохлов

# ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ И ТРАНСПОРТНО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ

краткий курс лекций



Димитровград - 2019

**УДК 629**  
**ББК 39.3**  
**С - 16**

**Салахутдинов, И.Р.** Электротехника и электрооборудование транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования: краткий курс лекций / И.Р. Салахутдинов, В.А. Голубев, А.А. Хохлов, А.Л. Хохлов, - Димитровград: Технологический институт – филиал УлГАУ, 2019.- 59 с.

Рецензенты: Глущенко Андрей Анатольевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Эксплуатация мобильных машин и технологического оборудования» ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ

Ротанов Евгений Геннадьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Естественнонаучные и технические дисциплины», ПКИУПТ (филиал) ФГБОУ ВО «МГУТУ ИМ. К.Г.РАЗУМОВСКОГО (ПКУ)»

Электротехника и электрооборудование транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования: краткий курс лекций предназначен для подготовки бакалавров очной и заочной форм обучения по направлению подготовки 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов».

Утверждено  
на заседании кафедры «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов»  
Технологического института – филиала  
ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ,  
протокол № 1 от 4 сентября 2019г.

Рекомендовано  
к изданию методическим советом Технологического  
института – филиала  
ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ  
Протокол № 1 от 5 сентября 2019г.

© Салахутдинов И.Р., Голубев В.А., Хохлов А.А., Хохлов А.Л., 2019  
© Технологический институт – филиал ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ, 2019

## СОДЕРЖАНИЕ

Лекция 1 Общие сведения об электротехнике	4
Лекция 2 Принцип действия электрических машин и приборов	9
Лекция 3 Химические источники тока	15
Лекция 4 Генераторы переменного тока	21
Лекция 5 Система зажигания	27
Лекция 6 Система электростартерного пуска двигателя	38
Лекция 7 Система освещения, световой и звуковой сигнализации	44
Лекция 8 Электронные системы управления	50

## ЛЕКЦИЯ 1

### ТЕМА: ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ

#### 1. Общие понятия об электричестве

Электрические явления были известны людям очень давно. Еще Древние греки 2500 лет назад, натирая янтарь сухим сукном, заметили, что янтарь после этого приобретает способность притягивать к себе легкие тела. Силу, проявляемую натертым янтарем, греки назвали электрической силой (по-гречески янтарь называется «электрон»).

Удалось установить, что в результате электризации различных тел получается два рода электричества. Условно один вид электричества назвали положительным, а другой - отрицательным. Тела, заряженные одноименным электричеством, взаимно отталкиваются; заряженные разноименным электричеством - притягиваются.

Исследование электрических явлений было впервые начато отцом русской науки М. В. Ломоносовым (1711-1765). В своем труде «Теория электричества, математическим способом разработанная автором Ломоносовым» он описал природу электричества вообще и установил природу атмосферного электричества.

Согласно современной теории строения вещества каждый атом состоит из ядра, вокруг которого по орбитам вращаются электроны. Ядро заряжено положительным электричеством, а электроны - отрицательным. Те из вращающихся в атоме электронов, которые расположены на крайних орбитах, связаны с ядром слабее, чем электроны, находящиеся на ближних к ядру орбитах. Под действием соседних атомов или вследствие других причин можно заставить крайние электроны покинуть свои орбиты.

Атомы всех металлов имеют эти неустойчивые внешние электроны, которые легко покидают свои орбиты, чем и объясняется хорошая электропроводность металлов. Электроны, потерявшие связь с атомами и перемещающиеся в пространстве между ними, называются свободными.

Атомы ряда других веществ прочно удерживают электроны около ядра и не дают им свободно уходить из атомов. Такие вещества плохо проводят электричество и называются диэлектриками.

В обычном состоянии свободные электроны находятся в беспорядочном движении. Если под действием тех или иных причин заставить свободные электроны перемещаться в одном направлении, то такое упорядоченное движение свободных электронов в металлических проводниках будет представлять собой электрический ток

*Электрический ток* – это упорядоченное движение заряженных частиц (электронов) в замкнутой электрической цепи. За направление тока принято движение электронов в цепи от плюса к минусу источника тока. Электрическая цепь включает в себя источники тока (электрической энергии), потребители и провода, соединяющие их последовательно или параллельно. Различают переменный (изменяется по величине и направлению) и постоянный токи.

*Характеристики электрического тока:* сила тока (Ампер); электродвижущая сила (ЭДС), напряжение (Вольт); сопротивление проводника (Ом); мощность электрического тока (Вт).

*Электрическое поле*, частная форма проявления (наряду с магнитным полем) электромагнитного поля, определяющая действие на электрический заряд силы, не зависящей от скорости его движения. Представление об Э. п. было введено в науку М. Фарадеем в 30-х гг. 19 в. Согласно Фарадею, каждый покоящийся заряд создаёт в окружающем пространстве Э. п. Поле одного заряда действует на другой заряд, и наоборот; так осуществляется взаимодействие зарядов (концепция близкодействия). Основная количественная характеристика Э. п. — напряжённость электрического поля  $E$ , которая определяется как отношение силы  $F$ , действующей на заряд, к величине заряда  $q$ ,  $E = F/q$ . Э. п. в среде наряду с напряжённостью характеризуется вектором электрической индукции. Распределение Э. п. в пространстве наглядно изображается с помощью силовых линий напряжённости Э. п. Силовые линии потенциально-го Э. п., порождаемого электрическими зарядами, начинаются на положительных зарядах и

оканчиваются на отрицательных. Силовые линии вихревого Э. п., порождаемого переменным магнитным полем, замкнуты.

*Магнитное поле* – поле вокруг постоянного магнита или электромагнита (проводника с током). Интенсивность магнитного поля оценивается магнитной индукцией (Тесла), показывающей плотность насыщения пространства магнитными силовыми линиями одного направления. Произведение магнитной индукции на площадь, перпендикулярную силовым линиям, называется магнитным потоком (Вебер).


*Полупроводники* – материалы, занимающие по проводимости промежуточное положение между проводниками электрического тока и изоляторами. К полупроводниковым приборам относятся диод, стабилитрон и транзистор.

*Диод* – полупроводник, проводящий ток в одном направлении.

*Стабилитрон* – диод, прибор проводящий ток в одном направлении, а при достижении им определенной величины (пробоя) в другом направлении. Применяется для поддержания напряжения в заданных пределах.

*Транзистор* – электропреобразовательный прибор с одним или несколькими электрическими переходами, проводит ток в зависимости от наличия тока управления в цепи базы. Имеет три электрода (таблица 3): эмиттер (Э), базу (Б) и коллектор (К). Ток, идущий с эмиттера на базу – базовый ток (ток управления), а с эмиттера на коллектор – коллекторный (основной). При отсутствии тока управления основной ток не идет - транзистор «заперт». Если на электродах Э и Б создать разность потенциалов, то по эмиттер-базовому переходу потечет ток управления, открывая эмиттер-коллекторный переход и вызывая повышение коллекторного тока. В автотракторном электрооборудовании транзисторы применяют как для усиления, так и для прерывания тока в цепи.

Таблица – Обозначение полупроводниковых приборов в электрических схемах

Наименование	Диод	Стабилитрон	Транзистор
Обозначение			

*Конденсатор* - двухполюсник с определённым значением ёмкости и малой проводимостью; устройство для накопления заряда и энергии электрического поля. Конденсатор является пассивным электронным компонентом. В простейшем варианте конструкция состоит из двух электродов в форме пластин (называемых обкладками), разделённых диэлектриком, толщина которого мала по сравнению с размерами обкладок (см. рис.). Практически применяемые конденсаторы имеют много слоёв диэлектрика и многослойные электроды, или ленты чередующихся диэлектрика и электродов, свёрнутые в цилиндр или параллелепипед со скруглёнными четырьмя рёбрами (из-за намотки). В 1745 году в Лейдене немецкий физик Эвальд Юрген фон Клейст и голландский физик Питер ван Мушенбрук создали конструкцию-прототип электрического конденсатора - «лейденскую банку». Первые конденсаторы, состоящие из двух проводников разделённых непроводником (диэлектриком), упоминаемые обычно как конденсатор Эпинуса или электрический лист, были созданы ещё раньше.

В России условные графические обозначения конденсаторов на схемах должны соответствовать ГОСТ 2.728-74 либо международному стандарту IEC 315—1975:

Обозначение по ГОСТ 2.728-74



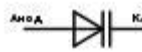
Описание

Конденсатор постоянной ёмкости

Поляризованный (полярный) конденсатор



Подстроечный конденсатор переменной ёмкости



Варикап

Основной характеристикой конденсатора является ёмкость. На электрических принципиальных схемах номинальная ёмкость конденсаторов обычно указывается в микрофарадах ( $1 \text{ мкФ} = 1 \cdot 10^6 \text{ пФ} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$ ) и пикофарадах, но нередко и в нанофарадах ( $1 \text{ нФ} = 1 \cdot 10^{-9} \text{ Ф}$ ). При ёмкости не более  $0,01 \text{ мкФ}$ , ёмкость конденсатора указывают в пикофарадах, при этом допустимо не указывать единицу измерения, то есть постфикс «пФ» опускают. При обозначении номинала ёмкости в других единицах указывают единицу измерения. Для электролитических конденсаторов, а также для высоковольтных конденсаторов на схемах, после обозначения номинала ёмкости, указывают их максимальное рабочее напряжение в вольтах (В) или киловольтах (кВ). Например так: « $10 \text{ мкФ} \times 10 \text{ В}$ ». Для переменных конденсаторов указывают диапазон изменения ёмкости, например так: « $10 — 180$ ». В настоящее время изготавливаются конденсаторы с номинальными ёмкостями из десятичнологарифмических рядов значений E3, E6, E12, E24, то есть на одну декаду приходится 3, 6, 12, 24 значения, так, чтобы значения с соответствующим допуском (разбросом) перекрывали всю декаду.

## 2. Система единиц измерения электрических и магнитных величин

*Электрический ток измеряется в амперах (А).*

Производными единицами измерения тока являются:

1 килоампер (кА) = 1000 А;

1 миллиампер (мА) 0,001 А;

1 микроампер (мкА) = 0,000001 А.

Человек начинает ощущать проходящий через его тело ток в 0,005 А. Ток больше 0,05 А опасен для жизни человека.

*Электрическим напряжением (U) называется разность потенциалов между двумя точками электрического поля.*

Единицей *разности электрических потенциалов* является вольт (В).

$$1 \text{ В} = (1 \text{ Вт}) : (1 \text{ А}).$$

Производными единицами измерения напряжения являются:

1 киловольт (кВ) = 1000 В;

1 милливольт (мВ) = 0,001 В;

1 микровольт (мкВ) = 0,000001 В.

*Сопротивлением участка электрической цепи* называется величина, зависящая от материала проводника, его длины и поперечного сечения.

Электрическое сопротивление измеряется в омах (Ом).

$$1 \text{ Ом} = (1 \text{ В}) : (1 \text{ А}).$$

Производными единицами измерения сопротивления являются:

1 килоОм (кОм) = 1000 Ом;

1 мегаОм (МОм) = 1 000 000 Ом;

1 миллиОм (мОм) = 0,001 Ом;

1 микроОм (мкОм) = 0,000001 Ом.

Электрическое сопротивление тела человека в зависимости от ряда условий колеблется от 2000 до 10 000 Ом.

*Удельным электрическим сопротивлением ( $\rho$ )* называется сопротивление проволоки длиной 1 м и сечением 1 мм<sup>2</sup> при температуре 20 °С.

Величина, обратная удельному сопротивлению, называется удельной электрической проводимостью ( $\gamma$ ).

*Мощностью (P)* называется величина, характеризующая скорость, с которой происходит преобразование энергии, или скорость, с которой совершается работа. Мощностью генератора называется величина, характеризующая скорость, с которой механическая или другая энергия преобразуется в генераторе в электрическую. Мощностью потребителя называется величина, характеризующая скорость, с которой происходит преобразование электрической энергии в отдельных участках цепи в другие полезные виды энергии.

Системной единицей мощности в СИ является ватт (Вт). Он равен мощности, при которой за 1 секунду выполняется работа в 1 джоуль:

$$1 \text{ Вт} = 1 \text{ Дж/1 сек}$$

Производными единицами измерения электрической мощности являются:

1 киловатт (кВт) = 1000 Вт;

1 мегаватт (МВт) = 1000 кВт = 1 000 000 Вт;

1 милливатт (мВт) = 0,001 Вт;

1 лошадиная сила (л. с.) = 736 Вт = 0,736 кВт.

*Единицами измерения электрической энергии являются:*

1 ватт-секунда (Вт сек) = 1 Дж = (1 Н) (1 м);

1 киловатт-час (кВт ч) = 3,6 10<sup>6</sup> Вт сек.

### 3. Электрическая цепь и ее основные законы в электротехнике.

Электрическую цепь образуют источники электрической энергии, ее приемники (потребители) и соединительные провода. В электрическую цепь обычно включают также вспомогательное оборудование: аппараты, служащие для включения и выключения электрических установок (рубильники, переключатели и др.), электроизмерительные приборы (амперметры, вольтметры, ваттметры), защитные устройства (предохранители, автоматические выключатели).

В качестве источников электрической энергии применяют главным образом, электрические генераторы и гальванические элементы или аккумуляторы. Источники электрической энергии часто называют источниками питания.

*Закон Ома* для электрической цепи. Согласно этому *закону* сила тока  $I$  в электрической цепи равна э. д. с.  $E$  источника, поделенной на сопротивление цепи  $R_{ц}$ , т. е.

$$I = E / R_{ц} \quad (1)$$

Полное сопротивление замкнутой электрической цепи можно представить в виде суммы сопротивления внешней цепи  $R$  (например, какого-либо приемника электрической энергии) и внутреннего сопротивления  $R_0$  источника. Поэтому сила тока

$$I = E / (R + R_0) \quad (2)$$

Чем больше э. д. с.  $E$  источника и чем меньше сопротивление электрической цепи, тем больший ток проходит по этой цепи.

Из формулы (1) следует, что э. д. с. источника электрической энергии равна произведению силы тока на полное сопротивление электрической цепи:

$$E = IR_{ц} \quad (3)$$

*Закон Ома для участка электрической цепи.* Закон Ома может быть применен не только ко всей цепи, но и к любому ее участку. В этом случае э. д. с.  $E$  источника в формуле (1) должна быть заменена разностью потенциалов между началом и концом рассматриваемого участка, т. е. напряжением  $U$ , а вместо сопротивления всей цепи в формулу должно быть подставлено сопротивление  $R$  данного участка. В этом случае закон Ома формулируется следующим образом. Сила тока  $I$  на данном участке электрической цепи равна напряжению  $U$ , приложенному к участку, поделенному на сопротивление  $R$  этого участка:

$$I = U / R \quad (4)$$

*Первый закон Кирхгофа* устанавливает зависимость между токами для узлов электрической цепи, к которым подходит несколько ветвей. Согласно этому закону алгебраическая сумма токов ветвей, сходящихся в узле электрической цепи, равна нулю:

$$I = 0 \quad (5)$$

При этом токи, направленные к узлу, берут с одним знаком (например, положительным), а токи, направленные от узла - с противоположным знаком (отрицательным). Поэтому сумма токов, направленных к узлу электрической цепи, равна сумме токов, направленных от этого узла:

*Второй закон Кирхгофа* устанавливает зависимость между э. д. с. и напряжением в замкнутой электрической цепи. Согласно этому закону во всяком замкнутом контуре алгебраическая сумма э. д. с. равна алгебраической сумме падений напряжения на сопротивлениях, входящих в этот контур:

$$E = IR \quad (6)$$

При составлении формул, характеризующих второй закон Кирхгофа, значения э. д. с.  $E$  и падений напряжений  $IR$  считают положительными, если направления э. д. с. и токов на соответствующих участках контура совпадают с произвольно выбранным направлением обхода контура. Если же направления э. д. с. и токов на соответствующих участках контура противоположны выбранному направлению обхода, то такие э. д. с. и падения напряжения считают отрицательными.

### 3. Электромагнетизм и электромагнитная индукция.

Энергия, заключенная в магнитном поле, может проявлять себя в виде электромагнитных сил, которые возникают при взаимодействии магнитного поля с движущимися электрическими зарядами. Электромагнитная сила, возникающая при движении электрического заряда в магнитном поле, действует на него в направлении, перпендикулярном движению и направлению силовых линий, и стремится вытолкнуть заряд за пределы поля.

Если поместить в магнитное поле проводник с током  $I$ , то между электронами, проходящими по проводнику, и магнитным полем возникнут электромагнитные силы, которые, складываясь, образуют результирующую силу  $F$ , стремящуюся вытолкнуть проводник из магнитного поля. Электромагнитная сила определяется законом Ампера. Он формулируется следующим образом. *Электромагнитная сила, действующая на проводник с током, находящийся в магнитном поле и расположенный перпендикулярно направлению поля, равна произведению силы тока  $I$ , индукции магнитного поля  $B$  и длины проводника  $l$ :*

$$F = IBl \quad (7)$$

Если проводник расположен под углом  $\alpha$  к силовым магнитным

$$F = BIl \sin \alpha \quad (8)$$

Направление действия силы  $F$  обычно определяют по правилу левой руки: ладонь левой руки нужно расположить так, чтобы магнитные линии входили в нее и четыре вытянутых пальца совместить с направлением тока, тогда расположенный под прямым углом большой палец укажет направление действия электромагнитной силы. Сила  $F$  возникает только в том случае, если проводник расположен перпендикулярно или под некоторым углом к магнитным силовым линиям поля. Если же проводник расположен вдоль силовых линий поля, то электромагнитная сила будет равна нулю.

*Электромагнитная индукция*

При пересечении проводником силовых линий магнитного поля в нем возникает или, как говорят, индуцируется э. д. с. Это явление называется электромагнитной индукцией.

Возникновение э.д.с. объясняется действием сил магнитного поля на находящиеся в проводниках свободные электроны. Свободные электроны под влиянием этих сил начнут двигаться вдоль проводника. В результате этого движения на одном конце проводника накопятся свободные электроны и возникнет отрицательный электрический заряд, а на другом конце ввиду недостатка электронов появится положительный заряд. Такое разделение электрических зарядов при движении проводника в магнитном поле будет происходить до тех пор, пока электромагнитные силы не уравниваются силами электрического поля, возникающего в проводнике в результате появления на его концах разноименных электрических зарядов. *Разность потенциалов на концах проводника численно равна индуцированной в провод-*



нике э.д.с. Индуцирование э.д.с. в проводнике происходит независимо от того, включен ли он в какую-либо электрическую цепь или нет. Если присоединить концы этого проводника к какому-либо приемнику электрической энергии, то под влиянием разности потенциалов на концах проводника по замкнутой цепи потечет электрический ток.

Значение индуцированной э. д. с. определяется законом электромагнитной индукции Фарадея. Он формулируется следующим образом. *Индуцированная э. д. с. е прямо пропорциональна индукции магнитного поля  $B$ , длине проводника  $l$  и скорости его перемещения  $v$  в направлении, перпендикулярном силовым линиям поля,*

$$e = Blv \quad (9)$$

## ЛЕКЦИЯ 2

### ТЕМА: ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН И ПРИБОРОВ

#### 1. Электрические машины постоянного тока

Машина постоянного тока (рис. 1, а) имеет обмотку возбуждения, расположенную на явно выраженных полюсах статора. По обмотке возбуждения проходит постоянный ток  $I_B$ , который создает магнитное поле возбуждения  $\Phi_B$ . На роторе расположена обмотка якоря, в которой при вращении ротора индуцируется э. д. с.

При заданном направлении вращения якоря направление э. д. с, индуцируемой в его проводниках, зависит только от того, под каким полюсом находится проводник. Поэтому во всех проводниках, расположенных под одним полюсом, направление э. д. с. одинаковое и сохраняется таким независимо от частоты вращения. Иными словами, картина, изображающая направление э. д. с. на рис. 1, а, неподвижна во времени: в проводниках, расположенных выше горизонтальной оси симметрии (геометрической нейтральной), э. д. с. всегда направлена в одну сторону; в проводниках, лежащих ниже геометрической нейтральной, э. д. с. направлена в противоположную сторону.

При вращении якоря проводники обмотки перемещаются от одного полюса к другому; э. д. с, индуцируемая в них, меняет знак, т. е. в каждом проводнике наводится переменная э. д. с. Однако число проводников, находящихся под каждым полюсом, остается неизменным. При этом *суммарная э. д. с, индуцируемая в проводниках, находящихся под одним полюсом, также неизменна по направлению и приблизительно постоянна по величине.* Эта э. д. с. снимается с обмотки якоря при помощи скользящего контакта, включенного между обмоткой и внешней цепью.

Обмотка якоря выполняется замкнутой, симметричной (рис. 1, б). *При отсутствии внешней нагрузки ток по обмотке не проходит, так как э. д. с, индуцируемые в различных частях обмотки, взаимно компенсируются.*

Если щетки, осуществляющие скользящий контакт с обмоткой якоря, расположить на геометрической нейтральной, то при отсутствии внешней нагрузки к щеткам будет приложено напряжение  $U$ , равное э. д. с, индуцированной в каждой из половин обмоток. Это напряжение практически неизменно, хотя и имеет некоторую переменную составляющую, обусловленную изменением положения проводников в пространстве. При большом числе проводников пульсации напряжения незначительны.

При подключении к щеткам нагрузки  $R_H$  через обмотку якоря будет проходить постоянный ток  $I_H$ , направление которого определяется направлением э. д. с. *В обмотке якоря ток  $I_H$  разветвляется и проходит по двум параллельным ветвям (токи  $i_H$ ).*

Для обеспечения надежного токосъема щетки скользят не по проводникам обмотки якоря (как это было на заре электромашиностроения), а по *коллектору*, выполняемому в виде цилиндра, который набирается из медных пластин, изолированных одна от другой. К каждой паре соседних коллекторных пластин присоединяют часть обмотки якоря, состоящую из одного или нескольких витков; эту часть называют *секцией обмотки якоря*.

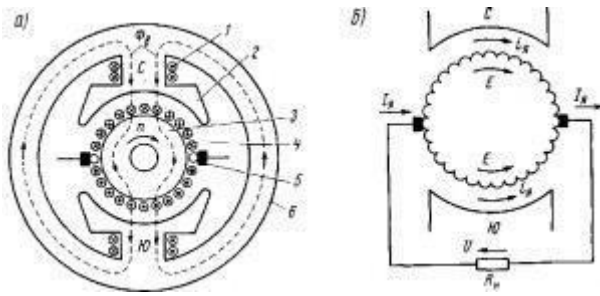


Рис. 1. Электромагнитная схема двухполюсной машины постоянного тока (а) и эквивалентная схема ее обмотки якоря (б): 1 — обмотка возбуждения; 2 — главные полюсы; 3 — якорь; 4 — обмотка якоря; 5 — щетки; 6 — остов (станина)

С помощью коллектора и щеток вращающаяся обмотка якоря соединяется с внешней электрической цепью. В генераторах коллектор и щетки служат для преобразования изменяющихся по направлению э. д. с. и тока в проводниках обмотки якоря в постоянные по величине и направлению э. д. с, напряжение и ток во внешней цепи. В двигателе с помощью коллектора и щеток осуществляется обратное преобразование.

Таким образом, *главной особенностью машины постоянного тока является наличие коллектора, осуществляющего скользящий контакт между обмоткой якоря и внешней электрической цепью.*

## 2. Электрические машины переменного тока

Самыми распространенными электрическими двигателями являются *трехфазные асинхронные двигатели*, которые применяются для привода различных станков, насосов, вентиляторов, компрессоров, грузоподъемных механизмов, а также на э. п. с. переменного тока в качестве двигателей вспомогательных машин..

Они состоят из неподвижной части статора 1 (рис. 1, а), на котором расположены обмотка 2 статора, и вращающейся части — ротора 3 с обмоткой 4. Между ротором и статором имеется воздушный зазор, который для улучшения магнитной связи между обмотками делают по возможности малым. Обмотка 2 статора представляет собой трехфазную или в общем случае многофазную обмотку, катушки которой размещают равномерно вдоль окружности статора. Фазы этой обмотки А-Х, В-У и С-З размещены равномерно по окружности статора; они соединяются «звездой» или «треугольником» и подключаются к сети трехфазного тока. Обмотку 4 размещают равномерно вдоль окружности ротора. При работе двигателя она замкнута накоротко

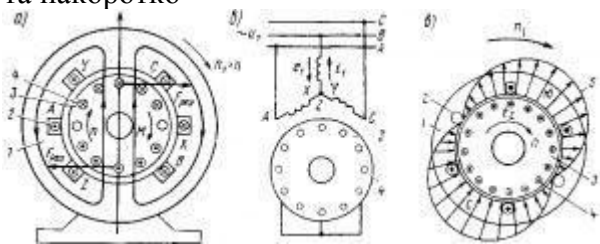


Рис. 1. Электромагнитная схема асинхронного двигателя (а), схема включения его обмоток (б) и пространственное распределение вращающегося магнитного поля (в) в двухполюсной машине

При подключении обмотки статора к сети создается синусоидально распределенное вращающееся магнитное поле 5 (рис. 1, в). Оно индуцирует в обмотках статора и ротора э. д. с.  $e_1$  и  $e_2$ . Под действием э. д. с.  $e_2$  по проводникам ротора будет проходить электрический ток  $i_2$ . На рис. 1, а показано согласно правилу правой руки направление э. д. с.  $e_2$ , индуцированной в проводниках ротора при вращении магнитного потока  $\Phi$ , по часовой стрелке (при этом проводники ротора перемещаются относительно потока  $\Phi$  против часовой стрелки). Если ротор неподвижен или частота его вращения  $p$  меньше синхронной частоты  $p_1$ , активная составляющая тока ротора совпадает по фазе с индуцированной э. д. с.  $e_2$ , при этом условные

обозначения (крестики и точки) показывают одновременно и направление активной составляющей тока  $i_2$ .

Э.д.с, индуцированная в проводниках обмотки ротора, зависит от частоты их пересечения вращающимся полем, т. е. от разности частот вращения магнитного поля  $n_1$  и ротора  $n$ . Чем больше разность  $n_1 - n$ , тем больше э. д. с.  $e_2$ . Следовательно, *необходимым условием для возникновения в асинхронной машине электромагнитного вращающего момента является неравенство частот вращения  $n_1$  и  $n$* . Только при этом условии в обмотке ротора индуцируется э. д. с. и возникает ток  $i$  и электромагнитный момент  $M$ . По этой причине машина называется асинхронной (ротор ее вращается несинхронно с полем). Иногда ее называют индукционной ввиду того, что ток в роторе возникает индуктивным путем, а не подается от какого-либо внешнего источника.

*Электрическим аппаратом* называют электротехническое устройство, предназначенное для регулирования, контроля и защиты источников электрической энергии и электрических приемников, а также для контроля и регулирования различных электрических процессов. По назначению их подразделяют на аппараты оперативного отключения (включения), защитные — аварийного отключения (включения), пускорегулирующие и контролирующие.

Оперативные аппараты служат для подключения или отключения определенной установки обслуживающим ее персоналом. Такие аппараты часто называют *коммутирующими*. К ним относят различные рубильники, выключатели, контакторы и т. д. Защитные аппараты аварийного отключения служат для ограничения амплитуды аварийных токов и длительности их протекания. В результате воздействия таких токов перегреваются обмотки электрических машин, шины, кабели и другие токопроводы, нарушается электрическая изоляция, обгорают и плавятся контактные поверхности электрических аппаратов. Динамические удары вызывают повреждение шин, изоляторов, обмоток электрических машин, реакторов, трансформаторов. К защитным аппаратам относят различные автоматические выключатели и плавкие предохранители. Выключатели снабжены необходимым приводом (ручным или электрическим) и дугогасительным устройством, обеспечивающим гашение электрической дуги, возникающей между контактами при их размыкании. Пускорегулирующие аппараты предназначены для осуществления пуска, регулирования частоты вращения, напряжения и тока электрических машин. К ним относятся контакторы, пускатели, командоконтроллеры.

Контакторы представляют собой оперативные аппараты с дистанционным управлением, предназначенные для частых включений и отключений электрических цепей как без тока, так и при номинальных токах нагрузки. Они в отличие от автоматических выключателей не имеют устройств для контроля значения тока.

Командоконтроллеры имеют сравнительно большое число контактов, замыкаемых и размыкаемых в определенной последовательности при повороте вала. Привод вала может быть дистанционный или ручной.

Контролирующие аппараты служат для контроля за работой электрических устройств. В случае нарушения установленного режима работы они подают электрические сигналы или воздействуют на органы, управляющие данным устройством. К ним относятся различные регуляторы и реле (защитные реле, реле тока, напряжения, времени, тепловые реле и т. д.). Они имеют дистанционное управление и не имеют системы дугогашения.

Защитные реле срабатывают при возникновении аварийных режимов и подают сигнал на отключение силовой цепи соответствующим выключателям или на систему сигнализации.

Токовые реле срабатывают при определенном значении тока, превышающем заданный ток трогания, и приходят в исходное состояние при токах, меньших тока отпускания. В таких реле предусматривается возможность регулирования токов срабатывания и отпускания. Токовые реле могут быть электромагнитные и тепловые. Тепловые реле реагируют на температуру нагрева биметаллического элемента, обтекаемого током контролируемой цепи. Такие реле часто встраивают в автоматические выключатели и аппараты, предназначенные для оперативного дистанционного управления работой электродвигателей и других электрических потребителей.

Реле напряжения контролируют уровень напряжения в сети. Они срабатывают и воз-

вращаются в исходное состояние при определенных значениях напряжения.

Реле времени представляют собой аппараты, позволяющие создать регулируемую выдержку времени между моментом подачи напряжения на катушку реле и моментом размыкания (замыкания) контактов. Основным отличием таких реле является наличие механизма выдержки времени (электромагнитного, теплового или часового).

В системах управления часто применяют промежуточные реле. Эти реле имеют одну катушку управления и несколько пар контактов, разомкнутых или замкнутых в исходном состоянии. Такие реле осуществляют логические операции управления включением и отключением различных электрических аппаратов, находящихся в разных цепях. Разъединители являются аппаратами оперативного отключения, предназначенными для видимого разрыва электрической цепи при отсутствии тока. Они включаются, как правило, последовательно с основным оперативным аппаратом и выполняют вспомогательные функции, в частности обеспечения безопасной работы обслуживающего персонала на обесточенных цепях.

Разъединители рассчитываются на полный номинальный ток цепи и не имеют дугогасительных устройств.

Все контактные аппараты имеют следующие основные части: контактную систему и привод. Во многих таких аппаратах имеется также система дугогашения.

В бесконтактных электрических аппаратах эти элементы могут полностью или частично отсутствовать, поскольку в них используется иной принцип ограничения и отключения тока (без механического разрыва).

### **3. Физические основы работы электрических аппаратов**

*Электрическим аппаратом* называют электротехническое устройство, предназначенное для регулирования, контроля и защиты источников электрической энергии и электрических приемников, а также для контроля и регулирования различных электрических процессов. По назначению их подразделяют на аппараты оперативного отключения (включения), защитные - аварийного отключения (включения), пускорегулирующие и контролирующие.

Оперативные аппараты служат для подключения или отключения определенной установки обслуживающим ее персоналом. Такие аппараты часто называют *коммутирующими*. К ним относят различные рубильники, выключатели, контакторы и т. д. Защитные аппараты аварийного отключения служат для ограничения амплитуды аварийных токов и длительности их протекания. В результате воздействия таких токов перегреваются обмотки электрических машин, шины, кабели и другие токопроводы, нарушается электрическая изоляция, обгорают и плавятся контактные поверхности электрических аппаратов. Динамические удары вызывают повреждение шин, изоляторов, обмоток электрических машин, реакторов, трансформаторов. К защитным аппаратам относят различные автоматические выключатели и плавкие предохранители. Выключатели снабжены необходимым приводом (ручным или электрическим) и дугогасительным устройством, обеспечивающим гашение электрической дуги, возникающей между контактами при их размыкании. Пускорегулирующие аппараты предназначены для осуществления пуска, регулирования частоты вращения, напряжения и тока электрических машин. К ним относятся контакторы, пускатели, командоконтроллеры.

Контакторы представляют собой оперативные аппараты с дистанционным управлением, предназначенные для частых включений и отключений электрических цепей как без тока, так и при номинальных токах нагрузки. Они в отличие от автоматических выключателей не имеют устройств для контроля значения тока.

Командоконтроллеры имеют сравнительно большое число контактов, замыкаемых и размыкаемых в определенной последовательности при повороте вала. Привод вала может быть дистанционный или ручной.

Контролирующие аппараты служат для контроля за работой электрических устройств. В случае нарушения установленного режима работы они подают электрические сигналы или воздействуют на органы, управляющие данным устройством. К ним относятся различные ре-

гуляторы и реле (защитные реле, реле тока, напряжения, времени, тепловые реле и т. д.). Они имеют дистанционное управление и не имеют системы дугогашения.

Защитные реле срабатывают при возникновении аварийных режимов и подают сигнал на отключение силовой цепи соответствующим выключателям или на систему сигнализации.

Токовые реле срабатывают при определенном значении тока, превышающем заданный ток трогания, и приходят в исходное состояние при токах, меньших тока отпускания. В таких реле предусматривается возможность регулирования токов срабатывания и отпускания. Токовые реле могут быть электромагнитные и тепловые. Тепловые реле реагируют на температуру нагрева биметаллического элемента, обтекаемого током контролируемой цепи. Такие реле часто встраивают в автоматические выключатели и аппараты, предназначенные для оперативного дистанционного управления работой электродвигателей и других электрических потребителей.

Реле напряжения контролируют уровень напряжения в сети. Они срабатывают и возвращаются в исходное состояние при определенных значениях напряжения.

Реле времени представляют собой аппараты, позволяющие создать регулируемую выдержку времени между моментом подачи напряжения на катушку реле и моментом размыкания (замыкания) контактов. Основным отличием таких реле является наличие механизма выдержки времени (электромагнитного, теплового или часового).

В системах управления часто применяют промежуточные реле. Эти реле имеют одну катушку управления и несколько пар контактов, разомкнутых или замкнутых в исходном состоянии. Такие реле осуществляют логические операции управления включением и отключением различных электрических аппаратов, находящихся в разных цепях. Разъединители являются аппаратами оперативного отключения, предназначенными для видимого разрыва электрической цепи при отсутствии тока. Они включаются, как правило, последовательно с основным оперативным аппаратом и выполняют вспомогательные функции, в частности обеспечения безопасной работы обслуживающего персонала на обесточенных цепях.

Разъединители рассчитываются на полный номинальный ток цепи и не имеют дугогасительных устройств.

Все контактные аппараты имеют следующие основные части: контактную систему и привод. Во многих таких аппаратах имеется также система дугогашения.

В бесконтактных электрических аппаратах эти элементы могут полностью или частично отсутствовать, поскольку в них используется иной принцип ограничения и отключения тока (без механического разрыва).

#### **4. Электроизмерительные приборы и методы измерений**

Электроизмерительные приборы служат для контроля режима работы электрических установок, их испытания и учета расходуемой электрической энергии. В зависимости от назначения электроизмерительные приборы подразделяют на амперметры (измерители тока), вольтметры (измерители напряжения), ваттметры (измерители мощности), омметры (измерители сопротивления), частотомеры (измерители частоты переменного тока), счетчики электрической энергии и др. Различают две категории электроизмерительных приборов: рабочие — для контроля режима работы электрических установок в производственных условиях и образцовые — для градуировки и периодической проверки рабочих приборов. На железнодорожном транспорте электрические измерения получили широкое распространение при эксплуатации и ремонте э. п. с, тепловозов и устройств энергоснабжения железных дорог.

В зависимости от способа отсчета электроизмерительные приборы разделяют на приборы непосредственной оценки и приборы сравнения.

Приборами непосредственной оценки, или показывающими, называются такие, которые позволяют производить отсчет измеряемой величины непосредственно на шкале. К ним относятся амперметры, вольтметры, ваттметры и др. Основной частью каждого такого прибора является измерительный механизм. При воздействии измеряемой электрической вели-

чины (тока, напряжения, мощности и др.) на измерительный механизм прибора подается соответствующий сигнал на отсчетное устройство, по которому определяют значение измеряемой величины.

По конструкции отсчетного устройства показывающие приборы делятся на приборы с механическим указателем (стрелочные), со световым указателем (зеркальные), с пишущим устройством (самопишущие) и электронные приборы со стрелочным или цифровым указателем отсчета. В стрелочных приборах измерительный механизм поворачивает стрелку на некоторый угол, который определяет значение измеряемой величины (шкала прибора проградуирована в соответствующих единицах: амперах, вольтах, ваттах и пр.).

В электроизмерительных приборах сравнения измерения осуществляются путем сравнения измеряемой величины с какой-либо образцовой мерой или эталоном. К ним относятся различные мосты для измерения сопротивления и компенсационные измерительные устройства (потенциометры). Последние измеряют разность между измеряемым напряжением или э. д. с. и компенсирующим образцовым напряжением (э. д. с.). В качестве сравнивающего прибора обычно используют гальванометр.

Действие электроизмерительных приборов непосредственной оценки основано на различных проявлениях электрического тока (магнитном, тепловом, электродинамическом и пр.), используя которые можно при помощи различных измерительных механизмов вызвать перемещение стрелки.

В зависимости от принципа действия, положенного в основу устройства измерительного механизма, электроизмерительные приборы относятся к различным системам: магнитоэлектрической, электромагнитной, электродинамической, тепловой, индукционной и др. Приборы каждой из этих систем имеют свои условные обозначения.

Приборы могут выполняться с противодействующей возвратной пружиной и без пружины. В последнем случае они называются *логометрами*.

## **5. Общие сведения об электрооборудовании транспортных и транспортно-технологических машин**

Электрооборудование тракторов и автомобилей – комплекс взаимодействующих систем, механизмов и приборов, обеспечивающих надежную работу, безотказность движения, автоматизацию рабочих процессов машины и нормальные условия труда водителя. От надежности электрооборудования в значительной степени зависит эффективность использования транспортных и транспортно-технологических машин.

Впервые эл. энергия применена в ДВС в 1860 году для воспламенения горючей смеси. Высокое напряжение для образования эл. искры между электродами свечи зажигания создавали при помощи простейшей индукционной катушки питающейся от гальванических элементов.

В автотракторном электрооборудовании обычно применяют однопроводную схему подключения, при которой все потребители питаются одним напряжением через проводник связанный с положительным полюсом источника электроэнергии. Замыкание цепи, обеспечивающее прохождение тока через потребитель, производится соединением второго полюса с массой машины. Для питания одноименных потребителей служат магистральные токопроводы различной расцветки.

(длина проводов ЗИЛ-4331 – 430 м, КАМАЗ – 700 м, ГАЗ-24 – 178 м, ВАЗ-2107 – 250 м, Святогор 1,7 – 220 м). Для предохранения токопроводов, потребителей и источников электроэнергии от повреждений при коротких замыканиях, отдельные группы потребителей снабжены плавкими предохранителями.

В электрооборудование современного автомобиля и трактора включены:

- система электроснабжения, которая служит для питания током постоянного напряжения всех электрических приборов и устройств;
- система электрического пуска (применяется с 1925 г.) – служит для приведения двигателя из неработающего состояния в работающее;
- система зажигания – для обеспечения принудительного зажигания горючей смеси в

- цилиндрах одноименных двигателей;
- система освещения и сигнализации – обеспечивает информирование других участников движения о совершаемом маневре;
- информационно-диагностическая система – для контроля за работой отдельных механизмов и систем автомобиля (на современных моделях компьютеризирована);
- система электроприводов – для привода приборов рабочего и вспомогательного оборудования;
- системы электронного управления агрегатами и механизмами.

## ЛЕКЦИЯ 3

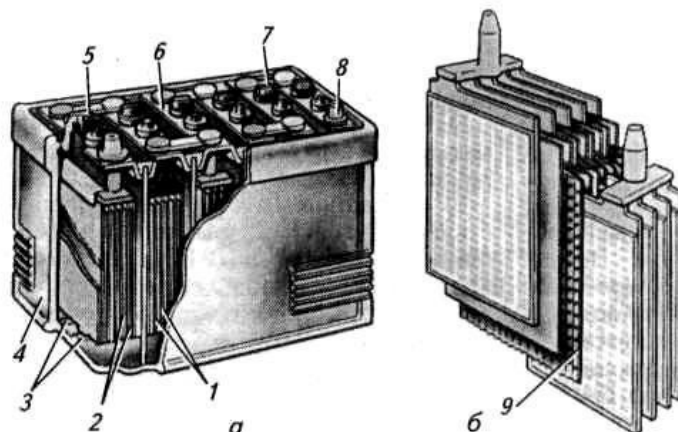
### ТЕМА: ХИМИЧЕСКИЕ ИСТОЧНИКИ ТОКА

#### 1 Химические источники тока, требования к ним, их типы и устройство

**Аккумуляторная батарея (АКБ)** предназначена для снабжения потребителей электрической энергии, когда генератор не работает или при его недостаточной мощности, а также для электроснабжения стартера при пуске двигателя.

По конструктивному исполнению стартерные АКБ могут быть обслуживаемыми, малообслуживаемыми, необслуживаемыми и монолитными.

Обслуживаемая АКБ (рисунок, 1 а) состоит из отдельных, последовательно соединенных между собой свинцовыми перемычками 7 (минусовая клемма одного аккумулятора соединена с плюсовой другого) свинцово-кислотных аккумуляторов, которые размещены в отсеках бака 4 изготовленного из кислотостойкой пластмассы или эбонита. Каждый аккумулятор представляет собой сосуд с водным раствором серной кислоты массовой концентрацией 28...40% (электролит) и погруженный в него набор положительных 2 и отрицательных 1 пластин (электродов) отлитых в виде решетки из свинца с добавлением 4...6% сурьмы и 0,2% мышьяка (для повышения прочности и улучшения литейных свойств свинца). Решетки пластин заполнены пастой из свинцового порошка с добавлением серной кислоты, ингибиторов и расширителей. Пластины, разделенные между собой сепараторами 9, установлены на ребра 3, с целью предотвращения замыкания от осыпавшейся активной массы. Конструкция обслуживаемой АКБ позволяет проводить проверку технического состояния каждого аккумулятора в отдельности (по плотности электролита и разрядному току на контрольную вилку) и в случае его выхода из строя - заменять на новый.



*Рисунок 1 - Аккумуляторная батарея:*

*а – общий вид; б – блок пластин; 1 – отрицательные пластины; 2 – положительные пластины; 3 – ребра; 4 – бак; 5 – пробка с вентиляционным отверстием; 6 – крышка; 7 – соединительная перемычка; 8 – полюсный штырь (клемма); 9 – сепараторы*

Недостатками обслуживаемой АКБ являются: большие габариты и вес, повышенное омическое сопротивление батареи (в том числе из-за наличия протяженных наружных соедине-

ний), вероятность саморазряда по грязевым мостикам на наружных соединениях, наличие возможности протечек и испарения электролита через пробки.

*Малообслуживаемая АКБ* отличается применением внутренних соединений между отдельными аккумуляторами под общей герметичной крышкой. Это уменьшает габариты и вес АКБ, внутреннее сопротивление, а также исключает случайный саморазряд по внешним грязевым «мостикам». Решетки пластин изготавливают из сплава свинца с уменьшенным содержанием сурьмы. Каждый аккумулятор имеет отдельную заливную пробку, что позволяет контролировать его техническое состояние по плотности и уровню электролита.

*Необслуживаемая АКБ* отличается от малообслуживаемой отсутствием пробок для заливки электролита и наличием на корпусе индикатора заряженности. Решетки пластин изготовлены из сплава свинца с уменьшенным содержанием сурьмы (1,25...2,5%) и установлены в специальные сепараторы-конверты. Для сохранения технологических и эксплуатационных свойств в сплав добавляют либо кадмий (1,5%), либо медь (0,02-0,05%), серу и селен (до 0,01%) из свинцово-кальциевого сплава. Батарея заправляется электролитом на заводе-изготовителе. Основное преимущество - повышение эксплуатационной надежности из-за исключения потребности в доливке и в контроле за уровнем электролита и, как следствие, более длительный срок службы.

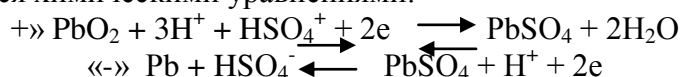
*Монолитная АКБ* - новый тип автомобильной аккумуляторной батареи, созданный с применением ленточных электродов, которые после сборки и пропитки электролитом сворачиваются в трубки. Аккумуляторы имеют цилиндрическую форму и внешние соединения с обеих сторон аккумуляторных цилиндров. Главные преимущества: малогабаритность, значительное увеличение тока холодной прокрутки, долговечность. Недостаток - высокая стоимость.

## 2. Физико-химические процессы в аккумуляторной батарее, ее основные параметры

*Электролит* представляет собой раствор химически чистой серной кислоты и дистиллированной воды (для средней полосы России плотность электролита составляет 1,27-1,28 г/см<sup>3</sup> при t = +20°C). Плотность электролита у обслуживаемой аккумуляторной батареи проверяют через заливное отверстие ареометром. У необслуживаемой батареи электролит определенной плотности заливается в бак перед сборкой.

Активными материалами, при имеющих место электрохимических процессах, являются двуокись свинца PbO<sub>2</sub> (темно-коричневый цвет) на положительном электроде и губчатый свинец Pb (светло-серый цвет) на отрицательном электроде.

При разряде отрицательный электрод выделяет свинцовые ионы Pb<sup>++</sup> в раствор, одновременно становясь отрицательно заряженным. Ионы свинца вступают в реакцию с сульфатными ионами SO<sub>4</sub><sup>-</sup>, находящимися в растворе, и образуют сульфат свинца PbSO<sub>4</sub>, который осаждается на отрицательном электроде. Двуокись свинца положительного электрода переходит в раствор, ионизируясь в четырехвалентные ионы свинца Pb<sup>++++</sup> и одновалентные ионы гидроксила OH<sup>-</sup>. Затем, получая по два отрицательных заряда, четырехвалентные ионы переходят в двухвалентные. В результате ионизации электролита образуются положительные ионы H<sup>+</sup> и отрицательные SO<sub>4</sub><sup>-</sup>. Образуется сульфат свинца, который осаждается на положительном электроде. Ионы водорода H<sup>+</sup> и гидроксила OH<sup>-</sup>, соединяясь, образуют воду. Плотность электролита вследствие этого снижается до 1,09...1,15 г/см<sup>3</sup>. Происходящие у электродов процессы описываются химическими уравнениями:



При зарядке аккумулятора, например, постоянным током вышеописанные процессы протекают в обратной последовательности, а плотность электролита увеличивается до 1,25...1,31 г/см<sup>3</sup> в зависимости от начальных параметров.

## Характеристики АКБ



*Электродвижущая сила (ЭДС)* - основной параметр, характеризующий АКБ. При плотности электролита  $\gamma = 1,3 \text{ г/см}^3$  и температуре  $T = +25^\circ\text{C}$ , ЭДС свинцового аккумулятора составляет 2,154 В. Для практических целей ЭДС может быть определена по эмпирической зависимости:

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

При температуре  $T$ , отличной от  $+25^\circ\text{C}$ , зависимость будет иметь вид:

$$E = 0,84 + \left[ \gamma_t + 0,00075 (T - 25) \right], \text{ В.}$$

На практике более важным параметром является *напряжение аккумулятора*  $U_{\text{ак}}$ , которое при разряде всегда ниже, а при заряде выше значения ЭДС. Это обусловлено падением напряжения на внутреннем активном сопротивлении аккумулятора  $R_0$ , а также *электродной поляризацией*. Омическое сопротивление  $R_0$  является суммой сопротивлений электролита  $R_{\text{эл}}$ , сепараторов  $R_c$ , активной массы решеток  $R_m$  и соединительных элементов  $R_э$ :

$$R_0 = R_{\text{эл}} + R_c + R_m + R_э, \text{ Ом.}$$

### **Маркировка российских аккумуляторных батарей**

Маркировка российских аккумуляторных батарей выполняется по схеме:

$$6 \text{ СТ} - 75 \text{ ЭМЗ}$$

$$(1) (2) (3) (4)$$

где (1) - цифра, указывающая число последовательно соединенных аккумуляторов в батарее (6 или 3), характеризующая ее номинальное напряжение (12 или 6 В); (2) - буквы, характеризующие назначение батареи по функциональному признаку (СТ - стартерная); (3) - число, указывающее номинальную емкость батареи в ампер-часах (А·ч); (4) - буквы или цифры, которые содержат дополнительную информацию об исполнении АКБ (при необходимости) и материалах, примененных для ее изготовления, например: «А» - с общей крышкой, буква «З» - залитая и полностью заряженная (если ее нет - батарея сухозаряженная), слово «необслуживаемая» - для батарей, соответствующих требованию ГОСТ по расходу воды, «Э» - корпус-моноблок из эбонита, «Т» - моноблок из термопласта, «М» - сепаратор типа мипласт из поливинилхлорида, «П» - сепаратор-конверт из полиэтилена.

### **3. Характеристики заряда и разряда, методы заряда их сравнительная оценка**

Заряд можно осуществлять от любого источника постоянного тока при условии, что его напряжение больше напряжения АКБ одним из следующих способов:

- *заряд при постоянном токе* применяют на зарядных станциях и при вводе в эксплуатацию новых АКБ. Недостатки: большая длительность заряда при малом токе, а при большом – значительное повышение температуры электролита к концу заряда, что снижает срок службы АКБ;

- *заряд при постоянном напряжении* применяют на тракторах и автомобилях, где напряжение поддерживается реле-регулятором. Заряд при постоянном напряжении в ряде случаев предпочтителен, так как позволяет форсировать этот процесс. Кроме того, можно одновременно производить заряд нескольких батарей различной степени разряженности, причем сила зарядного тока для каждой устанавливается автоматически. Недостатком является перегрев при большом начальном токе;

- *уравнительный заряд*, проводят при различной степени разряженности и плотности электролита отдельных аккумуляторов. Цель заряда – восстановление активных масс электродов. Заряд проводят при постоянном напряжении равном 10% емкости, как и при постоянном токе в течение большего времени, чем обычно;

- *форсированный заряд* проводят с целью быстрого восстановления работоспособности АКБ только в случае крайней необходимости током до 70% емкости в течение короткого времени (до 0,5 часа). При повышении температуры электролита до  $45^\circ\text{C}$  заряд необходимо прекратить;

- *подзарядка малым током* (2...10% емкости) применяется для компенсации разряда при хранении.

Характер изменения напряжения аккумулятора во времени при заряде током постоянной

силы определяется изменением равновесной э. д. с. и внутреннего сопротивления, что хорошо иллюстрируют разрядные и зарядные характеристики на рис. 2.

Перед началом разряда равновесная э. д. с. имеет значение  $E_0$ , соответствующее определенной плотности электролита. В начале разряда постоянным по силе током (рис. 2, а) происходит резкое падение напряжения разряда (участок а-б) за счет внутренних потерь напряжения на омическом сопротивлении батареи. Затем происходит быстрое, но плавное снижение напряжения (участок б-в) за счет появления э. д. с. поляризации.

Поляризацией называется явление изменения потенциала электрода под действием прохождения тока от исходного равновесного (без тока) до нового. Мерой поляризации служит модуль разности потенциалов электрода под током и равновесного. Поляризация является одним из основных факторов, вызывающих электрические потери в химических источниках тока. Она обусловлена рядом причин, важнейшие из которых:

- изменения концентрации раствора вблизи электродов (концентрационная поляризация);
- образование на поверхности электрода сульфата свинца, имеющего большое удельное сопротивление и экранирующего активную поверхность пластин (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.

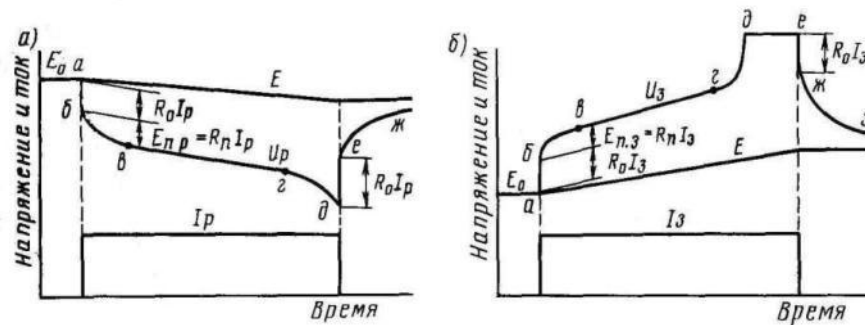


Рисунок 2 Изменение напряжения свинцово-кислотного аккумулятора:  
а) разряд; б) заряд

Наращение э. д. с. поляризации происходит до тех пор, пока не установится определенная разность концентраций электролита (у поверхности электродов и в общем объеме), обеспечивающая поступление к электродам необходимого для реакций количества кислоты. Следующий участок в—г характеризуется относительно медленным снижением напряжения в результате уменьшения равновесной э. д. с. из-за общего снижения плотности электролита. К концу разряда, когда активные вещества на поверхности электродов превращаются в сульфат свинца, а к находящимся в глубине доступ электролита затруднен, увеличиваются омическое сопротивление и э. д. с. поляризации, а напряжение разряда быстро падает (участок г—д).

При прекращении разряда напряжение повышается скачком на величину омических потерь (участок д—е). При этом происходит плавное уменьшение э. д. с. поляризации за счет выравнивания плотности электролита у поверхности электродов и в общем объеме (участок е—ж). Поэтому на этом участке происходит плавное увеличение э. д. с., значение которой приближается к значению равновесной э. д. с. Перед началом заряда равновесная э. д. с. также имеет какое-то начальное значение  $E_0$ , соответствующее плотности электролита в аккумуляторе. В начале заряда постоянной силы током (рис. 2, б) наблюдаются те же процессы, что и в начале разряда, но протекают они в обратном направлении. Сначала (участок а—б) происходит резкое увеличение напряжения заряда по отношению к э. д. с. на величину падения напряжения на омическом сопротивлении. Участок б—в характеризуется нарастанием э. д. с. поляризации, связанным с быстрым увеличением плотности электролита у поверхности электродов. Затем (участок в—г) напряжение нарастает медленно, что обусловлено ростом равновесной э. д. с. благодаря общему увеличению плотности электролита. К концу заряда, когда почти весь сульфат свинца превратился в двуокись свинца на положительном электроде и в

губчатый свинец на отрицательном, в электролите происходит главным образом разложение воды. В результате разложения воды увеличивается э. д. с. поляризации аккумулятора, что приводит к увеличению напряжения заряда (участок г—д). На участке д—е происходит уже только разложение воды, сопровождающееся появлением на поверхности электролита пузырьков газа (кислорода и водорода). На этом участке напряжение остается постоянным. Обильное газовыделение («кипение» электролита) и постоянство напряжения служат признаком конца заряда.

При прекращении заряда напряжение скачком падает на величину падения напряжения на омическом сопротивлении (участок е—ж). Затем происходит плавное уменьшение э. д. с. поляризации, которое исчезает при полном выравнивании плотности электролита во всем объеме (участок ж—з).

Напряжение батареи при разряде будет равно сумме напряжений ее аккумуляторов за вычетом падения напряжения на межэлементных соединениях. При заряде падение напряжения на межэлементных соединениях суммируется с напряжениями аккумуляторов.

В эксплуатации наиболее важно, чтобы аккумуляторная батарея обеспечивала надежное питание стартера при пуске двигателя. Однако при понижении температуры в результате действия рассмотренных выше факторов разрядное напряжение понижается. Это является одной из основных причин затрудненного пуска двигателя в холодное время года.

Исходя из вышеизложенного, напряжение на электродах аккумулятора соответственно при разряде и заряде можно определить из выражений:

$$U_p = E - I_p (R_o + R_{п.р.}), В;$$

$$U_z = E + I (R_o + R_{п.з.}), В$$

$$U_3 = E + I (R_o + R_{п.з.}), В$$

При разряде активное сопротивление аккумулятора возрастает вследствие образования на электродах сульфата свинца и снижения плотности электролита (более чем в 2 раза). С понижением температуры электролита  $R_o$  также увеличивается (при снижении температуры от  $+30^{\circ}C$  до  $-40^{\circ}C$  в 8 раз).

#### 4. Емкость аккумуляторной батареи, зависимость емкости от температуры и тока

*Емкость аккумулятора* – максимальное количество электричества  $Q_{p\ max}$ , которое он может сообщить во внешнюю цепь при полном разряде от начального напряжения  $U_{нач}$  до конечного  $U_{кон}$  за время разрядки  $t_p$ . Измеряется в ампер-часах и определяется по формуле:

$$C = I_p t_p, А-ч.$$

Номинальная емкость стартерной АКБ задается в 20-часовом режиме разряда при температуре электролита  $25^{\circ}C$  током такой величины, при котором через 20 часов напряжение у 12-вольтовой батареи снижается до 10,5 В. Например, для батареи 6СТ-60 ток разряда составляет 3 А.

Емкость батареи в *стартерных режимах* определяется при температуре  $+25^{\circ}C$  и разрядном токе  $3C_{20}$ . В этом случае время разряда до напряжения 6 В (один вольт на аккумулятор) должно быть не менее 3 мин.

При разряде батареи током  $3C_{20}$  (температура электролита  $-18^{\circ}C$ ) напряжение батареи через 30 с после начала разряда должно быть 8,4 В (9,0 В для необслуживаемых батарей), а после 150 с не ниже 6 В. Этот ток иногда называют *током холодной прокрутки или пусковым током*, он может отличаться от  $3C_{20}$ . Этот ток указывается на корпусе батареи рядом с ее емкостью.

В эксплуатации емкость батареи зависит от силы разрядного тока, температуры, режима разряда (прерывистый или непрерывный), степени заряженности и изношенности аккумуляторной батареи. При увеличении разрядного тока и степени разряженности, а также с понижением температуры емкость аккумуляторной батареи уменьшается. При низких температурах падение емкости аккумуляторной батареи с повышением разрядных токов происходит особенно интенсивно. При температуре  $-20^{\circ}C$  остается около 50% от емкости батареи при температуре  $+20^{\circ}C$ .

#### 5. Саморазряд, разрушение и сульфатация пластин

Характерными неисправностями аккумуляторных батарей является: разрушение положительных пластин, короткое замыкание в аккумуляторах, необратимая сульфатация пластин, нарушение электрической цепи самой батареи, трещины банок и крышек. Кроме того возможен повышенный саморазряд батареи, трещины в мастике или ее отслоение; повреждение и износ полюсных штекеров (выводов) батареи.

Признаком разрушения пластин является низкая работоспособность батареи, что проявляется при пуске двигателя стартером. После двух -трех попыток пуска такая батарея быстро садится. При подключении ее к зарядному устройству она сразу начинает «кипеть», плотность электролита повышается незначительно, дополнительным признаком разрушения положительных пластин могут быть: подъем крышек аккумуляторов со стороны положительных выводов, выпирание стенок банки, мутный электролит коричневого цвета.

Причинами разрушения положительных пластин является грубое нарушение правил эксплуатации: хранение батареи в разряженном состоянии, длительные перезарядки, длительные и глубокие разряды, несоответствие плотности электролита климатической зоне, плохое крепление батареи на машине, хrapение их при высокой температуре.

Своевременное и качественное техническое обслуживание и соблюдение требований эксплуатации батареи значительно замедляет процессы разрушения пластин и повышает срок службы батареи. Признаком короткого замыкания в аккумуляторе является то, что его напряжение ниже 2В, а плотность электролита значительно ниже, чем в других аккумуляторах, причинами короткого замыкания могут быть: разрушение сепараторов, замыкание пластин через осыпавшуюся массу, через токопроводящие мостики из свинцовой губки, образующиеся на кромках пластины. Такой аккумулятор подлежит вскрытию с последующей заменой сепараторов, очисткой осыпавшейся массы.

Сульфатация пластин - это образование на них трудно растворимых при заряде кристаллов сульфата свинца. Признаком сульфатации является значительное понижение работоспособности батареи, при заряде батарея быстро «закипает» и нагревается. Причины сульфатации пластин: глубокие разряды батареи, систематический ее недозаряд, длительное хранение батареи в разряженном состоянии, эксплуатация батарей с низким уровнем, электролита, глубокую сульфатацию можно устранить специальными режимами заряда, и разряда батареи на зарядной станции. Глубокая сульфатация пластин не устраняются.

Признаком обрыва электрической цепи в батарее является отказ в работе стартера. Причинами нарушения электрической цепи могут быть распайка перемычек, облом полюсных выводов, обрыв пластин. Такая батарея подлежит ремонту.

Признаком повышенного саморазряда батареи является понижение плотности электролита более, чем на  $0,02\text{г/см}^3$  за 13 дней хранения батареи при температуре  $20\pm 5^\circ\text{C}$ . Причинами повышенного саморазряда могут быть: загрязнение поверхности батареи, наличие трещин и отслоение мастики, попадание в аккумуляторы посторонних примесей, доливание недистиллированной воды. Для предупреждения и устранения повышенного саморазряда необходимо содержать поверхность батареи чистой, применять только дистиллированную воду, своевременно устранять трещины и отслоение мастики, небольшие трещины в мастике устраняются ее расплавлением с помощью паяльника. В случае глубоких трещин и отслоении старая мастика, устраняется, а стыки крышек заливаются новой расплавленной мастикой.

## ЛЕКЦИЯ 4

### ТЕМА: ГЕНЕРАТОРЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

#### 1. Типы, устройство, принцип действия и основные параметры генераторов

Генератор переменного тока является основным источником электрической энергии в системе электроснабжения, в котором преобразование механической энергии, получаемой от двигателя внутреннего сгорания через ременную передачу, в электрическую происходит в соответствии с явлением электромагнитной индукции. Специальный узел генератора - выпрямитель обеспечивает преобразование переменного тока в постоянный. Так как переменный ток выпрямляется полупроводниковыми диодами (вентильными), такие генераторы называются вентильными. Благодаря использованию полупроводникового выпрямителя значительно повысились надежность и удельная мощность генератора, упростилась его конструкция по сравнению с генератором постоянного тока, уменьшилась трудоемкость технического обслуживания в эксплуатации, расширился диапазон рабочих частот вращения вала.

Основными узлами генератора, в которых происходит преобразование механической энергии в электрическую, являются магнитная система с обмоткой возбуждения 4 (рисунок 1) и стальными участками магнитопровода 1, по которым протекает магнитный поток  $\Phi$ , и обмотка 2 статора, в которой индуцируется ЭДС при изменении магнитного потока. Магнитный поток создается обмоткой 4 возбуждения при протекании по ней электрического тока и системой полюсов. Полюса с обмоткой возбуждения, кольца, через которые ток от щеток подводится к обмотке возбуждения, вал и некоторые другие конструктивные элементы образуют вращающийся ротор. Обмотка 2, в которой вырабатывается электрический ток, размещена на неподвижном магнитопроводе 1 и вместе с ним представляет собой статор.

Принцип работы генератора заключается в следующем. При вращении ротора напротив полюсов статора с расположенными на них обмотками фаз оказываются то северный N, то южный S полюсы ротора. Магнитный поток  $\Phi$ , пронизывающий обмотки статора, изменяется по величине и направлению, что и приводит к появлению в обмотках переменной ЭДС. Чем выше частота вращения ротора и больше величина магнитного потока, тем быстрее происходит его изменение внутри обмоток фаз статора и тем выше значения наводимой в них ЭДС. Обмотка статора состоит из обмоток фаз (иногда называют просто фазами), каждая из которых имеет несколько катушек, соединенных последовательно, параллельно и смешанно. Фазовые обмотки могут соединяться в «звезду» или «треугольник». Выпрямитель 6 содержит для трехфазной системы шесть силовых полупроводниковых диодов, три из которых соединены с выводом «+» генератора, а три - с выводом «-» («массой»).

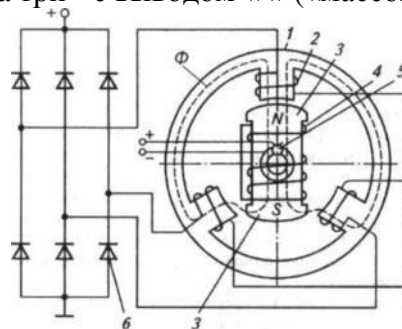


Рисунок 1 – Схема вентильного синхронного генератора: 1 - магнитопровод; 2 - обмотка статора; 3 - полюс ротора; 4 - обмотка возбуждения; 5 - щетки; 6 - выпрямитель

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

$$E = 4,44f w k_{об} \Phi,$$

где:  $f$  – частота, Гц;  $w$  - число витков обмотки одной фазы;  $k_{об}$  – обмоточный коэффициент;

$\Phi$  - магнитный поток, Вб.

Частота:

$$f = p n / 60$$

где:  $p$  — число пар полюсов;  $n$  - частота вращения.

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

$$q = z / (2 p m)$$

где:  $z$  - число пазов;  $m$  - число фаз.

Для отечественных генераторов характерны следующие параметры:

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

У всех автомобильных генераторов отечественного производства и, за редким исключением, генераторов зарубежных фирм шесть пар полюсов, при этом частота переменного тока в обмотке статора, выраженная в Гц, меньше частоты вращения ротора генератора, измеряемой в  $\text{мин}^{-1}$ , в 10 раз.

С учетом передаточного числа ременной передачи  $i$  от двигателя к генератору, частота переменного тока, выраженная через частоту вращения коленчатого вала двигателя  $n_{дв}$  определяется соотношением:

$$f = 0,1 n_{дв} i$$

Следовательно, по частоте переменного тока генератора можно измерять частоту вращения коленчатого вала двигателя, что и используется в реальных схемах подключением тахометра или любого другого устройства, реагирующего на частоту вращения коленчатого вала, к выводу обмотки статора.

Возможны два варианта изменения магнитного потока (наведения ЭДС) в катушках генераторов: по величине и направлению или только по величине.

**Бесконтактный (бесщеточный) индукторный генератор** включает в себя непосредственно генератор, встроенные выпрямитель 19 (рисунок 2) и регулятор 13 напряжения. Генератор состоит из статора с фазными обмотками 3 и двумя крышками 9 и 11, звездообразного ротора 1 с обмотками 4 возбуждения. На валу ротора 1, вращающегося на шариковых подшипниках, установлена крыльчатка 7 и приводной шкив, соединенный через клиноременную передачу со шкивом коленчатого вала двигателя. Концы фазных обмоток (могут соединяться в «звезду» или «треугольник») соединены с диодным выпрямителем 19.

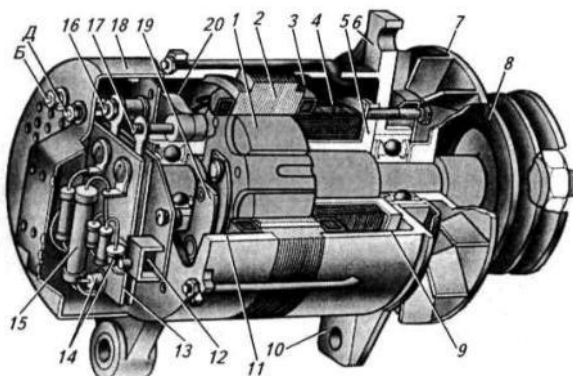


Рисунок 2 – Бесконтактный генератор:

1 – ротор; 2 – статор; 3 – фазные обмотки статора; 4 – обмотки возбуждения ротора; 5 – втулка; 6 – ушко; 7 – крыльчатка; 8 – шкив; 9, 11 и 18 – крышки; 10 – лапа; 12 – переключатель сезонной регулировки напряжения; 13 – интегральный регулятор напряжения; 14 – диоды; 15 – конденсатор; 16 и 17 – выводы обмотки возбуждения ротора; 19 – панель блока диодов (выпрямитель); 20 – пластмассовые колodки; Б и Д – клеммы

Так как один конец обмоток 4 возбуждения соединен с «массой», а другой – с плюсовой клеммой аккумуляторной батареи, то вокруг ротора образуется магнитное поле.

При работе двигателя силовые линии вращающегося магнитного поля полюсов звездообразного ротора, пронизывая попеременно витки фазных обмоток статора, наводят в них изменяющуюся по величине ЭДС, а следовательно и пульсирующий электрический ток. Переменный ток поступает в выпрямитель 19, где преобразуется в постоянный, а затем подается во внешнюю цепь для питания потребителей.

**Щеточный генератор с клювообразным ротором** (рисунок 3) отличается от бесщеточного тем, что обмотка возбуждения 1 и охватывающие ее клювообразные наконечники 2 установлены на валу ротора и образуют, при подаче тока на обмотку 1 от аккумуляторной батареи 7 через щетки и контактные кольца, многополюсный электромагнит. При его вращении соседние пары полюсов одновременно располагаются напротив сердечников катушек статора 10 одной фазы и пронизывают их изменяющимся по величине и направлению магнитным потоком. В результате, в катушках статора индуцируется переменный ток, который поступает на выпрямитель 9 и во внешнюю цепь.

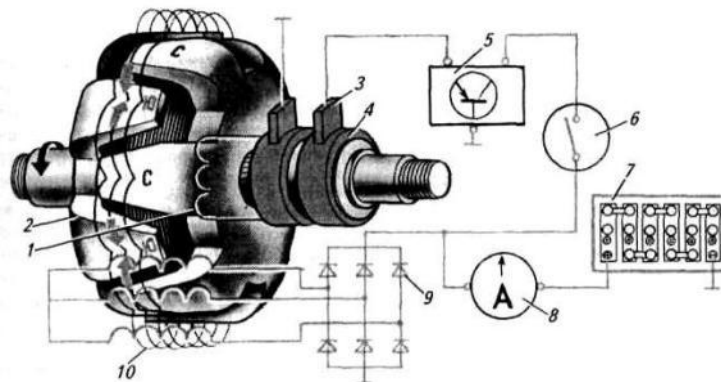


Рисунок 3 – Схема щеточного генератора с клювообразным ротором:

- 1 – обмотка возбуждения ротора; 2 – полюсные наконечники ротора; 3 – щетка;
- 4 – контактное кольцо; 5 – бесконтактный транзисторный реле-регулятор;
- 6 – выключатель зажигания; 7 – аккумуляторная батарея; 8 – амперметр; 9 – выпрямитель; 10 – фазная обмотка статора

Достоинством щеточных генераторов с клювообразным ротором является их высокая удельная электрическая мощность, недостатком - наличие контактов, образуемых щетками 3 и контактными кольцами 4, которые подвержены изнашиванию, особенно при высокой загрязненности воздуха. Для исключения этого недостатка были разработаны *бесщеточные генераторы с укороченными полюсами* (рисунок 4).

В таком генераторе полюсные половины с укороченными клювами 4 не перекрывают друг друга и образуют зазор, через который пропущен крепежный элемент 1 обмотки возбуждения и электрические провода для подвода к ней тока. Хотя магнитный поток здесь имеет одно направление (как у индукторного генератора), в целом его направление, пронизывающего катушки статора, меняется.

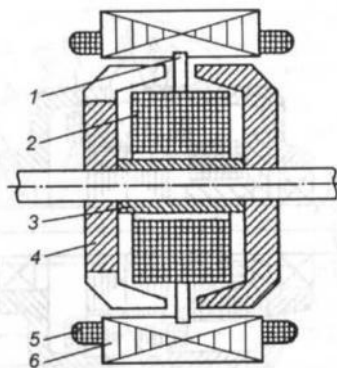


Рисунок 4 – Схема щеточного генератора с укороченными полюсами:

- 1- крепежный элемент обмотки возбуждения; 2 - обмотка возбуждения; 3 - втулка;
- 4 - полюсные половины с укороченными клювами; 5 - обмотка статора; 6 - статор

## 2. Характеристики генераторов

Внешняя характеристика, т. е. зависимость напряжения генератора от тока при  $n = \text{const}$ , может определяться при самовозбуждении и независимом возбуждении.

Снижение напряжения при увеличении нагрузки (рис. 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 падения 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.

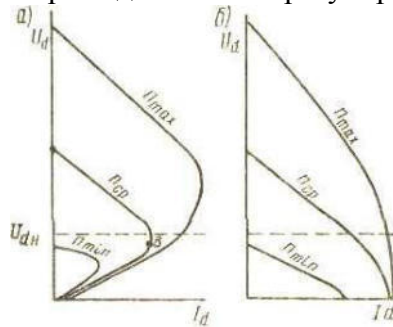


Рисунок 5 - Внешняя характеристика генератора переменного тока: а - с самовозбуждением; б - с независимым возбуждением

Скоростная регулировочная характеристика (рис. 6) 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.

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:

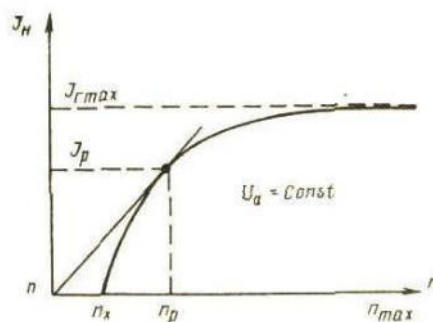


Рисунок 6 - Токоскоростная характеристика автомобильного генератора

Токоскоростная характеристика имеет важное значение при разработке и выборе генератора.

### 3. Регулирование напряжения генераторов, типы и тенденции развития регуляторов 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, пре-



рыванием 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. 7) 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.

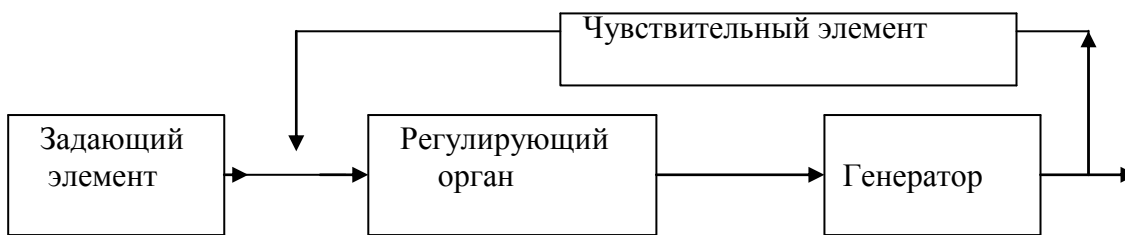


Рис. 7 - Функциональная схема системы автоматического регулирования напряжения в бортовой сети автомобиля

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;
- одной из основных задач, решаемых при переходе на генераторы переменного тока, является повышение срока службы генераторной установки. Электронный регулятор имеет срок службы 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.

Бесконтактные регуляторы на интегральных микросхемах получили наибольшее распространение по причине отсутствия в них недолговечных контактных устройств, малых габаритов и возможности их монтажа в генератор. Генератор с регулятором напряжения образует генераторную установку.

На рисунке 8 представлена принципиальная электрическая схема генераторной установки 15.3701, элементом которой является интегральный регулятор напряжения Я112Б. Напряжение генератору задает делитель, а поддерживает стабилитрон *VD1*.

Делитель напряжения, включающий в себя резисторы *R1* и *R5* в одном плече и регулируемый резистор *R8* - в другом, постоянно питается током от пятифазного двухполупериодного выпрямителя *UZ2*. Сопротивления плеч делителя подобраны так, что при напряжении генератора  $U_{max}$  стабилитрон *VD1* открывается, а при  $U_{min}$  закрывается. Транзисторы *VT2* и *VT3* образуют составной транзистор, общей базой которого служит база транзистора *VT2*, а общим эмиттером - эмиттер транзистора *VT3*.

Когда стабилитрон *VD1* закрыт, тока в цепи управления транзистором *VT1* нет и база составного транзистора через резистор *R3*, клеммы *Б* и *В* соединена с клеммой «+» выпрямителя *UZ2*, а эмиттер составного транзистора через резистор *R10* и «массу» - с клеммой «-». Ток

управления открывает составной транзистор и, через переход коллектор-эмиттер, резистор  $R_{10}$ , «массу», один из диодов  $VD_{6...VD10}$ , одну из фазных обмоток, один из диодов  $VD_{3...VD5}$  и обмотку  $L$ , течет однополупериодный ток возбуждения генератора. Сила тока в обмотке возбуждения, магнитный поток статора и напряжение генератора увеличиваются. Растет сила тока в делителе и увеличивается падение напряжения на его плечах.

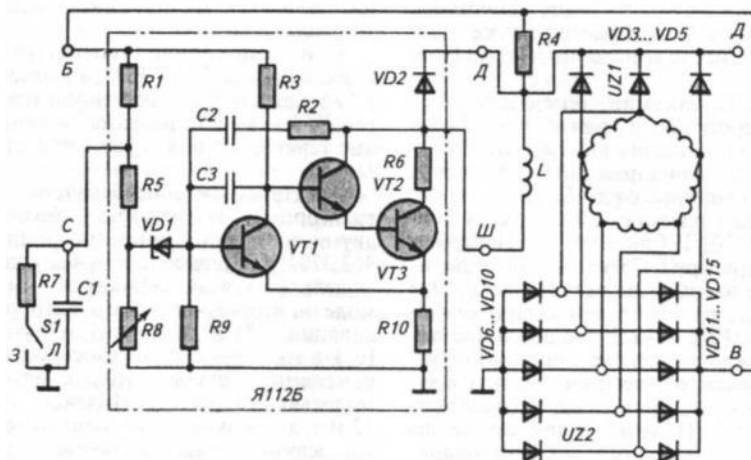


Рисунок 8 – Принципиальная электрическая схема генераторной установки 15.3701 с интегральным регулятором напряжения Я112Б

Когда напряжение генератора достигнет  $U_{min}$ , положительная разность потенциалов на участке стабилитрон  $VD1$  - резистор  $R_9$  достигнет напряжения стабилизации, стабилитрон откроется и соединит базу транзистора  $VD1$  через резисторы  $R_5$  и  $R_1$ , клеммы  $B$  и  $B$  с клеммой «+» выпрямителя  $UZ2$ . Поскольку эмиттер транзистора  $VT1$  через резистор  $R_{10}$  постоянно соединен с клеммой «-» выпрямителя, то при открытом стабилитроне  $VD1$  транзистор  $VT1$  тоже открывается и через его переход коллектор-эмиттер соединяются база и эмиттер составного транзистора. Последний закрывается, сила тока в обмотке возбуждения, магнитный поток статора и напряжение генератора уменьшаются.

## ЛЕКЦИЯ 5

### ТЕМА: СИСТЕМА ЗАЖИГАНИЯ

#### 1. Батарейная система зажигания

Впервые эл. энергия применена в ДВС в 1860 году для воспламенения горючей смеси. Высокое напряжение для образования эл. искры между электродами свечи зажигания создавали при помощи простейшей индукционной катушки, которая получала питание от гальванических элементов.

На первом автомобиле было установлено низковольтное магнето с одним подвижным электродом. В 1901...1907 гг. разработано магнето высокого напряжения, которое представляло собой систему зажигания с магнитоэлектрическим генератором и высоковольтной индукционной катушкой.

Зажигание эл. искрой высокого напряжения вытеснило другие способы воспламенения горючей смеси и стало предпочтительным для двигателей с принудительным воспламенением. Появилось множество методов генерирования высокого напряжения необходимого для пробоя искрового промежутка между электродами свечи зажигания, но только два из них получили наибольшее распространение:

- батарейное зажигание – на автомобильных двигателях;

- зажигание от магнето – на мотоциклетных и пусковых дв.

Проблемы энергетического и экологического характера, остро ставят вопросы повышения экономичности, снижения токсичности автотракторного парка. Не последнюю роль в решении этих задач играет разработка перспективных электронных систем зажигания. В настоящее время применяются контактные, контактно-транзисторные, бесконтактные (транзисторные), электронно-цифровые и микропроцессорные системы зажигания, надежно работающие при коэф избытка воздуха до 1,15. В дальнейшем предполагается использование лазерных, сверхвысокочастотных и плазменных систем зажигания, работающих при КИВ до 1,8.

Бесперебойное искрообразование между электродами свечи происходит при высоком напряжении (8...20 кВ). На прогревом двигателе к моменту новообразования рабочая смесь сжата и имеет температуру, близкую к температуре самовоспламенения. В этом случае достаточно незначительной энергии электрического разряда — порядка 5 МДж. Однако имеется ряд режимов работы двигателя, когда требуется значительная энергия искры — 30...100 МДж. К таким режимам следует отнести пусковой, 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.

Система зажигания двигателя предназначена для генерации импульсов высокого напряжения, вызывающих вспышку рабочей смеси в камере сгорания двигателя, синхронизации этих импульсов с фазой двигателя и распределения по цилиндрам двигателя.

В настоящее время на автомобильных бензиновых двигателях широко применяют батарейные системы зажигания, которые позволяют увеличить напряжение автомобильной аккумуляторной батареи или генератора (в зависимости от режима работы двигателя) до величины, необходимой 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, от положения вала в момент подачи искры до положения, когда поршень приходит в верхнюю мертвую точку (в.м.т.). Известные ныне системы зажигания получают необходимую энергию не непосредственно от аккумуляторной батареи, а от промежуточного накопителя энергии. В зависимости от накопителя различают системы с накоплением энергии в индуктивности и емкости.

#### 2. Принцип преобразования постоянного низкого напряжения в импульсное высокое.

Принцип преобразования постоянного низкого напряжения в импульсное высокое напряжение основан на законе электромагнитной индукции.

От аккумуляторной батареи при включенном зажигании и замкнутых контактах прерывателя ток низкого напряжения проходит по первичной обмотке катушки зажигания, образуя вокруг неё магнитное поле. Размыкание контактов прерывателя приводит к исчезновению тока в первичной обмотке и магнитного поля вокруг нее. Исчезающее магнитное поле индуктирует во вторичной обмотке высокое напряжение (около 20—25 киловольт). Распределитель поочередно подводит ток высокого напряжения к высоковольтным проводам и свечам зажигания, между электродами которых проскакивает искровой заряд, топливовоздушная смесь в цилиндрах двигателя воспламеняется.

Исчезающее магнитное поле пересекает не только витки вторичной, но и первичной обмотки, вследствие чего в ней возникает ток самоиндукции напряжением около 250—300 вольт. Это приводит к искрению и обгоранию контактов, кроме того, замедляется прерывание тока в первичной обмотке, что приводит к уменьшению напряжения во вторичной обмотке. Поэтому параллельно контактам прерывателя подключен конденсатор (как правило, ёмкостью 0,25 мкф).

Последовательно первичной обмотке катушки зажигания включается добавочное сопротивление (или дополнительный резистор). На низких оборотах контакты прерывателя оказывают большую часть времени в замкнутом состоянии и через обмотку протекает ток, более чем достаточный для насыщения магнитопровода. Избыточный ток бесполезно нагревает катушку. При запуске двигателя добавочное сопротивление шунтируется контактами реле стартера, тем самым повышается энергия электрической искры на свече зажигания.

Протекание рабочих процессов в системе зажигания можно разделить на три этапа:

- накопление энергии в одном из реактивных элементов электрической схемы (в индуктивности или в емкости);
- индуктирование импульса высокого напряжения во вторичной цепи катушки зажигания;
- пробой искрового промежутка между электродами свечи зажигания и выделение энергии в искровом разряде.

В системе зажигания с накоплением энергии в индуктивности первый этап начинается после замыкания цепи питания первичной обмотки катушки зажигания. Сила тока в первичной обмотке, имеющей не только активное, но и реактивное сопротивление, нарастает постепенно по экспоненциальному закону (рис. 1, а):

$$i_1 = U_{AB} (1 - \exp R_1 / L_1) / R_1,$$

где  $U_{AB}$  — напряжение аккумуляторной батареи;  $R_1$  — активное сопротивление первичной цепи;  $L_1$  — индуктивность первичной цепи;  $t$  — текущее значение времени.

Нарастающая сила первичного тока стремится достигнуть максимального значения. Максимальная энергия, которую можно накопить в индуктивном элементе, определяется по формуле

$$W_{Lm} = 0,5L_1I_{1m}^2$$

Нарастание тока в первичной обмотке катушки зависит от частоты следования искровых разрядов, а следовательно, от числа цилиндров и частоты вращения коленчатого вала двигателя. К моменту размыкания первичной цепи сила тока возрастает до силы тока разрыва  $I_p$ . Время полного цикла замкнутого и разомкнутого состояния первичной цепи катушки зажигания определяется по формуле

$$T = 120 / (Z_n n),$$

где  $Z_n$  — число цилиндров двигателя.

После отключения первичной обмотки катушки зажигания от источника электроснабжения в первичной цепи образуется колебательный контур, содержащий катушку индуктивности  $L_1$ , конденсатор ёмкостью  $C_1$  (активное сопротивление), в котором возникают затухающие колебания силы тока  $I_1$ , и напряжения  $U_1$ , первичной цепи. Ёмкость  $C_1$  первичной цепи в контактной системе зажигания - ёмкость конденсатора, подключаемого параллельно контактам прерывателя. Применение конденсатора в контактной системе зажигания обусловлено необходимостью уменьшения скорости роста напряжения первичной цепи в начальный момент размыкания контактов. При малых частотах вращения коленчатого вала и, следовательно, низкой скорости размыкания контактов напряжение  $U_1$ , превысит напряжение пробоя

воздушного пространства между контактами, в результате чего в межконтактном промежутке возникает электрическая дуга, которая поглощает значительную часть запасаемой в магнитном поле катушки зажигания энергии. Это приводит к интенсивному электроэрозионному изнашиванию контактов и снижению напряжения вторичной цепи. Выбор емкости  $C_1$  связан с поиском компромисса между двумя противоречивыми требованиями. Увеличение емкости  $C_1$  способствует устранению дугообразования, но при этом уменьшаются скорость исчезновения магнитного поля и напряжения вторичной цепи. В системах с механическим прерывателем тока в первичной цепи катушки зажигания оптимальной является емкость в пределах 0,22—0,28 мкФ.

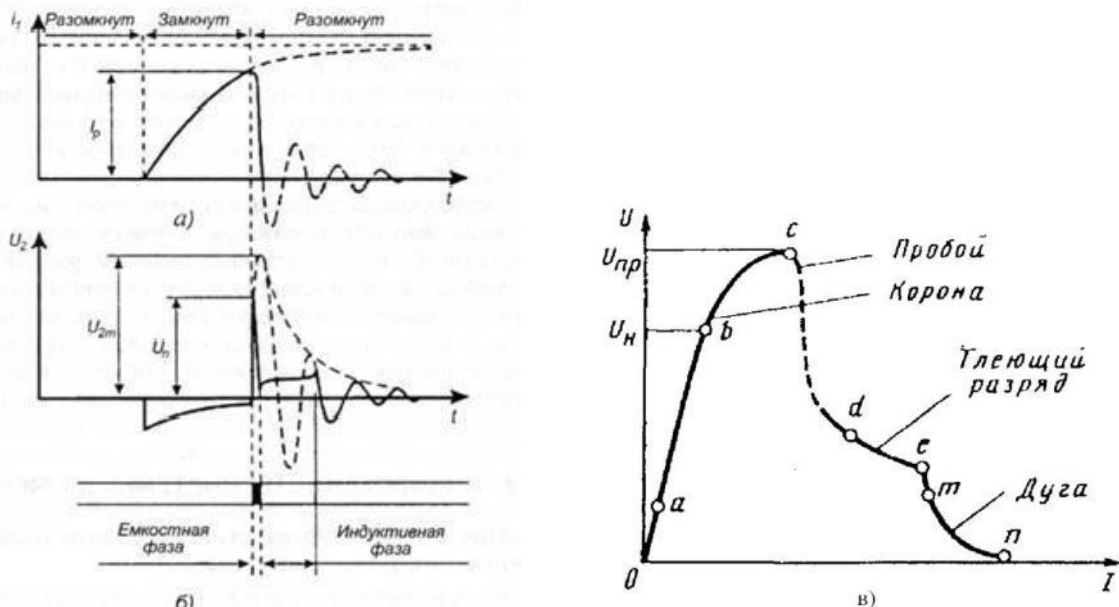


Рисунок 1 - Временные диаграммы: а - силы тока в первичной цепи катушки зажигания; б - напряжения вторичной цепи напряжения; в) вольтамперная характеристика разряда

Вторичная обмотка вместе с конденсатором емкостью  $C_2$  вторичной цепи также образуют колебательный контур, индуктивно связанный с колебательным контуром первичной цепи. При отсутствии пробоя искрового промежутка свечи колебания напряжения  $U_2$  вторичной цепи, так же как и напряжение  $U_1$  первичной цепи, будут затухающими. Максимальная амплитуда колебаний вторичного напряжения  $U_{2m}$  представляет собой высоковольтный импульс (рис. 1, б).

Поскольку катушка зажигания является трансформатором, максимальное напряжение вторичной цепи может быть найдено по формуле

$$U_{2m} = K_T U_{1m},$$

где  $K_T$  - коэффициент трансформации, представляющий собой отношение числа витков  $w_1$  первичной обмотки к числу витков  $w_2$  вторичной обмотки катушки зажигания.

### 3. Основные характеристики, эксплуатация и типичные неисправности классической системы зажигания

Классическая система батарейного зажигания с одной катушкой и многоискровым механическим распределителем до сих пор встречается на современных 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.

В контактной системе батарейного зажигания имеется две цепи – низкого и высокого напряжения. В цепь низкого напряжения последовательно включен источник тока 1 (рис. 2), включатель 3 зажигания, первичная обмотка 4 катушки зажигания 6 с добавочным резистором – вариатором, включенным между клеммами ВК и ВКБ, и контактный прерыватель 8 с параллельно подключенным к его контактам конденсатором 9. Цепь высокого напряжения

состоит из вторичной обмотки 5 катушки зажигания 6, распределителя 7 тока высокого напряжения, проводов высокого напряжения и свечей 10 зажигания.

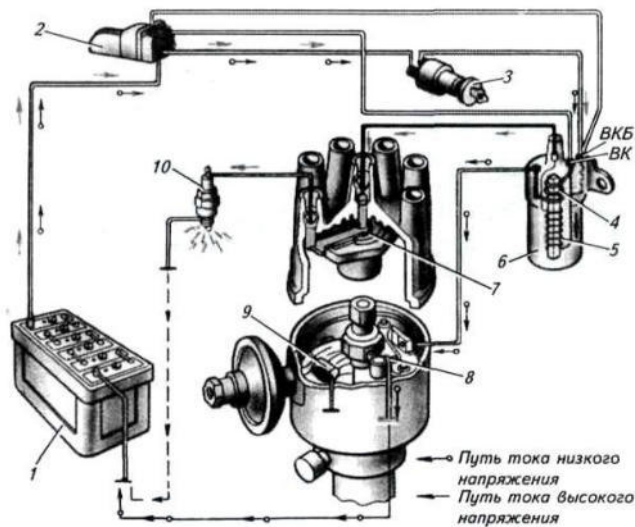


Рисунок 2 – Контактная система батарейного зажигания: 1 – источник тока (АКБ); 2,3 – выключатели стартера и зажигания; 4,5 – первичная и вторичная обмотки; 6 – катушка зажигания; 7 – распределитель; 8 – прерыватель; 9 – конденсатор; 10 – свеча зажигания

При включенном зажигании ток от плюсовой клеммы источника тока поступает в первичную обмотку катушки зажигания и через замкнутые контакты прерывателя на «массу». Стальной сердечник катушки зажигания намагничивается и вокруг первичной обмотки образуется магнитное поле.

При размыкании контактов прерывателя кулачком, насаженным на верхний конец валика прерывателя, ток в первичной цепи низкого напряжения исчезает, а вместе с ним и магнитное поле первичной обмотки. Силовые магнитные линии исчезающего магнитного поля, пересекая витки вторичной обмотки катушки зажигания, наводят в ней электродвижущую силу (ЭДС) высокого напряжения. От вторичной обмотки ток высокого напряжения через центральный провод поступает в распределитель (угольный стерженек с пружиной, токоразносящая пластина ротора – бегунок, текстолитовая крышка с медными клеммами), где распределяется по свечам зажигания в соответствии с порядком работы цилиндров двигателя.

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 этого, 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 кулачка;
- 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 уве-

личению эмиссии отработавших газов.

Первые полупроводниковые «электронные» системы батарейного зажигания - контактно-транзисторные системы зажигания (КТСЗ).

В контактно-транзисторной системе зажигания контактная пара прерывателя в первичной цепи катушки зажигания отсутствует и заменена транзисторным ключом. Но сам транзисторный ключ управляется по базе контактной парой механического прерывателя прежней конструкции. Это позволило уменьшить ток разрыва в контактной паре и за счет усиления в транзисторе увеличить ток разрыва в индуктивном накопителе. При этом коэффициент запаса по вторичному (выходному) напряжению увеличился. Сила тока разрыва уже не ограничивается стойкостью контактов прерывателя, а зависит лишь от параметров транзистора. Эксплуатационная надежность системы зажигания стала несколько выше.

Однако этим системам по-прежнему присущи недостатки классической системы зажигания (механическое изнашивание контактов прерывателя и ограниченный скоростной режим из-за вибрации контактов прерывателя).

#### **4. Влияние параметров системы зажигания на показатели работы системы**

Исходя из условий работы ДВС к системам зажигания предъявляют следующие основные требования:

- система должна развивать напряжения, достаточные для пробоя искрового промежутка свечи, обеспечивая 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.

Исходя из этих требований любая система зажигания характеризуется следующими основными параметрами:

- 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  $W_f$  и длительностью индуктивной составляющей искрового разряда  $t_p$ .

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:  $K_3 = U_{2m}/U_{пр}$ . Для современных систем зажигания коэффициент запаса по вторичному напряжению принимают не менее 1,5, а в экранированных системах - 1,8.

Пробивным напряжением называется напряжение, при котором происходит пробой искрового промежутка свечи. При этом свеча, ввернутая в камеру сгорания двигателя, является своеобразным разрядником. Пробивное напряжение прямо пропорционально давлению смеси  $p$  и зазору между электродами и обратно пропорционально температуре смеси  $T$ .

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 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%.

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. Максимального значения пробивное напряжение достигает при пуске и разгоне двигателя, минимального - при работе на установившемся режиме на максимуме мощности.

В течение первых 2 тыс. км пробега нового автомобиля пробивное напряжение повыша-

ется 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.

Параметры искрового разряда - энергия, длительность, зазор в свече - влияют на развитие начала процесса сгорания в цилиндрах двигателя (в режимах пуска, холостого хода, неустановившихся 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 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 в.м.т. 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). Процесс сгорания оптимально протекает, когда угол опережения зажигания наивыгоднейший (кривая 2). Максимум мощности двигатель развивает, если наибольшее давление в цилиндре создается после в.м.т. через 10.. 15° угла поворота коленчатого вала двигателя, т.е. когда процесс сгорания заканчивается несколько позднее в.м.т. Наивыгоднейший 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.

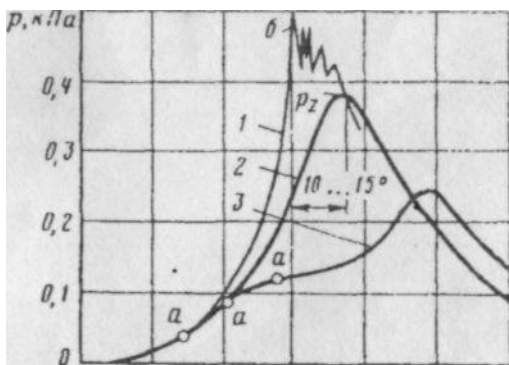


Рисунок 3 - Изменение давления в цилиндре двигателя в зависимости от момента зажигания: а - момент зажигания; б - детонация; 1,2 и 3 -соответственно раннее, нормальное и позднее зажигание;  $p_z$  - максимум давления в цилиндре

## 5. Транзисторные, тиристорные и микропроцессорные системы зажигания

Системы с накоплением энергии в индуктивности (транзисторные) занимают доминирующее положение в технике. Принцип действия - при протекании электрического тока от внешнего источника через первичную обмотку катушки зажигания катушка запасает энергию в своём магнитном поле, при прекращении этого тока ЭДС самоиндукции генерирует в обмотках катушки мощный импульс, который снимается со вторичной (высоковольтной) обмотки, и подаётся на свечу (рис. 4). Напряжение импульса достигает 20-40 тысяч вольт без нагрузки. Реально, на работающем двигателе напряжение высоковольтной части определяется условиями пробоя искрового промежутка свечи зажигания в конкретном рабочем режиме,



и колеблется от 3 до 30 тысяч вольт в типичных случаях. Прерывание тока в обмотке долгие годы осуществлялось обычными механическими контактами, сейчас стандартом стало управление электронными устройствами, где ключевым элементом является мощный полупроводниковый прибор: биполярный или полевой транзистор.

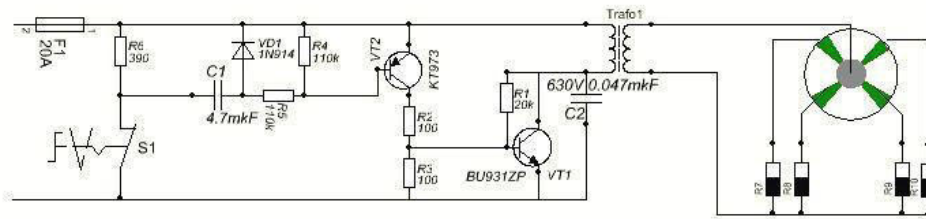


Рисунок 4 - Принципиальная схема транзисторного электронного контактного зажигания. При размыкании контактов прерывателя S1 электронная схема формирует импульс электрического тока в первичной обмотке катушки зажигания обозначенной на схеме Trafo1.

Системы с накоплением энергии в емкости (они же «конденсаторные» или «тиристорные») появились в середине 1970-х годов в связи с появлением доступной элементной базы и возросшим интересом к роторно-поршневым двигателям. Конструктивно они практически аналогичны описанным выше системам с накоплением энергии в индуктивности, но отличаются тем, что вместо пропускания постоянного тока через первичную обмотку катушки к ней подключается конденсатор, заряженный до высокого напряжения (типично от 100 до 400 вольт). То есть обязательными элементами таких систем являются преобразователь напряжения того или иного типа, чья задача - зарядить накопительный конденсатор, и высоковольтный ключ, подключающий данный конденсатор к катушке. В качестве ключа, как правило, используются тиристоры. Недостатком данных систем является конструктивная сложность, и недостаточная длительность импульса в большинстве конструкций, достоинством - крутой фронт высоковольтного импульса, делающий систему менее чувствительной к забрызгиванию свечей зажигания, характерному для роторно-поршневых двигателей.

Существуют также конструкции, объединяющие оба принципа, и имеющие их достоинства, но, как правило, это любительские или экспериментальные конструкции, отличающиеся высокой сложностью изготовления.

## 6. Регулирование момента воспламенения рабочей смеси, механические и электронные регуляторы угла опережения зажигания

Угол опережения зажигания влияет на изменение давления в цилиндре двигателя (рис. 3). Процесс сгорания оптимально протекает, когда угол опережения зажигания наивыгоднейший (кривая 2). Максимум мощности двигатель развивает, если наибольшее давление в цилиндре создается после в.м.т. через 10.. 15° угла поворота коленчатого вала двигателя, т.е. когда процесс сгорания заканчивается несколько позднее в.м.т. Наивыгоднейший угол опережения зажигания определяется временем, которое отводится на сгорание смеси, и скоростью ее сгорания. Время, отводимое на сгорание, зависит от частоты вращения коленчатого вала, а скорость сгорания определяется составом рабочей смеси и степенью сжатия.

Угол опережения зажигания должен выбираться с учетом частоты вращения коленчатого вала, нагрузки двигателя (рис. 5), температуры охлаждающей жидкости и всасываемого воздуха, атмосферного давления, состава отработавших газов, скорости изменения положения дроссельной заслонки (разгон, торможение).

Кроме обеспечения наивыгоднейшего угла опережения, система зажигания должна обеспечивать очередность подачи высокого напряжения на свечи соответствующих цилиндров двигателя в соответствии 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.

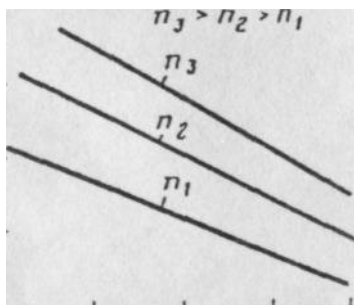


Рисунок 5 - Зависимости наилучшего угла опережения зажигания: а - от частоты вращения коленчатого вала двигателя; б - от нагрузки при различной частоте вращения

#### Датчик момента искрообразования

В старых двигателях использовался вращающийся кулачок и контактная группа (прерыватель), разрывающая цепь при определенном положении вала. Это упрощало низковольтную электрическую схему системы зажигания до двух проводов - от аккумулятора до катушки, и от катушки до прерывателя. Недостатком этой системы была низкая надежность контактов прерывателя и параллельно им подключенного конденсатора (возможно, самое ненадежное место в двигателе как целом), уязвимость контактов для нагара и влаги.

С развитием электроники от прерывателя отказались, заменив его бесконтактными датчиками - индуктивными, оптическими, либо наиболее распространенными датчиками Холла, основанными на эффекте изменения проводимости полупроводника в магнитном поле. Преимущество бесконтактных схем - отсутствие необходимости в периодическом обслуживании - за исключением замены свечей зажигания. В таком случае, для выдачи резкого фронта/спада напряжения на катушку необходима электронная схема, делающая это на основании сигнала с датчика. Электронная схема обычно исполнена в виде единого; зачастую - неремонтопригодного узла, известного в просторечии как «коммутатор».

В современных автомобилях используется датчик положения коленвала и датчик фаз. Точный момент искрообразования вычисляется электронным блоком управления в зависимости от показаний многих иных датчиков (датчик детонации, датчик положения дроссельной заслонки и т. п.) и в зависимости от режима движения и работы двигателя.

*Центробежный регулятор* - устройство, изменяющее положение шторки бесконтактного датчика или кулачка контактного (а значит, и момент зажигания) в зависимости от оборотов двигателя.

Состоит из грузиков (обычно - двух), которые, с увеличением оборотов двигателя, расходятся, преодолевая сопротивление пружинок, поворачивая при этом часть вала со шторкой или кулачком вперед (увеличивая опережение зажигания при увеличении оборотов).

*Вакуумный регулятор* - устройство, изменяющее положение датчика относительно начального (а, значит, и момент зажигания) в зависимости от разрежения во впускном коллекторе, то есть от степени открытия дроссельных заслонок и оборотов двигателя. Обычно включает в себя шланг от узла прерывателя датчика до карбюратора или впускного коллектора. На прерывателе разрежение воздействует на мембрану, которая, преодолевая сопротивление пружины, сдвигает датчик (контакты прерывателя) навстречу движению кулачка (шторок), то есть, увеличивая опережение зажигания при большом разрежении во впускном коллекторе (в этом случае смесь горит дольше, это режимы малых нагрузок при высоких оборотах двигателя).

Центробежный и вакуумный регуляторы позволяют добиться оптимального момента зажигания во всех режимах работы двигателя. В современных двигателях они уже не используются - поскольку задача определения оптимального момента искрообразования переложена на микропроцессор (в электронном блоке управления, или контроллере), учитывающий в вычислениях также положение дросселей, обороты двигателя, сигналы датчика детонации.

На двигателях с электронными системами впрыска топлива функции центробежного и вакуумного регулятора выполняет программа блока управления двигателя.

#### Катушка зажигания

Катушка зажигания - импульсный трансформатор, преобразующий резкий фронт/спад напряжения от прерывателя/коммутатора в высоковольтный импульс. В многоцилиндровых двигателях традиционно использовалась одна катушка и распределитель; однако в большинстве современных двигателей используется несколько катушек зажигания, либо объединенных в едином корпусе с электронными коммутаторами (т.н. «модуль зажигания»), при этом каждая катушка обеспечивает искру в конкретном цилиндре, либо в группах цилиндров, что позволяет отказаться от распределителя зажигания, либо отдельные катушки устанавливаются непосредственно на каждую свечу; при этом, катушки выполнены в виде надеваемых на свечи наконечников, конструктивно объединяющих собственно высоковольтный трансформатор и силовой ключ управления, что позволяет отказаться также и от высоковольтных проводов. Переход на системы «одна катушка-одна свеча» в первую очередь связан с возросшей степенью форсировки автомобильных двигателей, что повлекло за собой повышение рабочих оборотов двигателя. Это в свою очередь вызвало подход систем с одной катушкой и высоковольтным распределителем к физическим пределам возможностей одной катушки: для создания мощного искрового разряда в катушке необходимо накопить большую энергию (порядка 50 мДж на разряд), значит, необходимо повышать индуктивность катушки. Повышение же индуктивности неизбежно увеличивает время накопления энергии в катушке. В случае многоцилиндровых двигателей это означало тупик. Решением и стало сначала появление DIS-систем (одна катушка на два цилиндра), и далее логически развилось в системы «одна катушка - одна свеча».

*Распределитель зажигания* - высоковольтный переключатель, бегунок которого получает вращение от распределительного вала двигателя, подключает катушку зажигания к нужной в данный момент свече. Обычно выполняется в одном корпусе и на одном валу с прерывателем/датчиком положения вала. Состоит из подвижного контакта (бегунка) и крышки, к которой подключаются один высоковольтный провод от катушки и несколько - далее к свечам.

В современных двигателях распределитель не используется, уступив место модулям зажигания, использующим отдельные катушки для отдельных групп свечей, или катушкам установленным непосредственно на свечи.

*Высоковольтные провода* соединяют катушку зажигания с центральным контактом крышки распределителя и боковые контакты распределителя со свечами зажигания. Высоковольтный провод - многожильный, окруженный многослойной изоляцией, способной выдерживать разность потенциалов до 40 киловольт. Характеризуются распределенным активным сопротивлением (порядка нескольких килоом на метр), либо так называемым «нулевым сопротивлением» (порядка нескольких ом на метр). В последнее время стала применяться изоляция из силикона, как более надежная и долговечная. Также применяются экранированные провода (с металлической оплёткой), например, на автомобилях с радиостанциями для уменьшения радиопомех.

*Свеча зажигания* вворачивается в головку цилиндра (или в головку блока цилиндров), к контактному выводу при помощи наконечника подключается высоковольтный провод. Через воздушный промежуток между центральным и боковым электродами проскакивает электрическая искра, воспламеняя топливовоздушную смесь. Также существуют системы зажигания бензиновых двигателей с двумя свечами, и, соответственно, двумя катушками на каждый цилиндр. Две свечи на цилиндр применяются, исходя из соображений сокращения длины пробега фронта горения в цилиндре, что позволяет немного сдвинуть момент зажигания в раннюю сторону, и получить немного большую отдачу от двигателя. Также повышается надежность системы.

Маркировка свечей зажигания: А9Н, А17ДВ. Первая буква обозначает размер ввертной резьбой части (А – резьба метрическая М14×1,25; М – резьба метрическая М18×1,5; 14, 18 – диаметр в мм; 1,25, 1,5 – шаг в мм); цифра (61) – индекс (9, 17) калильного числа; вторая буква – длина ввертной части (Н – 11 мм, Д – 19 мм, при отсутствии буквы 12 мм); В – тепловой конус изолятора свечи выступает за торец ввертной резьбовой части.

## 7. Тенденции развития систем зажигания

### Развитие систем зажигания

Надежное воспламенение топлива искровым разрядом возможно при массовом соотношении воздух/топливо не более 17. При более бедных составах возникают пропуски зажигания, что приводит к увеличению токсичности отработавших газов.

Из лазерных, сверхвысокочастотных и плазменных систем зажигания для бедных смесей последняя находит все более широкое применение. При плазменном зажигании соотношение воздух/топливо достигает 27, электрическая дуга образует высокую концентрацию электрической энергии в ионизированном искровом промежутке значительного объема (до  $10 \text{ мм}^3$ ). При этом в дуге развиваются температуры до  $4000 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Реализуется такой метод при использовании специальных свечей зажигания. В одной из таких свечей (рис. 5, а) под центральным электродом 2 в изоляторе размещается небольшая камера 3. При возникновении электрического разряда 5 между центральным электродом 2 и корпусом 1 газ в камере нагревается до высокой температуры и, расширяясь, выходит из отверстия в корпусе свечи в камеру сгорания. Образуется плазменный факел 4 длиной 6... 7 мм. С помощью этого факела вызываются несколько очагов пламени, способствующих воспламенению и сгоранию бедной смеси.

При другом методе в свече зажигания образуется постоянная электрическая дуга в течение времени, необходимого для поворота коленчатого вала на  $30^\circ$ . В этом случае высвобождается до  $20 \text{ Дж/м}$  энергии, что гораздо больше, чем при обычном искровом разряде.

При использовании обычных свечей зажигания (рис 6, а) в плазменной системе применяется катушка зажигания 1 с отдельными обмотками. Последовательно со вторичной обмоткой установлен высоковольтный преобразователь 4 для создания начального электростатического поля напряжением 3 кВ между электродами свечи. В момент размыкания контактов прерывателя 5 в искровом промежутке свечи возникает обычная искра. Сопротивление между электродами уменьшается, а постоянное напряжение 3 кВ образует дугу, зажженную в момент разряда. Для поддержания дуги достаточно напряжения около 200 В. Длительные дуговые разряды понижают срок эксплуатации свечей, поскольку электроды из обычного материала (инконеля) в нормальных условиях работы в режиме плазменной свечи эродируют очень быстро. Поэтому используют свечи с вольфрамовыми электродами или холодные свечи. Угол опережения зажигания увеличивают на несколько градусов.

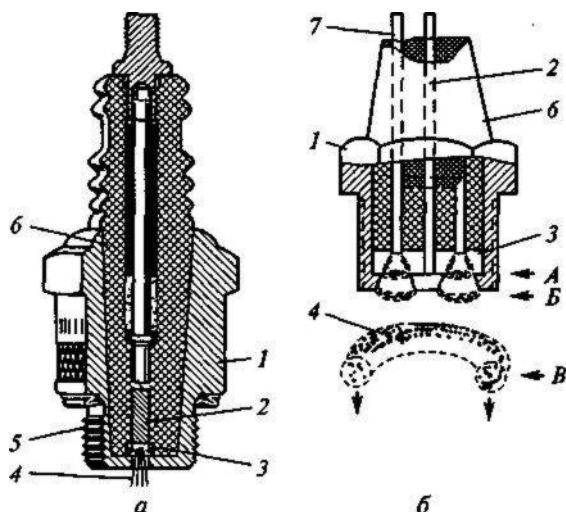


Рисунок 5 - Плазменные свечи зажигания: а - обычная; б — с пусковым электродом; 1 — металлический корпус свечи; 2 — центральный электрод; 3 — камера; 4 — плазменный факел; 5 — электрический разряд в камере; 6 — изолятор свечи; 7 — пусковой электрод; А, Б и В — фазы распространения плазменного факела при работе свечи

Плазменная система зажигания, показанная на рис. 6, б, имеет несколько дополнительных

элементов к стандартной электронной схеме: это высоковольтный преобразователь 8 и накопитель энергии 7 в дополнение к батарее, катушке 1 зажигания, блоку 10 электронного зажигания и выключателю зажигания 9.

Поскольку в данной системе используются фактически два источника напряжения для свечи зажигания, они разделены диодами. Электростатический потенциал высоковольтного преобразователя может ионизировать и пространство между электродами распределителя, поэтому в данной системе высоковольтное электростатическое напряжение подводится непосредственно к свечам через диоды 6, предотвращающие возврат энергии в систему накопления, а также контролируемые длительность разряда.

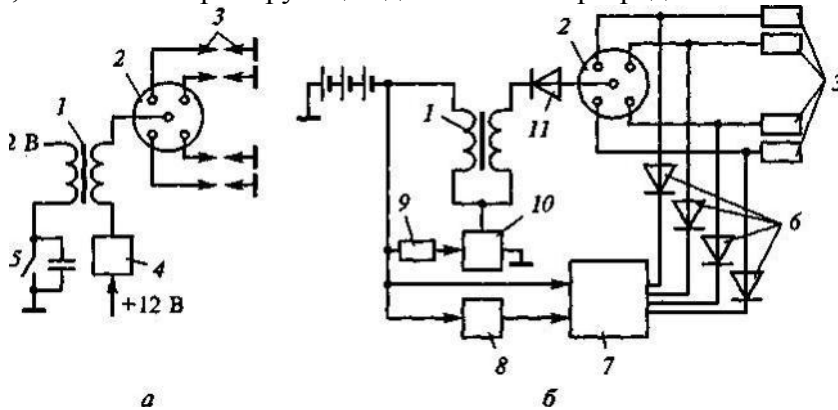


Рисунок 6 - Схема ионизирующей системы зажигания для обычных свечей (а) и плазменной системы (б): 1 — катушка зажигания; 2 — распределитель зажигания; 3 — искровые промежутки свечей; 4 — высоковольтный преобразователь; 5 — прерыватель; 6 и 11 — полупроводниковые диоды; 7 — накопитель энергии; 8 — преобразователь; 9 — выключатель зажигания; 10 — блок электронного зажигания

Высоковольтный преобразователь 8 преобразует постоянное напряжение 12 В в переменное с частотой 12 кГц. Это переменное напряжение с помощью трансформатора повышается до 1,5 кВ» затем диодно-конденсаторной цепью удваивается и выпрямляется.

Плазменная камера в специальной свече (см. рис. 5, б) имеет кольцевую форму. Ионизация горючей смеси происходит между двумя электродами. После воспламенения смеси в ионизированной камере образуется торообразная плазма. При взаимодействии радиального тока ионизированной плазмы с магнитным полем, циркулирующим вокруг центрального электрода, торообразная плазма выбрасывается через кольцевой канал свечи в камеру сгорания двигателя.

По данным фирмы «Plasma Initiation System», такая система обеспечивает воспламенение обедненной топливной смеси, состоящей из 19,5 части воздуха и одной части бензина. Экономия топлива составляет 17 %.

## ЛЕКЦИЯ 6

### ТЕМА: СИСТЕМА ЭЛЕКТРОСТАРТЕРНОГО ПУСКА ДВИГАТЕЛЯ

Минимальную частоту вращения коленчатого вала, при которой происходит надежный пуск двигателя, называют пусковой. Она должна быть не менее  $40-50 \text{ мин}^{-1}$  у бензиновых двигателей и  $150-250 \text{ мин}^{-1}$  у дизелей.

Различают следующие способы пуска ДВС: ручной (рукояткой или шнуром, наматываемым на шкив пускового двигателя), пусковым двигателем и электрическим стартером.

Для пуска автомобильных двигателей используют системы электростартерного пуска. Они надежны в работе, обеспечивают дистанционное управление и возможность автоматизации процесса пуска двигателей с помощью электротехнических устройств. В системах управления электростартером предусмотрены электромагнитные тяговые реле, дополнительные реле и реле блокировки, обеспечивающие дистанционное включение, автоматическое отключение стартера от аккумуляторной батареи после пуска двигателя и предотвращение включения стартера при работающем двигателе.

Источником энергии в системах электростартерного пуска является стартерная свинцовая аккумуляторная батарея - химический источник тока, поэтому в электростартерах используют электродвигатели постоянного тока.

#### 1. Средства облегчения пуска двигателя

Пуск двигателей в зимний период требует значительных затрат труда и времени, а в случае отказа системы пуска является причиной простоя. В это время необходимо использовать средства для облегчения пуска и подготовки холодных двигателей к работе.

Вспомогательные средства для облегчения пуска разделяются на действующие в предпусковой период и непосредственно в процессе пуска. Применяемые на практике средства предпускового разогрева двигателей отличаются по способу создания и подвода тепла, типу и принципу циркуляции теплоносителя, виду потребляемой энергии, по методам нагрева (прямой и косвенный). Прямой разогрев двигателя и его систем перед пуском предпочтительнее и может осуществляться за счет электрической энергии.

Для облегчения пуска предкамерных и вихрекамерных дизелей, имеющих невысокую степень сжатия и температуру, недостаточную для воспламенения топлива в конце сжатия, применяют электрические *свечи накаливания*. Свечи накаливания (рис. 1, а) бывают открытого (открытая спираль накаливания) и закрытого (штифтовые) типа. Свечи устанавливают в камеру сгорания таким образом, чтобы нагревательный элемент обеспечивал воспламенение распыленного топлива. Для этого необходимо, чтобы теоретический конус распыла топлива касался нагревательного элемента, выступающего в камеру сгорания.

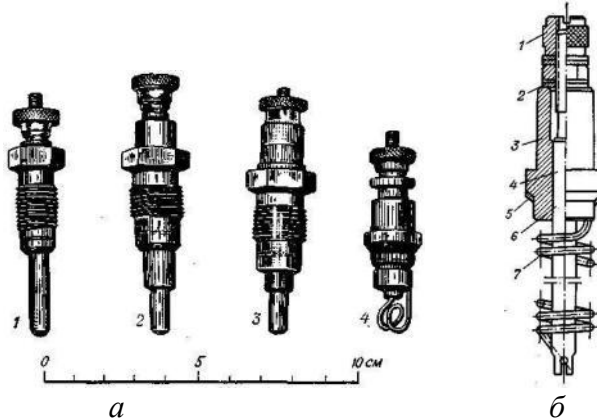


Рисунок 1 – а) Свечи накаливания: 1, 2 и 3 - закрытого типа; 4 - открытого типа

б) Свеча подогрева СН-150 впускного воздуха: 1 - гайка контактная; 2 - шайба изоляционная; 3 - корпус; 4 - стержень; 5 - шайба уплотнительная; 6 - слюда; 7 - спираль

Предварительный нагрев свечей накаливания производится за 15-60 с до пуска дизеля, при этом сила тока достигает значений 30-50 А при напряжении 8 или 12 В соответственно для четырех- или шестицилиндрового дизеля.

Для облегчения пуска дизелей путем повышения температуры впускного воздуха применяют свечи подогрева. Выпускаемая серийно однопроводная свеча подогрева воздуха СН-150 (рис. 1,б) устанавливается во впускном коллекторе двигателей Д-21 и Д-37М. Нагревательный элемент свечи (спираль) изготавливается из проволоки диаметром 2 мм высокого омического сопротивления. Крепится свеча накидной гайкой в специальном гнезде впускного коллектора. Герметичность при посадке обеспечивается уплотнительной шайбой. Номинальное напряжение свечи 8,5 В, номинальный ток 45-47 А, температура нагрева спирали за 30-40 с достигает 1173-1223 К. Свечу подогрева СН-150 следует включать на 40-60 с, так как практически ток в цепи не превышает 42-45 А; при меньшем времени нагрев недостаточен. Место установки свечи СН-150 во впускном коллекторе выбирается экспериментально. Для получения наибольшего нагрева воздуха желательно максимально приблизить свечу к впускным окнам цилиндров.

Использование свечей подогрева снижает предельную температуру холодного пуска дизеля в среднем на 5 К. Вместе с тем, эффективность применения уменьшается с понижением температуры, что требует существенного повышения их мощности. Целесообразно применять свечи подогрева для облегчения пуска дизелей с неразделенной камерой сгорания до температур порядка 263 К в сочетании с топливными насосами, имеющими увеличенную цикловую подачу топлива при пуске.

*Электрофакельные подогреватели.* Схема работы (рис. 2) подобных устройств достаточно проста. Топливо из основного бака подается в специальную камеру сгорания через форсунку, где попадая на разогретую спираль накаливания воспламеняется и нагревает охлаждающую жидкость двигателя, которая для улучшения процесса прогрева прокачивается дополнительным насосом. Использование электрофакельных подогревателей впускного воздуха одновременно с заливкой в двигатель маловязких масел снижает в среднем температуру пуска холодного двигателя на 10-15 К.

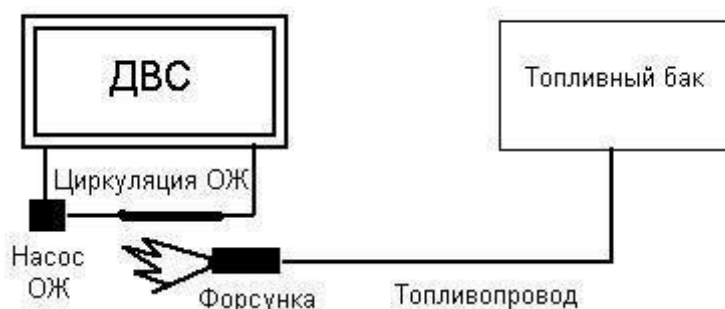


Рисунок 2 - Блок-схема электрофакельного подогревателя

Одним из достоинств электрофакельных подогревателей является возможность их работы на дизельном топливе или бензине, т. е. на том же топливе, что и двигатель, на который они устанавливаются. Это позволяет использовать их на двигателях различной конструкции, в том числе для облегчения пуска многотопливных двигателей.

Наибольший эффект при наименьшем расходе энергии получается при подогреве охлаждающей жидкости до рабочей температуры непосредственно в блоке двигателя с одновременным подогревом масла в картере. При таком способе циркуляция жидкости происходит внутри блока, минуя радиатор двигателя, что снижает расход электроэнергии, способствует ускоренному разогреву подшипников двигателя и обеспечивает полную тепловую подготовку двигателя к работе в соответствии с техническими условиями эксплуатации.

Время разогрева автомобильных и тракторных двигателей зимой с применением электрических нагревателей различной мощности изменяется в очень широких пределах - от 20 мин до 15 ч. У каждого типа двигателей имеется свое оптимальное время разогрева, завися-

щее от теплопроводности перегородок, по которым передается тепло от теплоносителя к подшипникам коленчатого вала двигателя и каналам, пропускающим масло. При применении нагревателя с большой теплопроизводительностью быстро повышается температура наружных частей двигателя и происходит рассеивание значительной части подведенного тепла. Излишний расход энергии наблюдается и при малой мощности нагревателя, если время разогрева не соответствует оптимальному значению. Оптимальное время разогрева двигателя 2-4 ч. В этом случае обеспечиваются равномерный разогрев всего двигателя и условия, необходимые для принятия двигателем нагрузки сразу после пуска. В распространенных нагревательных устройствах электронагрев производят с применением различных ТЭНов. Для подогрева двигателя применяют нагреватели, устанавливаемые в патрубках водяного насоса и масла в картере двигателя.

Проведением дополнительных организационно-технических мероприятий можно значительно снизить влияние холодного воздуха зимой на условия эксплуатации, на показатели использования автотракторных двигателей и облегчить их обслуживание.

## 2. Принцип действия электростартера

Электрический стартер предназначен для преобразования электрической энергии в механическую и использования последней для проворачивания коленчатого вала при пуске. Он включает в себя электродвигатель постоянного тока, тяговое реле и механизм включения.

Электродвигатель состоит из статора (корпуса с полюсами 12 (рисунок 3) и катушками 13 фазных обмоток) и якоря 14 (вала с сердечником, в пазы которого уложены секции обмоток из толстой медной проволоки).

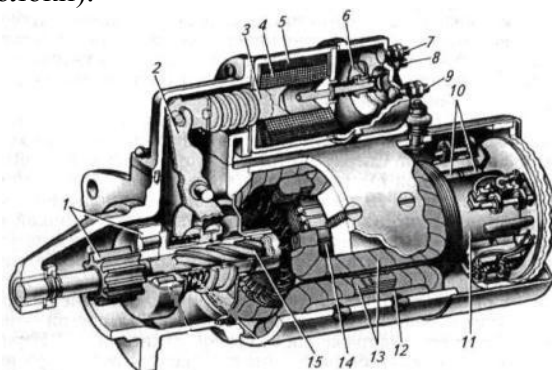


Рисунок 3 – Электрический стартер: 1 – пусковая шестерня с муфтой свободного хода; 2 – рычаг включения; 3 – якорь тягового реле; 4 и 5 – втягивающая и удерживающая обмотки; 6 – контактный диск; 7 и 8 – зажимы концов обмоток; 9 – зажим провода от аккумуляторной батареи; 10 – токоподводящие щетки; 11 – коллектор; 12 – полюсный башмак; 13 – катушки фазных обмоток возбуждения; 14 – якорь; 15 – вал якоря

Концы проволоки каждой секции якорных обмоток присоединены к медным пластинам коллектора 11, к которому пружинами прижаты щетки 10: отрицательные соединены с корпусом («массой»), положительные – с концами катушек 13 фазных обмоток возбуждения. Другой конец катушек 13 фазных обмоток возбуждения присоединен к зажиму 8 тягового реле.

Тяговое реле состоит из пустотелого сердечника с втягивающей и удерживающей обмотками 4 и 5, подвижного якоря 3, соединенного с рычагом 2 включения. Механизм включения состоит из рычага 2, соединенного с подвижной муфтой, установленной на валу 15 якоря, и воздействующей через пружину 16 на пусковую шестерню с муфтой свободного хода 1. При включении стартера ток от аккумуляторной батареи поступает в обмотки тягового реле, в результате сердечник его намагничивается и втягивает внутрь себя подвижный якорь. Последний одним концом поворачивает рычаг включения и вводит пусковую шестерню в зацепление с зубчатым венцом маховика коленчатого вала двигателя, другим – через кон-



тактный диск б замыкает электрическую цепь «аккумуляторная батарея – стартер». Ток поступает в статорные и якорные обмотки электродвигателя. В результате взаимодействия двух магнитных полей полюсных башмаков статора и сердечника якоря вал последнего начинает вращаться и проворачивать через маховик коленчатый вал двигателя. После пуска двигателя стартер выключают. Если после пуска частота вращения коленчатого вала превысит частоту вращения вала якоря, муфта свободного хода отсоединит пусковую шестерню от вала якоря, и она будет свободно вращаться на валу, не передавая крутящий момент от коленчатого вала валу якоря.

Конструкция стартера, при которой вал электродвигателя соединяется прямо с маховиком ДВС, имеет ряд недостатков. Так, передаточное число главного редуктора, состоящего из венечной шестерни маховика и шестерни МСХ, не может быть достаточно высоким. Ограничения накладываются расчетным размером диаметра маховика, а также числом, размером и прочностью зубцов шестерни МСХ. В такой редукторной паре соотношение зубцов не может быть более 16-18.

### 3. Основные характеристики стартерных электродвигателей постоянного тока

В стартерах применяются электродвигатели с параллельным, последовательным и смешанным возбуждением.

В электродвигателе с параллельным возбуждением обмотка возбуждения подключена параллельно с обмоткой якоря к источнику напряжения  $U$  (рис. 4а). Особенностью этого двигателя является то, что ток возбуждения  $I_B$  не зависит от тока якоря  $I_A$  (нагрузки на валу). Поэтому, пренебрегая размагничивающим действием реакции якоря, можно приближенно считать, что и поток  $\Phi$  не зависит от нагрузки. С учетом этого выражения примут вид:

$$M = C_1 I_A \quad (1)$$

$$n = U / C_2 - I_A R_A / C_2 = n_0 - \Delta n; \quad (2)$$

$$n = U / C_2 - M / C_3 \quad (3)$$

где  $C_1$  —  $C_3$  — постоянные;  $C_1 = C_m \Phi$ ;  $C_2 = C_e \Phi$ ;  $C_3 = C_e C_m \Phi^2 / R_A$ ;

$\Delta n$  - падение частоты вращения.

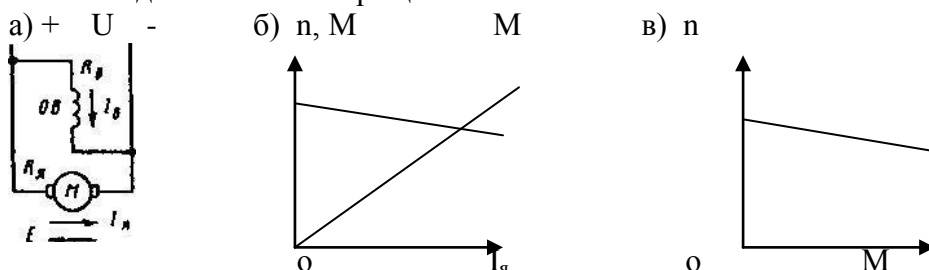


Рисунок 4 - Схема двигателя с параллельным возбуждением (а) и его электромеханические (б) и механическая (в) характеристики

Электромеханические характеристики электродвигателя с параллельным возбуждением, построенные по формулам (1) и (2), изображены на рис. 4 б, а механическая характеристика (3) - на рис. 4 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  $M = 0$  ( $I_A = 0$ ) и уменьшается с ростом потока  $\Phi$ . Падение частоты вращения  $\Delta n$  при увеличении нагрузки на двигатель ( $I_A$ ) определяется сопротивлением  $R_A$ , якорной цепи.

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

В электродвигателях с последовательным возбуждением обмотка возбуждения включается последовательно с обмоткой якоря, поэтому  $I_A = I_B$  (рис. 5).

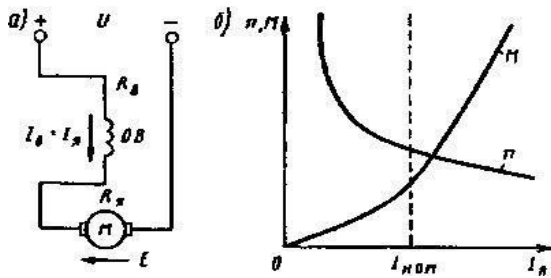


Рисунок 5 - Схема двигателя с последовательным возбуждением (а) и его электромеханические (б) и механическая (в) характеристики

Следовательно, магнитный поток двигателя  $\Phi$  является некоторой функцией тока якоря  $I_A$ . Характер этой функции изменяется в зависимости от нагрузки двигателя. При токе якоря  $I_A < \{0,8 \dots 0,9\} I_n$  ( $I_n$  - номинальный ток якоря), когда магнитная система машины насыщена, можно считать, что поток линейно зависит от  $I_A$ :

$$\Phi = k_\Phi I_A, \quad (7)$$

где  $k_\Phi$  - коэффициент пропорциональности, имеющий размерность индуктивности, Гн, остается практически постоянным в значительном диапазоне нагрузок.

Из рис. 5 в следует, что механическая характеристика двигателя с последовательным возбуждением является "мягкой". При малых нагрузках частота вращения резко возрастает и может превысить максимально допустимое значение (двигатель идет "вразнос"). Несмотря на этот недостаток, такие двигатели широко применяются в различных электрических приводах, где происходят изменение нагрузочного момента в широких пределах и тяжелые условия пуска. В частности, большинство стартерных электродвигателей имеют последовательное возбуждение. Объясняется это тем, что "мягкая" характеристика 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. 4 в) поэтому механическая мощность стартера:

$$P_c = M \omega = 2 \pi n / M = C_4 M,$$

где  $C_4$  — постоянная.

При изменении нагрузочного момента в широких пределах, что характерно для пуска ДВС, мощность  $P_c$ , а следовательно, электрическая мощность  $P_{эл} = I_A U$  и ток  $I_A$  у двигателей с последовательным возбуждением изменяются в меньших пределах, чем у двигателей с параллельным. Кроме того, они лучше переносят перегрузки.

В электродвигателе со смешанным возбуждением магнитный поток  $\Phi$  создается в результате совместного действия двух обмоток (рис. 6. а, б): параллельной (ОВ1) и последовательной (ОВ2). Поэтому его механическая характеристика (рис. 6 в, кривые 3, 4), располагается между характеристиками с параллельным (прямая 1) и последовательным (кривая 2).

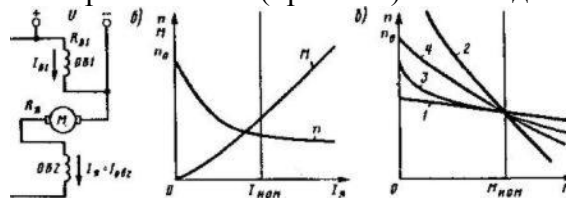


Рисунок 6 - Схема двигателя со смешанным возбуждением (а) и его электромеханические (б) и механическая (в, кривые 3, 4) характеристики

Таким образом, в стартерах используются двигатели постоянного тока с последовательным возбуждением. Это объясняется тем, что они при одних и тех же габаритах имеют больший пусковой момент при одном и том же токе по сравнению с электродвигателями параллельного возбуждения, кроме того, электродвигатели последовательного возбуждения менее чувствительны к колебаниям напряжения. 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.

В автомобильном электростартере нового поколения электродвигатель не имеет статорных обмоток возбуждения, которые заменены на постоянные магниты, а механический привод дооборудован понижающим планетарным редуктором, который установлен непосредственно в корпусе стартера. Это позволило сделать стартер высокооборотистым, легким, малых размеров и более эффективным в работе.

Такие стартеры имеют следующие преимущества.

Во-первых, главное магнитное поле электродвигателя с постоянными магнитами на статоре не зависит ни от тока якоря, ни от падения напряжения АКБ при пуске ДВС.

Во-вторых, система постоянных магнитов на статоре электродвигателя делается многополюсной (не В менее шести полюсов), что позволяет заметнее уменьшить габариты магнитной системы (постоянные магниты значительно меньше электромагнитов!, а следовательно, и всего стартера в целом. КДиВ обороты стартерного электродвигателя с многополюсным статором также выше.

В-третьих, сами постоянные магниты выполняются не из сплавов дорогостоящих металлов, а из спекаемых ферритовых порошков с большой коэрцитной силой, что делает магниты легкими, прочными, технологичными и, как следствие, дешевыми.

В-четвертых, наличие дополнительного понижающего редуктора в электростартерной системе пуска позволяет оптимально согласовать жесткую механическую характеристику электродвигателя независимого возбуждения с минимальной пусковой частотой вращения коленвала ДВС при максимальной механической нагрузке стартера.

И наконец, в-пятых, стартерный ЭДВ с независимым возбуждением от постоянных магнитов и с дополнительным редуктором может работать в режиме повышенных оборотов при пуске холодного двигателя, потребляя при этом от АКБ меньший ток по сравнению с классическим стартером. КПД стартерного режима АКБ и надежность пуска ДВС увеличиваются.

## ЛЕКЦИЯ 7

### ТЕМА: СИСТЕМА ОСВЕЩЕНИЯ, СВЕТОВОЙ И ЗВУКОВОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ

#### 1. Состав системы освещения, световой и звуковой сигнализации

Система освещения, световой и звуковой сигнализации включает фары дальнего и ближнего света, противотуманные фары, фонари габаритных огней, указатели поворотов и стояночные огни, плафон освещения кабины, лампы освещения приборного щитка, номерного знака и сигнализации о торможении, выключатели, переключатели света, звуковой сигнал, предохранители и штепсельные разъемы.

Включение внешних приборов освещения (фар дальнего и ближнего света, фонарей габаритных огней, указателей поворота, сигнализации о торможении, освещения заднего номерного знака и стояночных огней) должно быть строго синхронизировано и обеспечивать одновременное включение следующих приборов:

- ближний и дальний свет должны одновременно включаться с задними габаритными огнями и освещением номерного знака;
- габаритные огни должны одновременно включаться с освещением заднего номерного знака;
- передний (правый или левый) указатель поворота должен одновременно включаться с задним и боковым указателями;
- противотуманные фары должны одновременно включаться с задними габаритными огнями и освещением номерного знака.

•

#### 2. Основные принципы формирования светораспределения и нормирования светового потока.

В темное время суток при высоких скоростях движения необходимо освещать дорогу и обочину перед автомобилем на расстоянии 50 - 250 м. Это позволяет водителю своевременно оценивать дорожную обстановку и избегать столкновений с препятствиями. Для освещения дороги на автомобилях и другие транспортные средства устанавливают фары и прожекторы. Распределение света фары на дороге зависит от конструкции оптического элемента и установленной в нем лампы.

Световой пучок фары может быть сформирован *прожекторным* или *проекторным методом*. Наиболее распространенный прожекторный метод обеспечивает концентрацию и распределение светового потока источника тока отражателем и при необходимости его перераспределение рассеивателем в соответствии с заданным режимом освещения.

Для концентрации светового пучка при таком методе его формирования используется параболический отражатель с круглым или прямоугольным (усеченным) отверстием.

В качестве преломляющих элементов применяют цилиндрические, сферические и эллипсоидные линзы, призмы и линзы-призмы. В зависимости от преломляющей структуры рассеивателя добиваются как изменения формы светового пучка, так и силы света в различных направлениях светораспределения.

Формирование необходимой структуры светового пучка обеспечивается также изменением положения тела накала относительно фокальной точки отражателя. Параболические отражатели автомобильных фар увеличивают силу света лампы в нужном направлении в 200—400 раз и тем самым обеспечивают необходимую освещенность дороги на значительно больших расстояниях. Так, лампа силой света 50 кд без отражателя дает освещенность 1 лк на расстоянии около 7 м. При наличии отражателя сила света в центре светового отверстия фары возрастает до 10 000 - 40 000 кд и освещенность 1 лк достигается на расстоянии  $l = 100 - 200$  м. При расчете освещенности дальних участков дороги принимают во внимание только пучок отраженных лучей. Часть светового потока источника, которая проходит мимо отражателя через световое отверстие в пределах телесного угла  $4\pi - \omega$ , сильно расходящимся пуч-

ком, освещает лишь близлежащие участки дороги в пределах 5-10 м. Эта часть светового потока называется непреобразованной и обычно экранируется (дополнительный экран в фаре или чернение вершины колбы лампы Н4), так как из-за большого угла рассеяния она ухудшает видимость при движении в тумане или в дождливую погоду.

Сферические линзы позволяют получить световой пучок, одинаково рассеянный в обеих плоскостях. При эллипсоидных линзах получают различные углы рассеяния светового пучка во взаимно перпендикулярных плоскостях. В случае использования призм добиваются изменения распространения части светового потока в результате соответствующей ориентации преломляющей грани призмы.

Автомобильные фары должны удовлетворять двум противоречивым требованиям: хорошо освещать дорогу перед автомобилем и не ослеплять водителей транспортных средств при встречном разезде. Ослепление светом фар водителей встречных автомобилей является серьезной проблемой, непосредственно связанной с обеспечением безопасности движения. В настоящее время она решается применением двухрежимных систем головного освещения с дальним и ближним светом.

Для получения дальнего и ближнего света в двухфарных системах освещения используют двухнитевые лампы накаливания. Современные автомобили оборудуют фарами головного освещения с американской и европейской системами асимметричного светораспределения ближнего света. Асимметричный световой пучок обеспечивает лучшую освещенность той стороны дороги, по которой движется автомобиль, и уменьшает ослепление водителя встречного транспорта.

В лампах фар с американской и европейской системами светораспределения нить накала дальнего света располагают в фокусе отражателя. Световой пучок дальнего света с малым углом рассеяния может быть получен при минимальных размерах спирали, выполняемой в виде дуги, лежащей в горизонтальной плоскости. Большие линейные размеры нити дальнего света по горизонтали обуславливают большее рассеяние светового пучка в горизонтальной плоскости.

В фарах с американской системой светораспределения нить ближнего света в виде спирали цилиндрической формы смещена несколько вверх и вправо относительно фокуса, если смотреть на отражатель со стороны светового отверстия. Спираль ближнего света расположена поперек оптической оси.

Световой пучок фар ближнего света с американской системой распределения не имеет четкой светотеневой границы. Увеличение угла рассеяния отраженного светового пучка требует дополнительного светораспределения рассеивателем со сложной структурой оптических микроэлементов.

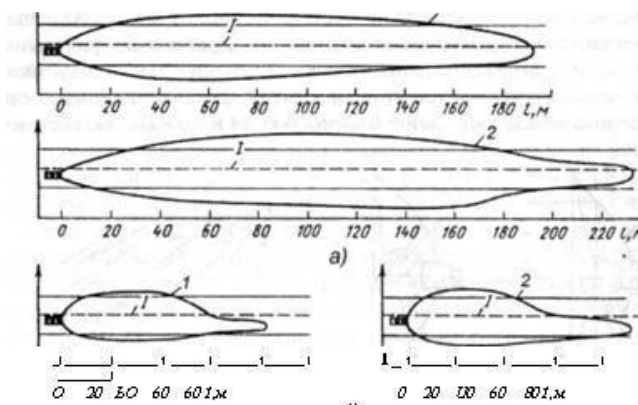


Рисунок 1 - Схемы световых пятен на дороге при освещении фарой с европейской системой светораспределения: а — дальний свет; б - ближний свет; 1- с обычной лампой накаливания категории R2; 2- с галогенной лампой категории H4; I — осевая линия дороги/

В фарах с европейской системой светораспределения нить ближнего света цилиндрической формы выдвинута вперед по отношению к нити дальнего света и расположена чуть

выше и параллельно оптической оси. Лучи от нити ближнего света, попадающие на верхнюю половину отражателя, отражаются вниз и освещают близлежащие участки дороги перед автомобилем. Непрозрачный экран расположенный под нитью ближнего света, исключает попадание световых лучей на нижнюю половину отражателя, поэтому глаза водителя встречного транспортного средства находятся в теневой зоне (рис. 1).

Световой пучок фар с европейской системой светораспределения при их работе в режиме ближнего света имеет четко выраженную светотеневую границу (рис. 2), что обеспечивает четкое разделение на освещенную зону и зону неслепящего действия. Фары европейской системы, предназначенные для правостороннего движения, при освещении ближним светом вертикального экрана должны создавать на нем светотеневую границу, имеющую с левой стороны горизонтальный участок, а с правой - участок, направленный под углом  $15^\circ$  к горизонтали.

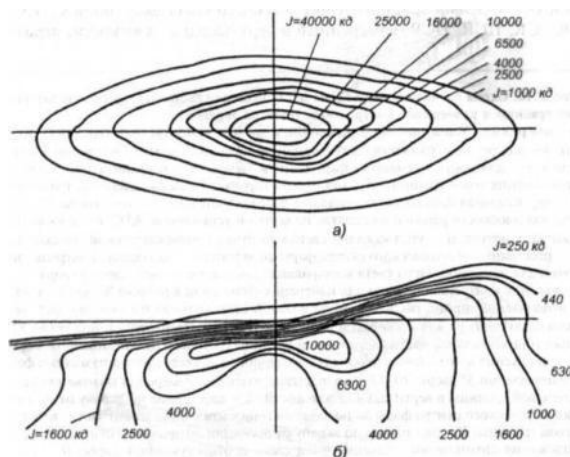


Рисунок 2 – Светораспределение фар европейской системы: а – дальний свет; б – ближний свет

Рассеиватель фары европейской системы меньше влияет на организацию светораспределения по сравнению с фарой американской системы. Большая часть нижней половины рассеивателя при ближнем свете не используется и рассчитана на распределение дальнего света, что улучшает характеристики фары в режиме дальнего света.

#### Нормирование светораспределения

При проверке света фар сила света при регулировке фар в режиме ближний свет

Тип фары	Сила света в направлении оптической оси фары, кд, не более	Сила света в направлении 52' вниз от левой части световой границы, кд, не менее
C; CR	800	1600*
HC; HCR; DC; DCR	950	2200*

В случае несоответствия параметров, полученных при неработающем двигателе, проводят измерение при работающем двигателе.

Проверку параметров, указанных в табл. , проводят после регулировки положения светового пучка ближнего света. При несоответствии параметров фары указанным в табл. 8.6 нормативам проводят повторную регулировку в пределах  $\pm 0,5\%$  в вертикальном направлении от номинального значения угла и повторное измерение силы света.

Фары типов R, HR, DR должны быть отрегулированы так, чтобы центр светового пучка совпадал с точкой пересечения оптической оси фары с экраном.

Сила света всех фар типов R, HR, CR, HCR, DR, DCR, расположенных на одной сторо-

не АТС, в режиме "дальний свет" должна быть не менее 10 000 кд, а суммарная сила света всех головных фар указанных типов не должна быть более 225 000 кд.

Силу света фар типов CR, HCR, DCR в режиме "дальний свет" измеряют в направлении оптической оси фары.

Силу света фар типов R, HR, DR измеряют в направлении оптической оси фары после проведения регулировки, указанной выше.

### 3. Устройство, принцип действия, основные характеристики и эксплуатация

Фары служат для переднего освещения участка дороги. Фара состоит из корпуса 5 (рис. 3), отражателя 1, рассеивателя 3, ободка 8, патрона 6 с двухнитевой лампой 2 и проводов 7.

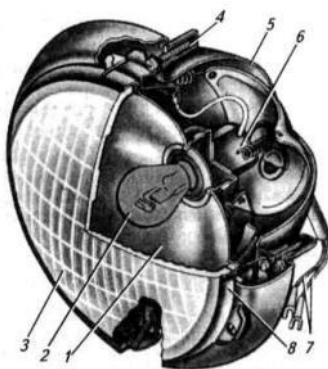


Рисунок 3 – Фара: 1 – отражатель; 2 – лампа; 3 – рассеиватель; 4 – регулировочный винт; 5 – корпус; 6 – патрон; 7 – провода; 8 – ободок

Фонари габаритных огней предназначены для светового обозначения габаритных размеров машины в условиях плохой видимости и для подачи светового сигнала перед поворотом.

Передний габаритный фонарь (подфарник) состоит из корпуса 3 (рисунок 4, а), рассеивателя 6, ободка 7 и патрона 2 с двухнитевой лампой 4. Одна нить лампы служит для подачи светового сигнала перед поворотом, другая – для габаритного освещения.

Задний габаритный фонарь состоит из корпуса 3 (рисунок 4, б), рассеивателя 6, ободка 7 и двух патронов с лампами 9 и 10. Лампа 9 сигнализирует о торможении машины и используется для указания поворота. Лампа 10 служит для обозначения габаритов машины при стоянках и движении, а также для освещения номерного знака.

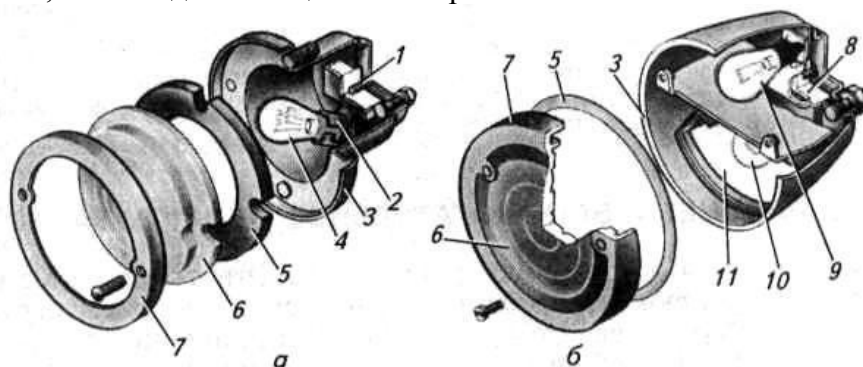


Рисунок 4 – Подфарник (а) и задний фонарь (б):

- 1 – зажим; 2 – патрон; 3 – корпус; 4 – лампа; 5 – резиновая прокладка; 6 – рассеиватель; 7 – ободок; 8 – изолятор патрона;
- 9 – лампа стоп-сигнала и указателя поворота; 10 – лампа габаритного света и освещения номерного знака

Указатель поворотов предупреждает водителей других транспортных средств о предстоящем маневре машины. В него входят сигнальные лампы, переключатель и электромагнитный прерыватель тока.

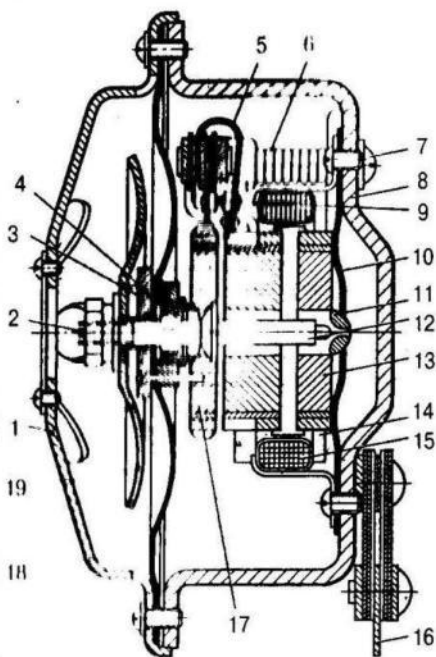
### 3. Конструкция звуковых приборов

Звуковые сигналы предназначены для обеспечения безопасности движения автомобиля в транспортном потоке. Их используют для оповещения пешеходов и водителей других транспортных средств о наличии и приближении автомобиля и трактора. Звуковые сигналы включаются в противоугонные системы автомобилей. Они могут быть:

- по характеру звучания: шумовые и тональные;
- по устройству: рупорные и безрупорные;
- по роду тока: сигналы постоянного и переменного тока;
- по принципу действия: электрические вибрационные и электропневматические.

Основными характеристиками звуковых сигналов являются уровень звукового давления (в децибелах) и спектральный состав звука. Звуковое давление должно быть в пределах 85-125 дБ. Основная частота звука составляет 200-400 Гц. Обычно на автомобилях используется одновременное включение сигналов низкого и высокого тонов. Основные частоты звука этих сигналов гармонично сочетаются. Разница основных частот звука сигналов высокого и низкого тонов составляет 65-100 Гц. Наибольшее воздействие оказывают на слуховые органы человека и хорошо слышны в кабине обгоняемого автомобиля при высоком уровне посторонних шумов звуковые сигналы, частотный спектр которых находится в пределах 1800-3550 Гц. Поэтому размеры, материалы и конфигурацию мембран, резонаторов и других звукоизлучающих деталей подбирают таким образом, чтобы вся звуковая энергия сигнала была сконцентрирована в этом диапазоне.

Электровибрационные сигналы подразделяются на рупорные и безрупорные, тональные и шумовые. Отличие рупорных и безрупорных вытекает из названия. Шумовые и тональные сигналы конструктивно и по принципу действия практически не отличаются.



**Безрупорный шумовой сигнал**

1 - крышка; 2 - шлиц для регулировки; 3 - прижимная шайба; 4 - шоночный выступ; 5 - пружина прерывателя; 6 - пружина регулировочного винта; 7 - регулировочный винт; 8 - корпус; 9 - контакты прерывателя; 10 - центрирующая пружина; 11 - упор стержня; 12 - стержень; 13 - сердечник электромагнита; 14 - конденсатор; 15 - обмотка электромагнита; 16 - прижимная пружина; 17 - ярлык; 18 - мембрана; 19 - резонатор

Извлечение звука происходит, как и в пневматических сигналах за счет мембраны, только в данном случае в движение ее приводит электромагнит, сердечник которого жестко связан с мембраной. Принцип действия и устройство звуковых сигналов следующий. При подаче напряжения на выводы сигнала, ток проходит через катушку электромагнита и контакты прерывателя, включенные в цепь электромагнитной катушки последовательно с ней. В



катушке образуется электромагнитное поле, под действием которого происходит движение якоря, прикреплённого к мембране, внутрь катушки. В конце хода якорь размыкает контакты прерывателя, и катушка теряет питание. Под воздействием мембраны якорь возвращается в исходное состояние. Основным отличием без рупорного шумового сигнала от рупорного тонального, наличие резонатора закреплённого на мембране, который генерирует звук.

## ЛЕКЦИЯ 8

### ТЕМА: ЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

#### 1. Общие сведения об автомобильной информационно-диагностической системе

Неотъемлемой частью электронного оснащения автомобилей стали встроенные средства диагностики, которые подразделяются на:

- системы датчиков и контрольных точек, обеспечивающие вывод сигналов на внешние средства диагностики;
- бортовые системы контроля для допускового контроля параметров функционирования и технического состояния с выводом результатов только на дисплей в кабине водителя.

Встроенные системы диагностики – автономные или функционирующие комплексно со стационарными информационно-управляющими центрами. Эти системы предназначены для косвенного обобщенного контролирования работоспособности узлов и агрегатов с выдачей результатов на дисплей водителю и в бортовой накопитель для последующего прогнозирования и учета ресурса и наработок узлов, корректирования режимов технического обслуживания.

Наибольшее распространение получили встроенные системы с микропроцессорной обработкой, накоплением и выдачей информации водителю, в бортовой накопитель и на штеккерный разъем, несущие функции всех трех указанных разновидностей. Такие системы предназначены для использования водителем или механиком АТП и выдачи данных в ЭВМ стационарного комплекса АСУ работой и техническим состоянием парка.

Диагностирование только внешними средствами не обеспечивает предотвращения эксплуатации автомобилей с неисправностями, аварийных дорожных отказов, оптимизации выбора режима движения и проведения ТО и ТР. Оно не устраняет накопления неисправностей на межконтрольном пробеге, так что в среднем более 20 % парка эксплуатируется с такими неисправностями. Ухудшение технического состояния автотранспортных средств является причиной дорожно-транспортных происшествий и дорожных отказов. Более частому проведению диагностирования препятствуют ограничения экономического характера. Кроме того, значительная доля парка эксплуатируется вообще без диагностирования, нередко в отрыве от АТП и станций технического обслуживания (СТО), в мелких ведомственных и личных плохо оснащенных гаражах.

Наиболее перспективной возможностью снять указанные ограничения, обеспечив практически непрерывным контролем наименее надежные узлы, служит внедрение встроенных средств диагностики. Имеющиеся в настоящее время разработки показывают целесообразность диагностирования встроенными средствами двигателя и узлов, основных функциональных качеств автомобиля по функциональным параметрам агрегатов и движению автомобиля, обобщенных показателей работоспособности важнейших агрегатов.

Микропроцессорные встроенные системы диагностирования должны с упреждением выявлять предотказные состояния узлов, определяющих наибольшую частоту обращений в ремонтную зону АТП или на СТО, а также снижение функциональных качеств, представляющее угрозу для безопасности движения. В частности, следует контролировать топливную экономичность, состояние аккумуляторной батареи, неравномерность действия тормозов и суммарную тормозную эффективность с выдачей рекомендаций водителю по ограничению скорости движения и др.

Первоначально в ФРГ, а затем в США и Японии в 1969-1970 гг. на легковых автомобилях были внедрены системы встроенных датчиков и контрольных точек (СВД и КТ). С 1971-1973 гг. японскими и американскими, а впоследствии и западноевропейскими фирмами применяются электронные бортовые системы контроля (БСК). В начале 80-х годов разработаны встроенные системы диагностирования (ВСД) с микропроцессорной обработкой и накоплением информации.

## **2. Общие сведения о бортовой системе контроля и системе встроенных датчиков. Принцип формирования панели приборов.**

Встроенные средства диагностирования стали неотъемлемой частью электронного оснащения автомобилей. Прежде недооценивавшиеся, они рассматривались как побочный результат внедрения наиболее сложных микропроцессорных систем управления, а в последние годы стали одним из центральных направлений компьютеризации автомобильного парка. С этим направлением связаны не просто появление нового узла автомобиля, но и перераспределение и автоматизация функций, принадлежавших прежде водителю и механику автотранспортного предприятия (АТП). Микропроцессорным встроенным средствам отводится задача контроля за техническим состоянием агрегатов, узлов и автомобиля в целом. В результате формируются рекомендации по продолжению работы автомобиля на линии либо постановке его на техническое обслуживание (ТО) и текущий ремонт (ТР) или выполнению мелкого ремонта самим водителем в пределах ежедневного обслуживания (ЕО).

Встроенные средства подразделяются на:

-системы датчиков и контрольных точек, обеспечивающие вывод сигналов на внешние средства диагностирования;

-бортовые системы контроля для допускового контроля параметров функционирования и технического состояния с выводом результатов только на дисплеи в кабине водителя;

Встроенные системы диагностирования - автономные или функционирующие комплексно со стационарными информационно-управляющими центрами. Эти системы предназначены для косвенного обобщенного контролирования работоспособности узлов и агрегатов с выдачей результатов на дисплей водителю и в бортовой накопитель для последующего прогнозирования и учета ресурса и наработок узлов, корректирования режимов ТО стационарными ЭВМ.

Наибольшее распространение получили встроенные системы с микропроцессорной обработкой, накоплением и выдачей информации водителю, в бортовой накопитель и на штеккерный разъем, несущие функции всех трех указанных разновидностей. Такие системы предназначены для использования водителем или механиком АТП и выдачи данных в ЭВМ стационарного комплекса АСУ работой и техническим состоянием парка.

Диагностирование только внешними средствами не обеспечивает предотвращения эксплуатации автомобилей с неисправностями, аварийных дорожных отказов, оптимизации выбора режима движения и проведения ТО и ТР. Оно не устраняет накопления неисправностей на межконтрольном пробеге, так что в среднем более 20 % парка эксплуатируется с такими неисправностями. Ухудшение технического состояния автотранспортных средств является причиной дорожно-транспортных происшествий (ДТП) и дорожных отказов. Более частому проведению диагностирования препятствуют ограничения экономического характера. Кроме того, значительная доля парка эксплуатируется вообще без диагностирования, нередко в отрыве от АТП и станций технического обслуживания (СТО), в мелких ведомственных и личных плохо оснащенных гаражах.

Наиболее перспективной возможностью снять указанные ограничения, обеспечив практически непрерывным контролем наименее надежные узлы, служит внедрение встроенных средств диагностирования. Имеющиеся в настоящее время разработки показывают целесообразность диагностирования встроенными средствами двигателя и узлов, основных функциональных качеств автомобиля по функциональным параметрам агрегатов и движению автомобиля, обобщенных показателей работоспособности важнейших агрегатов.

Микропроцессорные встроенные системы диагностирования должны с упреждением выявлять предотказные состояния узлов, определяющих наибольшую частоту обращений в ремонтную зону АТП или на СТО, а также снижение функциональных качеств, представляющее угрозу для безопасности движения. В частности, следует контролировать топливную экономичность, состояние аккумуляторной батареи, неравномерность действия тормозов и суммарную тормозную эффективность с выдачей рекомендаций водителю по ограничению

скорости движения и др.

Первоначально в ФРГ, а затем в США и Японии в 1969-1970 гг. на легковых автомобилях были внедрены системы встроенных датчиков и контрольных точек (СВД и КТ). С 1971-1973 гг. японскими и американскими, а впоследствии и западноевропейскими фирмами применяются электронные бортовые системы контроля (БСК). В начале 80-х годов разработаны встроенные системы диагностирования (ВСД) с микропроцессорной обработкой и накоплением информации.

Автомобильные СВД и КТ имеют бортовую сеть встроенных в конструкцию автомобилей датчиков и контрольных точек системы электрооборудования, подключаемую при диагностировании к внешней вторичной диагностической аппаратуре.

Автономные БСК первого поколения обеспечивали допусковой прямой контроль раздельно по 10-12 параметрам с синхронной выдачей результатов на приборную панель. Являясь по существу ее продолжением, БСК выполняли проверку технического состояния узлов по структурным параметрам, а правильность функционирования - по выходным параметрам, прямо и однозначно отражающим контролируемый процесс.

При насыщении автомобилей электроникой (например, легковых высшего и среднего классов) устанавливаемые на БСК устройства объединяют на микропроцессорной основе в одно целое с другими устройствами контроля (эконометром, маршрутным компьютером, электронной панелью, указателем целесообразности переключения передач) и связывают с автоматическими регуляторами (впрыска, зажигания, работой трансмиссии и др.). Подобные связи возникают как при использовании общих датчиков одновременно для нескольких компонентов, так и при выполнении функций обработки, отображения и накопления данных общими для них блоками. Так, в 1976 г. фирмой «Bosch» (ФРГ) разработана одна из первых комплексных систем управления ДВС и трансмиссией, одной из функций которой стал допусковой контроль систем смазки, охлаждения и узлов, обеспечивающих безопасность движения.

Дальнейшее повышение эффективности БСК обусловлено использованием в них микропроцессоров вместо специализированных логических схем с неизменяемым алгоритмом. Это не только обеспечило универсальность систем по отношению к различным моделям и модификациям автомобилей и их узлов, формат выдачи результатов за счет многовариантности программных процедур обработки результатов измерений, но и сделало доступными более эффективные и сложные вычислительные алгоритмы, требующие значительных объемов памяти и развитого интерфейса. Микропроцессорные БСК включают в себя встроенные датчики, аналого-цифровые преобразователи или преобразователи сигналов датчиков в стандартную импульсную форму, пульт управления с дисплеями, блоки памяти, арифметико-логическое устройство с оперативными запоминающими устройствами и интерфейсом (микропроцессор), стабилизированные блоки питания.

Современные БСК легковых автомобилей часто конструктивно объединяются с традиционной приборной панелью в единую автомобильную информационную систему. При этом основное отличие БСК от комплекта индикаторов стандартной панели заключается не столько в расширении номенклатуры контролируемых параметров, сколько в обязательной допусковой обработке результатов, возможностях анализа целесообразности их запоминания или отображения по приоритетам.

В настоящее время ведущие автомобилестроительные фирмы применяют на легковых автомобилях от большого до малого классов разветвленные микропроцессорные БСК для допускового контроля 15-20 параметров. В дополнение к функциям первых внедренных БСК эти системы обеспечивают контроль состояния сцепления, амортизаторов, аккумуляторной батареи, системы зажигания, компрессии по цилиндрам и др.

### **3. Общие сведения о маршрутном компьютере**

*Маршрутный компьютер* - устоявшийся (хотя и не значащийся в официальных спра-

вочниках) термин, обозначающий вычислительное устройство для счисления параметров движения транспортного средства: пробег, расход топлива и т.п. Чаще всего термин маршрутный компьютер применяется к указанным устройствам для легковых автомобилей, хотя известны подобные по функциональному назначению (но не носящие указанное название) устройства, применяемые на троллейбусах, трамваях, локомотивах.

Его не следует путать с установленным на автомобиле персональным компьютером, который обычно называется карпьютером или «онбордером». Также не следует путать термины *маршрутный компьютер* и *бортовой компьютер*. Первый термин обозначает функцию устройства (счисление маршрутных параметров), а второй - отражает его размещение (на борту транспортного средства). Естественно, маршрутный компьютер является бортовым - но бортовой компьютер может выполнять не только маршрутные функции.

Автомобильные маршрутные компьютеры могут быть как штатной системой, чаще всего интегрированной, так и отдельным устройством. В качестве исходных данных маршрутный компьютер может использовать как сигналы отдельных датчиков, так (чаще всего), информацию, получаемую от электронной системы управления двигателем и трансмиссией. Первые маршрутные компьютеры, такие, как Halda Speedpilot, были сугубо механическими счётными устройствами вроде арифмометров.

#### 4. Назначение и общая функциональная схема электроприводов

*Система электропривода* служит для обеспечения движения исполнительных механизмов устройств различного функционального назначения и управления этим движением. Электропривод - электромеханическая система, которая осуществляет преобразование электрической энергии в механическую и обеспечивает электрическое управление потоками как электрической, так и механической энергии.

Электропривод представляет собой две части: силовую (электродвигатель и передатчик механической энергии исполнительному механизму) и управления (устройства для формирования требуемых свойств и средства защиты от возникновения внештатных ситуаций). От электродвигателя 1 (рисунок 1), который приводится в действие электрической энергией от источника тока 3, механическая энергия через механический, гидравлический или электромагнитный передаточный механизм 8 подается на рабочий орган 6 исполнительного механизма 7. Передаточный механизм обеспечивает согласование параметров движения электродвигателя и исполнительного механизма.

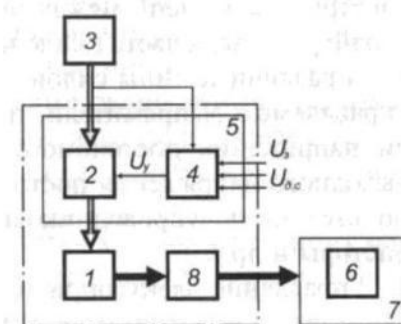


Рисунок 1 - Структурная схема электропривода

Для получения энергии с требуемыми для электродвигателя 1 параметрами и управления ее потоком между электродвигателем и источником электроэнергии включены силовые преобразователи 2 различных типов (управляемые и неуправляемые выпрямители, инверторы, импульсные преобразователи напряжения постоянного тока).

Управление электроприводом и автоматизацию его работы обеспечивает блок управления 4, который вырабатывает выходной сигнал управления  $U_y$  и подает его в силовой преобразователь 2. Силовой преобразователь 2 в соответствии с входным сигналом  $U_3$  и рядом других сигналов  $U_{дс}$ , дающих информацию о реализации функций исполнительного меха-

низма, характере его движения, возникновении аварийных ситуаций и т.д. задает характер движения рабочего органа исполнительного механизма. Блок управления 4 вместе с силовым преобразователем 2 образуют систему управления 5 электропривода.

Электроприводы классифицируют по характеру движения, типу и принципу работы силового преобразователя, числу используемых электродвигателей.

По характеру движения различают электроприводы вращательного, колебательного и поступательного движения. При этом частота вращения вала якоря электродвигателя может быть регулируемой и нерегулируемой, а само движение - непрерывным или дискретным, однонаправленным или двунаправленным (реверсивным).

По числу используемых электродвигателей различают групповые, индивидуальные (одиночные) и взаимосвязанные (многодвигательные) электроприводы. Групповые электроприводы характеризуются тем, что один электродвигатель приводит в движение несколько исполнительных механизмов одного устройства или один исполнительный механизм нескольких устройств. Индивидуальный электропривод обеспечивает движение одного рабочего органа исполнительного механизма. Взаимосвязанный электропривод представляет собой два или несколько электрически и механически связанных между собой индивидуальных электроприводов, работающих совместно на один или несколько исполнительных механизмов. При этом, если электродвигатели связаны между собой механически и работают на общий вал, электропривод называется многодвигательным.

## 5. Электромагнитный привод механизма газораспределения

В поршневом двигателе внутреннего сгорания все рабочие процессы превращения химической энергии сжигаемого топлива в механическую работу коленчатого вала происходят внутри двигателя за счет возвратно-поступательного движения поршней в цилиндрах. Главным устройством, обеспечивающим штатную работу поршневого ДВС, является его газораспределительный механизм. В ГРМ современных поршневых двигателей используется механический цепной или ременный привод впускных и выпускных клапанов через распределительный вал от коленчатого вала ДВС. Такая кинематическая схема привода исключает возможность гибкого адаптированного управления клапанами, что является главным недостатком механических ГРМ.

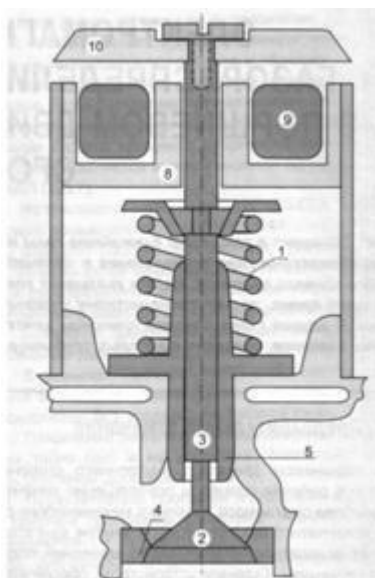


Рисунок 2 – Электромагнитный клапан

С устранением постоянной кинематической связи между клапанами ГРМ и коленчатым валом ДВС появляется возможность автоматического регулирования фаз газораспределения с помощью электромагнитных клапанов, работающих под управлением электронной автома-

тики. Это, в свою очередь, открывает новые перспективы к дальнейшему совершенствованию автомобильных поршневых двигателей, основной спецификой которых является работа в непрерывно изменяющихся режимах.

Первым электромагнитным приводным устройством для работы в ГРМ без распределительного вала был простейший электромагнитный клапан, конструкция которого показана на рис. 2. В такой конструкции клапан открывается электромагнитом 6, 7, 8 при подаче на него управляющего электрического сигнала, а закрывается возвратной пружиной 1. Происходит это следующим образом. При подаче управляющего напряжения на обмотку 7 электромагнита его магнитопровод, состоящий из неподвижного ярма 6 и магнитопроводящей шайбы (подвижного якоря) 8, смыкается и магнитопроводящая шайба 8 своим ходом "вниз" толкает клапанный стержень 3, тем самым, открывая запорный узел 2, 4 клапана. После прекращения действия управляющего напряжения ток в обмотке 7 электромагнита прерывается, магнитное поле в магнитопроводе 6, 8 исчезает, магнитопроводящая шайба 8 под действием возвратной пружины 1 поднимается "вверх" и запорный узел 2, 4 электроклапана закрывается.

Схема, реализующая такую идею, показана на рис. 3.

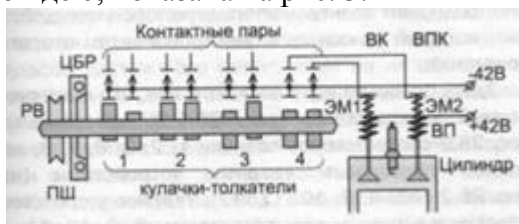


Рисунок 3 - Управление электромагнитными клапанами посредством контактных пар на распределителе: РВ - распределитель; ПШ - приводной шкив; ЦБР - центробежный регулятор; ВК - впускной клапан; ВПК - выпускной клапан; ЭМ1 и ЭМ2 - открывающие электромагниты; ВП - возвратные закрывающие пружины

Здесь для включения и выключения клапанных электромагнитов ЭМ1 и ЭМ2 в требуемые моменты времени, должны применяться электромеханические контактные пары, которые срабатывают от кулачков коммутационного вала РВ с центробежным регулятором опережения ЦБР. Коммутационный вал выполнен как абсолютная копия жесткого распределительного вала, но не является механическим толкателем клапанов от своего кулачка, как и в обычном газораспределительном механизме, но не от его механического усилия, а опосредованно - от мощных электромагнитов (ЭМ1 и ЭМ2), которые включаются контактными парами, расположенными над соответствующими кулачками. Закрываются клапаны усилием возвратных клапанных пружин (ВП) после выключения электромагнитов. Основное преимущество такого ГРМ - его работа без жесткого распределительного вала с управлением электромагнитных клапанов от электрических сигналов.

Моменты открытия и закрытия клапанов можно сдвигать в сторону опережения посредством центробежного регулятора (ЦБР), который установлен на коммутационном вале. Установочные углы фаз газораспределения задаются поворотом коммутационного вала относительно коленчатого вала при сборке двигателя.

Таким образом, прежний распределительный вал становится коммутационным устройством с функциями многопозиционного кулачкового замыкателя контактных пар, или просто контактным датчиком коленчатого вала с механической передачей два к одному.

Под идею Архангельского была разработана схема транзисторного коммутатора, где включение и выключение клапанных электромагнитов обеспечивается транзисторными ключами, которые по базе управляются сигналами от механического переключателя РНС, установленного на распределительной шестерне, которая, как и классический распределительный вал вращается от коленчатого вала с частотой пониженной в два раза. Механический переключатель в такт с порядком работы двигателя формирует на базах соответствующих транзисторов открывающие напряжения смещения, транзисторные ключи открываются и по цепи эмиттер-коллектор подключают электромагниты к напряжению бортовой сети автомобиля.

## 6. Имобилайзер. Центральный замок

Большинство современных автомобилей имеет штатный имобилайзер, устанавливаемый автопроизводителем. В штатном имобилайзере блокировка производится без помощи реле. Само устройство физически и программно связано с контроллером впрыска двигателя, поэтому при отсутствии разрешающего сигнала, контроллер сам не будет инициировать запуск и поддержание работы двигателя. Другими словами, блокирование происходит не физически, а программно самой системой контроля двигателя.

Принцип работы отдельного (дополнительного, нештатного) имобилайзера заключается в разрывании соединения электрических цепей автомобиля в наиболее значимых местах - например, электроцепей стартера, зажигания, двигателя. Благодаря этому автомобиль гарантированно останется на месте стоянки даже при проникновении внутрь злоумышленников. При использовании дополнительных устройств (например, электромагнитных клапанов), возможна блокировка работы неэлектрических систем.

Включение и выключение имобилайзера должно быть доступно только хозяину автомобиля. Как правило, для этой цели используется электронный кодовый ключ. Менее распространены модели с ручным набором кода. Перед тем как завести машину, владелец должен вставить кодовый ключ в специальное гнездо, обеспечив тем самым считывание кода системой имобилайзера и выключение блокировки, либо разместить электронную "метку" (чип) в зоне действия антенны системы имобилайзера. В системах с ручным набором кода для того, чтобы выключить имобилайзер необходимо ввести установленный владельцем код.

При разрушении имобилайзера или несанкционированном отключении, системы автомобиля остаются заблокированными. Почти все типы имобилайзеров имеют функцию автоматической постановки на охрану по истечении определенного срока, во время которого не производилось каких-либо действий владельцем.

Стандартный имобилайзер состоит из двух основных частей:

- блока управления, являющегося центром, из которого поступают сигналы о необходимости активизации всей системы;
- ключа, который находится у владельца автомобиля и который распознается блоком управления.

Дополнительный (нештатный) имобилайзер отличается наличием электромагнитного реле, с помощью которого осуществляется разрыв электрических цепей при проникновении в автомобиль, дополнительной антенны и доп. "метки" (чипа)

На многих автомобилях устанавливается система автоматической блокировки замков дверей. Система повышает безопасность эксплуатации, обеспечивая подачу водителю светового или звукового сигнала при трогании с места автомобиля с незакрытыми дверьми. Кроме того, система не позволяет открывать двери на ходу при превышении определенной скорости движения автомобиля, автоматически блокируя дверные замки, позволяет закрыть замки всех дверей, крышки багажника и крышки люка, где расположена горловина бензинового бака, путем нажатия кнопки с места водителя или снаружи автомобиля с помощью дистанционных ультразвуковых или инфракрасных пультов управления. При этом автоматически включается охранная сигнализация.

Система автоматической блокировки дверей состоит из электронного блока управления, датчиков и исполнительных механизмов с ЭП. Электронный блок управляет блокированием и разблокированием замков дверей и охранной сигнализацией по сигналам с дистанционного пульта или с помощью традиционного механического ключа, а также по сигналам от кнопок управления, расположенных в салоне автомобиля.

Кроме того, в электронный блок управления поступают сигналы от датчиков ускорения, датчика скорости движения автомобиля, датчиков состояния дверей и датчика качания. Дат-



чик ускорения дает сигнал об аварийном ускорении автомобиля при его столкновении с каким-либо препятствием, например при дорожно-транспортном происшествии. Датчики состояния дверей сигнализируют об открытом и не полностью закрытом состоянии дверей, крышек багажника и люка горловины бензинового бака. Датчик качания срабатывает при попытке совершения кражи колес.

Система блокировки замков дверей применяется на большинстве легковых автомобилей. На автомобилях ВАЗ-2110, -2111 и -2112 система обеспечивает автоматическую блокировку замков всех дверей при запираии ключом или нажатии кнопки блокировки замка левой передней двери. Этой же кнопкой можно разблокировать замки всех дверей изнутри автомобиля. Система предусматривает также возможность индивидуального разблокирования замков задних и правой передней дверей кнопками блокировки замков.

Тяги замков дверей приводятся в движение моторедукторами, установленными в каждой двери. В моторедуктор 7 (рис. 4) левой передней двери водителя встроен переключатель, контакты которого коммутируются при перемещении кнопки блокировки замка или при повороте ключом барабана двери. По сигналу, поступающему через замкнутые контакты прерывателя, блок управления включает электродвигатели моторедукторов всех дверей и тяги поворачивают рычаги блокировки замков, и замки в зависимости от направления вращения якоря электродвигателей блокируются или разблокируются.

В электронном блоке управления предусмотрен инерционный выключатель, благодаря которому замки автоматически разблокируются при столкновении движущегося автомобиля с препятствием, т.е. при аварии.

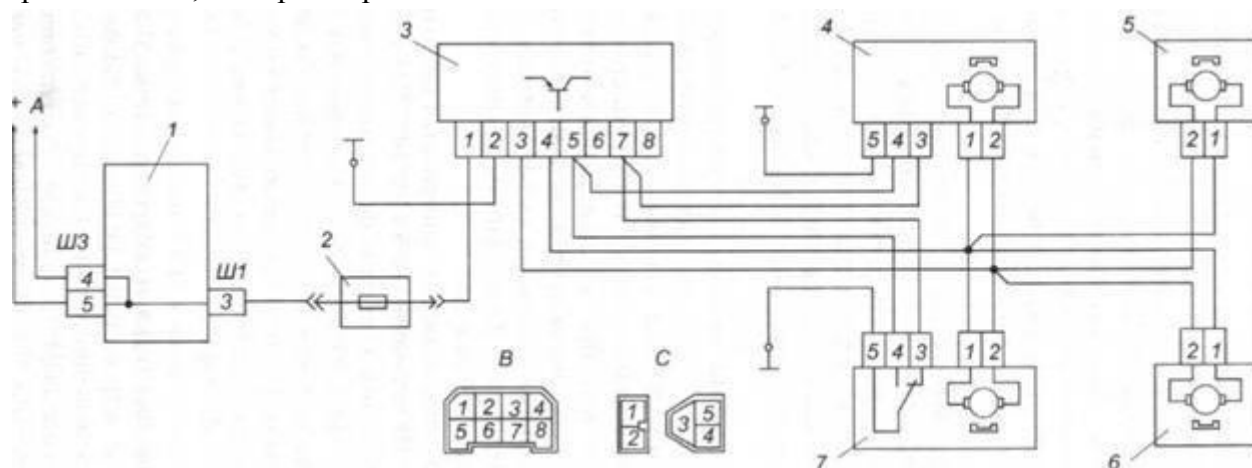


Рисунок 4 - Схема системы блокировки замков дверей автомобилей семейства ВАЗ-2110: 1 — блок реле и предохранителей; 2 — предохранитель на 8 А; 3 — электронный блок управления; 4 и 5 — моторедукторы блокировки замка соответственно правой передней и правой задней дверей; 6 и 7 - моторедукторы блокировки замка соответственно левой задней и левой передней дверей; А — к источникам электроснабжения; В и С — схемы условной нумерации штекеров в колодках соответственно блока управления и моторедукторов блокировки замков

## 7. Электроприводы вспомогательного оборудования

Применение ЭП на автомобилях неуклонно расширяется. Это связано с необходимостью повышения комфорта в салоне автомобиля и кабине трактора за счет переключения физических усилий тракториста, водителя и пассажиров на электромеханические функциональные устройства, т.е. на ЭП.

На автомобилях устанавливается большое число агрегатов и механизмов, для приведения в действие которых используются коллекторные электродвигатели постоянного тока мощностью 0,3—300 Вт. Они применяются в ЭП отопительных и вентиляционных установок, предпусковых подогревателей, вентиляторов охлаждения радиаторов двигателей, кондиционеров, систем стекло- и фарочистки, электробензонасосов, стеклоподъемников, электроусилителей

рулевого управления, замков багажника и капота, систем выдвижения антенны, перемещения сидений, поворота зеркал заднего обзора электроблокировки замков дверей и т.д. Перспективны применение ЭП в антиблокировочных и противобуксовочных системах, более широкое использование приводных электродвигателей в системах комфорта и контроля.

Автомобильный ЭП как электромеханическая система, наряду с электродвигателем, включает в себя устройство для передачи механической энергии и аппаратуру для управления электродвигателем. Для передачи механической энергии в ЭП используются зубчатые, червячные редукторы, шатунно-кривошипные механизмы и электромагнитные муфты. Электродвигатель, редуктор, исполнительный механизм и элементы системы управления могут быть конструктивно объединены в одном устройстве. Электродвигатель, объединенный с редуктором, представляет собой моторредуктор. Объединенные в одном агрегате электродвигатель и насос образуют мотонасос.

В настоящее время на грузовых автомобилях устанавливается до 5-7, а на легковых – 8-10 и более электродвигателей.

В системах управления электродвигателями ЭП применяют выключатели и переключатели, электромагнитные реле, электрические датчики, предохранители и электронные устройства, в состав которых входят таймеры, блоки логических элементов, регуляторы, микропроцессоры.

Напряжение приводного электродвигателя обычно выбирается в соответствии с напряжением бортовой сети автомобиля и трактора. Исключение составляют стартерные электродвигатели номинальным напряжением 24 В в системах электростартерного пуска, работающие на автомобилях с номинальным напряжением бортовой сети 12 В (системы электрооборудования с двумя уровнями напряжения).

Ильмас Рифкатович Салахутдинов  
Владимир Александрович Голубев  
Антон Алексеевич Хохлов  
Алексей Леонидович Хохлов

**ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ  
ТРАНСПОРТНЫХ И ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ  
МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ**  
краткий курс лекций

для подготовки бакалавров очной и заочной форм обучения по направлению подготовки 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» - Димитровград: Технологический институт – филиал УлГАУ, 2019.- 59 с.