Ютта Владимир Алексеевича

Учебник для студентов вузов

Электрооборудование автомобилей.

БЕСКОНТАКТНАЯ АВТОМОБИЛЬНАЯ СИСТЕМА ЗАЖИГАНИЯ

Москва.
Транспорт, 1995.

СИСТЕМА ЗАЖИГАНИЯ

3.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ.

Рабочая смесь воспламеняется в камере сгорания автомобильного карбюраторного двигателя как в период пуска, так и во время его работы посредством электрического разряда между электродами свечи, ввернутой в головку цилиндра двигателя. Бесперебойное искрообразование между электродами свечи происходит при высоком напряжении (8...20 кВ). На прогретом двигателе к моменту искрообразования рабочая смесь сжата и имеет температуру, близкую к температуре самовоспламенения. В этом случае достаточно незначительной энергии электрического разряда — порядка 5мДж..

Однако имеется ряд режимов работы двигателя, когда требуется значительная энергия искры — 30...100 мДж. К таким режимам следует отнести пусковой режим, работу на бедных смесях при частичном открытии дросселя, работу на холостом ходу, работу при резких открытиях дросселя.

Электрическая искра вызывает появление в ограниченном объеме рабочей смеси первых активных центров, от которых начинается развитие химической реакции окисления топлива. Воспламенение рабочей смеси является началом бурной реакции окисления топлива, сопровождающейся выделением тепла.

Система зажигания двигателя предназначена для генерации импульсов высокого напряжения, вызывающих вспышку рабочей смеси в камере сгорания двигателя, синхронизации этих импульсов с фазой двигателя и распределения импульсов зажигания по цилиндрам двигателя. От энергии искры в момент зажигания рабочей смеси в значительной степени зависят экономичность и устойчивость работы двигателя, а также токсичность отработавших газов.

В настоящее время на автомобильных карбюраторных 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, отсчитываемый 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.

Батарейная система зажигания (рис. 3.1) состоит из следующих основных элементов:

- источника тока *ИТ*, функцию которого выполняет аккумуляторная батарея или генератор;
- выключателя цепи питания *ВК*, функцию которого выполняет замок зажигания;
- датчика синхронизатора *Д*, который механическим способом связан с коленчатым валом двигателя и определяет угловое положение коленчатого вала;
- регулятора момента зажигания *РМЗ*, который механическим или электрическим способом вычисляет момент подачи искры в зависи-

мости от частоты вращения ***n*** или нагрузки двигателя (ΔPk– разрежение в коллекторе);

- источника высокого напряжения *ИВН*, содержащего накопитель энергии *Н* и преобразователь *П* низкого напряжения в высокое, функцию которых выполняет катушка зажигания;
- силового реле *СР*, которое представляет собой электромеханический ключ (контакты прерывателя) или электронный ключ (мощный транзистор), управляется *РМЗ* и служит для подключения и отключения *ИТ* к накопителю *ИВН*, т. е. управляет процессами накопления и преобразования энергии;
- распределителя импульсов высокого напряжения *Р*, который механическим либо электрическим способом распределяет высокое напряжение по соответствующим цилиндрам двигателя;
- элементов помехоподавления ПП, функции которых выполняют экранированные провода и помехоподавительные резисторы, размещенные либо в распределителе *Р*, либо в свечных наконечниках, либо в высоковольтных проводах в виде распределенного сопротивления;
- свечей зажигания *СВ*, которые служат для образования искрового разряда и зажигания рабочей смеси в камере сгорания двигателя.

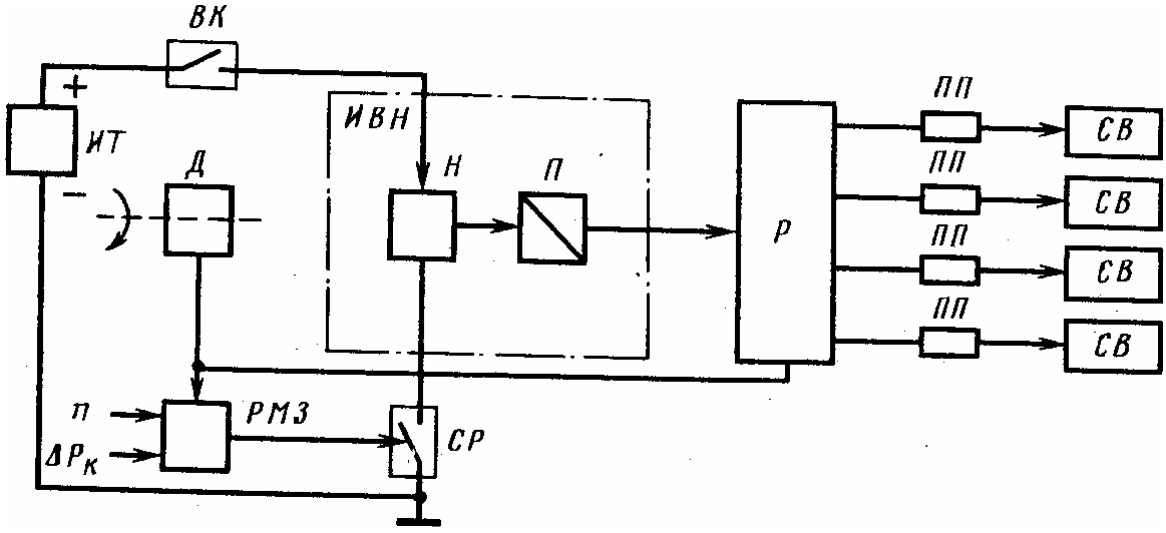


Рис.3.1. Структурная схема батарейной системы зажигания

3.2. КЛАССИФИКАЦИЯ БАТАРЕЙНЫХ СИСТЕМ ЗАЖИГАНИЯ.

В батарейных системах зажигания используется катушка (или несколько катушек) зажигания в качестве источника импульсов высокого напряжения. Системы зажигания в представленной на рис. 3.2 классификационной схеме подразделены по шести основным признакам: способу управления (синхронизации) системы зажигания; способу регулирования угла опережения зажигания; способу накопления энергии; типу силового реле (способу размыкания первичной цепи катушки зажигания); способу распределения импульсов высокого напряжения по цилиндрам двигателя; типу защиты от радиопомех.

По способу управления системы зажигания делят на системы с контактным управлением (контактные) и системы с бесконтактным управлением (бесконтактные). Системам с контактным управлением присущи недостатки, связанные с износом и разрегулировкой контактов, ограниченные скоростные режимы из-за вибрации контактов и т. п. В бесконтактных системах зажигания управление осуществляется специаль-

ными бесконтактными датчиками, что позволяет избежать указанных недостатков систем с контактным управлением.

Внутри этих двух классов системы отличаются как схемными конструктивными решениями, так и применяемыми электронными коммутирующими приборами, датчиками, способами накопления энергии, регулирования угла опережения зажигания, распределением импульсов высокого напряжения по цилиндрам.

В более простых системах зажигания для регулирования угла опережения используются механические центробежный и вакуумный автоматы, которые реализуют весьма простые зависимости. Механические автоматы со временем изнашиваются, что приводит к погрешности момента искрообразования и ухудшению процесса сгорания рабочей смеси. Дополнительные погрешности возникают также и в результате использования механической понижающей передачи от коленчатого вала двигателя к распределителю.

В последнее время благодаря большим достижениям в области электроники и микроэлектроники создаются системы зажигания, в которых полностью отсутствуют механические устройства управления, а следовательно, и ограничения, свойственные им. Эти системы, осуществляющие управление моментом зажигания по большому числу параметров, приближая угол опережения к оптимальному, получили общее название — системы с электронным регулированием угла опережения зажигания. Среди способов реализации этих систем можно выделить два: аналоговый и цифровой. Цифровые системы зажигания благодаря развитию технологии производства цифровых интегральных схем средней и большой степеней интеграции являются наиболее совершенными. Одним из последних достижений в этой области являются микропроцессорные системы.

Применение электроники позволяет полностью исключить механические узлы, например вращающийся высоковольтный распределитель энергии. Функцию распределителя исполняют многовыводные (на 2, 4, 6 выводов) катушки зажигания или катушечные модули, управляемые контроллером. В системах со статическим распределением энергии благодаря отсутствию вращающегося бегунка и связанного с ним искрения значительно ниже уровень электромагнитных помех.

В ряде случаев, например на автомобилях высокого класса, требуется максимальное снижение уровня помех радиоприему, телевидению и средствам связи как на самом автомобиле, так и на внешних объектах. С этой целью высоковольтные детали и провода, а также сами узлы систем зажигания экранируются. Такие системы зажигания называются *экранированными.*

Все системы зажигания разделяются также на две группы, отличающиеся способами накопления энергии (в индуктивности или емкости) и способами размыкания первичной цепи катушки зажигания (типом силового реле). На автомобильных двигателях широкое применение нашли системы зажигания с накоплением электромагнитной энергии в магнитном поле катушки, использующие контактные или транзисторные прерыватели.

В тиристорных системах зажигания энергия для искрового разряда накапливается в конденсаторе, а в качестве силового реле применяется тиристор. В этих системах катушка зажигания не накапливает энергию, а лишь преобразует напряжение. Характерной особенностью тиристорных систем зажигания является высокая скорость нарастания вторичного напряжения. Поэтому пробой искрового промежутка свечи надежно обеспечивается даже при загрязненном и покрытом нагаром изоляторе свечи. Кроме того, в тиристорных системах вторичное напряжение может быть практически постоянным при изменении частоты вращения коленчатого вала двигателя до максимальной, так как конденсатор успевает полностью зарядиться на всех режимах работы двигателя. Однако тиристорные системы зажигания имеют сравнительно



Рис. 3.2. Классификационная схема батарейных систем зажигания

малую продолжительность индуктивной составляющей искрового разряда не более 300 мкс), что приводит к ухудшению воспламеняемости и сгорания рабочей смеси в цилиндрах двигателя на режимах частичных нагрузок. Многочисленными исследованиями установлено, что в режимах частичных нагрузок и при работе двигателя на сильно обедненных рабочих смесях требуется продолжительность индуктивной составляющей искрового разряда не менее 1,5...2 мс, что достаточно просто реализуется в системах зажигания с накоплением энергии в индуктивности.

Последние достижения в области создания транзисторных систем зажигания, в частности применение принципа нормирования времени накопления энергии, позволили практически устранить такие недостатки индуктивных систем, как большая зависимость вторичного напряжения от шунтирующего сопротивления на изоляторе свечи и от частоты вращения коленчатого вала.

Перечисленные достоинства и простота реализации предопределили широкое использование систем зажигания с накоплением энергии в индуктивности на автомобильных двигателях. Системы зажигания с накоплением энергии в емкости нашли широкое применение на газовых и высокооборотных мотоциклетных двигателях, которые не критичны к длительности искрового разряда.

В соответствии с классификационной схемой (см. рис. 3.2) различают следующие системы зажигания, которые серийно выпускаются у нас в стране и за рубежом или по прогнозам готовятся в производство в ближайшие годы: батарейная с механическим прерывателем, или

классическая;
контактно-транзисторная; контактно-тиристорная; бесконтактно-транзисторная; цифровая с механическим распределителем; микропроцессорная система управления автомобильным двигателем (МСУАД).

3.3. ТРЕБОВАНИЯ К СИСТЕМАМ ЗАЖИГАНИЯ. ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ.

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

- система зажигания должна развивать напряжения, достаточные для пробоя искрового промежутка свечи, обеспечивая при этом бесперебойное искрообразование на всех режимах работы двигателя;
- искра, образующаяся между электродами свечи, должна обладать достаточными энергией и продолжительностью для воспламенения рабочей смеси при всех возможных режимах работы двигателя;
- момент зажигания должен быть строго определенным и соответствовать условиям работы двигателя;

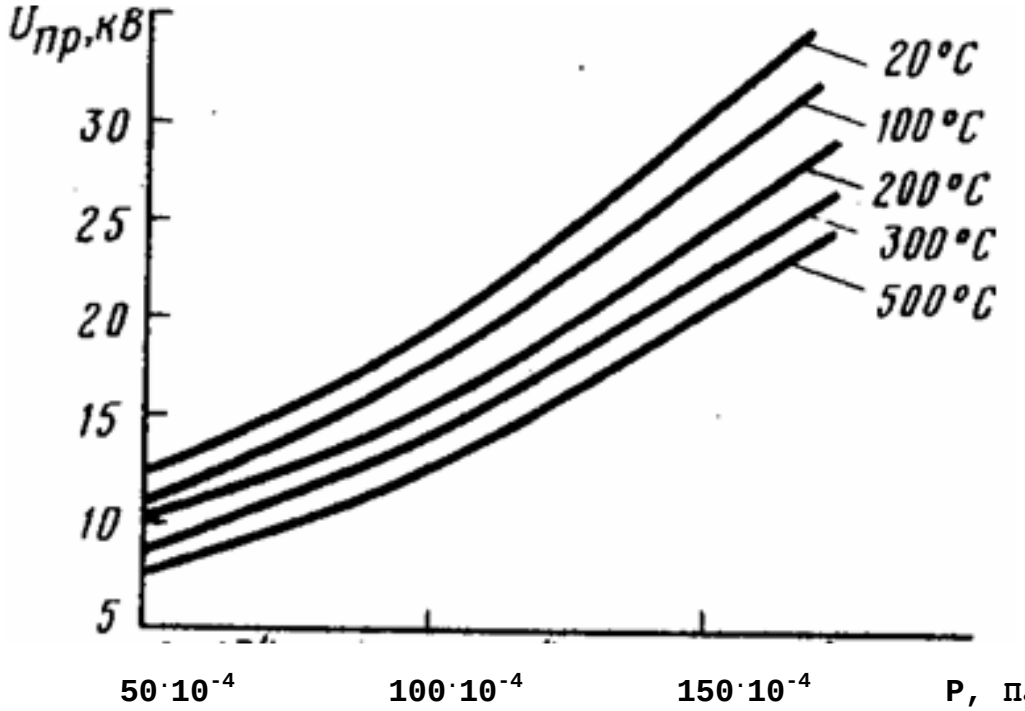


Рис. 3.3. Влияние давления и температуры на пробивное напряжение

- работа всех элементов системы зажигания должна быть надежной при высоких температурах и механических нагрузках, которые возникают на двигателе;
- эрозия электродов свечи должна находиться в пределах допуска.

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

- развиваемым вторичным напряжением в пусковом и рабочем режимах работы U_{2m};
- коэффициентом запаса по вторичному напряжению $K_з$;
- скоростью нарастания вторичного напряжения;

$$\frac{dU_{2m}}{dt},$$

- энергией **Wp** и длительностью индуктивной составляющей искрового разряда τ_p;

- зазором между электродами свечей δ;
- углом опережения зажигания θ.

Коэффициентом, запаса по вторичному напряжению $K_з$ называется отношение вторичного напряжения U_{2m}, развиваемого системой зажигания, к пробивному напряжению $U_{пр}$ между электродами свечи, установленной на двигателе:

$$K_з = U_{2m} / U_{пр}$$

Пробивным напряжением называется напряжение, при котором происходит пробой искрового промежутка свечи. При этом свеча, ввернутая в камеру сгорания двигателя, является своеобразным разрядником. Пробивное напряжение для однородных полей согласно экспериментальному закону Пашена прямо пропорционально давлению смеси p и зазору между электродами δ и обратно пропорционально температуре смеси T, т. е.

$$U_{пр} = f\left(\frac{p_\delta}{T}\right)$$

Кроме того, на напряжение $U_{пр}$ оказывают влияние состав смеси, длительность и форма приложенного напряжения, полярность пробивного напряжения, материал электродов и условия работы двигателя. Так, например, при пуске холодного двигателя стенки цилиндра и электроды свечи холодные, всасываемая топливно-воздушная смесь имеет низкую температуру и плохо перемешана. При сжатии смесь слабо нагревается и капли топлива не испаряются. Попадая в межэлектродное пространство свечи, такая смесь увеличивает пробивное напряжение на 15...20%. На рис. 3.3 приведены зависимости $U_{пр}$ от давления при различных температурах.

Увеличение частоты вращения коленчатого вала двигателя первоначально вызывает некоторое увеличение пробивного напряжения ввиду роста давления сжатия, однако далее происходит уменьшение $U_{пр}$, так как ухудшается наполнение цилиндров свежей смесью и возрастает температура центрального электрода свечи. Максимального значения пробивное напряжение достигает при пуске и разгоне двигателя, минимального — при работе на установившемся режиме на максимуме мощности. На рис. 3.4 показаны зависимости пробивного напряжения $U_{пр}$ от частоты вращения коленчатого вала двигателя при различных нагрузках.

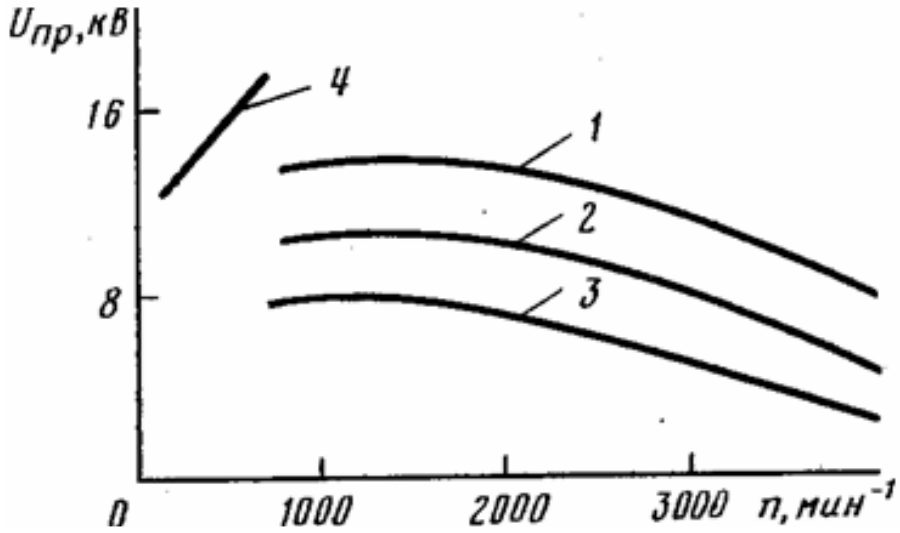


Рис. 3.4. Зависимость пробивного напряжения от частоты вращения коленчатого вала:
1 — при полной нагрузке; 2 — при 1/2 нагрузки;
3 — при малой нагрузке; 4 — при пуске и холостом ходе

В течение первых 2 тыс. км пробега нового автомобиля пробивное напряжение повышается на 20...25% за счет округления кромок электродов свечи. В дальнейшем напряжение растет за счет износа электродов и увеличения зазора, что требует проверки и регулировки зазора в свечах через каждые 10...15 тыс. км пробега. Если двигатель работает на неустановившихся режимах в результате неоднородности рабочей смеси, поступающей в цилиндры, пробивное напряжение в отдельных цилиндрах может значительно отличаться, а в некоторых случаях могут наблюдаться даже перебои искрообразования.

Для современных систем зажигания коэффициент запаса по вторичному напряжению принимают не менее 1,5, а в экранированных системах – 1,8.

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 является 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.

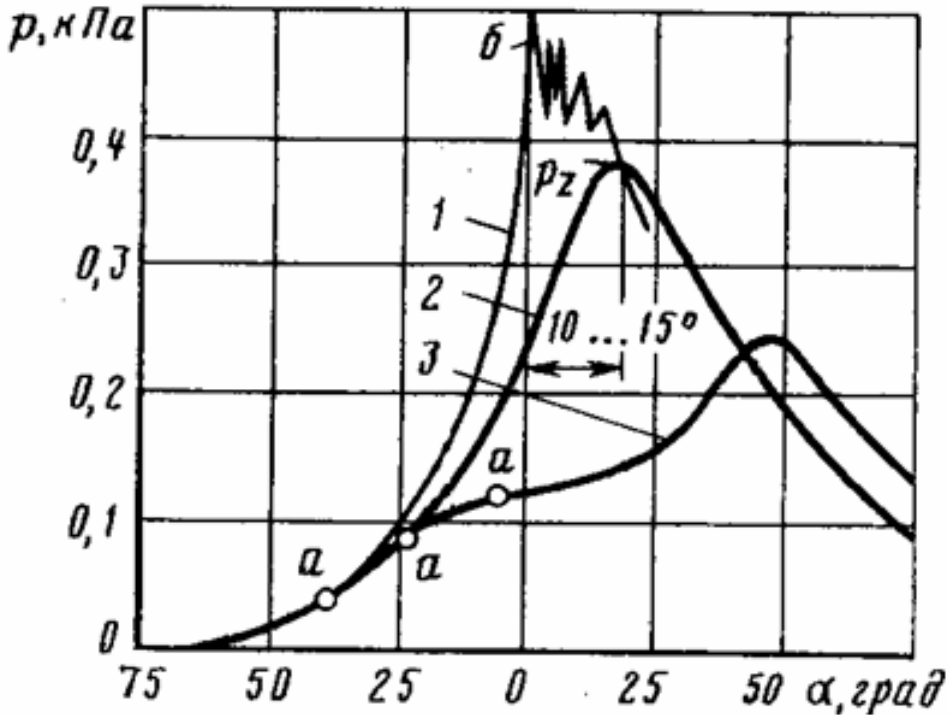


Рис. 3.5 Изменение давления в цилиндре двигателя в зависимости

от момента зажигания:
а – момент зажигания; б – детонация; 1, 2 и 3 – соответственно раннее, нормальное и позднее зажигание; Pz – максимум давления в цилиндре

Угол опережения зажигания влияет на изменение давления в цилиндре двигателя (рис. 3.5). Процесс сгорания оптимально протекает в том случае, когда угол опережения зажигания наивыгоднейший (кривая 2). Максимум мощности двигатель развивает, если наибольшее давление в цилиндре создается после в.м.т. черёз 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.

По современным представлениям угол опережения зажигания должен выбираться с учетом частоты вращения коленчатого вала, нагрузки двигателя (рис. 3.6), температуры охлаждающей жидкости и всасываемого воздуха, атмосферного давления, состава отработавших газов, скорости изменения положения дроссельной заслонки (разгон, торможение).

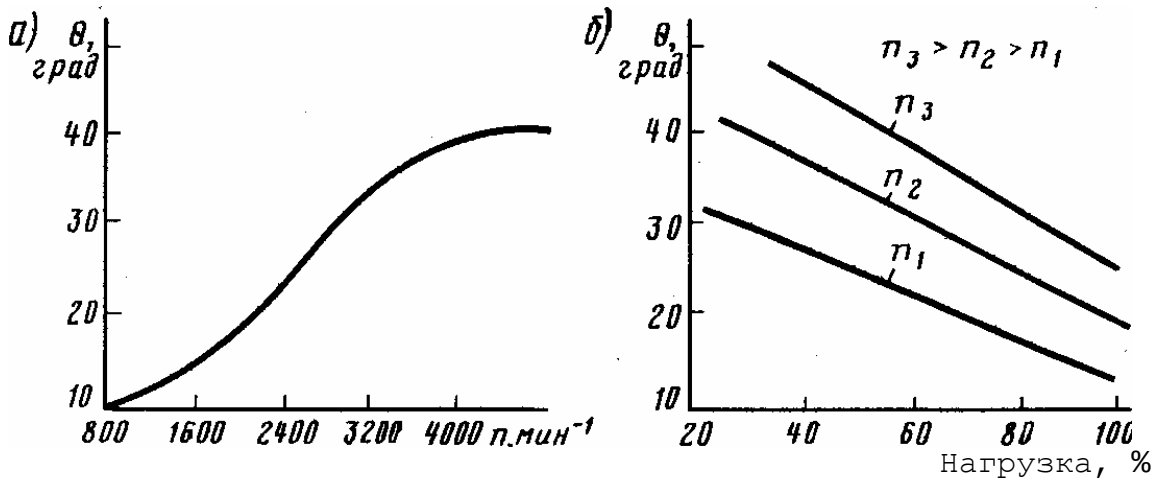


Рис. 3.6. Зависимости наилучшего угла опережения зажигания:
а – от частоты вращения коленчатого вала двигателя;
б– от нагрузки при различной частоте вращения

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.

3.4. КЛАССИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЗАЖИГАНИЯ.

3.4.1. Принцип работы.

Классическая система батарейного зажигания с одной катушкой и многоискровым механическим распределителем до сих пор широко распространена 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.

Принципиальная схема классической системы зажигания состоит из следующих элементов (рис. 3.7):

- источника тока — аккумуляторной батареи 1;
- катушки зажигания (индукционной катушки) 5, которая преобразует токи низкого напряжения в токи высокого напряжения. Между первичной и вторичной обмотками существует автотрансформаторная связь;
- прерывателя *17*, содержащего рычажок б с подушечкой 7 из текстолита, поворачивающийся около оси, контакты прерывателя *8*, кулачок, имеющий число граней, равное числу цилиндров. Неподвижной контакт прерывателя присоединен к "массе"; подвижной контакт укреплен на конце рычажка. Если подушечка не касается кулачка, контакты замкнуты под действием пружины. Когда подушечка находит на грань кулачка, контакты размыкаются. Прерыватель управляет размыканием и замыканием контактов и моментом подачи искры;
- конденсатора первичной цепи 18 (**С1**), подключенного параллельно контактам *8*, который является составным элементом колебательного контура в первичной цепи после размыкания контактов; распределителя *14*, включающего в себя бегунок *12*, крышку *10*, на которой расположены неподвижные боковые электроды 11(число которых равно числу цилиндров двигателя) и неподвижный центральный электрод, который подключается через высоковольтный провод к катушке зажигания. Боковые электроды через высоковольтные провода соединяются с соответствующими свечами зажигания.

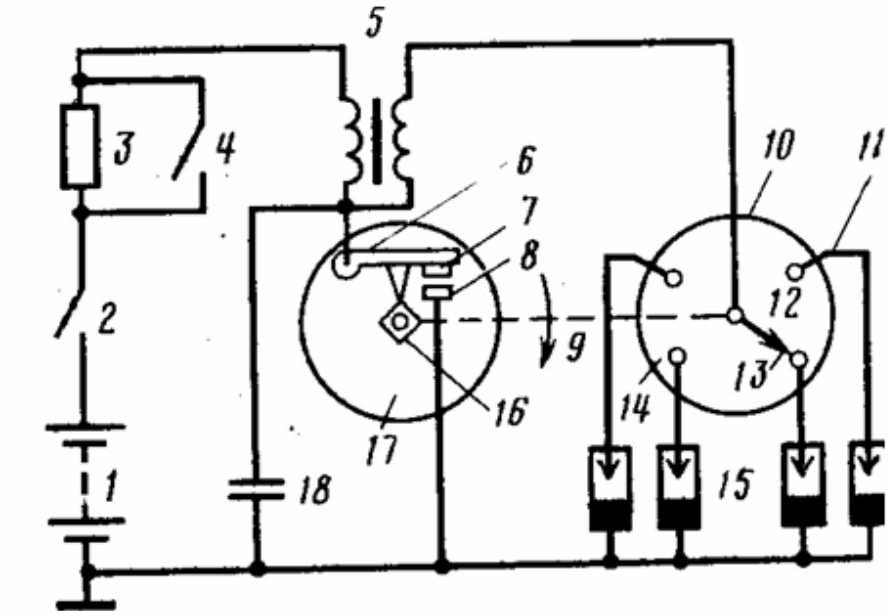


Рис.3.7. Принципиальная схема классической системы зажигания.

- Высокое напряжение к бегунку *12* подается через центральный электрод с помощью скользящего угольного контакта. На бегунке имеется электрод *13*, который отделен воздушным зазором от боковых электродов *11*. Бегунок *12* распределителя и кулачок *16* прерывателя находятся на одном валу, который приводится во вращение зубчатой передачей от распределительного вала двигателя с частотой, вдвое меньшей частоты вращения коленчатого вала. Прерыватель и распределитель расположены в одном аппарате, называемом *распределителем зажигания;*
- свечей зажигания *15*, число которых равно числу цилиндров двигателя;
- выключателя зажигания 2;
- добавочного резистора 3 ($R_{доб}$), который уменьшает тепловые потери в катушке зажигания, дает возможность усилить зажигание.

(При пуске двигателя $R_{доб}$ шунтируется выключателем *4* одновременно с включением стартера.) Добавочный резистор изготовляют из нихрома или константана и наматывают на керамический изолятор.

Принцип работы классической системы батарейного зажигания состоит в следующем. При вращении кулачка *16* контакты *8* попеременно замыкаются и размыкаются. После замыкания контактов (в случае замкнутого выключателя 2) через первичную обмотку катушки зажигания *5* протекает ток, нарастая от нуля до определенного значения за данное время замкнутого состояния контактов. При малых частотах вращения валика 9 распределителя *14* ток может нарастать до установившегося значения, определенного напряжением аккумуляторной батареи и омическим сопротивлением первичной цепи (установившийся ток). Протекание первичного тока вызывает образование магнитного потока, сцепленного с витками первичной и вторичной обмоток, и накопление электромагнитной энергии.

После размыкания контактов прерывателя как в первичной, так и во вторичной обмотке индуцируется ЭДС самоиндукции. Согласно закону индукции вторичное напряжение тем больше, чем быстрее исчезает магнитный поток, созданный током первичной обмотки, больше первичный ток в момент разрыва и больше число витков во вторичной обмотке. В результате переходного процесса во вторичной обмотке возникает высокое напряжение, достигающее 15...20 кВ. В первичной обмотке также индуцируется ЭДС самоиндукции, достигающая 200...400 В, направленная в ту же сторону, что и первичный ток, и стремящаяся задержать его исчезновение. При отсутствии конденсатора *18* ЭДС самоиндукции вызывает образование между контактами прерывателя во время их размыкания сильной искры, или, точнее, дуги. При наличии конденсатора *18* ЭДС самоиндукции создает ток, заряжающий конденсатор. В следующий период времени конденсатор разряжается через первичную обмотку катушки и аккумуляторную батарею. Таким образом, конденсатор *18* практически устраняет дугообразование в прерывателе, обеспечивая долговечность контактов и индуцирование во вторичной обмотке достаточно высокой ЭДС. Вторичное напряжение подводится к бегунку распределителя, а затем через электроды в крышке и высоковольтные провода поступает к свечам соответствующих цилиндров. На рис. 3.8 приведены характеристики электрических сигналов в первичной и вторичной цепях системы зажигания.

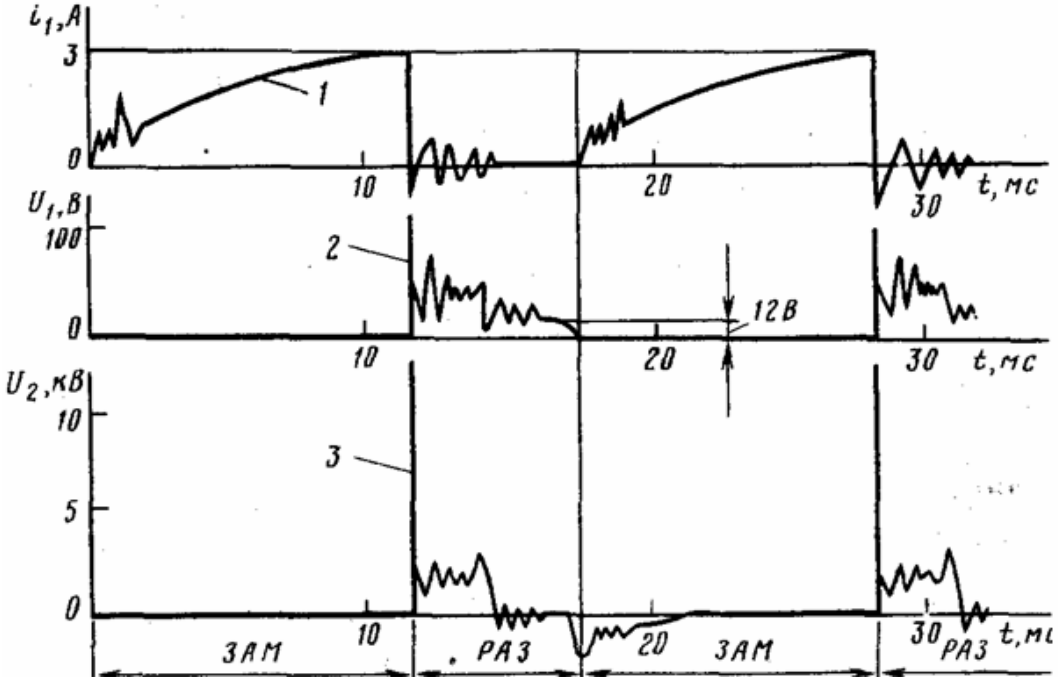


Рис. 3.8 Характеристики электрических сигналов в первичной и вторичной цепях системы зажигания:
1 — первичный ток; 2 — импульс первичного напряжения; 3 — импульс вторичного напряжения; ЗАМ — контакты замкнуты; РАЗ — контакты разомкнуты

3.4.2. Регулирование угла опережения зажигания.

Для регулирования угла опережения зажигания в соответствии с режимами работы двигателя при различных эксплуатационных условиях классическая система зажигания снабжается автоматическими и ручными регуляторами. Автоматическое регулирование угла опережения зажигания в зависимости от частоты вращения коленчатого вала обеспечивается центробежным регулятором, а в зависимости от нагрузки — вакуумным регулятором.

Центробежный регулятор опережения зажигания (рис. 3.9). На ведущем валике *4* закреплена пластина с осями 7 для установки грузиков *3*. Грузики могут проворачиваться вокруг осей 7 и связаны между собой пружинами **6**. На каждом грузике имеется штифт 5, входящий в прорези пластины 2, укрепленной на втулке кулачка 1. Привод кулачка осуществляется от валика через грузики.

С увеличением частоты вращения, начиная с некоторого ее значения, грузики под действием центробежной силы расходятся. При этом штифты, двигаясь в прорезях пластины, поворачивают ее и связанный с ней кулачок в сторону вращения ведущего валика. Вследствие этого контакты размыкаются раньше. При уменьшении частоты вращения грузики с помощью возвратных пружин возвращаются в исходное положение. Пружины имеют различную жесткость, что позволяет получить требуемый закон изменения угла опережения зажигания при изменении частоты вращения двигателя. На рис. 3.10 приведены типовые характеристики центробежных регуляторов, представляющие собой зависимость угла опережения зажигания по валику распределителя $\theta_р$ от частоты его вращения. При достижении определенной частоты вращения грузики полностью расходятся и автомат перестает работать. Характеристика становится горизонтальной.

Вакуумный автомат опережения зажигания. Он регулирует момент зажигания при изменении угла открытия дроссельной заслонки, т. е. при изменении нагрузки двигателя. При малых нагрузках двигателя уменьшается наполнение цилиндров рабочей смесью и, следовательно, давление в момент воспламенения. В то же время увеличивается загрязнение смеси остаточными газами, что приводит к уменьшению скорости сгорания, а это требует увеличения угла опережения зажигания. С увеличением нагрузки процент остаточных газов уменьшается. Коэффициент избытка воздуха находится в пределах 0,8...0,9. Такая смесь имеет наибольшую скорость сгорания, поэтому угол опережения зажигания должен быть минимальным.

Устройство вакуумного автомата показано на рис. 3.11. Полость вакуумного регулятора, в которой размещена пружина 6, соединяется трубкой 5 со смесительной камерой карбюратора над дроссельной заслонкой. Полость регулятора с левой стороны диафрагмы сообщается с атмосферой. К диафрагме 7 прикреплена тяга 9. Она связана шарниром с подвижной пластиной 11, на которой установлен прерыватель. При уменьшении нагрузки двигателя дроссельная заслонка прикрывается и разрежение в месте подсоединения вакуумного регулятора, а следовательно, и в полости правой стороны диафрагмы увеличивается. Под действием разности давлений диафрагма, преодолевая усилия пружины, перемещается и тягой поворачивает подвижную пластину вместе с прерывателем навстречу направлению вращения кулачка. Угол опережения зажигания увеличивается.

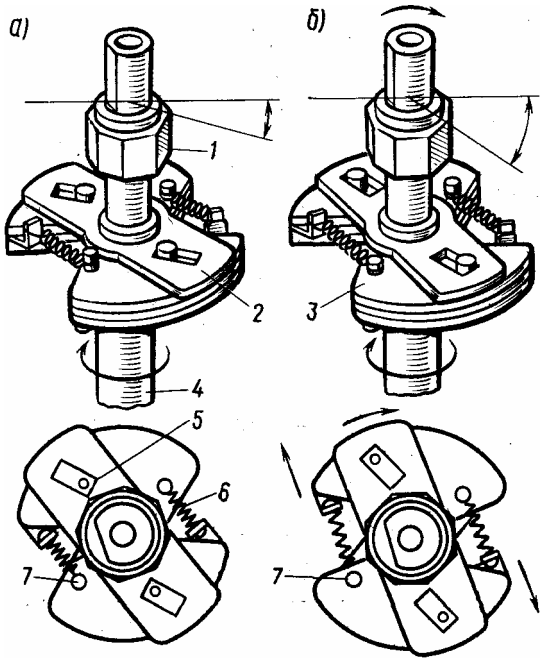


Рис. 3.9. Центробежный регулятор:
а — положение грузиков на холостом ходу двигателя; б — положение грузиков при максимальной частоте вращения вола двигателя

С увеличением нагрузки двигателя дроссельная заслонка открывается, разрежение в полости регулятора уменьшается и пружина перемещает влево диафрагму и связанную с ней тягу. Тяга поворачивает подвижную пластину и прерыватель в направлении вращения кулачка, уменьшая таким образом угол опережения зажигания.

Отверстие для подсоединения трубки регулятора расположено таким образом, что при холостом ходе двигателя заслонка карбюратора перекрывает отверстие, и оно оказывается на стороне диффузора карбюратора. Разрежение в полости регулятора небольшое, и регулятор опережения не работает.

Октан-корректор. Для установки начального угла опережения или для корректировки угла опережения зажигания в зависимости от октанового числа топлива корпус большинства распределителей делается подвижным и снабжается установочным винтом и шкалой с делениями. В зависимости от октанового числа бензина корпус распределителя закрепляют в нужном положении. Это устройство называют октан - корректором.

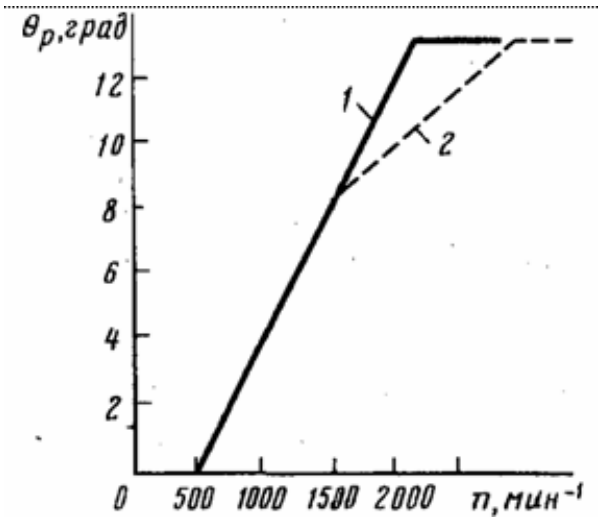


Рис. 3.10. Типовые характеристики центробежных регуляторов:
1 — *пружины с одинаковыми характеристиками жесткости;*
2 — *пружины с разными характеристиками жесткости*

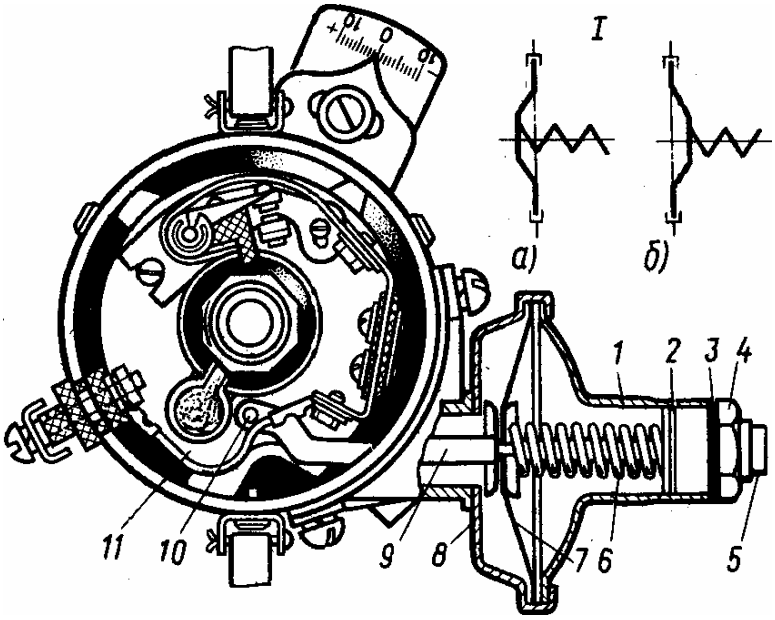


Рис. 3.11. Вакуумный регулятор:
1 – крышка корпуса; 2 и 3 – соответственно регулировочная и уплотнительная прокладки; 4 – штуцер трубки; 5 – трубка; 6 – пружина; 7 – диафрагма; 8 – корпус регулятора; 9 – тяга; 10 – ось тяги; 11 – подвижная пластина прерывателя; ***I*** *– положения диафрагмы вакуумного регулятора при большей (а) и меньшей (б) нагрузках на двигатель.*

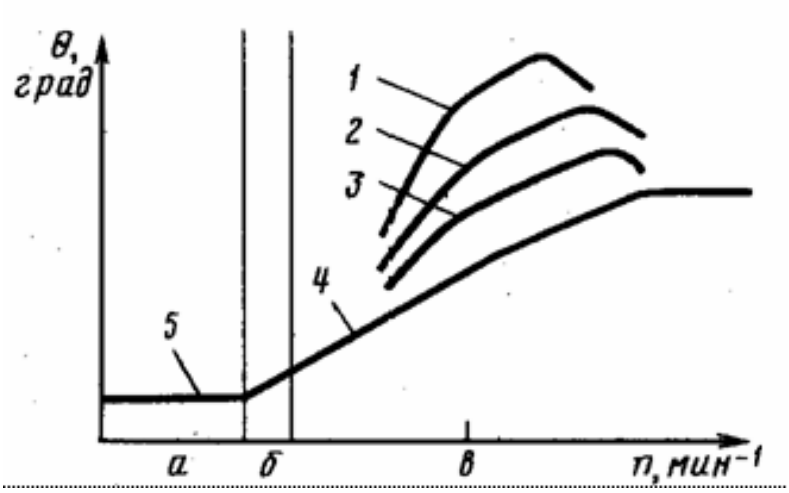


Рис. 3.12. Характеристика изменения момента зажигания при совместной работе регулятора опережения:
а – область пуска; б – область холостого хода; в – рабочая область;
1 – 1/4 нагрузки; 2 – 1/2 нагрузки; 3 – 3/4 нагрузки;
4 – полная нагрузка (вакуумный автомат выключен); 5 – установочный угол

Три описанных устройства регулируют угол опережения зажигания независимо: центробежный регулятор поворачивает кулачок прерывателя, вакуумный регулятор (автомат) – пластину прерывателя, октан-корректор – корпус распределителя. Реальный угол опережения зажигания складывается из угла начальной установки и углов, автоматически устанавливаемых центробежным и вакуумным регуляторами. На рис. 3.12 представлена зависимость угла опережения зажигания от частоты вращения коленчатого вала и нагрузки двигателя.

3.4.3. Конструкция аппаратов зажигания

Катушки зажигания. По конструкции магнитной цепи катушки зажигания разделяются на два типа: с разомкнутой (рис. 3.13, а) и замкнутой (рис. 3.13, б) цепями.

В катушках с разомкнутой магнитной цепью значительную часть пути магнитный поток проходит по воздуху. Поэтому в воздушном пространстве сосредоточивается основная часть электромагнитной энергии. В катушках с замкнутой магнитной цепью основную часть пути магнитный поток проходит через стальной магнитопровод и только лишь незначительную часть пути — через воздушные зазоры в несколько десятых миллиметра каждый. Электромагнитная энергия запасается как в воздушных зазорах, так и в стали. В катушках с замкнутой магнитной цепью затраты меди меньше, чем в катушках с разомкнутой цепью. В отношении затрат стали имеет место обратное явление.

По выполнению обмоток катушки с разомкнутой магнитной цепью разделяются на два типа: с *внутренней* и *наружной* первичными обмотками. Последние имеют ряд преимуществ:

- лучшие условия охлаждении и меньшую массу провода вторичной обмотки, что удешевляет производство;
- меньшее сопротивление вторичной обмотки. Поэтому катушки отечественного производства выполняются с наружной первичной обмоткой.

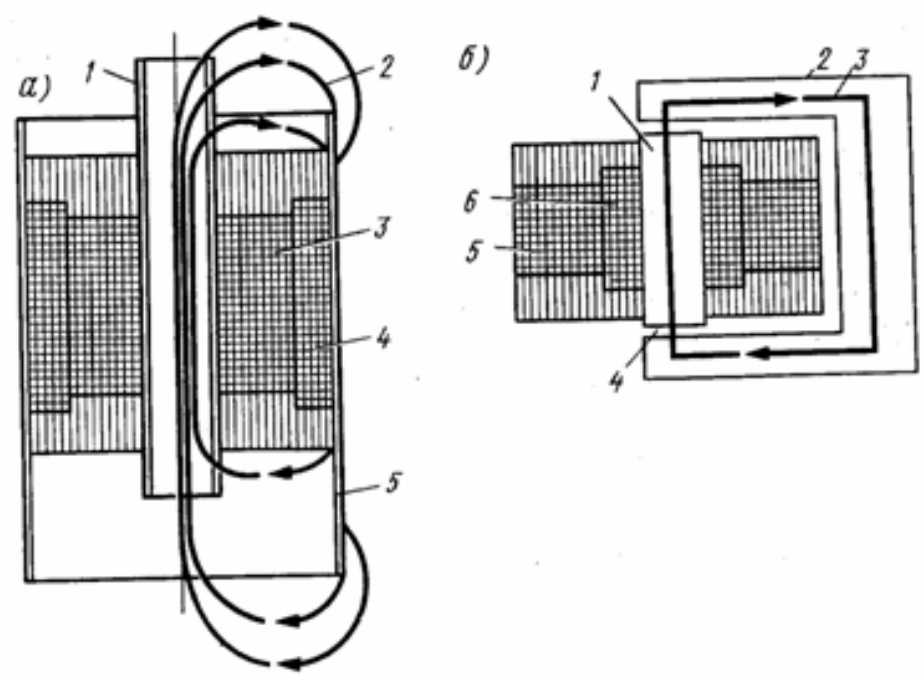


Рис. 3.13. Схемы катушек зажигания:
а — с разомкнутой магнитной цепью: 1 — сердечник; 2 — линия магнитного потока; 3 и 4 — соответственно вторичная и первичная обмотки; 5 — наружный магнитопровод;
б — с замкнутой магнитной цепью: 1 — сердечник; 2 — наружный магнитопровод; 3 — средняя линия магнитного потока; 4 — воздушный зазор; 5 и 6 — соответственно вторичная и первичная обмотки

На рис. 3.14 приведен разрез типовой автомобильной катушки зажигания, которая представляет собой электрический автотрансформатор с разомкнутой магнитной цепью. Сердечник 9 катушки набран из пластин трансформаторной стали толщиной 0,35 мм, изолированных друг от друга окалиной. На сердечник надета изолирующая трубка, на которую намотана вторичная обмотка 7. Каждый слой этой обмотки изолирован

конденсаторной бумагой, а последние слои намотаны с зазором между витками 2...3 мм, чтобы уменьшить опасность пробоя изоляции.

Первичная обмотка 6 намотана поверх вторичной обмотки, что облегчает отвод от нее тепла. Корпус *10* катушки штампованный из листовой стали. Внутри корпуса установлен наружный магнитопровод Л из трансформаторной стали. Фарфоровый изолятор *8* и карболитовая крышка 2 предотвращают возможность пробоя между сердечником и корпусом катушки. Крышка имеет четыре выходные клеммы: центральную высоковольтную *17* и три низковольтных — безымянную *3* и клеммы "ВК" и "ВК-Б" *16* (клемма "ВК-Б" на рисунке не видна). Один конец вторичной обмотки выводится к клемме высокого напряжения *17* через контактную пластину *15,* сердечник и пружину *4.* Высоковольтная клемма *17* с помощью наконечника 1 соединяется через высоковольтный провод с центральным электродом крышки распределителя. Другой конец вторичной обмотки и конец первичной обмотки соединены между собой (автотрансформаторная связь обмоток) и подведены к безымянной клемме *3* на крышке. Эта клемма соединяется с клеммой "Р" распределителя. Другой конец первичной обмотки соединен с клеммой "ВК"*(16).*

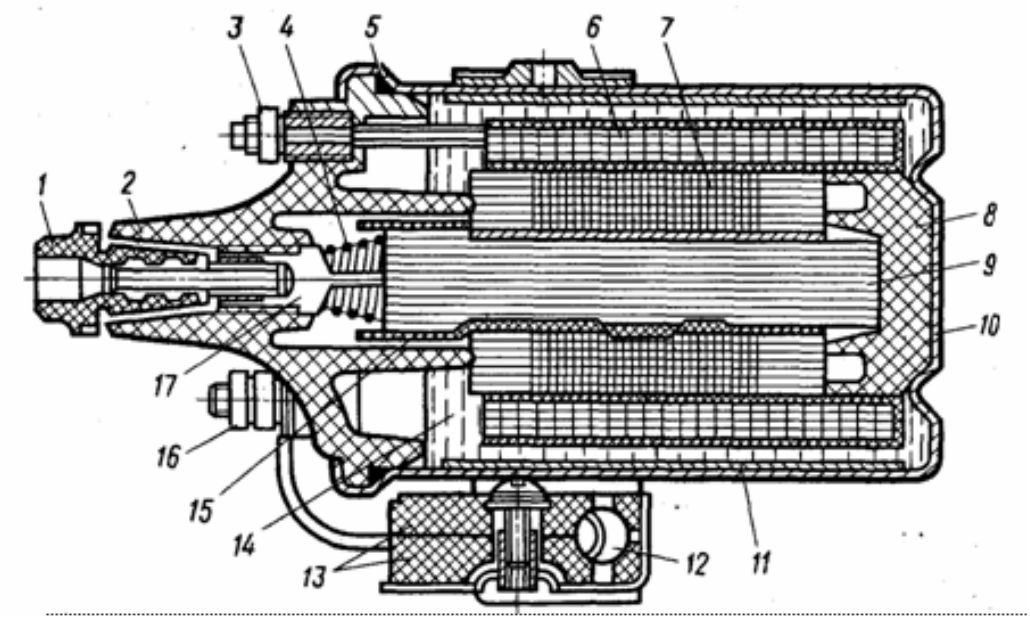


Рис. 3.14. Катушка зажигания:
1 — *наконечник высоковольтного провода;* 2 — *крышка;* 3 — *низковольтная клемма;* 4 — *контактная пружина;* 5 — *прокладка;* 6 *и* 7 — *соответственно первичная и вторичная обмотки;* 8 *и* 13 — *изоляторы;* 9 — *сердечник;* 10 — *корпус катушки;* 11 — *наружный магнитопровод;* 12 — *добавочный резистор;* 14 — *трансформаторное масло;* 15 — *контактная пластина высокого напряжения;* 16 — *низковольтные клеммы "ВК", "ВК-Б";* 17 — *клемма высокого напряжения.*

Число витков обмоток катушки зажигания зависит от ее типа и находится в пределах 220...300 для первичной и 18...25 тыс. для вторичной. Соответственно диаметр провода первичной обмотки 0,52...0,86 мм, а вторичной обмотки 0,07...0,09 мм. Коэффициент трансформации равен отношению числа витков вторичной обмотки к числу витков первичной обмотки (W_2/W_1) и находится в пределах 62...80.

Пространство между обмотками и корпусом катушки заполнено изолирующим наполнителем — трансформаторным маслом. Герметичность карболитовой крышки в кожухе обеспечивается прокладкой 5. К клеммам "ВК-Б" подсоединен добавочный резистор *12,* установленный в керамическом изоляторе *13.* Добавочный резистор может крепиться как на самой катушке (см. рис. 3.14), так и отдельно от нее. Сопротивле-

ние резистора в зависимости от типа катушки 1,0...1,9 Ом.

При пуске двигателя катушка зажигания питается от батареи, напряжение которой понижено (до 6...8 В) из-за потребления стартером большого тока. что приводит к снижению тока в первичной обмотке и развиваемого катушкой вторичного напряжения. С учетом этого обстоятельства первичная обмотка катушки зажигания рассчитывается на напряжение 6...8 В, а остальное напряжение источника гасится в добавочном резисторе. Последний при пуске двигателя закорачивается и первичный ток возрастает, что обеспечивает вторичное напряжение, достаточное для пробоя искрового промежутка свечи.

В некоторых системах зажигания (например, для автомобилей семейства ВАЗ) добавочный резистор отсутствует, что обусловлено высокими характеристиками электропусковой системы, благодаря чему напряжение батареи при пуске снижается незначительно.

Распределители зажигания. Распределитель прерывает цепь первичной обмотки катушки зажигания и распределяет высокое напряжение по свечам в необходимой последовательности. Он включает в себя прерыватель с контактами, распределитель импульсов высокого напряжения, центробежный и вакуумный автоматы опережения зажигания, привод.

Наиболее ответственными узлами распределителя, от которых зависит работа всей системы зажигания, являются прерыватель и его контакты. Надежность и срок службы прерывателя ограничены из-за эрозии и коррозии контактов. Эрозия контактов, как правило, сопровождается переносом металла с одного контакта на другой. Коррозия вызывает образование на контактах непроводящих пленок и частичное или полное нарушение электрического контакта.

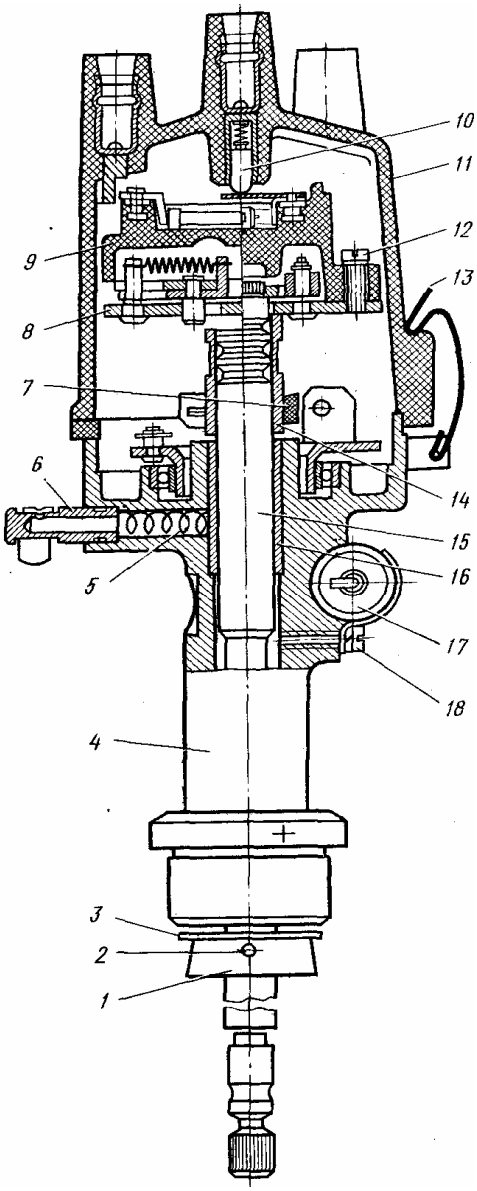


Рис. 3.15. Распределитель 30.3706 автомобилей семейства ВАЗ:
1 – маслоотражательный диск; 2 – штифт; 3 – шайба; 4 – корпус; 5 – фильц; 6 – масленка; 7 – прерыватель; 8 – центробежный регулятор в сборе; 9 – ротор с помехоподавительным сопротивлением; 10–угольный контакт; 11–крышка; 12 и 18 – винты крепления соответственно ротора (бегунка) и конденсатора; 13 – пружинная защелка; 14 – кулачок; 15 – валик; 16 – втулка; 17 – конденсатор.

Перенос металла вызывает образование на одном из контактов бугров, а на другом кратеров, которые в конце концов приводят к нарушению установленного зазора. В свою очередь зазор между контактами играет большую роль в обеспечении надежной работы системы зажигания, так как от размера зазора зависит угол замкнутого состояния контактов или время, в течение которого нарастает ток в цепи пер-

вичной обмотки катушки зажигания. У распределителей большинства конструкций зазор между контактами прерывателя находится в пределах 0,35...0,45 мм.

Лучшим материалом для контактов прерывателя является вольфрам, так как он мало подвержен эрозии. Вольфрамовые контакты не свариваются и вследствие высокой твердости мало поддаются изнашиванию.

Распределители изготавливаются в зависимости от числа цилиндров двигателя 4, 6, 8-искровыми, а в зависимости от направления рабочего вращения кулачка прерывателя — левого и правого вращения.

Конструктивно прерыватель тока низкого напряжения и распределитель тока высокого напряжения объединены в одном корпусе. Там же находятся центробежный и вакуумный регуляторы опережения зажигания, октан-корректор.

Распределитель 30.3706 (рис. 3.15) имеет корпус 4 из алюминиевого сплава, в котором вращается валик 15. Через масленку б закапывается масло для предотвращения сухого трения между валиком и втулкой 16 корпуса, которая изготавливается из металлокерамики. Прерыватель 7 смонтирован на одном узле с подшипниками. Наружная обойма подшипника запрессована в корпус прерывателя. На корпусе установлен конденсатор 17. На пластине кулачка 14 закреплен ротор-бегунок 9 с помехоподавительным сопротивлением. Корпус прерывателя закрыт крышкой 11, в центр которой установлен уголек 10, нагруженный пружиной. Крышка крепится к корпусу двумя пружинными защелками 13. Для предотвращения проникновения моторного масла под корпусом распределителя на валу установлен маслоотражательный диск 1. Распределитель приводится в действие от шестерни привода масляного насоса, в которую входят шлицы вала распределителя. На корпусе устанавливается вакуумный автомат, который работает в зависимости от нагрузки двигателя (на рисунке не показан).

Особенностью конструкций распределителя 30.3706 является то, что центробежный регулятор 8 расположен в верхней части распределителя над четырехгранным кулачком 14 прерывателя.

3.5. РАБОЧИЙ ПРОЦЕСС БАТАРЕЙНОЙ СИСТЕМЫ ЗАЖИГАНИЯ

3.5.1. Общие сведения

Нормальным рабочим режимом любой системы батарейного зажигания, использующей индукционную катушку в качестве источника высокого напряжения, является переходный режим, в результате чего образуется искровой разряд в свече зажигания. Рабочий процесс может быть разбит на три этапа.

1. ***Замыкание контактов прерывателя.*** На этом этапе происходит подключение первичной обмотки катушки зажигания (накопителя) к источнику тока. Этап характеризуется нарастанием первичного тока и, как следствие этого, накоплением электромагнитной энергии, запасаемой в магнитном поле катушки.
2. ***Размыкание контактов прерывателя.*** Источник тока отключается от катушки зажигания. Первичный ток исчезает, в результате чего накопленная электромагнитная энергия превращается в электростатическую. Возникает ЭДС высокого напряжения во вторичной обмотке.
3. ***Пробой искрового промежутка свечи.*** В рабочих условиях при определенном значении напряжения происходит пробой искрового промежутка свечи с последующим разрядным процессом.

3.5.2. Замыкание контактов прерывателя

На 1-м этапе вторичная цепь практически не влияет на процесс нарастания первичного тока. Токи и напряжения во вторичной цепи при

относительно малой скорости нарастания первичного тока незначительны. Вторичную цепь можно считать разомкнутой. Первичный конденсатор замкнут накоротко контактами К. Схема замещения для данного рабочего этапа приведена на рис. 3.16.

Процесс нарастания первичного тока согласно второму закону Кирхгофа описывается дифференциальным уравнением:

$$U_б = L_1 \frac{di_1}{dt} + i_1 R_1,$$

где L1 – индуктивность первичной обмотки; di_1/dt – скорость нарастания первичного тока; Ri – полное сопротивление первичной цепи, представляющее собой сумму активного сопротивления первичной обмотки, сопротивлений добавочного резистора и проводов.

Решением этого уравнения является следующее выражение **3.1**

$$i_1 = \frac{U_б}{R_1}\left(1 - e^{-\frac{R_1}{L_1}t}\right), \text{ или } i_1 = \frac{U_б}{R_1}\left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_1}}\right),$$

Где τ_1 постоянная времени первичного контура: $\tau_1 = L1/R1$.

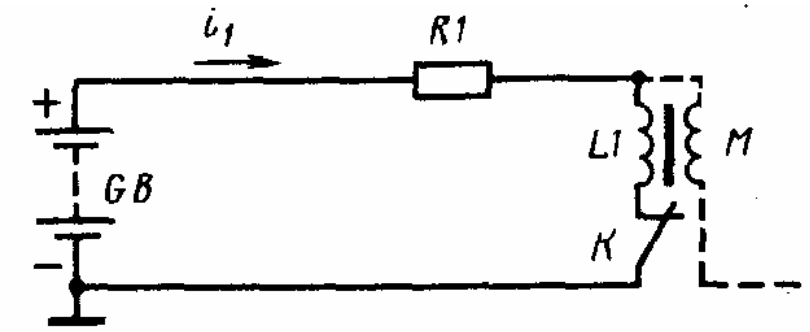


Рис. 3.16. Схема замещения классической системы зажигания после замыкания контактов прерывателя.

В начальный момент времени при t = 0 ток i = 0, при этом скорость нарастания первичного тока максимальна и не зависит сопро-

$$\left(\frac{di}{dt}\right)_{i=0} = \frac{U_б}{L_1}$$

тивления R_1.

При t стремящимся к бесконечности ток достигает установившегося значения

$$i_1 = \frac{U_б}{R_1},$$

а скорость его изменения равна нулю:

$$\left(\frac{di_1}{dt}\right)_{t=\infty} = 0$$

Для современных автомобильных катушек зажигания первичный ток

достигает своего максимального значения примерно за 0,02 с.

Во время нарастания тока в первичной обмотке наводится ЭДС самоиндукции:

$$e_{c1} = -L_1 \frac{di_1}{dt} = -U_б e^{-\frac{t}{\tau_1}}$$

ЭДС самоиндукции убывает по экспоненциальному закону. При $t=0$ $e_{c1} = -u_в$, при $t=\infty$ $e_{c1} = 0$.

Во вторичной обмотке индуцируется ЭДС взаимоиндукции:

$$e_{в2} = -M \frac{di_1}{dt} = -\frac{M}{L_1} U_б e^{-\frac{t}{\tau_1}},$$

где M *— взаимоиндукция.*

ЭДС взаимоиндукции мала по величине и также изменяется по экспоненциальному закону.

В некоторый момент времени контакты размыкаются. Ток разрыва при прочих равных условиях зависит от времени замкнутого состояния контактов $t_з$

$$I_р = \frac{U_б}{R_1}(1 - e^{-\frac{t_з}{\tau_1}}).$$

Время $t_з$ зависит от частоты вращения коленчатого вала двигателя n, числа цилиндров z, профиля кулачка, т. е. соотношения между углом замкнутого и разомкнутого состояний контактов.

Частота размыкания контактов при четырехтактном двигателе или число искр в секунду

$$f = zn/(2 \cdot 60)$$

Время полного периода работы прерывателя:

$$T = t_з + t_р = \frac{120}{zn},$$

где $t_р$ *— время разомкнутого состояния контактов.*

Если обозначить относительное время замкнутого и разомкнутого состояний контактов соответственно через $\tau_з = t_з / T$ и $\tau_р == t_р / T$,

$$t_з = \tau_з T = \tau_з = \frac{120}{zn}$$

то время замкнутого состояния контактов:

Аналитическое выражение тока разрыва примет вид (3.2):

$$I_р = \frac{U_б}{R_1}\left(1 - e^{\frac{\tau_з}{\tau_1}\frac{120}{zn}}\right)$$

Таким образом, ток разрыва уменьшается с увеличением частоты вращения вала и числа цилиндров и увеличивается с увеличением относительного времени замкнутого состояния контактов, которое определяется геометрией кулачка и от частоты вращения вала не зависит.

Ток разрыва зависит также от параметров первичной цепи: он прямо пропорционален напряжению батареи $U_б$, возрастает с уменьшением R_1 и уменьшается с увеличением индуктивности L_1.

Электромагнитная энергия, запасаемая в магнитном поле катушки зажигания к моменту размыкания контактов.

Если уравнение (3.3) продифференцировать по L_1 и приравнять к нулю, то можно определить значение a для получения наибольшей запасаемой электромагнитной энергии от источника постоянного тока с напряжением $U_б$:

$$W_м = \frac{L_1 I_р^2}{2} = \frac{1}{2} L_1 \left(\frac{U_б}{R_1}\right)^2 (1 - 2e^{-a} + e^{-2a}). \qquad (3.3)$$

Условие (3.4) для обычной классической системы зажигания не может быть соблюдено, так как $t_з$ – показатель переменный и в зависимости

$$a = \frac{R_1}{L_1} t_з = 1{,}256. \qquad (3.4)$$

от частоты вращения двигателя изменяется в широких пределах. Поэтому на большинстве режимов работы катушки зажигания в диапазоне малых (холостой ход) и средних частот вращения двигателя вследствие больших значений $t_з$ ток в первичной обмотке, достигнув установившегося значения, бесполезно нагревает катушку и добавочное сопротивление.

Чтобы найти потери в первичной цепи, необходимо вычислить действительное значение тока:

$$I_{1д} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^{t_з} i_1^2 dt} = \frac{U_б}{R_1}\sqrt{\frac{t_з}{T}}\sqrt{1 - \frac{1}{2a}(e^{-a} - 3)(e^{-a} - 1)}. \qquad (3.5)$$

Определив по формуле (3.5) ток $I_{1д}$ находят мощность потерь $P_{1пот}$ которая рассеивается в первичной обмотке катушки зажигания, на добавочном сопротивлении и в проводах:

$$P_{1пот} = I_{1д}^2 R_1 = \frac{U_б^2}{R_1}\frac{t_з}{T}\left[1 - \frac{1}{2a}(e^{-a} - 3)(e^{-a} - 1)\right]$$

3.5.3. Размыкание контактов прерывателя

После окончания процесса накопления в момент зажигания контакты прерывателя размыкают цепь и тем самым прерывают первичный ток. В этот момент магнитное поле исчезает и в первичной и вторичной обмотках катушки индуцируется напряжение. По закону индукции напряжение, индуцируемое во вторичной обмотке, тем выше, чем больше коэффициент трансформации и первичный ток в момент его прерывания.

При выводе расчетных формул для подсчета первичного и вторичного напряжений воспользуемся упрощенной схемой замещения (рис. 3.17). Согласно этой схеме имеем два магнитосвязанных контура, каждый из которых содержит емкость (C1 – конденсатор первичной цепи; C2 – распределенная емкость вторичной цепи), индуктивность (LI, L2 – индуктивности соответственно первичной и вторичной обмоток катушки зажигания), эквивалентное активное сопротивление (Rl, R2 – суммарные активные сопротивления соответственно первичной и вторичной цепей). Во вторичный контур включены шунтирующее сопротивление $R_ш$ и

сопротивление потерь $R_п$, имитирующие утечки тока на свече и магнитные потери.

В момент размыкания контактов прерывателя электромагнитная энергия, запасенная в катушке, преобразуется в энергию электрического поля конденсаторов C1 и C2 и частично превращается в теплоту. Значение максимального вторичного напряжения можно получить из уравнения электрического баланса в контурах первичной и вторичной цепей, пренебрегая потерями в них,

$$\frac{L_1 I_p^2}{2} = \frac{C_1 U_{1m}^2}{2} + \frac{C_2 U_{2m}^2}{2},$$

где U_{1m}, U_{2m} — максимальные значения соответственно первичного и вторичного напряжений.

Заменяя

$$U_{1m} = \frac{W_1}{W_2} U_{2m}$$

(где W1 и W2 - число витков соответственно первичной и вторичной обмоток катушки зажигания), получим аналитическое выражение для расчета максимального вторичного напряжения

$$U_{2m} \cong I_p \sqrt{\frac{L_1}{C_1 (W_1 / W_2)^2 + C_2}}. \qquad (3.6)$$

Выражение (3.6) не учитывает потери энергии в сопротивлении нагара, шунтирующего искровой промежуток свечи, магнитные потери в стали, электрические потери в искровом промежутке распределителя и

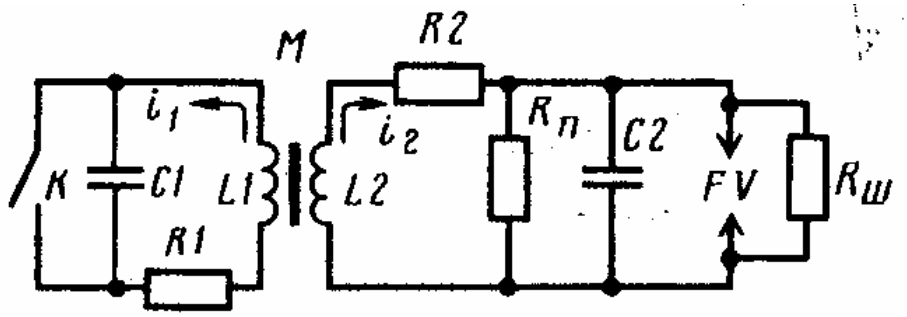


Рис. 3.17. Упрощенная схема замещения классической системы зажигания после размыкания контактов прерывателя

в дуге на контактах прерывателя. Указанные потери приводят к снижению вторичного напряжения. На практике для учета потерь в контурах вводят в виде множителя коэффициент η, выражающий уменьшение максимума напряжения из-за потерь энергии.

$$U_{2m} = I_p \frac{W_2}{W_1} \sqrt{\frac{L_1}{C_1 + C_2 (W_2 / W_1)^2}} \eta,$$

Где W_2/W_1 — коэффициент трансформации катушки зажигания; η — коэффициент затухания, составляющий для контактных систем 0,75...0,85.

Изменение первичного тока i_1 и вторичного напряжения U_2 в процессе работы прерывателя показано на рис. 3.18. При размыкании контактов прерывателя первичный ток i_1 совершает несколько периодов затухающих колебаний (рис. 3.18, а) до тех пор, пока энергия, запасенная в магнитном поле катушки, не израсходуется на нагрев сопротивления R_1 контура. Если искровой промежуток вторичной цепи сделать настолько большим, чтобы пробоя не произошло (режим холостого хода или открытой цепи), то вторичное напряжение U_2, так же как первичный ток, совершит несколько затухающих колебаний (рис. 3.18, б).

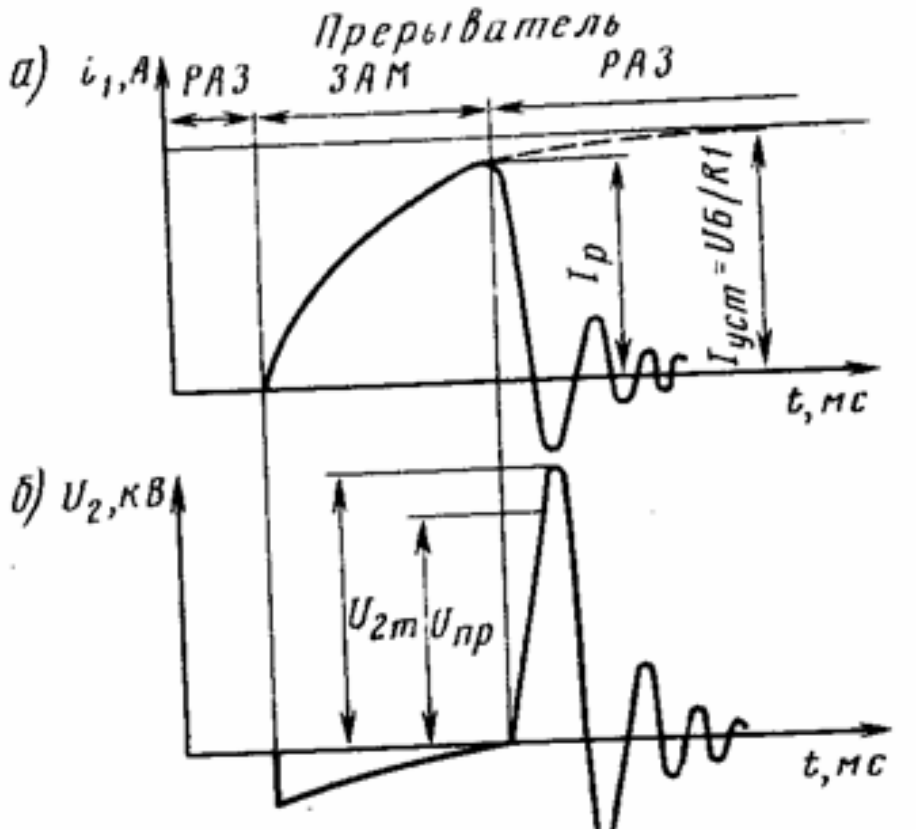


Рис. 3.18. Переходные процессы в системе зажигания:
а - изменение первичного тока; б - изменение вторичного напряжения.

3.5.4. Пробой искрового промежутка свечи.

Для зажигания рабочей смеси электрическим способом необходимо образование электрического разряда между двумя электродами свечи, которые находятся в камере сгорания. Протекание электрического разряда в газовом промежутке может быть представлено вольтамперной характеристикой (рис. 3.19).

Участок Оаб соответствует несамостоятельному разряду. Напряжение возрастает, ток остается практически неизменным и по силе ничтожно мал. При дальнейшем увеличении напряжения скорость движения ионов по направлению к электродам увеличивается. При начальном напряжении $U_н$ начинается ударная ионизация, т. е. такой разряд, который, однажды возникнув, не требует для своего поддержания воздействия постороннего ионизатора. Если поле равномерное, то процесс поляризации сразу перерастает в пробой газового промежутка. Если поле неравномерное, то вначале возникает местный пробой газа около электродов в местах с наибольшей напряженностью электрического поля, достигшей критического значения. Этот тип разряда называется короной и соответствует устойчивой части вольтамперной характе-

ристики *bc*. При дальнейшем повышении напряжения корона захватывает новые области межэлектродного пространства, пока не произойдет пробой (точка *c*), когда между электродами проскакивает искра. Это происходит при достижении напряжением значения пробивного напряжения $U_{пр}$.

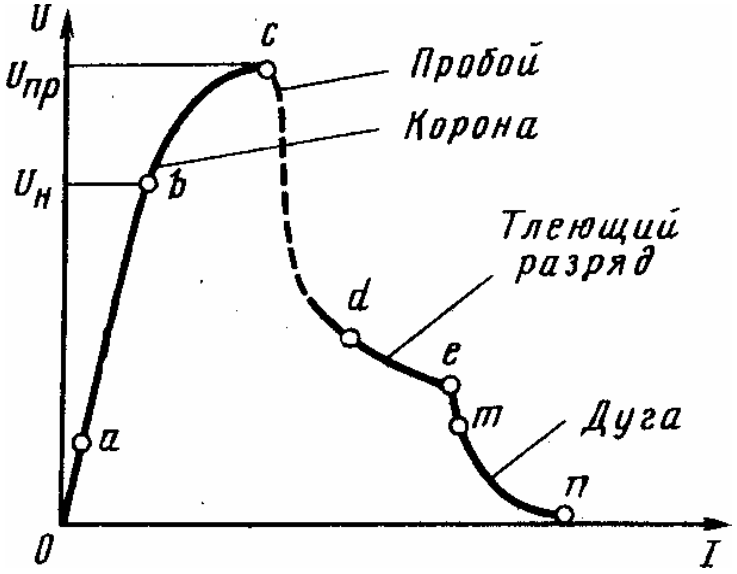


Рис. 3.19. Вольтамперная характеристика разряда в воздушном промежутке.

Проскочившая искра создает между электродами сильно нагретый и ионизированный канал. Температура в канале разряда радиусом 0,2...0,6мм превышает 10000 К.

Сопротивление канала зависит от силы протекающего по нему тока. Дальнейшее протекание процесса зависит от параметров газового промежутка цепи источника энергии. Возможен или тлеющий разряд (участок *de*), когда токи малы, или дуговой разряд (участок *тп*), когда токи велики вследствие большой мощности источника тока и малого сопротивления цепи. Оба эти разряда являются самостоятельными и соответствуют устойчивым участкам вольтамперной характеристики. Тлеющий разряд характеризуется токами $10^{-5}…10^{-1}$ и практически неизменным напряжением разряда. Дуговой разряд характеризуется значительными токами при относительно низких напряжениях на электродах.

На 2-м этапе был рассмотрен процесс формирования вторичного напряжения при отсутствии электрического разряда в свече. В действительности пробивное напряжение $U_{пр}$ ниже максимального вторичного напряжения U_{2m} развиваемого системой зажигания, и поэтому, как только возрастающее напряжение достигает значения $U_{пр}$, в свече происходит искровой разряд, и колебательный процесс обрывается (рис. 3.20).

Электрический разряд имеет две составляющие: емкостную и индуктивную. Емкостная составляющая искрового разряда представляет собой разряд энергии, накопленной во вторичной цепи, обусловленной ее емкостью C_2

Емкостной разряд характеризуется резким падением напряжения и резкими всплесками токов, по своей силе достигающих десятков ампер (см. рис. 3.20). Несмотря на незначительную энергию емкостной искры $C_2U^2пр/2$, мощность, развиваемая искрой, благодаря кратковременности процесса может достигать десятков и даже сотен киловатт. Емкостная искра имеет яркий голубоватый цвет и сопровождается специфическим треском.

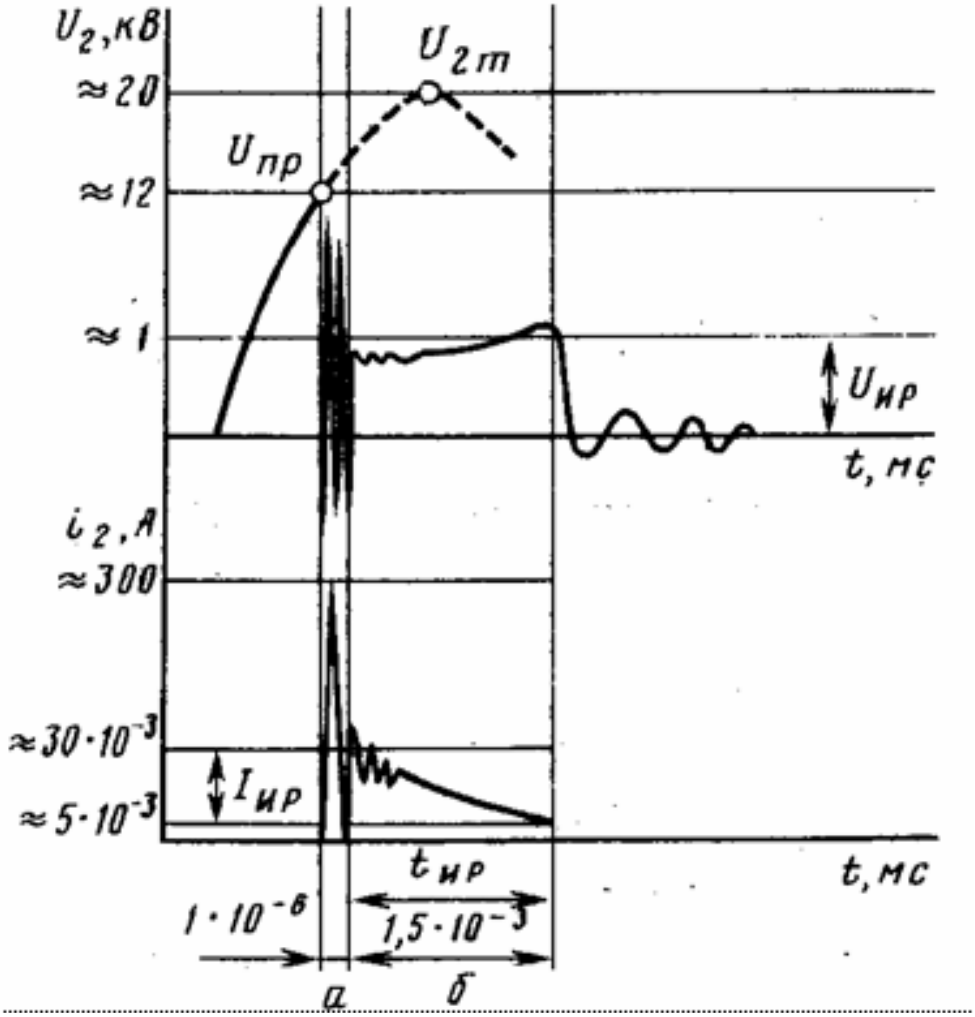


Рис. 3.20. Изменение напряжения и тока искрового разряда:
а и б — соответственно емкостная и индуктивная фазы разряда;
$t_{ир}$ *— время индуктивной составляющей разряда;*
$I_{ир}$ *— амплитудное значение тока индуктивной фазы разряда;*
$U_{ир}$ *— напряжение индуктивной фазы разряда*

Высокочастотные колебания (10^6—10^7 Гц) и большой ток емкостного разряда вызывают сильные радиопомехи и эрозию электродов свечи. Для уменьшения эрозии электродов свечи (а в неэкранированных системах и для уменьшения радиопомех) во вторичную цепь (в крышку распределителя, в бегунок, в наконечники свечи, в провода) включается помехоподавляющий резистор. Поскольку искровой разряд происходит раньше, чем вторичное напряжение достигает своего максимального значения U_{2m}, а именно при напряжении $U_{пр}$, на емкостный разряд расходуется лишь небольшая часть магнитной энергии, накопленной в сердечнике катушки зажигания.

Оставшаяся часть энергии выделяется в виде индуктивного разряда. При условиях, свойственных работе распределителей и разрядников, и при обычных параметрах катушек зажигания индуктивный разряд всегда происходит на устойчивой части вольтамперной характеристики, соответствующей тлеющему разряду. Ток индуктивного разряда 20...40 мА. Напряжение между электродами свечи сильно понижается и слагается в основном из катодного падения напряжения $U_к$ и падения напряжения в положительном столбе Ed:

$$U_{ир} = U_к + Ed$$

где $U_{ир}$ *– напряжение искрового разряда;* E *– напряженность поля в положительном столбе;* $ES \cong 100$*В/мм;* d *– расстояние между электродами. Падение напряжения* $U_к$ *=220...330 В.*

Продолжительность индуктивной составляющей разряда на 2...3 порядка выше емкостной и достигает в зависимости от типа катушки зажигания, зазора между электродами свечи и режима работы двигателя (пробивного напряжения) 1...1,5 мс. Искра имеет бледный фиолетово-желтый цвет. Эта часть разряда получила название *хвоста искры.*

За время индуктивного разряда в искровом промежутке свечи выделяется энергия, которая может быть определена аналитически:

$$W_{ир} = \int_0^{t_{ир}} U_{ир} i_2(t) dt.$$

На практике широко используется приближенная формула для подсчета энергии искрового разряда

$$W_{ир} = \frac{1}{2} U_{ир} I_{ир} t_{ир}.$$

Расчеты и эксперименты показывают, что при низких частотах вращения двигателя энергия индуктивного разряда $W_{ир}$==15...20 мДж для обычных классических автомобильных систем зажигания.

3.6. ХАРАКТЕРИСТИКИ КЛАССИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЗАЖИГАНИЯ

3.6.1. Максимальное вторичное напряжение, развиваемое системой зажигания

Аналитические выражения для вторичного напряжения, приведенные выше, показывают, что значение U_{2m} зависит от силы тока разрыва $I_р$ и, следовательно, определяется режимом работы и типом двигателя (n и z), работой прерывателя ($t_з$ или $\tau_з$), параметрами первичной цепи (L_1, R_1, C_1, $U_б$), а также зависит от параметров вторичного контура и внешней нагрузки (C_2 , W_2/W_1 , $R_ш$, $C_ш$).

Зависимость U_{2m} *от частоты вращения вала и числа цилиндров двигателя.* Время замкнутого состояния контактов:

$$t_з = \alpha_з/(6n) \qquad (3.7)$$

где $\alpha_з$ – угол замкнутого состояния контактов; n – частота вращения валика распределителя.

Из выражения (3.7) видно, что с возрастанием частоты вращения валика время $t_з$ уменьшается и ток разрыва становится меньше. Уменьшение тока разрыва влечет за собой снижение напряжения U_{2m}. Увеличение числа цилиндров двигателя при всех прочих равных условиях и параметрах системы зажигания также уменьшает время замкнутого состояния контактов t, и снижает вторичное напряжение [см. выражение (3.2) выше].

На рис. 3.21 приведены характеристики максимального вторичного напряжения и тока разрыва в функции частоты вращения коленчатого

вала двигателя и числа цилиндров двигателя. Характеристики носят монотонный убывающий характер, причем закон убывания жестко детерминирован параметрами первичной цепи ($\tau_1 = L_1/R_1$) и углом замкнутого состояния контактов.

Уменьшение напряжения U_{2m} на низких частотах вращения связано с дугообразованием на контактах прерывателя.

Увеличения тока разрыва можно добиться за счет увеличения угла замкнутого состояния контактов, что достигается соответствующим профилированием кулачка. Однако по механическим соображениям увеличить время замкнутого состояния контактов прерывателя больше чем до 60... 65 % времени полного периода ($\tau_з$ =0,60….0,65) практически невозможно.

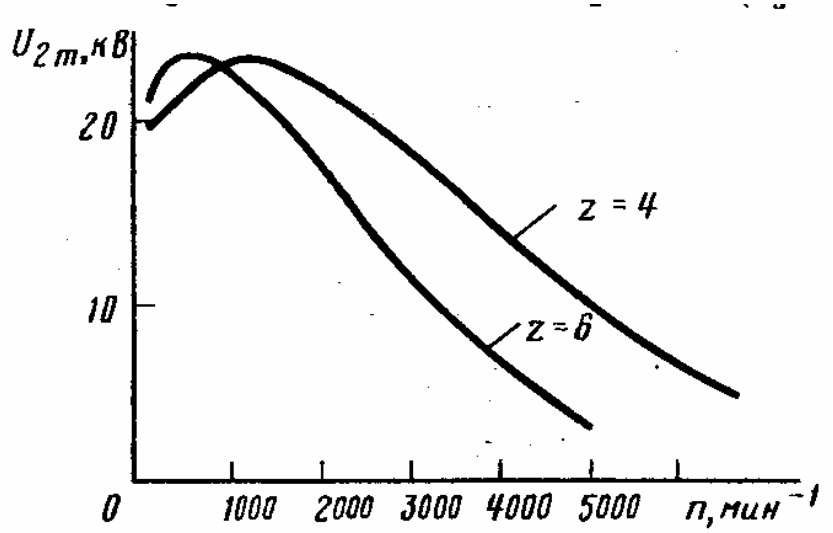


Рис. 3.21. Типовые рабочие характеристики классической системы зажигания для четырех- и шестицилиндровых двигателей

На некоторых зарубежных двигателях применяют две независимые схемы с двумя прерывателями и катушкой, работающими на один распределитель. При этом относительная замкнутость может достигать 0,85. Первичный ток и скорость его нарастания зависят от постоянной времени первичного контура $\tau_1 = L_1/R_1$ (рис. 3.22).

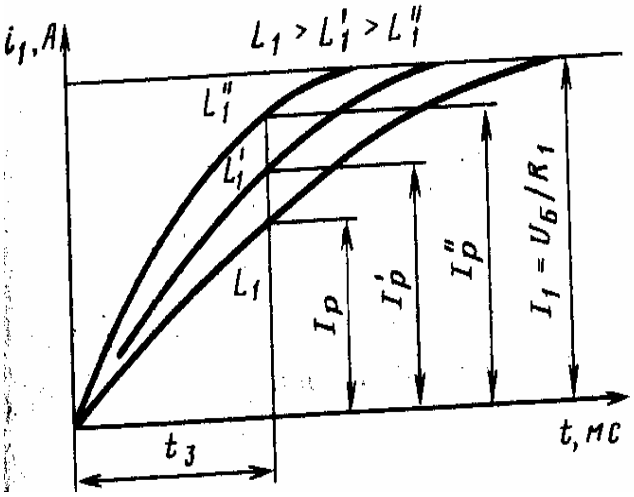


Рис. 3.22. Кривые нарастания первичного тока при различных значениях индуктивности первичной цепи

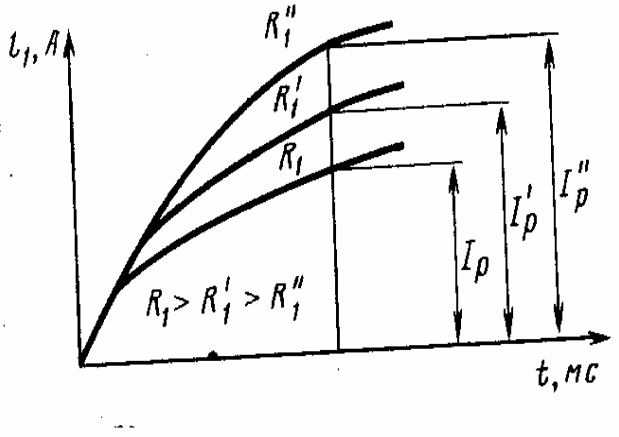


Рис. 3.23. Кривые нарастания первичного тока при различных значениях сопротивления первичной цепи

Чем меньше этот показатель, тем быстрее нарастает ток до установившегося значения. Скорость нарастания тока:

$$\frac{di_1}{dt} = \frac{U_6}{L_1} e^{-\frac{R_1}{L_1}t} \quad \text{и при } t=0 \left(\frac{di}{dt}\right)_{t=0} = \frac{U_6}{L_1}$$

обратно пропорциональна индуктивности L_1.

Однако уменьшение индуктивности целесообразно лишь до определенного значения, ниже которого начинает уменьшаться запас электромагнитной энергии, определяющий вторичное напряжение. Уменьшение индуктивности также сильно уменьшает значение вторичного напряжения при низких частотах, вследствие чего ухудшаются условия пуска. При неизменной индуктивности первичной цепи сила тока разрыва увеличивается с уменьшением сопротивления R_1, так как увеличивается установившееся значение тока. При различных значениях сопротивления первичной цепи скорость нарастания тока в начальный момент одинакова, т.е.

$$\frac{di_1}{dt} = \frac{U_6}{L_1}.$$

Однако чем меньше сопротивление R_1, тем выше идет кривая тока (рис. 3.23). Таким образом, для увеличения максимального вторичного напряжения необходимо уменьшать сопротивление первичной цепи. Однако чрезмерное уменьшение R_1 приводит к увеличению установившегося тока, что ухудшает работу контактов при низких частотах вращения и приводит к перегреву катушки.

Зависимость U_{2m} от емкости первичного конденсатора C_1. Из выражения (3.6) видно, что с уменьшением емкости конденсатора C_1 вторичное напряжение должно увеличиваться, и при $C_1=0$ оно достигает максимального значения. Такой характер изменения U_{2m} возможен лишь при больших значениях C_1. В диапазоне малых емкостей по мере их уменьшения вторичное напряжение также уменьшается. Это явление объясняется тем, что при малой емкости не устраняется дугообразование на контактах, вызывающее значительные потери энергии. Характер зависимости вторичного напряжения от емкости конденсатора первичной цепи (рис. 3.24) показывает, что существует оптимальное значение C_1 определяемое условиями гашения дуги на контактах. На практике C_1 выбирается в пределах 0,15.. 0,35мкф.

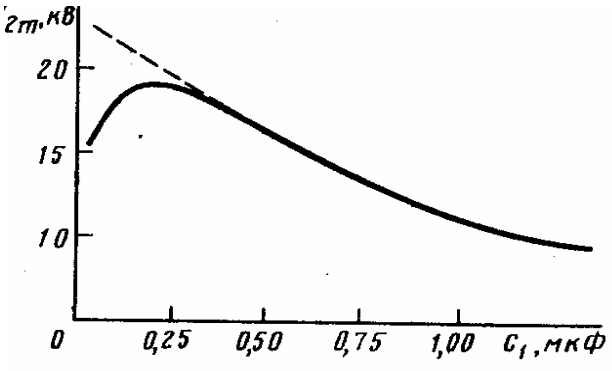


Рис. 3.24. *Зависимость вторичного напряжения от емкости конденсатора в первичной цепи.*

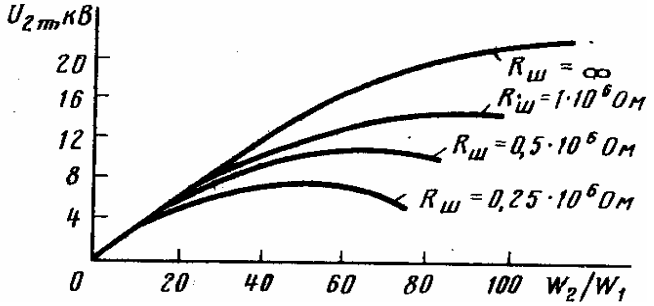


Рис. 3.25. *Зависимость вторичного напряжения от коэффициента трансформации катушки зажигания.*

Зависимость U_{2m} *от вторичной емкости.* Значение максимального вторичного напряжения также зависит от емкости вторичных проводов, (емкости свечи зажигания, собственной емкости вторичной обмотки катушки зажигания и практически не может быть меньше 40... 75 пкФ. В случае экранирования системы зажигания емкость вторичной цепи увеличивается до 150 пкФ. Следовательно, экранирование, применяемое для существенного снижения радиопомех, значительно уменьшает значение вторичного напряжения.

Зависимость U_{2m} *от шунтирующего сопротивления.* В процессе работы двигателя изолятор свечи нередко покрывается нагаром, который создает проводящий мостик между электродами свечи. Этот проводящий слой нагара можно представить в виде резистора $R_ш$, шунтирующего воздушный зазор. Из-за наличия $R_ш$ нарастающее после размыкания контактов вторичное напряжение создает во вторичной цепи ток, называемый *током утечки,* который, циркулируя во вторичной цепи до пробоя искрового промежутка, вызывает падение напряжения во вторичной обмотке и уменьшение подводимого к свече напряжения.

При малом шунтирующем сопротивлении ток утечки возрастает и вторичное напряжение может понизиться до значения меньшего пробивного напряжения, т. е. искра не возникнет.

Зависимость U_{2m} *от коэффициента трансформации.* В случае отсутствия утечек напряжение U_{2m} при прочих равных параметрах возрастает с увеличением коэффициента трансформации катушки W_2/W_1, стремясь к своему пределу:

$$U_{2m} = I_p\sqrt{L_1 / C_2}.$$

При бесконечно большом сопротивлении нагара вся электромагнитная энергия трансформируется в электростатическую энергию вторичной цепи. Однако если $R_ш \neq \infty$, то каждому значению шунтирующего сопротивления соответствует оптимальный коэффициент трансформации, при котором напряжение вторичной цепи максимально (рис. 3.25). Оптимальным для существующих систем зажигания при индуктивности первичной обмотки 6,5….9,5 мГн является отношение W_2/W_1=55….95

3.6.2. Энергия искрового разряда

Энергия искрового разряда

$$W_{ир} = \frac{L_1 I_p^2}{2}\eta_э, \qquad (3.8)$$

где $\eta_э$ *— коэффициент передачи запасенной энергии в энергию искры.*

Коэффициент передачи энергии $\eta_э$ в основном определяется степенью магнитной связи между первичной и вторичной обмотками катушки зажигания. В рамках традиционной конструкции цилиндрической катушки с аксиально расположенными первичной и вторичной обмотками и разомкнутым магнитопроводом коэффициент $\eta_э$==0,35...0,45.

Из выражения (3.8) следует, что увеличение энергетического уровня искрового разряда сводится к необходимости повышения индуктивности L_1 катушки зажигания либо тока разрыва I_1. Для классических систем зажигания ток разрыва I_1 ограничивается пределом 3,5...4,0 А. Превышение этого предела приводит к резкому снижению ресурса контактов.

Увеличение частоты вращения двигателя приводит к снижению энергии искрового разряда вследствие уменьшения тока разрыва, а значит, и запаса электромагнитной энергии в первичной цепи. Увеличение индуктивности L_1 ограничивается условием обеспечения бесперебойного искрообразования на максимальных частотах вращения:

$$L_1 = -\frac{U_б}{I_{1уст}} \frac{120\tau_з}{n_{max} z} \frac{1}{\ln\left[1 - \frac{U_{2m} n_{max}}{U_{2m} n_{min}}\right]}$$

где n_{max} *— максимальная частота вращения двигателя;* U_{2m} n_{max} *— необходимый уровень максимального вторичного напряжения на максимальной частоте вращения;*

$U_{2m}n_{min}$*— то же на минимальной частоте вращения.*

3.6.3. Недостатки классической системы зажигания

Классическая система зажигания обладает рядом достоинств, к которым следует отнести простоту конструкции и невысокую стоимость аппаратов зажигания, возможность регулирования угла опережения зажигания в широких пределах без изменения вторичного напряжения. Вместе с тем классическая система зажигания имеет ряд принципиальных недостатков, связанных с работой механического прерывателя и механических автоматов опережения:

- недостаточное вторичное напряжение на высоких и низких частотах вращения коленчатого вала двигателя и, как следствие, малый коэффициент запаса по вторичному напряжению, особенно для многоцилиндровых и высокооборотных двигателей, а также при экранировке высоковольтных проводов;
- недостаточная энергия искрового разряда из-за ограничения уровня запасенной энергии в первичной цепи;
- чрезмерный нагрев катушки зажигания в зоне низких частот вращения коленчатого вала двигателя и особенно при остановившемся двигателе, если замок зажигания включен и контакты прерывателя замкнуты;
- нарушение рабочего зазора в контактах в процессе эксплуатации и, как следствие 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 увеличению эмиссии отработавших газов.

3.7. ЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ ЗАЖИГАНИЯ

3.7.1. Основные направления создания перспективных систем зажигания

Развитие современного двигателестроения происходит в направлении повышения экономичности и снижения удельного веса при одновременном увеличении частоты вращения коленчатого вала двигателя и степени сжатия. Степень сжатия составляет 7,0...8,5, но на перспективных автомобилях устанавливаются двигатели со степенью сжатия 9,0...10 и более. Такое повышение степени сжатия требует значительного увеличения вторичного напряжения, необходимого для пробоя искрового промежутка свечи.

Частота вращения коленчатого вала автомобильных двигателей также неуклонно возрастает и в настоящее время достигает 5000...8000 мин$^{-1}$, диапазон рабочих температур двигателя лежит в пределах -40... +100 °С. Стремление повысить топливную экономичность двигателя заставляет использовать обедненную смесь, для надежного воспламенения которой требуется большая длина искрового промежутка свечи, т. е. требуется большая энергия разряда. Искровой промежуток свечи лежит в пределах 0,8...1,2 мм.

Таким образом, к современной системе зажигания предъявляются более высокие требования:

- увеличение вторичного напряжения при одновременном повышении надежности;
- энергия искрового разряда должна быть достаточной для воспламенения смеси на всех режимах работы двигателя (15....50 мДж и более);
- устойчивое искрообразование в различных эксплуатационных условиях (загрязнение свечей, колебания температуры, колебания напряжения бортовой сети и т. д.);
- устойчивая работа при значительных механических нагрузках; простота обслуживания системы;
- минимальное потребление энергии источников питания;
- минимальные масса, габариты и низкая стоимость.

Кроме того, необходимо учитывать, какие показатели двигателя являются наиболее важными: мощность, топливная экономичность, малая токсичность отработавших газов.

Такие требования не могут быть удовлетворены при использовании классической (батарейной) системы зажигания, так как в этом случае практически единственным реальным способом увеличения вторичного напряжения является увеличение силы тока разрыва. Однако увеличение силы тока разрыва свыше определенного значения (3,5...4,0 А при 12 В) приводит к ненадежной работе контактов прерывателя и резкому сокращению их срока службы.

Перечисленные требования к системе зажигания вызвали необходимость создания новых устройств, позволяющих улучшить условия воспламенения рабочей смеси в цилиндрах.

Одним из путей повышения развиваемого системой зажигания вторичного напряжения является применение полупроводниковых приборов, работающих в качестве управляемых ключей, служащих для прерывания тока в первичной обмотке катушки зажигания. Наиболее широкое использование в качестве полупроводниковых реле нашли мощные транзисторы, способные коммутировать токи амплитудой до 10 А в индуктивной нагрузке без какого-либо искрения и механического повреждения, характерных для контактов прерывателя. Функцию электронного реле могут выполнять также и силовые тиристоры, но широкой промышленной реализации в системах зажигания с накоплением энергии в индуктивности они не имели.

Первыми полупроводниковыми электронными системами батарейного зажигания явились контактно-транзисторные системы зажигания (КТСЗ).

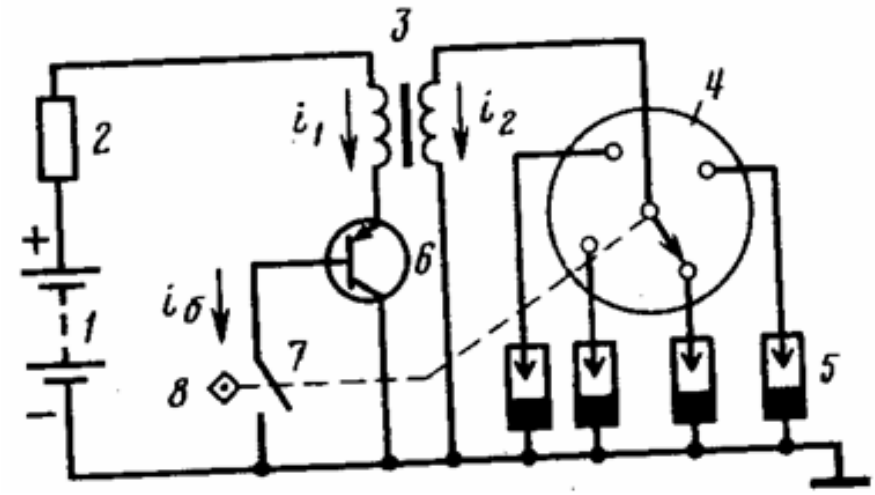


Рис. 3.26. Принципиальная схема КТСЗ:
1 – аккумуляторная батарея; 2 – добавочное сопротивление; 3 – катушка зажигания; 4 – распределитель зажигания; 5 – свечи; б – транзистор; 7 – контакты прерывателя; 8 – кулачок

Принципиальная схема (рис. 3.26) в основном состоит из тех же элементов, которые характерны для обычной контактной системы, и отличается от нее наличием транзистора и отсутствием конденсатора, ранее шунтировавшего контакты прерывателя. Как видно из схемы, контакты прерывателя коммутируют только незначительный ток $i_б$ управления транзистором, при этом ток силовой цепи (ток разрыва) коммутируется транзистором. Таким образом, применение транзистора в системе зажигания позволило принципиально устранить основной недостаток классической системы зажигания. Сила тока разрыва уже не ограничивается стойкостью контактов прерывателя, а зависит лишь от параметров транзистора.

По конструктивному исполнению контактно-транзисторные системы различны и могут содержать от одного до нескольких полупроводниковых усилительных элементов. Таким образом, в системах с контактным управлением режим работы контактов прерывателя значительно облегчен и поэтому их срок службы больше. Однако этим системам по-прежнему присуши недостатки классической системы зажигания (механическое изнашивание контактов прерывателя и ограниченный скоростной режим из-за вибрации контактов прерывателя и т. п.).

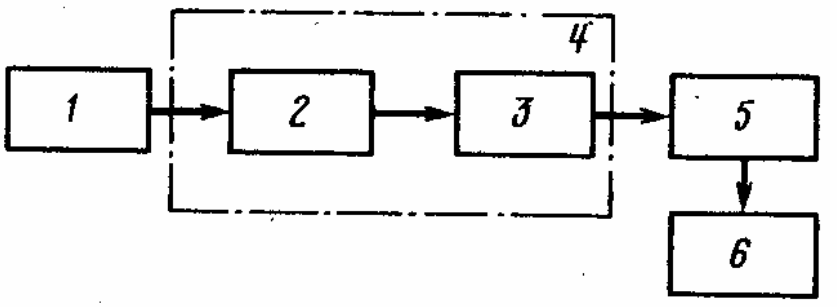


Рис. 3.27. Структурная схема БСЗ:
1 - бесконтактный датчик углового положения коленвала; 2 и 3 – соответственно формирующий и выходной каскады; 4 - коммутатор (устройство управления); 5 - катушка зажигания; 6 - распределитель

Системами, не имеющими перечисленных недостатков, являются системы с бесконтактным управлением моментом искрообразования (бесконтактные системы зажигания – БСЗ) – системы зажигания I поколения. В БСЗ контакты прерывателя заменены бесконтактным датчиком, который вырабатывает электрические импульсы в строго заданные мо-

менты времени. Эти импульсы поступают в схему управления током (импульсный усилитель) первичной обмотки катушки зажигания. Бесконтактные датчики не имеют механического контакта и поэтому практически не подвержены износу.

В наиболее простых БСЗ (рис. 3.27) устройство управления 4 преобразует сигналы с датчика 1, осуществляя усиление его мощности, и производит коммутацию выходного каскада, нагрузкой которого служит катушка зажигания 5, т. е. реализуются характеристики, присущие ранее рассмотренным системам зажигания. При этом используются те же механические автоматы опережения зажигания, что и в классической, и в контактно-транзисторной системах.

Электронное устройство управления 4, функционально и конструктивно объединяющее формирователь 2 и выходной каскад 3, в отечественной литературе принято называть *коммутатором.*

По аналогии с углом замкнутого состояния контактов в классических и КТСЗ угол включенного состояния выходного транзистора $\alpha_{вкл}$, в этих БСЗ постоянный и не зависит от частоты вращения вала двигателя и напряжения батареи. Следовательно, время накопления $t_н$ энергии в зависимости от частоты вращения коленчатого вала изменяется по жесткому закону:

$$t_н = \alpha_{вкл} /(6n),$$

т. е. время накопления энергии увеличивается с уменьшением частоты вращения n. В такой системе увеличение тока разрыва неизбежно приводит к увеличению мощности, рассеиваемой катушкой зажигания, добавочным сопротивлением и транзисторным коммутатором в диапазоне малых и средних частот вращения вала двигателя. Отмеченный недостаток не позволяет в рамках БСЗ с постоянным углом включенного состояния выходного транзистора вести дальнейшую интенсификацию выходных характеристик. Поэтому следующим этапом в развитии БСЗ явилось создание систем зажигания с нормируемым временем накопления энергии. В таких системах во всем диапазоне частот вращения вала двигателя и значений питающего напряжения определяется минимальное время, за которое ток разрыва $I_р$ достигает силы, необходимой для индуцирования требуемого значения вторичного напряжения.

Нормирование времени накопления энергии позволяет снизить мощность потерь в катушке и коммутаторе при низких и средних частотах вращения вала двигателя при одновременном увеличении тока разрыва и соответственно энергии искрового разряда, обеспечить оптимальный закон изменения вторичного напряжения и энергии искры в зависимости от частоты вращения вала двигателя, стабилизировать выходное напряжение системы при колебаниях напряжения питания.

Бесконтактные системы с нормированием времени накопления энергии реализуются путем введения в коммутатор специального электронного регулятора времени накопления.

Основными недостатками БСЗ являются механический способ распределения энергии по цилиндрам двигателя, несовершенство механических автоматов угла опережения зажигания, погрешности момента искрообразования из-за механической передачи от коленчатого вала двигателя к распределителю.

Наиболее полно отвечают всем требованиям, предъявляемым к современным системам зажигания, системы с электронным регулированием угла опережения зажигания. Среди способов реализации этих систем можно выделить два основных: аналоговый и цифровой. Аналоговый способ относится к электронным системам зажигания более раннего поколения, когда элементная база, используемая для их построения,

имела малую степень интеграции (системы зажигания II поколения). Цифровые системы зажигания (системы зажигания III поколения) являются более совершенными. В основу их работы положены принципы, широко применяемые в вычислительной технике. Цифровые регуляторы представляют собой небольшие, различные по сложности вычислители, порядок работы которых задается специальным алгоритмом. Структурная схема цифровой системы зажигания представлена на рис. 3.28.

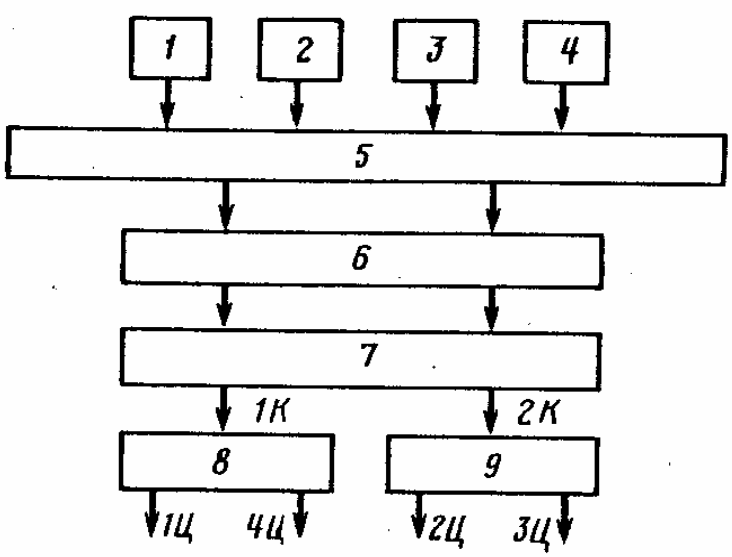


Рис. 3.28. Структурная схема цифровой системы зажигания с электронным распределением энергии по цилиндрам двигателя:

1 - датчик положения коленчатого вала двигателя; 2 - датчик частоты вращения коленчатого вала двигателя; 3 - датчик нагрузки; 4 -датчик температуры; 5 - интерфейс; 6 - вычислительное устройство; 7 - двухканальный коммутатор; 8 и 9 - двухвыводные катушки зажигания.

Во время работы двигателя датчики 1...4 передают информацию о частоте вращения и нагрузке двигателя, о положении коленчатого вала, о температуре двигателя и температуре окружающей среды. На основании этой информации, обработанной в интерфейсе 5, вычислительное устройство б определяет оптимальный для данного режима угол опережения зажигания. В рамках цифровой системы зажигания возможно применение как традиционного механического распределителя, в функции которого остается лишь высоковольтное распределение энергии по цилиндрам Ц...4Ц двигателя, так и электронного распределения. В этом случае для четырехцилиндрового двигателя, например, применяется двухканальный коммутатор 7, два выходных транзистора которого попеременно коммутируют ток в первичных обмотках двухвыводных или одной четырехвыводной катушке зажигания. При этом блок управления формирует два сигнала, управляющих работой коммутатора.

И все же цифровые системы зажигания явились переходным этапом. Последним достижением в этой области стали микропроцессорные системы (системы IV поколения). Они практически не отличаются от управляющих ЭВМ, широко применяемых в настоящее время во многих областях науки и техники. Микропроцессорные системы управления автомобильным двигателем условно можно отнести к системам зажигания, так как функция непосредственного зажигания является в них частью решения вопроса об оптимизации характеристик двигателя, однако именно в комплексных системах управления двигателем и заключен прогресс системы зажигания.

3.7.2. Особенности рабочего процесса транзисторной системы зажигания

Замена механического прерывателя в классической системе батарейного зажигания транзисторным обусловила ряд особенностей в протекании рабочих процессов и вызвала дополнительные требования к параметрам катушки зажигания. Рабочий процесс транзисторной системы зажигания протекает в два этапа.

1. ***Отпирание транзистора.*** После подачи тока управления в базу выходного транзистора последний отпирается и через проводящий участок коллектор — эмиттер подключает первичную обмотку катушки зажигания к источнику постоянного тока. Начинается процесс нарастания первичного тока и запасания энергии в магнитном поле катушки зажигания. Первичный ток нарастает по экспоненциальному закону:

$$i_1 = \frac{U_б - U_{кэ\ нас}}{R_1}\left(1 - e^{-\frac{R_1}{L_1}t}\right), \qquad (3.9)$$

где $U_{кэ\ нас}$ — падение напряжения на участке коллектор — эмиттер насыщенного транзистора; $U_{кэ\ нас}$ = 0,5 ... 0,7 В для германиевых транзисторов и 1 ... 1,5 В для кремниевых транзисторов.

Выражение (3.9) первичного тока аналогично выражению (3.1), с той только разницей, что в нем учтены потери в насыщенном полупроводниковом ключе.

Ток разрыва $I_р$ в момент выключения выходного транзистора зависит от параметров первичной цепи катушки зажигания R_1, L_1 и от времени его включенного состояния:

Для контактно-транзисторной и бесконтактной систем зажигания с постоянным углом накопления энергии аналитическое выражение тока разрыва примет вид:

$$I_р = \frac{U_б - U_{кэ\ нас}}{R_1}\left(1 - e^{-\frac{R_1}{L_1}\frac{\tau_з \cdot 120}{zn}}\right). \qquad (3.10)$$

Выражение (3.10) с учетом потерь в выходном транзисторе ($U_{кэ\ нас}$) аналогично выражению (3.2) для классической системы зажигания. В системах зажигания с нормированием времени накопления энергии ток разрыва определяется амплитудой тока ограничения, если $t_н \geq t_{н\ мин}$ где $t_{н\ мин}$ — время нарастания первичного тока до амплитудного значения тока ограничения. При $t_н \leq t_{н\ мин}$ ток разрыва $I_р$ может быть определен из выражения (3.10).

2. ***Запирание и отсечка транзистора.*** Характерной особенностью переходных процессов в транзисторной системе зажигания является их зависимость от электрических характеристик и инерционных свойств транзистора. Процессы запирания и отсечки (полное запирание) транзистора могут влиять на вторичное напряжение катушки зажигания. В зависимости от характера нагрузки транзистора (активная, емкостная, индуктивная или смешанная) движение его рабочей точки в процессе запирания имеет различный характер. Рабочая точка характеризует изменение мгновенного значения тока коллектора $i_к$ и напряжения

$U_{кэ}$ транзистора.

После запирания транзистор переходит в режим отсечки, начинается процесс обмена энергии между магнитным и электрическим полями катушки зажигания и в первичной обмотке возникают затухающие колебания с максимальной амплитудой U_{1m}.

Потери энергии в транзисторе приводят к снижению рабочей и пусковых показателей катушки зажигания и определяются из выражения

$$W_{тр} = W_{тр\,э} + W_{тр\,к}\int_0^{t_{сп}} U_{бэ}(i)i_б(u)\mathrm{d}t +$$

$$+\int_0^{t_{сп}} u_{кб}(i)i_к(u)\mathrm{d}t \approx \int_0^{t_{сп}} u_{кэ}(i)i_э(u)\mathrm{d}t,$$

где $W_{тр\ э}$ и $W_{тр\ к}$ — энергия, рассеиваемая соответственно на эмиттерном и коллекторном переходах транзистора в режиме запирания; u, i — мгновенные значения соответственно напряжения и тока в режиме запирания транзистора; $t_{си}$ — время, за которое соответствующий ток (базы, коллектора или эмиттера) изменяется от $I = I_р$ до $I = 0$.

Для $i_к$ и $i_э$ время $t_{си}$ характеризует длительность запирания транзистора. Процессы, происходящие в первичной и вторичной цепях, обычно рассматриваются в предположении, что за время запирания транзистора потери энергии в нем не превышают 2... 6 % энергии, запасенной в магнитном поле катушки зажигания. Пренебрегая этими потерями, транзистор можно считать идеальным коммутирующим ключом. При таком условии и отсутствии цепи защиты транзистора рабочие процессы в первичной и вторичной цепях протекают аналогично процессам в классической батарейной системе.

3.7.3. Принципы построения узлов бесконтактных систем зажигания для автомобильных ДВС.

Датчики углового положения коленчатого вала двигателя. Для работы любой системы зажигания необходима информация о положении коленчатого вала двигателя. При этом датчик углового положения вала должен выдерживать достаточно суровые условия работы в отсеке двигателя, обладать высокой надежностью, должен функционировать при очень низкой частоте вращения и иметь низкую стоимость. Известен ряд бесконтактных датчиков, в основу работы которых положены различные физические явления: магнитоэлектрические, на эффекте Холла, высокочастотные, оптоэлектронные, токовихревые, на эффекте Виганда, фотоэлектрические.

Исходя из стоимости производства, требований к точности момента искрообразования, помехозащищенности, стойкости к внешним воздействиям два первых типа датчиков получили наибольшее применение и производятся у нас в стране и за рубежом крупносерийно.

Магнитоэлектрические датчики. Наиболее распространенным типом магнитоэлектрического датчика является генераторный датчик коммутаторного типа с пульсирующим потоком. Принцип действия такого датчика заключается в изменении магнитного сопротивления магнитной цепи, содержащей магнит и обмотку, при изменении зазора с помощью распределителя потока (коммутатора). На рис. 3.29 показана принципиальная схема магнитоэлектрического датчика коммутаторного типа.

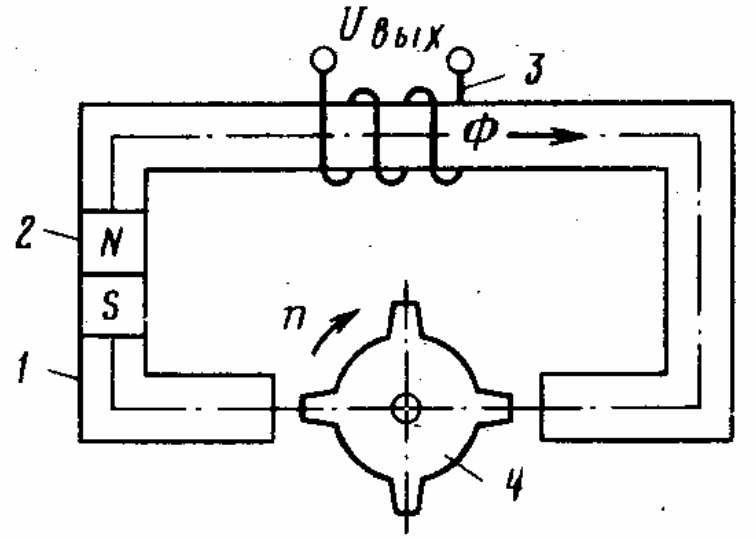


Рис. 3.29 Принципиальная схема коммутаторного датчика:
1 – магнитная цепь (статор); 2 – магнит;
3 – обмотка; 4 – распределитель потока (коммутатор)

При вращении зубчатого ротора в обмотке статора в соответствии с законом индукции возникает переменное напряжение

$$U_{вых} = kwn\frac{d\Phi}{d\alpha}, \qquad (3.11)$$

где k – коэффициент, зависящий от характеристик магнитной цепи; w – количество витков обмотки; n – частота вращения распределителя потока;

$$\frac{d\Phi}{d\alpha}$$

изменение потока Ф в зависимости от угла поворота.

Когда один из зубцов ротора *4* приближается к полюсу статора 1, в обмотке *3* нарастает напряжение. При совпадении фронта зубца ротора с полюсом статора (со средней линией обмотки) напряжение на обмотке достигает максимума, затем быстро меняет знак и увеличивается в противоположном направлении до максимума (рис. 3.30) при удалении зубца.

Из формулы 3.11 видно, что пиковое значение $U_{вых}$ линейно изменяется с частотой вращения распределителя потока. На рис. 3.31 показан характер изменения сигнала $U_{вых}$ по углу поворота коленчатого вала при разной частоте вращения n распределителя потока. Нетрудно видеть что напряжение очень быстро изменяется от положительного максимума до отрицательного, поэтому нулевой переход (точка 0) между двумя максимумами может быть использован рядя управления системой зажигания при получении точного момента искрообразования. Однако точку перехода через ноль сложно детектировать с помощью электроники, так как схема будет чувствительна к сигналам помехи, т. е. не будет удовлетворять требованиям помехозащищенности. Поэтому для получения момента искрообразования используют точки *a* и *b*, которые выбираются на допустимых низких уровнях. При этом обеспечивается нечувствительность схемы детектирования к помехам и на-

дежное срабатывание схемы в период пуска двигателя.

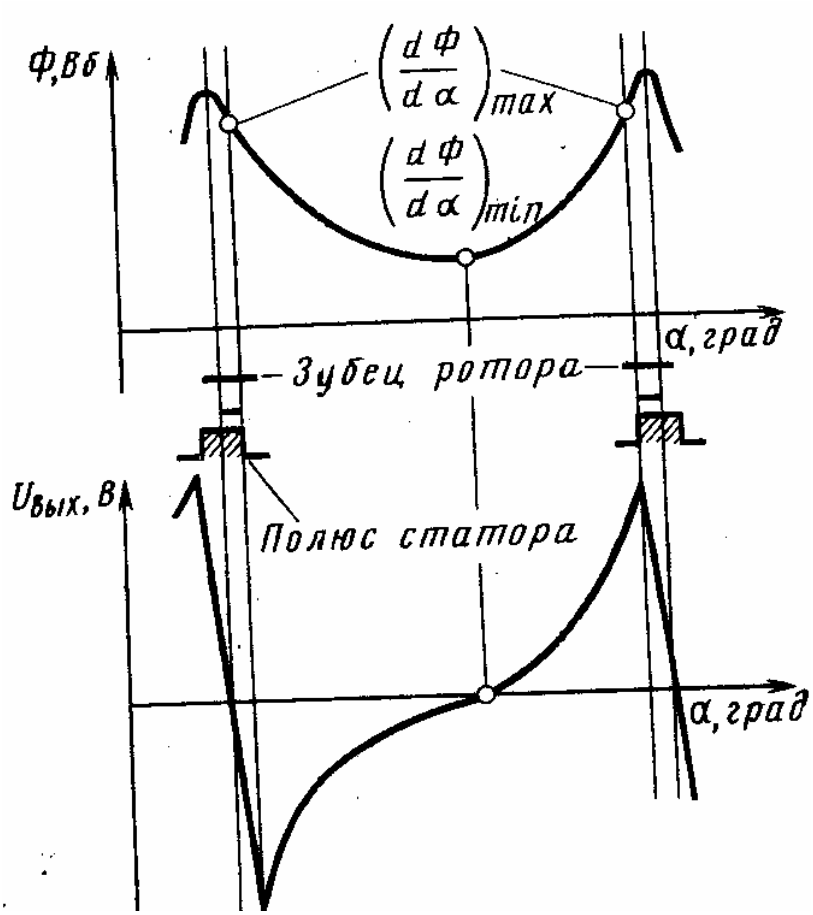


Рис. 3.30 Магнитный поток Ф и напряжение обмотки $U_{вых}$ в зависимости от угла поворота α распределителя потока.

Распределитель потока, или зубчатый ротор, устанавливается на распределительный валик распределителя зажигания и изготавливается из мягкой стали. Число зубцов зависит от числа цилиндров двигателя. Необходимое поле создает постоянный магнит.

Рассмотренная магнитная система генераторного датчика чувствительна к влиянию изменений зазора, происходящих из-за конструктивных допусков, вибраций, передаваемых от двигателя деталям, входящим в состав магнитной цепи, что приводит к недопустимому асинхронизму момента искрообразования по цилиндрам двигателя. Поэтому на практике применяется симметричная магнитная система, которая обеспечивает для каждого положения распределителя потока средний зазор, являющийся суммой элементарных зазоров. Принципиальная схема генераторного датчика коммутаторного типа с симметричной магнитной системой для четырехцилиндрового двигателя представлена на рис. 3.32.

Разработка постоянных магнитов, выполненных на основе новых магнитных материалов, таких, как магнитоэласты, магниторезина, позволила резко снизить стоимость и массу датчика, увеличить его надежность.

Другим типом магнитоэлектрических датчиков, нашедших применение в автомобильных системах зажигания, является датчик с переменным потоком.

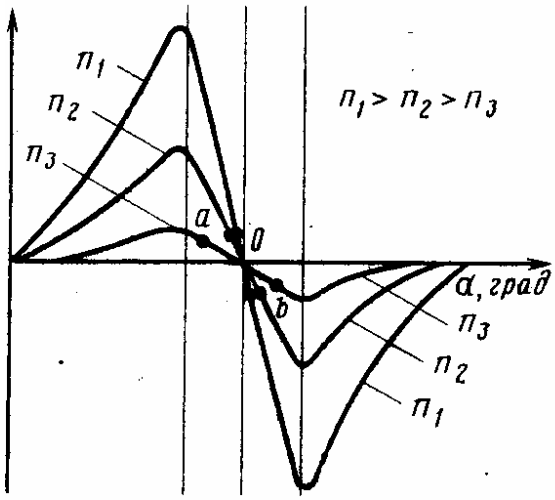


Рис. 3.31. Характер изменения сигнала датчика по углу поворота коленчатого вала двигателя при различной частоте вращения n распределителя потока.

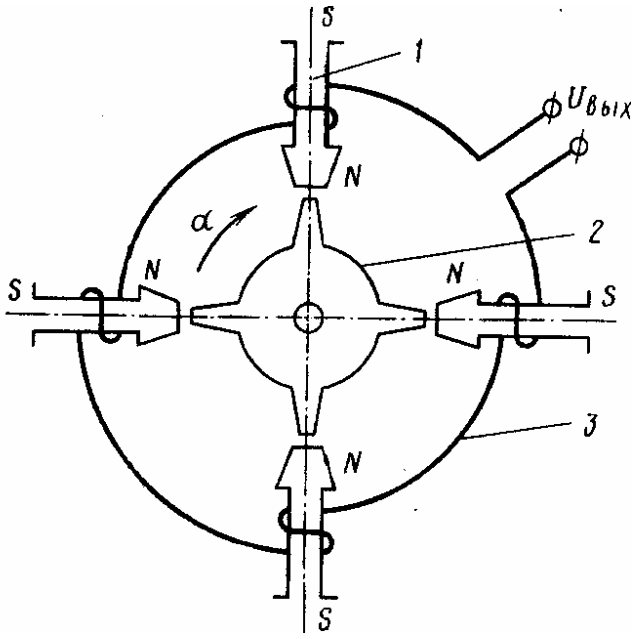


Рис. 3.32. Принципиальная схема генераторного датчика коммутаторного типа:

1 - магнитная цепь (статор с постоянным магнитом); 2 - обмотка; 3 - распределитель потока.

Он состоит из неподвижной катушки и постоянного магнита, жестко связанного с валиком распределителя зажигания, причем число пар полюсов в магните равно числу цилиндров двигателя. Такие магнитные системы называются датчиками с вращающимися магнитами (рис. 3.33). Работа датчика характеризуется знакопеременным магнитным потоком и симметричной формой выходного напряжения (рис. 3.34). Сигнал датчика с вращающимся магнитом требует более тщательной обработки в цепи детектирования с целью компенсации электрического смещения момента искрообразования в зоне низких частот вращения распределительного валика.

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

$$e_x = \frac{kIB}{h},$$

где k *— постоянная Холла,* $м^2/А$; $k = \chi q$; χ *— подвижность носителейтока,* $м^2/В$; q *— удельное сопротивление материала пластины, Ом.*

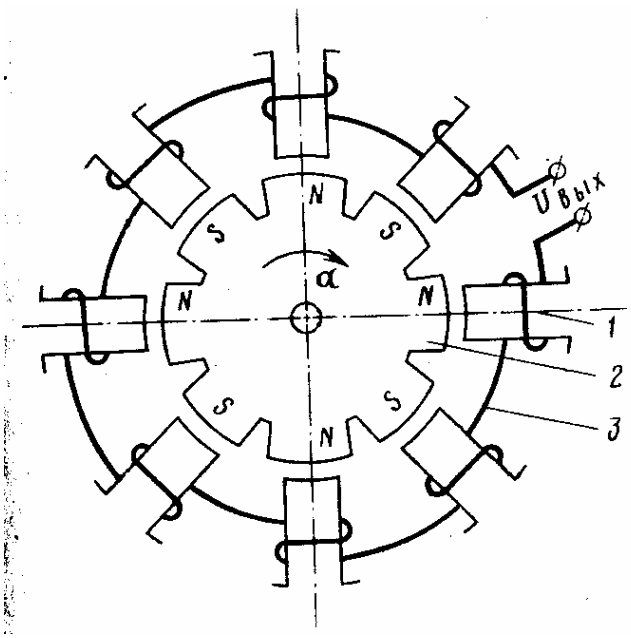


Рис. 3.33 Принципиальная схема магнитоэлектрического датчика с вращающимся магнитом для четырехцилиндрового двигателя:
1 - статор; 2 - магнит;
3 - обмотка

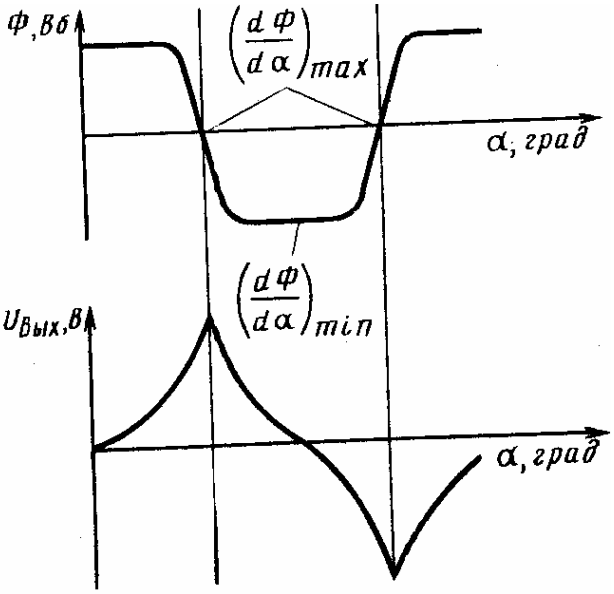


Рис. 3.34 Магнитный поток Ф и напряжение обмотки $U_{вых}$ в зависимости от угла поворота магнитного ротора.

Чувствительность элемента Холла зависит от соотношения между длиной и шириной пластины и повышается при уменьшении ее толщины. Для пленки толщина h достигает10^{-6} м, для пластины из полупроводникового кристалла 10^{-4} м. Для изготовления элементов Холла используются германий, кремний, арсенид галлия (GaAs), арсенид индия (InAs), антимонид индия (InSb).

Электродвижущая сила самоиндукции Холла очень мала и поэтому должна быть усилена вблизи кристалла для того, чтобы устранить влияние радиоэлектрических помех. Поэтому конструктивно и технологически элемент Холла и преобразовательная схема, содержащая усилитель У, пороговый элемент St, выходной каскад VT и стабилизатор напряжения СТ, выполняются в виде интегральной микросхемы, которая называется *магнитоуправляемой интегральной схемой* (рис. 3.35).

Очевидно, что путем изменения магнитного поля от 0 до B_{max} с помощью магнитного экрана на выходе магнитоуправляемой интегральной схемы можно получить (при подключении к ее выходу соответствующей нагрузки) и дискретный сигнал высокого или низкого уровня. Объединив магнитоуправляемую схему с магнитной системой в жестко сконструированный пластмассовый корпус, получают микропереключатель на эффекте Холла, который устанавливается в традиционный распределитель (рис. 3.36), например, на поворотный механизм вакуумного автомата. Замыкатель *2* (ротор), жестко связанный с валиком распределителя *4*, выполнен из магнито-проводящего материала и содержит число полюсов-экранов *3*, равное числу цилиндров двигателя. При прохождении экранов в зазоре между магнитоуправляемой схемой *1* и магнитом *5* происходит периодическое шунтирование магнитного потока, и на выходе микропереключателя формируется сигнал об угловом положении

коленчатого вала двигателя в виде прямоугольных импульсов. Фронт сигнала практически не зависит от частоты вращения экрана и, следовательно, задержка совсем незначительна по сравнению с задержкой, например, генераторного датчика. Таким образом, на выходе датчика формируется сигнал, представленный на рис. 3.37. Интегральная схема является, как и все электронные компоненты, чувствительной к воздействиям внешних условий. Устанавливаемая в распределитель зажигания схема должна выдерживать жесткие требования для изделий автомобильного применения, устанавливаемых в моторном отсеке на двигателе.

Коммутаторы. Электронным коммутатором бесконтактной системы зажигания называется устройство, выполняющее следующие основные функции:

- формирование выходного токового импульса необходимой амплитуды и длительности, подаваемого к первичной обмотке катушки (или катушек) зажигания для обеспечения заданного уровня высокого напряжения и энергии искры;
- обеспечение момента искрообразования в соответствии с заданным фронтом управляющего импульса, поступающего на вход коммутатора;
- стабилизация параметров выходного токового импульса при колебаниях напряжения бортовой сети автомобиля и воздействии внешних факторов.

Многие типы коммутаторов выполняют дополнительно защитные функции, такие, как:

- предотвращение протекания первичного тока через первичную обмотку катушки зажигания при включенном замке зажигания и неработающем двигателе;
- обеспечение стабильного питания и защита от импульсов перенапряжения в бортовой сети автомобиля в аномальных режимах микропереключателя на эффекте Холла;
- обеспечение ограничения амплитуды импульса вторичного напряжения в аномальных режимах (например, в режиме открытой цепи).

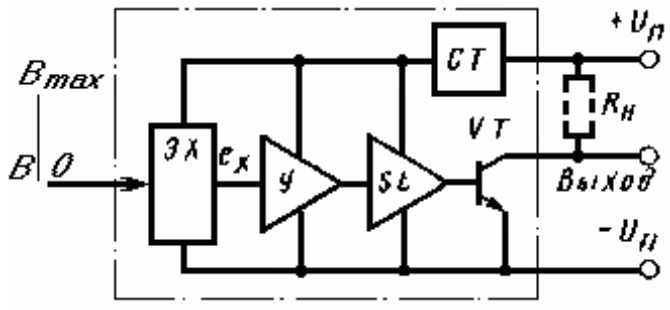


Рис. 3.35. Структурная схема магнитоуправляемой интегральной схемы на эффекте Холла:
ЭХ — чувствительный элемент Холла;
B — индукция поля (изменяется от 0 до Bmax;
У — усилитель; *St* — триггер Шмитта;
VT — транзистор выходного каскада с открытым выходом;
СТ — источник стабилизированного напряжения; *Rн* — нагрузка

На входные клеммы коммутатора поступают импульсы управления, формируемые бесконтактным датчиком углового положения коленчатого вала двигателя (УПКВ) или электронным регулятором опережения зажигания — коллектором. Выходом (нагрузкой) коммутатора является первичная обмотка катушки зажигания или обмотки катушек зажигания.

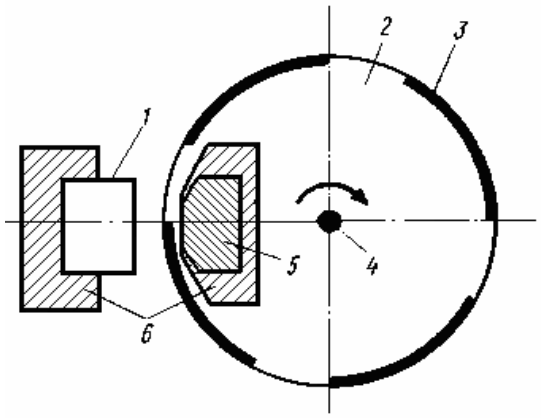


Рис. 3.36. Принцип размещения микропереключателя на эффекте Холла:
1 — магнитоуправляемая интегральная схема; *2* — ротор; *3* — экран; *4* — валик распределителя; *5* — магнит; *6* — корпус микропереключателя

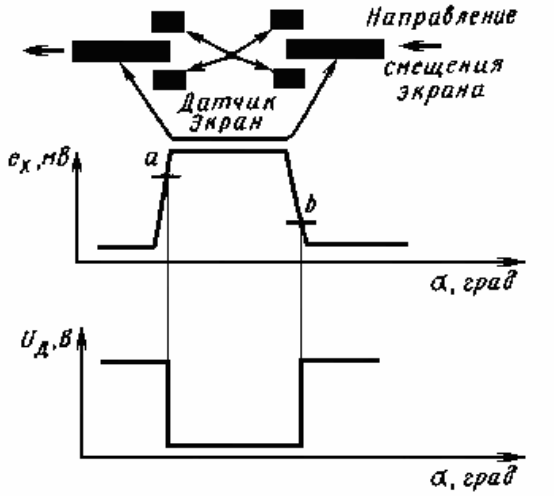


Рис. 3.37. Зависимость напряжения чувствительного элемента Холла e_x и напряжения на выходе датчика Холла Uд от угла поворота ротора **a**

В последнем случае электронный коммутатор выполняет функцию распределителя высоковольтных импульсов по цилиндрам двигателя. На рис. 3.38 представлена классификация транзисторных коммутаторов, применяемых на автомобилях. Множество коммутаторов БСЗ можно разделить на две подгруппы по принципиальному функциональному признаку:

- коммутаторы с постоянной, не зависящей от частоты вращения коленчатого вала скважностью выходного первичного импульса тока;
- коммутаторы с нормируемой скважностью выходного импульса тока.

Общим для обеих групп коммутаторов является наличие в выходной цепи мощного выходного транзистора, способного коммутировать токи амплитудой до 10 А в индуктивной нагрузке коллекторной цепи.

Рассмотрим основные схемы управления выходным транзистором системы зажигания и способы его защиты.

Для того чтобы включить выходной транзистор и обеспечить режим насыщения, необходимо подать в базу управляющий ток

$$i_у \geqslant \frac{I_р}{B_{ст}} k_н, \qquad (3.12)$$

где $I_р$ — сила коллекторного тока транзистора к моменту прерывания; $B_{ст}$ — статический коэффициент усиления по току транзистора; $k_н$ — коэффициент насыщения, который должен быть больше 1 (выбирается в пределах 2... 4 для ключевых каскадов).

В качестве источника управляющего тока используется каскад предварительного усиления, включенный, как правило, по схеме с общим коллектором (рис. 3.39, *а*). Такое включение является наиболее экономичным с точки зрения рассеиваемой мощности. Когда транзистор *VT1* открыт, в базу транзистора *VT2* течет ток

$$i_у = \frac{U_п - U_{кэ\ нас\ VT1} - U_{эб\ нас\ VT2}}{R_к} - \frac{U_{эб\ нас\ VT2}}{R_{бэ}},$$

причем значение $i_у$ должно удовлетворять условию (3.12).

Значения напряжений насыщения транзисторов *VT1* и *VT2* выбираются

из паспортных данных, резистор $R_к$ служит для ограничения коллекторного тока через транзистор *VT1*. Если транзистор *VT1* закрыт, управляющий ток i_y — 0 и база транзистора *VT2* зашунтирована на корпус через резистор $R_{бэ}$ следовательно, транзистор надежно заперт. Резистор $R_{бэ}$ улучшает условия запирания транзистора *VT2*. Сопротивление резистора $R_{бэ}$ в зависимости от типа транзистора выбирается от 10 до 1000 Ом.

Недостатком схемы является значительное изменение управляющего тока при колебаниях питающего напряжения. Так как номинал резистора $R_к$ рассчитывается при минимальном значении питающего напряжения, то при больших значениях питающего напряжения мощность, рассеиваемая на резисторе $R_к$ = 10... 12 Вт, если используются выходные транзисторы с $B_{ст}$ = 5 ... 10. При использовании выходных транзисторов, имеющих $B_{ст}$ = 100 ... 150, рассеиваемая мощность на резисторе $R_к$ снижается до 3 Вт.

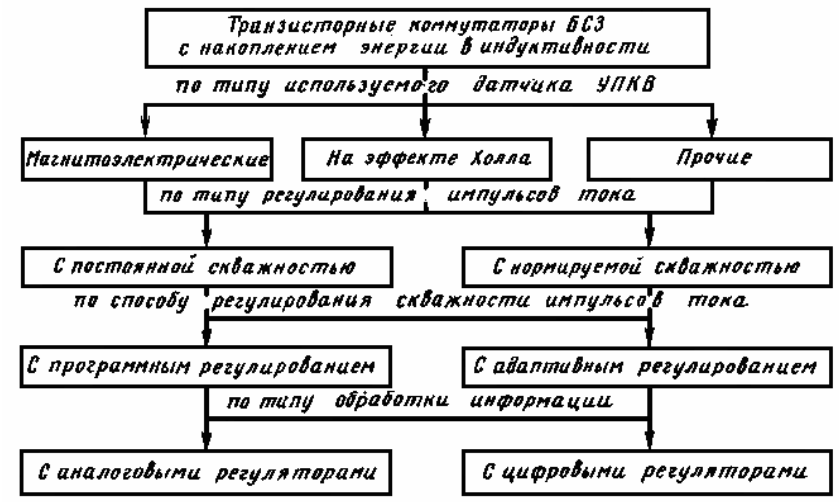


Рис. 3.38. Классификация транзисторных коммутаторов 150

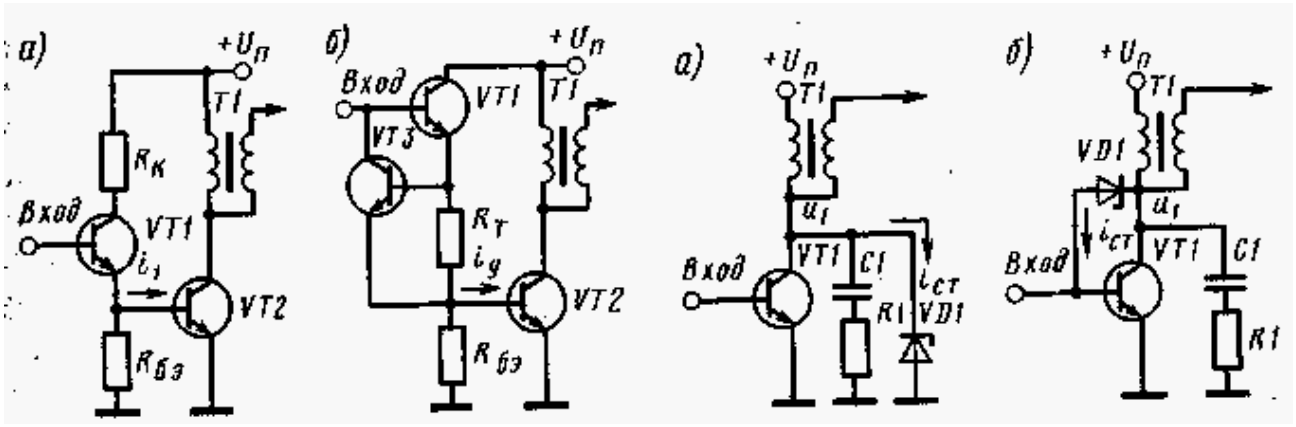


Рис. 3.39. Схема управления коммутационным транзистором системы зажигания:
а — каскад на эмиттерном повторителе;
б — **каскад** со стабилизатором тока

Рис. 3.40. Способы включения стабилитрона для защиты транзистора от перенапряжения:
а — параллельно участку коллектор — эмиттер;
б — параллельно участку коллектор—база

Мощность, рассеиваемая в каскаде предварительного усиления, может быть снижена приблизительно в 3 раза за счет стабилизации управ-

ляющего тока. С этой целью в схему введены токоизмерительный резистор R_T и транзистор обратной связи *VT3* (рис. 3.39, б). Падение напряжения на резисторе R_T от протекающего через него управляющего тока $I_{уст}$ приложено к участку база — эмиттер транзистора *VT3*. Любое отклонение значения управляющего тока От $I_{уст}$, например при колебаниях питающего напряжения, вызывает изменение напряжения на резисторе R_T и, следовательно, изменение режима работы транзистора *VT3*. При увеличении управляющего тока потенциал на коллекторе транзистора *VT3* начинает уменьшаться, транзистор *VT1* запирается, уменьшая тем самым ток управления до заданного уровня $I_{уст}$. При уменьшении тока управления ниже уровня $I_{уст}$ потенциал на коллекторе транзистора *VT3* возрастает, управляющий транзистор *VT1* отпирается в большей степени и ток управления возрастает до уровня $I_{уст}$. Таким образом обеспечивается стабилизация управляющего тока на уровне $I_{уст}$.

Способы защиты выходных транзисторов от перенапряжений. Необходимость в защите выходного транзистора от перенапряжений возникает в ряде специфических режимов работы системы зажигания. Например, редким открытой вторичной цепи является аварийным. В этом случае значительно увеличивается амплитуда импульса первичного напряжения, прикладываемого к участку коллектор — эмиттер выходного транзистора, что может вызвать пробой перехода. Кроме того, увеличивается и амплитуда импульса вторичного напряжения, что может вызвать пробой изоляции вторичной цепи катушки зажигания и, следовательно, отказ системы зажигания. Для ограничения амплитуды импульса первичного напряжения на допустимом для выходного транзистора уровне используют схемы защиты, выполненные, как правило, на нелинейных элементах — стабилитронах и варисторах.

Наиболее простой является схема, представленная на рис. 3.40, *а*. В этой схеме защитный стабилитрон *VD1* включен параллельно участку коллектор — эмиттер транзистора *VT1*. Напряжение пробоя стабилитрона *VD1* выбирают немного меньшим $U_{кэ\ доп}$ транзистора *VT1*. Увеличение первичного напряжения до $U_x < V_{СТ\ VD}$ не приводит к пробою стабилитрона. При увеличении первичного напряжения до $U_x > U_{СТ\ VD}$ стабилитрон пробивается и через него начинает протекать ток $i_{ст}$, при этом амплитуда импульса первичного напряжения ограничивается на допустимом для транзистора *VT1* уровне. Амплитуда импульса тока через стабилитрон составляет 2…4 А, что влечет за собой применение мощных стабилитронов.

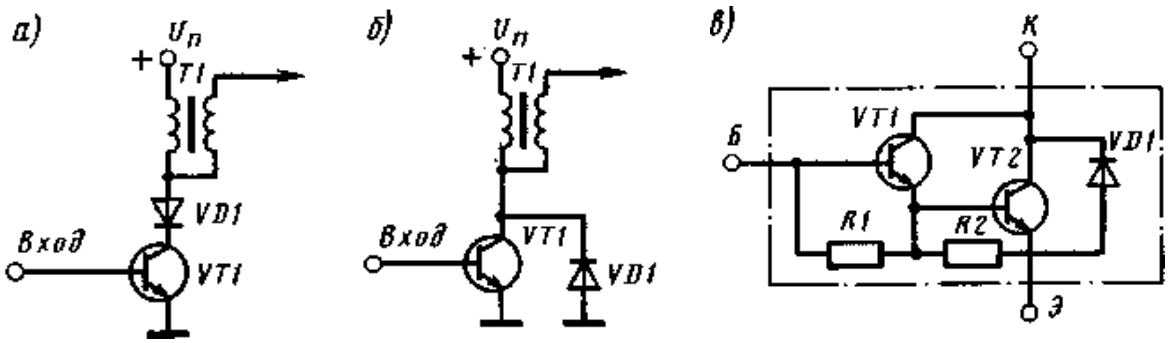


Рис. 3.41. Способы защиты транзистора от инверсного включения:
а — последовательное включение диода; *б* — параллельное включение диода; *в* — монолитный. транзистор Дарлингтона с защитным диодом

Создание новых силовых транзисторов, способных коммутировать большую импульсную энергию (более **200** мДж), а также стремление уменьшить габариты коммутатора позволили осуществить защиту выходного' транзистора *VT1* путем введения стабилитрона параллельно его базоколлекторному участку (рис. **3.40,** *б*). Этот способ позволяет уменьшить импульсный ток через стабилитрон в $B_{ст}$ раз ($B_{ст}$ — статический коэффициент, усиления по току выходного транзистора *VT1*).

При увеличении первичного напряжения до $U_1 > U_{ст}$ стабилитрон пробивается и в базу выходного транзистора втекает ток, который приоткрывает транзистор *VT1* на время действия импульса перенапряжения. Проводящий участок коллектор — эмиттер транзистора *VT1* шунтирует источник напряжения, ограничивая тем самым амплитуду первичного им» пульса на допустимом уровне.

Существуют также другие более сложные схемные решения, позволяющие еще больше снизить импульсный ток через стабилитрон.

Конденсатор *С1,* включенный параллельно участку коллектор — эмиттер выходного транзистора, служит для предотвращения выхода транзистора в область лавинного пробоя в процессе его запирания, а также является элементом ударного колебательного контура возбуждения, т. е. определяет величину и скорость нарастания вторичного напряжения, развиваемого системой зажигания. Резистор *R1* ограничивает емкостный ток через участок коллектор — эмиттер транзистора *VT1* в момент отпирания последнего, если конденсатор *С1* заряжен.

Защита выходного транзистора от инверсного включения. После запирания выходного транзистора в первичном контуре катушки зажигания возникает колебательный процесс. В течение действия отрицательной полуволны импульса первичного напряжения транзистор оказывается включенным в инверсном режиме, что недопустимо для некоторых типов транзисторов. Инверсное включение транзистора также возможно в случае перепутывания полярности аккумуляторной батареи.

Для защиты транзистора *VT1* от инверсного включения последовательно в выходную цепь коммутатора включают полупроводниковый диод *VD1* (рис. **3.41,** *а*), рассчитанный на прямой ток, равный по значению току разрыва. Однако последовательное включение силового диода имеет свои отрицательные стороны. Во-первых, увеличиваются тепловые потери в выходной цепи коммутатора; во-вторых, усложняется его конструкция и, наконец, в-третьих, значительно снижается сила тока разрыва в период пуска двигателя при сильно разряженной аккумуляторной батарее.

Другим способом защиты выходного транзистора *VT1* от инверсного включения является включение силового диода *VD1* параллельно участку коллектор — эмиттер транзистора (рис. **3.41,** *б*). При этом включении разрушается колебательный процесс после первой полуволны первичного напряжения. Процесс становится апериодическим. Параллельное включение диода позволяет уменьшить падение напряжения в выходной цепи коммутатора, рассеиваемую мощность и габариты. Защитный диод выполняется на одном кристалле с выходным транзистором. На рис. **3.41,** *в* приведена схема однокристального транзистора Дарлингтона, выполненного на транзисторах *VT1* и *VT2.* Параллельно участку коллектор — эмиттер включен мощный диод *VD1.*

Ограничение амплитуды импульса первичного тока. Функционально простые коммутаторы с постоянной скважностью (КПС) не содержат специального устройства ограничения тока. В системах зажигания, использующих КПС, применяется пассивное ограничение уровня тока за счет последовательного включения в нагрузочную цепь коммутатора добавочного сопротивления $R_{доб}$, которое закорачивается в режиме пуска.

Коммутаторы с нормируемой скважностью (КНС) используют активное ограничение уровня тока. На рис. **3.42** представлен один из наиболее распространенных вариантов схемы ограничения тока. Принцип действия схемы состоит в следующем. После отпирания выходной транзистор *VT3* вводится в насыщение током $i_у$, что обеспечивает низкое остаточное напряжение на выходе коммутатора. Процесс характеризуется нарастанием первичного тока. Пока ток, протекающий через выходной транзистор *VT3* и токоизмерительный резистор включенный последовательно в эмиттерную цепь транзистора, ниже допустимого уровня ограничения, транзистор, *VT2* заперт. При достижении током i_1, допустимого уровня транзистор *VT2* начинает открываться. Потенциал на его коллекторе понижается, что приводит к уменьшению силы тока управления $i_у$. Транзистор *VT3* выходит из режима насыщения в активный режим. Напряжение на выходе коммутатора возрастает до уровня, при котором поддерживается заданный ток, ограничения.

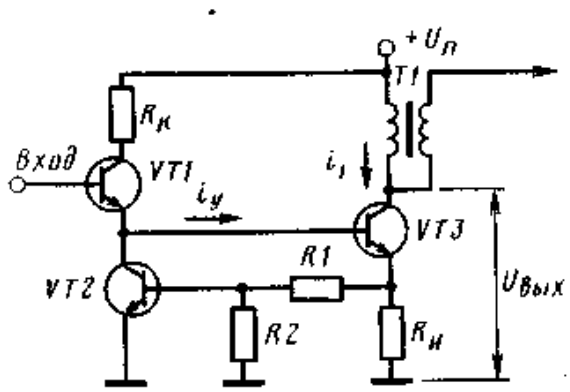


Рис. 3.42. Выходной каскад коммутатора с ограничителем амплитуды импульса первичного тока

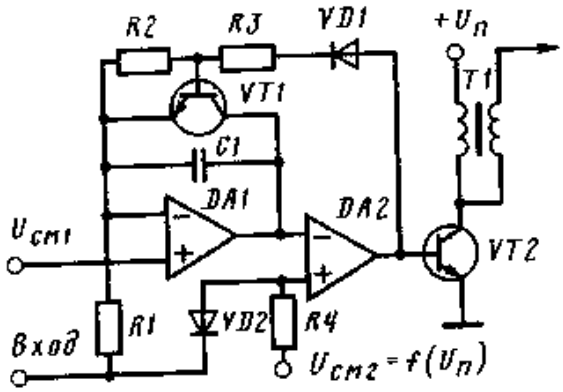


Рис. 3.43. Типовая схема программного регулятора времени накопления

Регулировка уровня ограничения тока производится резисторами *R1, R2* делителя во входной цепи транзистора *VT2.* Введение в коммутатор активного ограничителя тока позволяет не только защищать коммутационный транзистор от чрезмерного тока, но также стабилизировать ток разрыва при колебаниях питающего напряжения в широких пределах, тем самым обеспечивая неизменные выходные характеристики системы зажигания.

Однако активный режим работы связан с большим выделением тепловой мощности на выходном транзисторе (порядка 60... 80 Вт), что накладывает жесткие требования на продолжительность включенного состояния, выходного транзистора. Время включенного состояния или время накопления энергии должно регулироваться таким образом, чтобы минимизировать или исключить вообще нахождение выходного транзистора в режиме ограничения в рабочем диапазоне частот вращения вала двигателя. Эту задачу решают регуляторы времени накопления.

Программный регулятор времени накопления запасаемой энергии. Регулятор (рис. 3.43) содержит интегратор, выполненный на усилителе

DA1 и конденсаторе *C1*, устройство сброса на транзисторе *VT1*, диоде *VD1* и резисторах *R2*, *R3* и компаратор, выполненный на усилителе *DA2*.

Принцип работы схемы иллюстрируется временными диаграммами (рис. 3.44). В период действия низкого уровня сигнала датчика $U_{вх}$ конденсатор *C1* (см. рис. 3.43) интегратора *DA1* заряжается до максимального за период значения напряжения U_{C1} за счет смещения $U_{СМ1}$. При высоком уровне сигнала датчика конденсатор *C1* разряжается. Токи заряда и разряда соотносятся со скважностью сигнала датчика таким образом, что напряжение на выходе интегратора после разряда конденсатора опять достигает опорного значения $U_{СМ1}$. Если напряжение интегратора сравнивается в компараторе *DA2* с постоянным пороговым значением напряжения $U_{СМ2}$, на выходе компаратора формируется независимо от продолжительности периода сигнала датчика, сигнал определенной длительности времени $t_н$ перед следующим импульсом зажигания. Одновременно этот сигнал используется для того, чтобы быстро разрядить конденсатор *C1* через транзистор *VT1* и привести выход интегратора к начальному значению $U_{СМ1}$.

Так как необходимая продолжительность включения катушки зажигания зависит также от питающего напряжения, для коррекции продолжительности включения порог компаратора $U_{СМ2}$ делается зависящим от питающего напряжения.

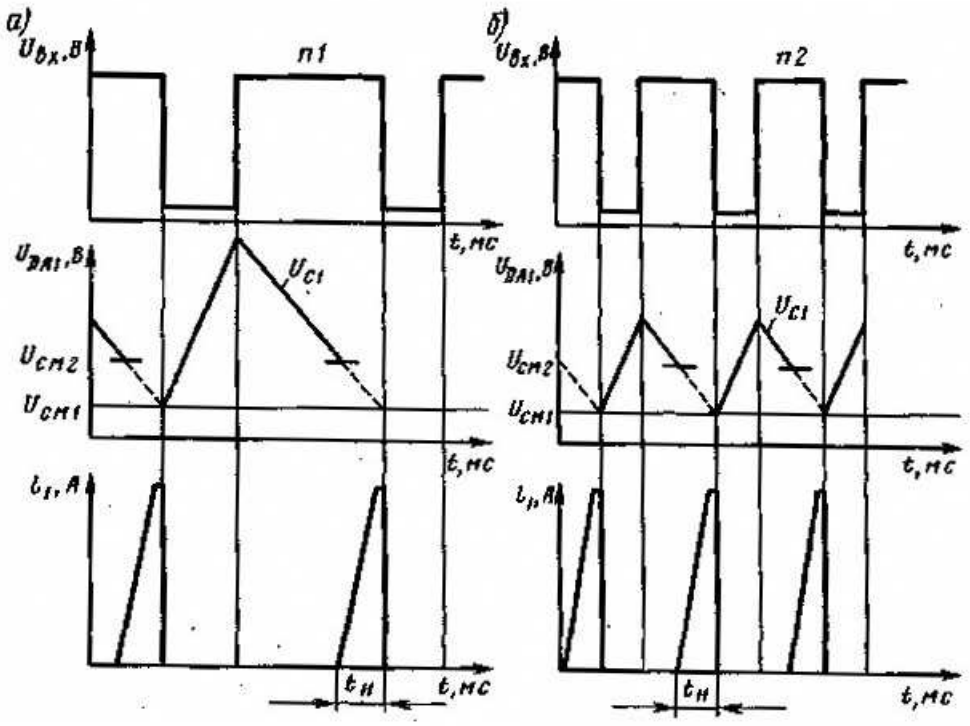


Рис. 3.44. Принцип регулирования времени накопления при различной частоте вращения вала двигателя ($n_1<n_2$):
а – n_1; б – n_2

Выбором постоянных времени заряда и разряда конденсатора и опорного уровня напряжения компаратора обеспечивается требуемый закон изменения скважности выходного импульса тока в зависимости от частоты следования входных импульсов.

Рассмотренный тип регулятора представляет собой регулятор с программным регулированием. Недостатком коммутаторов с программным

регулированием является невозможность учета всех факторов, влияющих на силу тока разрыва в катушке зажигания. К таким факторам можно отнести, например, разброс параметров первичной обмотки катушки зажигания *(Rl, L1)*, нестабильность скважности сигнала датчика в процессе эксплуатации, разброс номиналов элементов схемы при воздействии окружающей среды. Отсюда невысокая точность приближения параметров токового импульса к оптимальным значениям. Лучших результатов позволяют добиться коммутаторы с адаптивным регулированием скважности выходного импульса тока.

Адаптивный регулятор времени накопления. Типовая схема адаптивного регулятора (рис. 3.45) отличается от схемы программного регулятора наличием стабилизирующей обратной связи, которая позволяет поддерживать постоянство уровня тока в катушке зажигания независимо от воздействия многочисленных внешних факторов (например, напряжения питания) за счет коррекции скважности выходного токового сигнала.

Устройство коррекции представляет собой интегратор *(DA3, C2)*, выходное напряжение $U_{КОР}$ которого задает опорный уровень $U_{см2}$ компаратора *DA2*.

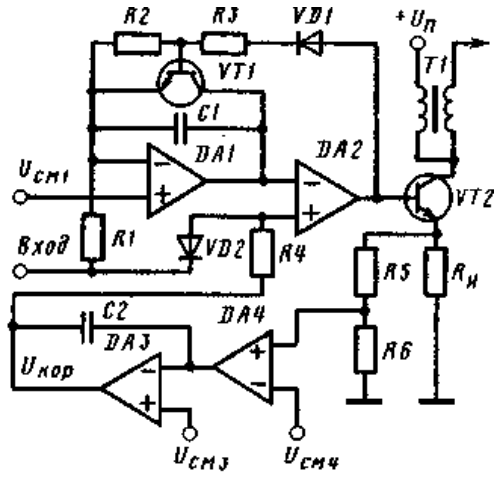


Рис. 3.45. Типовая схема адаптивного регулятора времени накопления

Если опорный уровень $U_{СМ2}$ изменяется, то изменяется и момент: срабатывания компаратора *DA2*. При более низком напряжении $U_{СМ2}$ катушка зажигания включается на более короткий период времени (рис. 3.46, *а*). При более высоком опорном напряжении $U_{см2}$ катушка включается на более продолжительный период времени (рис. 3.46, *б*).

Критерием для регулировки уровня является сигнал компаратора *DA4* (см. рис. **3.45**). Если амплитуда выходного тока достигает своего номинального значения, компаратор *DA4* включается и на его выходе формируется сигнал высокого уровня. Происходит разряд конденсатора *C2*, интегратора *DA3*, и напряжение $U_{кор}$ на его выходе уменьшается.

Низкому уровню напряжения на выходе компаратора *DA4* соответствует, медленный заряд конденсатора *C2* за счет источника $U_{см3}$, что приводит к; увеличению напряжения на выходе интегратора *BA3* и, следовательно, к увеличению напряжения $U_{см2}$.

Изменение периода следования управляющих импульсов сигналов датчика при ускорении или замедлении двигателя вносит погрешность в процесс регулирования. При резком увеличении частоты вращения двигателя возможно уменьшение периода накопления энергии относительно его, значения, получаемого при плавном изменении частоты. Это может привести к пропускам искрообразования. Для исключения этого явления расчетное значение скважности выходного токового импульса КНС выбирается таким образом, чтобы при максимальных ускорениях период накопления энергии не снижался ниже критического значения. Однако в установившемся режиме это приводит к излишнему рассеянию мощности.

Контроллеры. Контроллер представляет собой электронное устройство, предназначенное для управления углом опережения зажигания в функции ряда параметров двигателя. Он также обеспечивает управле-

ние электроклапаном экономайзера принудительного холостого хода (ЭПХХ) и в ряде случаев принимает на себя функцию регулирования накопления энергии в катушке зажигания. В состав электронной системы зажигания контроллер может входить как автономный конструктивно законченный узел либо как интегрированный с транзисторным коммутатором электронный блок.

Рассмотрим основные принципы электронного регулирования момента зажигания. Из всего многообразия систем зажигания с регулируемым углом опережения зажигания можно выделить два основных направления их реализации: системы с аппаратурным и программным принципами построения.

Алгоритм работы регуляторов угла опережения с аппаратурной реализацией ("жесткой" логикой) определяется логическими связями между ее элементами. При видоизменении характеристик угла опережения зажигания необходимо изменить эти связи, что вызывает определенные неудобства как на этапе проектирования таких устройств, так и при промышленном производстве, когда возможны модификации двигателей, требующие различных характеристик. Отсутствие гибкости, т. е. приспосабливаемости таких устройств к различным характеристикам, является их основным принципиальным недостатком.

Кроме того, такие регуляторы реально позволяют воспроизводить лишь относительно простые характеристики и не обеспечивают реализацию значительно более сложных оптимальных характеристик, имеющих целый ряд изломов, с положительными и отрицательными участками.

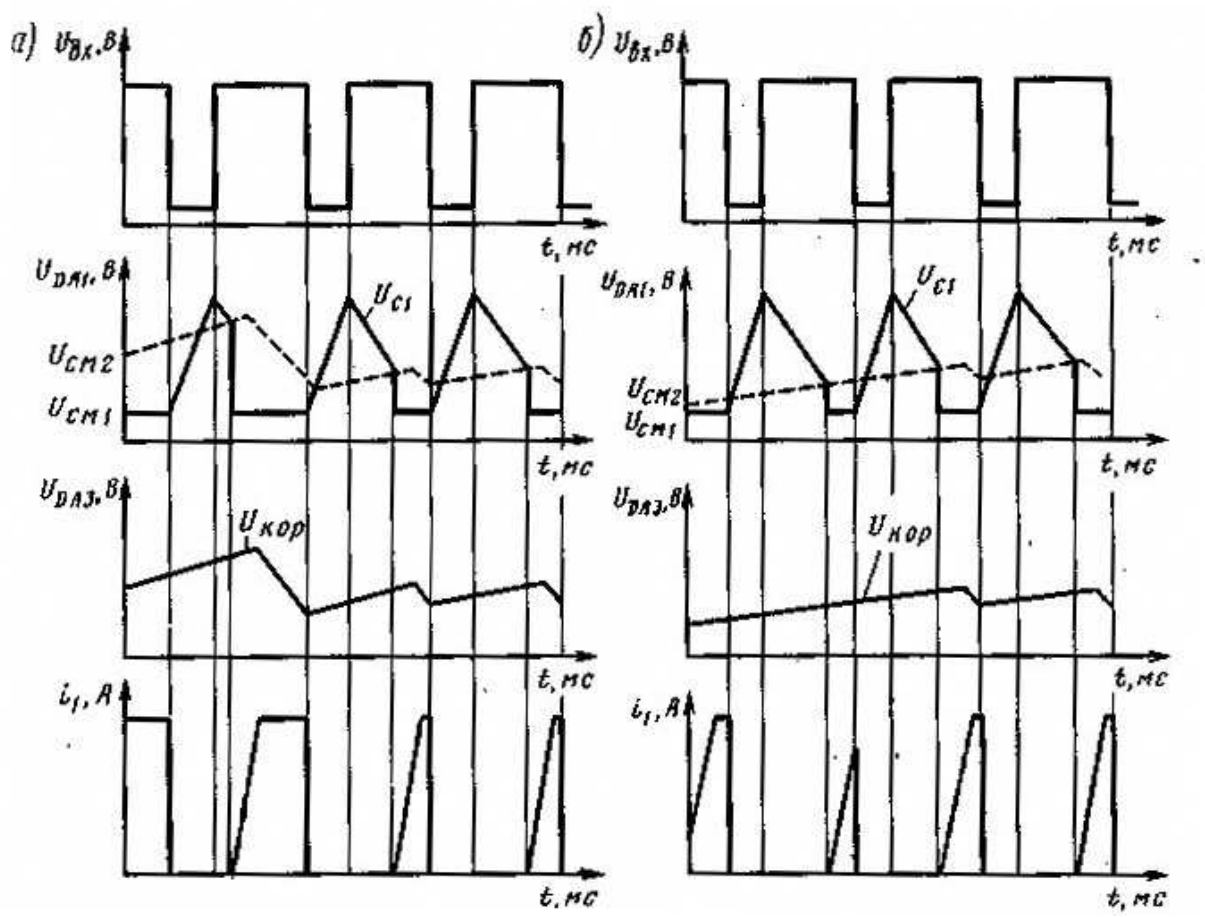


Рис. 3.46. Принцип работы схемы адаптации:
а — в случае превышения длительности импульса тока; *б* — при уменьшении амплитуды тока ниже номинального значения

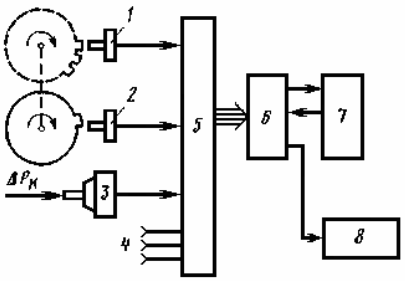
Значительно большими возможностями обладают системы управления углом опережения зажигания с памятью. В таких системах, как правило, программа работы определяется логическими связями между функциональными устройствами, а данные, определяющие индивидуальные особенности их характеристик, воспроизводимых системой, хранятся в ее памяти в виде комбинаций кодов чисел. Основным достоинством этого стандартного функционально законченного устройства является возможность длительного хранения большого массива информации (в том числе закодированной информации об угле опережения зажигания) и ее изменения на всех этапах разработки системы без существенных дополнительных затрат. Применение памяти дает возможность использовать цифровую систему зажигания на различных двигателях.

Структурная схема одного из вариантов системы с памятью приведена на рис. **3.47**. Зубчатый диск, закрепленный на коленчатом валу двигателя имеет равномерно расположенные по всей окружности зубья. При вращении диска электромагнитный датчик *1* частоты вращения вырабатывает серию импульсов, число которых определяет угловое положение коленчатого вала относительно в. м. т. Кроме того, на диске устанавливается дополнительный зуб, при совпадении оси которого с электромагнитным датчиком *2* начала отсчета на выходе последнего формируется импульсный сигнал при достижении поршнем первого цилиндра в.м.т.

Частота вращения коленчатого вала двигателя может определяться путем подсчета числа импульсов, поступающих с датчика 1 за эталонный промежуток времени, или путем подсчета числа импульсов от кварцевого генератора за период импульсов датчиков 1 и 2.

Нагрузка двигателя ΔP_K определяется при помощи датчика абсолютного давления (разрежения) *3,* устанавливаемого во впускном коллекторе. Аналоговый сигнал с датчика преобразуется в цифровую форму с помощью аналого-цифрового преобразователя. Система имеет несколько дополнительных информационных входов *4* для других датчиков, например датчика температуры охлаждающей жидкости, детонации, положения дроссельной заслонки и др. Сигналы с датчиков формируются с помощью специальных схем 5 (интерфейсов) перед подачей их в узел обработки данных 6. Одним из основных устройств узла обработки является постоянное запоминающее устройство 7 (ПЗУ).

На основании сигналов о частоте вращения коленчатого вала и нагрузке двигателя узел обработки данных формирует адрес, по которому осуществляется обращение к ПЗУ и выборка (считывание) значения угла опережения зажигания, соответствующего данному режиму работы двигателя. Это значение в дальнейшем может корректироваться в зависимости от показаний других датчиков. При достижении коленчатым валом двигателя положения, соответствующего расчетному значению, угла опережения зажигания, узел обработки данных формирует сигнал управления коммутатором ***8.***



Из рассмотренного принципа работы системы следует ряд важных выводов:

- погрешности привода распределителя в данной системе сведены к нулю благодаря работе непосредственно от зубчатого диска, жестко укрепленного на коленчатом валу двигателя;

Рис. 3.47. Структурная схема цифровой системы зажигания с памятью

- частота вращения коленчатого вала двигателя определяется путем подсчета числа импульсов, формируемых датчиком оборотов за заданный период времени, который в принципе может задаваться с любой реальной точностью;
- характеристики системы могут изменяться путем изменения содержимого ПЗУ;
- система может воспроизводить характеристики угла опережения зажигания практически в любой точностью определяемой лишь числом зубьев диска;

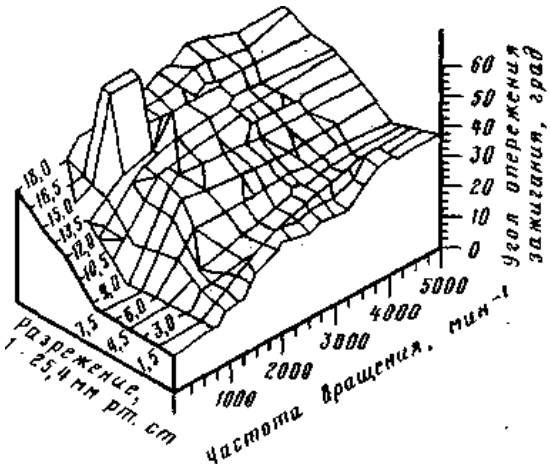


Рис. 3.48. Калибровочная диаграмма цифровой системы зажигания

- так как все перечисленные операции проводятся цифровыми узлами, характеристики системы практически не подвержены временным и температурным изменениям.

Благодаря гибкости системы такого типа наиболее полно удовлетворяют современным требованиям. На рис. **3.48** приведена трехмерная калибровочная диаграмма, представляющая взаимосвязь трех параметров двигателя: частоты вращения коленчатого вала, нагрузки, угла опережения зажигания.

Из приведенного примера следует, что характеристика оптимальных углов опережения зажигания цифровой системы с гибкой памятью значительно сложнее характеристик, которые могут быть воспроизведены системами с механическими автоматами. Одним из основных недостатков этих систем, обусловленных сложностью, является необходимость их реализации в виде заказных больших интегральных схем (БИС). Выполнение этого условия обязательно, если принять во внимание жесткие требования к надежности работы системы и массовости выпуска. Недостатком является также необходимость изменять аппаратную часть при изменении характеристик угла опережения зажигания или алгоритма работы системы зажигания.

Этих недостатков лишены системы с программируемой логикой, в которых при изменении алгоритма работы системы необходимо лишь заменить управляющую программу и ввести данные в ПЗУ. Такие системы обычно реализуются на базе микропроцессоров.

Системы, построенные на базе микропроцессоров, по основным принципам работы практически не отличаются от ЭВМ, широко используемых во многих областях науки и техники. Основное отличие заключается лишь в том, что последние достижения в области микроэлектроники позволили выполнять ЭВМ в виде одной или нескольких БИС, поэтому они получили название микроЭВМ.

Одним из объектов, на которых по прогнозам ожидается массовое применение микроЭВМ, является автомобиль. Это объясняется тем, что системы автомобиля имеют достаточно сложные функции регулирования, реализации которых требуется выполнение большого объема вычислений. И микроЭВМ с их способностью быстро анализировать большой объем информации являются идеальным решением данной проблемы. К этому еще необходимо добавить, что одна микроЭВМ может управлять несколькими системами автомобиля. Последнее утверждение чрезвычайно важно, так как ряд задач, в том числе и задача повышения эффективности работы двигателя, носит комплексный характер, затрагивающий

не только систему зажигания, но и систему топливоподачи.

3.7.4. Электронное распределение высокого напряжения по цилиндрам двигателя

Средства электроники позволили осуществить распределение высоковольтных импульсов по цилиндрам двигателя путем коммутации низковольтных цепей катушки (или катушек) зажигания. Такой способ распределения высоковольтных импульсов может быть назван *низковольтным* или *электронным*, поскольку коммутация осуществляется при помощи электроники. Применение электронного распределения позволяет существенно снизить уровень радиопомех при работе системы зажигания.

Ниже рассматриваются практические варианты схем электронного распределения для четырехтактных четырехцилиндровых автомобильных двигателей (рис. 3.49).

В системе зажигания с применением одновыводных катушек зажигания традиционного исполнения (рис. **3.49,** *а*) каждый цилиндр двигателя управляется собственной катушкой зажигания *Т1 ... Т4*, имеющей индивидуальный коммутационный ключ *VT1 ... VT4*. Управление работой ключей осуществляется сигналами $U_{с31}$ ... $U_{с34}$ вырабатываемыми контроллером.

По второму варианту (рис. 3.49, *б*) два цилиндра, момент зажигания; которых смещен на 360° по коленчатому валу, управляются двухвыводной катушкой зажигания, искровые промежутки *(FV)* свечей соединены последовательно и искрообразование происходит одновременно в двух цилиндрах. При этом одна искра реализуется в такте расширения (холостая искра), а другая — в также сжатия (рабочая). Для четырехцилиндрового двигателя требуется наличие двух катушек зажигания, управляемых по первичной стороне собственным коммутатором.

Возможна замена двух катушек зажигания на одну четырехвыводную с двумя включенными встречно первичными обмотками, которые намагничивают сердечник в двух направлениях. Распределение высоковольтных импульсов по цилиндрам двигателя осуществляется с помощью выпрямителя на высоковольтных диодах *VD1... VD4*, подключенного к обоим концам вторичной обмотки (рис. **3.49,** в). Здесь также две свечи зажигания работают одновременно,

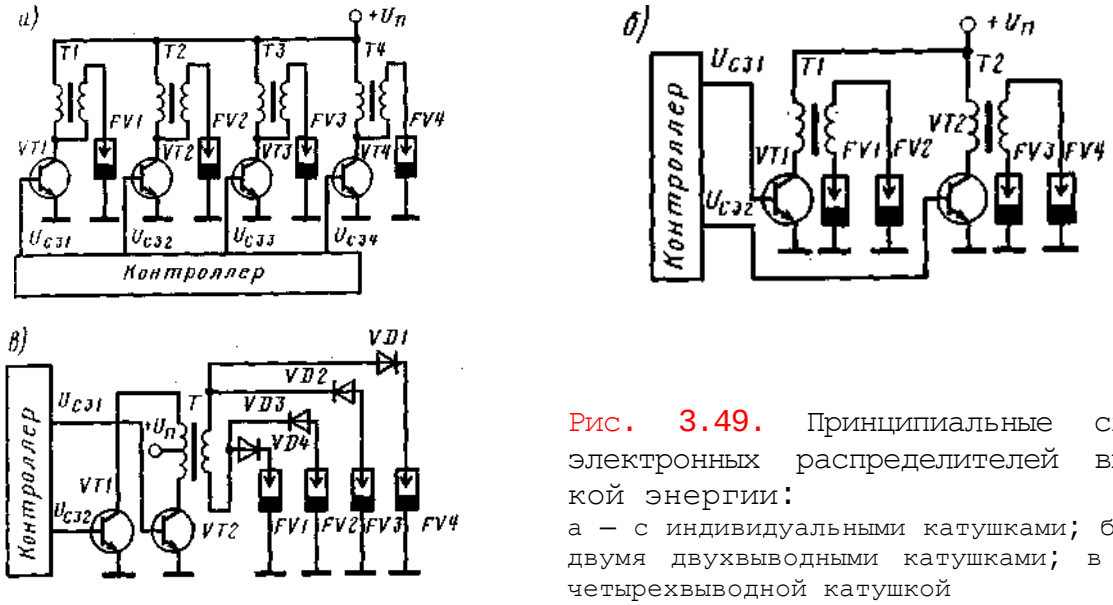


Рис. 3.49. Принципиальные схемы электронных распределителей высокой энергии:
а — с индивидуальными катушками; б — с двумя двухвыводными катушками; в — с четырехвыводной катушкой

т. е. одна искра является холостой. Управление работой катушки зажигания по первичной стороне осуществляется аналогично варианту на рис. **3.40,** *б*.

Описанные варианты систем зажигания с низковольтным распределением имеют свои преимущества и недостатки. Например, первый вариант использует традиционные катушки, но он громоздок. Во втором варианте используется уже две катушки зажигания. Третий вариант с одной катушкой требует усложнения ее конструкции из-за необходимости встраивания высоковольтных диодов с обратным напряжением, равным максимально возможному напряжению катушки зажигания (приблизительно 30... 40 кВ).

3.7.5. Особенности конструкций аппаратов электронных систем зажигания для автомобильных двигателей

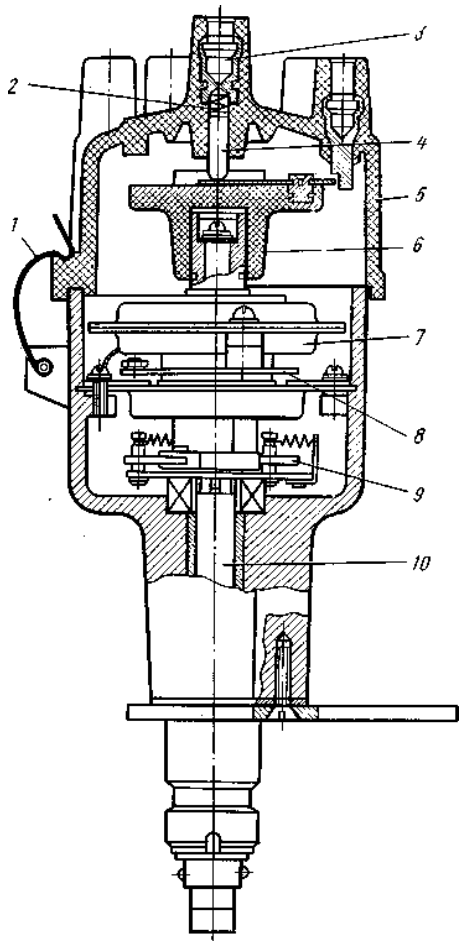


Рис. 3.50. Датчик-распределитель 24.3706:
1 — удерживающая пружина (фиксирующая); 2 — пружина; 3 — клемма высокого напряжения; 4 — помехоподавительные сопротивления; 5 — крышка; б — ротор (бегунок); 7 — магнитоэлектрический датчик в сборе; 8 — опорная пластина; 9 — центробежный регулятор в сборе; 10 — ведущий вал прерывателя-распределителя

Датчики-распределители. Для контактно-транзисторных систем зажигания используются те же типы распределителей, что и для классической системы, с той лишь разницей, что искрогасящий конденсатор, устанавливаемый параллельно контактам прерывателя, в контактно-транзисторных системах отсутствует. Для бесконтактных систем зажигания применяются датчики-распределители, для четырех-, шести- и восьмицилиндровых двигателей различных типов. Датчики-распределители изготавливаются на базе традиционных распределителей, в которых узел прерывателя заменен бесконтактным датчиком.

В качестве примера рассмотрим конструкцию датчика-распределителя 24,3706 (рис. 3.50), предназначенного для работы в БСЗ восьмицилиндровых двигателей. Датчик работает в комплекте с коммутаторами типа 13.3734 устанавливается на автомобилях ГАЗ-66, ГАЗ-53А и автобусах семейств ПАЗ.

Датчик-распределитель состоит из корпуса с запрессованной в нее медно-графитной втулкой, в которой вращается вал *10* распределителя центробежным регулятором (автоматом) 9, ротором датчика 7 бегунком 6 распределителя. Подвижная (опорная) пластина прерывателя установлена в шарикоподшипнике. Центробежный автомат 9 установлен под датчиком 7. Бесконтактный датчик 7 представляет собой генераторный датчик с вращаю-щимся магнитом. Центробежный автомат опережения зажигания имеет две пластины (верхнюю и нижнюю), два грузика, две пружины. Грузики стянуты пружинами. Вакуумный ав-

томат (на рис. 3.50 не показан) расположен на корпусе распределителя и приводится в действие через бензомаслостойкую диафрагму, в центре которой имеется шток, соединенный с опорной пластиной *8*. С целью подавления радиопомех в высоковольтной крышке установлено помехоподавительное сопротивление *4*.

От рассмотренной конструкции датчика 24.3706 в значительной мере отличается конструкция датчиков-распределителей, предназначенных для установки на двигатели переднеприводных автомобилей типов ВАЗ-2108, ВАЗ-2109, ВАЗ-1111. Специфика конструкции двигателя переднеприводного автомобиля, а также высокие требования к электрическим параметрам и точности момента зажигания системы зажигания определили особенности конструктивного исполнения распределителей:

- горизонтальное расположение валика распределителя при установке на двигатель;
- установка двух опор по краям приводного вала распределителя; фланцевое крепление распределителя к корпусу двигателя;
- жесткая, непосредственная связь приводного валика распределителя с бегунком;
- усиленная изоляция крышки за счет применения искростойкой пластмассы из полибутилентерефталата.

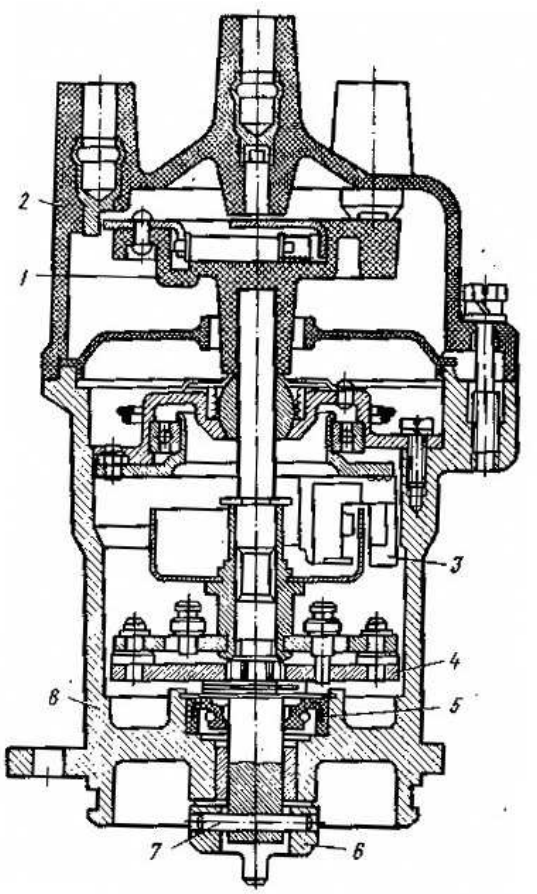


Рис. 3.51. Датчик-распределитель 40.3706:
1 — ротор (бегунок); *2* — крышка распределителя; *3* — подвижной узел вакуумного автомата с датчиком Холла; *4* — центробежный автомат с замыкателем; *5* — подшипник; *6* — плавающая муфта; *7* — штифт; *8* — корпус датчика

Первые три конструктивные особенности вызваны необходимостью увеличить жесткость распределителя и уменьшить погрешность момента искрообразования, связанную с вибрацией двигателя и распределителя.

Уменьшению погрешности момента искрообразования служит также торцовое горизонтальное крепление распределителя зажигания и привод непосредственно от распределительного вала двигателя. На рис. 3.51 приведена конструкция датчика-распределителя 40. 3706, используемого в составе БСЗ переднеприводного автомобиля ВАЗ-2108. Датчик-распределитель оснащен бесконтактным датчиком углового положения на эффекте Холла. С целью защиты от радио-помех в бегунок введен помехоподавляющий резистор номиналом R = 1000 Ом, мощностью 2,0 Вт. В схему защиты от излучения радиопомех входят также высоковольтные провода, снабженные экранированными наконечниками свечей зажигания. В наконечники встроены помехоподавительные резисторы номиналом R = 5 кОм, мощностью **2 Вт.**

Катушки зажигания. Конструкция катушек для бесконтактных систем аналогична конструкции катушек классической батарейной системы

(см. подраздел 2.4.3). Различие состоит в основном в намоточных данных.

Некоторые характерные особенности рассмотрим на примере катушки зажигания 27.3705, которая широко применяется в составе БСЗ высоких энергий (рис 3.52, *а*), например, на автомобиле ВАЗ-2108. Катушка 27.3705 является аппаратом зажигания, способным развить во вторичной обмотке напряжение 35... 40 кВ при работе на открытую цепь. Вследствие этого о имеет усиленную высоковольтную изоляцию. Высоковольтная крышка катушки зажигания выполнена из искродугостойкого материала ПБТ. Особенностью конструкции является относительно низкое значение сопротивления первичной обмотки (*R* = 0,45 Ом), что позволяет в достаточной мере стабилизировать выходные характеристики системы зажигания при минимальном значении питающего напряжения (6 В).

В конструкции катушки зажигания предусмотрен специальный клапан который срабатывает при увеличении давления масла в катушке, что возможно при выходе из строя электронного коммутатора. Введение такого клапана предотвращает опасности взрыва катушки зажигания и воспламенения автомобиля. Существенно отличаются от традиционных конструкция и технология изготовления катушек зажигания для систем зажигай с низковольтным распределением.

Например, двухвыводная катушка зажигания 29.3705, применяемая составе микропроцессорной системы управления двигателем на автомобиле ВАЗ-21083 (рис. 3.52, б), выполнена по специальной технологии, включающей пропитку обмоток эпоксидными компаундами и последующую опрессовку обмоток морозостойким полипропиленом, образующим собственно корпус катушки.

Дальнейшее улучшение характеристик катушек зажигания направлено на совершенствование конструкции и технологии производства катушек с замкнутой магнитной системой, обладающих большими коэффициентами передачи энергии, связи, длительностью искрового разряда по сравнению с катушками с разомкнутой системой при одинаковой запасаемой энергией в первичной цепи.

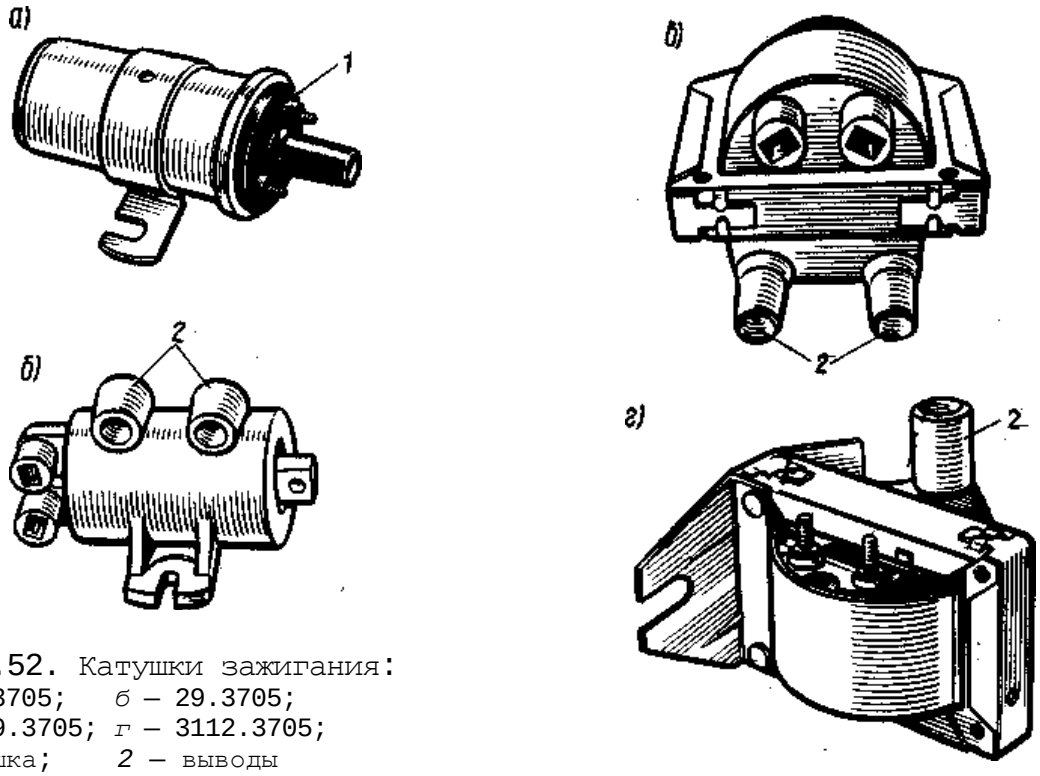


Рис. 3.52. Катушки зажигания:
а – 27.3705; *б* – 29.3705;
в – 3009.3705; *г* – 3112.3705;
1 – крышка; *2* – выводы

Отечественной промышленностью освоен выпуск двухвыводной катушки зажигания 3009.3705 (*R1* = 0,52 Ом, *R2* = 6,3 кОм, *L1* = 5,9 мГн, *L2* = =29 Гн, *W1* — 115, *W2* = 8008) с замкнутым магнитопроводом (рис. 3.52, в). Вторичная обмотка катушки наматывается на многосекционный каркас, выполненный из пластмассы. Внутри каркаса - размещается первичная обмотка. Обе обмотки устанавливаются в пластмассовый корпус и заливаются компаундом. Такая же технология применяется и при производстве новых одновыводных катушек зажигания с замкнутой магнитной системой (рис. 3.52, г), которые планируется использовать в электронных системах зажигания.

Коммутаторы. По конструктивному исполнению и технологии изготовления коммутаторы контактно-транзисторных и бесконтактных систем зажигания могут быть разделены на три группы:

- выполняемые на дискретных полупроводниковых компонентах и корпусных интегральных микросхемах, устанавливаемых на печатных платах;
- выполняемые на базе толстопленочной технологии с применением стандартных безкорпусных и дискретных компонентов;
- изготавливаемые по гибридной технологии и использующие специальную твердотельную заказную микросхему, на которой реализуются основные функциональные узлы коммутатора.

Коммутаторы контактно-транзисторных систем и коммутаторы с постоянной скважностью выходного импульса тока для бесконтактных систем функционально просты и содержат небольшое число полупроводниковых компонентов (как правило, не более четырех транзисторов), они относятся к первой группе. Их основой служит литой алюминиевый корпус, имеющий ребристую наружную поверхность для увеличения теплоотдачи. Внутри корпуса расположены все элементы коммутатора, за исключением выходного транзистора, который монтируется на корпусе в специальном "кармане". Многие типы транзисторов (n-p-n-типа) требуют изоляции от корпуса коммутатора, и поэтому они монтируются через специальную прокладку. Для снижения теплового сопротивления перехода между корпусом коммутатора и изоляционной прокладкой наносят слой теплопроводной пасты. Для подключения коммутатора к бортовой сети автомобиля и к элементам системы зажигания используется клеммная колодка.

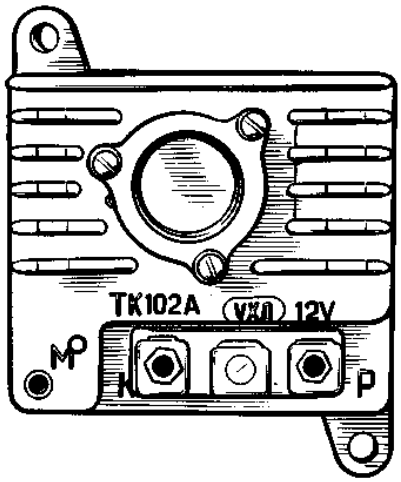


Рис. 3.53. Коммутатор ТК102А

Коммутатор ТК102А (рис. 3.53) относится к первой группе. Он предназначен для работы в контактно-транзисторной системе зажигания для автомобилей с восьмицилиндровыми двигателями, но может быть применен для работы с любым классическим распределителем зажигания. В качестве нагрузки используется катушка Б114 (W_2/W_1 = 235, L_1 = 3,7 мГн, R = 0,42 Ом). Для ограничения первичного тока используется добавочное сопротивление СЭ107 (1,04 Ом). Схема коммутатора ТК102А (рис. 3.54) содержит один мощный германиевый транзистор *VT1* (ГТ701А), стабилитрон *VD2* (Д817В) и диод *VD1* (Д7Ж), служащие для защиты от перенапряжения силового транзистора *VT1*, дроссель *L1* и резистор *R1*, предназначенные для ускорения процесса запирания транзистора *VT1*, конденсатор *C1* первичного контура возбуждения катушки зажигания, конденсатор С2 служащий для защиты

компонентов схемы коммутатора от всплеска напряжения в бортовой сети автомобиля.

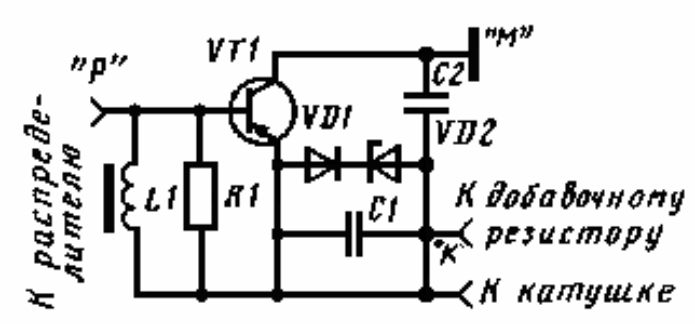


Рис. 3.54. Электрическая схема коммутатора ТК102А

Типичным примером коммутаторов для бесконтактных систем зажигания может служить коммутатор 13.3734, разработанный на базе первого серийного отечественного коммутатора ТК200 для БСЗ «Искра». Коммутатор предназначен для совместной работы с бесконтактным магнитоэлектрическим датчиком, катушкой зажигания Б116 и добавочным сопротивлением 14.379.

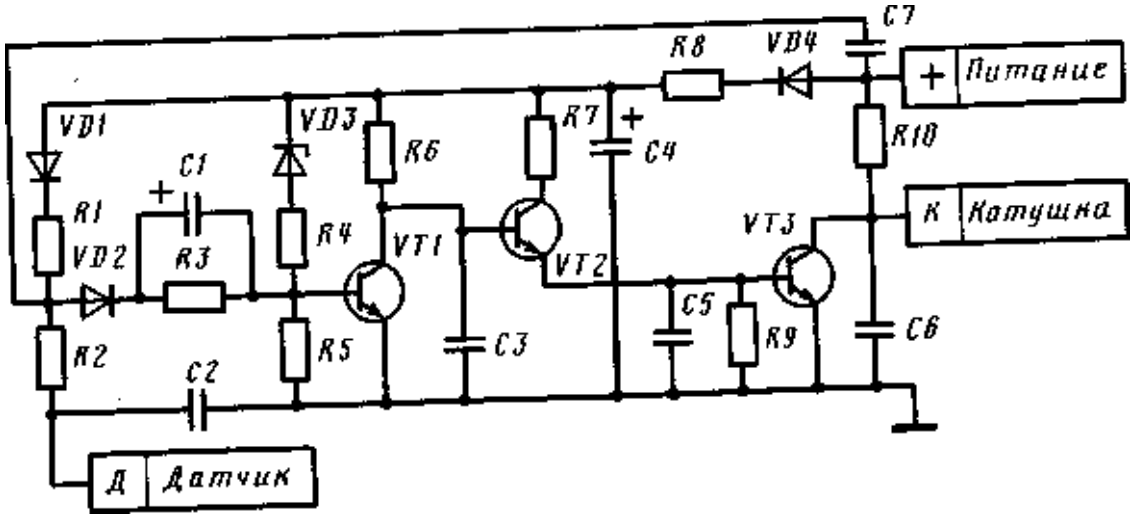


Рис. 3.55. Электрическая схема коммутатора 13.3734

Схема коммутатора (рис. 3.55) содержит выходной транзистор *VT3*, (КТ848А), каскад предварительного усиления на транзисторе *VT2* (КТ630Б) и резисторе Л7, формирователь сигнала датчика на транзисторе *VT1* (КТ630Б) и элементах *R1... R3, C1, VD1, VD2.*

Между выходом и входом коммутатора включена положительная обратная связь *(R10, C7),* обеспечивающая стабильную работу коммутатора на пусковых частотах вращения валика распределителя (20...30 мин$^{-1}$). Цепочка *R3, C1* служит для уменьшения электрического смещения момента зажигания в зависимости от частоты вращения датчика.

Коммутатор содержит также цепи зашиты выходного транзистора (С5, *С6, R9)* и элементов схемы *(С2 ... С4, VD3, VD4, R8).*

Конструктивно коммутатор выполнен на печатной плате, на которой смонтированы маломощные элементы схемы. Плата установлена в оребренный литой дюралюминиевый корпус, в котором установлены силовые элементы схем.

Первый отечественный коммутатор с нормируемой скважностью импульсов выходного тока 36.3734, применяемый на автомобиле ВАЗ-2108, выполнен также по дискретной технологии. Коммутатор рассчитан для работы с бесконтактным датчиком на эффекте Холла. В качестве на-

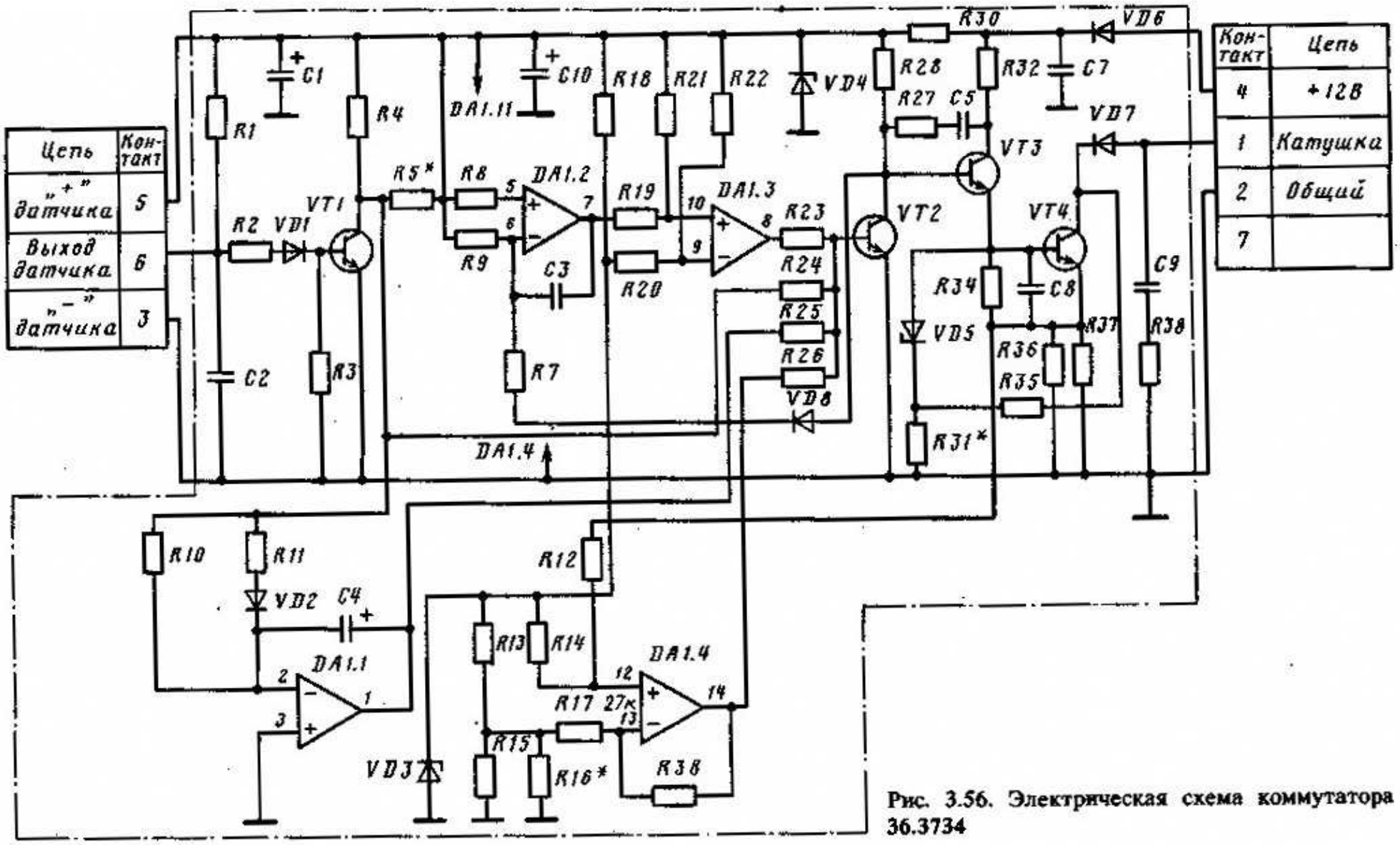


Рис. 3.56. Электрическая схема коммутатора 36.3734

грузки используется катушка 27.3705 (W_2/W_x = 85, R_x = 0,5 Ом, L, = 3,8 мГн). В коммутаторе 36.3734 реализовано программное регулирование времени накопления энергии в первичной обмотке катушки зажигания, активное ограничение уровня первичного тока (8 ... 9 А), ограничение амплитуды импульса первичного напряжения (350 ... 380 В), безыскровое отключение первичного тока при остановленном двигателе ($T_{откл}$ = 1,5 ... 3 с). Последнее предназначено для плавного запирания коммутационного транзистора с целью предотвращения искрообразования при остановке двигателя, когда катушка зажигания осталась под током.

На рис. 3.56 приведена электрическая принципиальная схема коммутатора 36.3734. Основные функциональные узлы схемы выполнены на операционных усилителях *DA1.1 ... DA1.4,* которые являются компонентами микросхемы К1401УД1. На базе усилителей *DA1.2* и *DA1.3* реализованы интегратор и компаратор схемы нормирования скважности импульсов выходного тока. На усилителе *DA1.1* собрана схема безыскрового отключения тока, на усилителе *DA1-4* — компаратор схемы ограничения амплитуды выходного тока. В качестве выходного транзистора применен транзистор Дарлингтона типа КТ848А.

Конструктивно коммутатор представляет собой печатную плату, на которой размещены радиокомпоненты схемы, за исключением выходного транзистора *VT4,* защитного диода *VD7* и стабилитрона ограничителя напряжения питания *VD4,* которые смонтированы на корпусе коммутатора. Для подключения коммутатора к бесконтактному датчику Холла, к катушке зажигания и источнику питания используется семиконтактный разъем.

К недостаткам коммутаторов первой группы можно отнести большие габаритные размеры и массу изделий, а также при крупносерийном производстве низкую технологичность и недостаточную надежность в связи с большим количеством радиокомпонентов. Существенного снижения массогабаритных показателей можно добиться при изготовлении коммутаторов по толстопленочной технологии с применением стандартных бескорпусных компонентов. В то же время они относительно дороги, трудоемки в производстве и поэтому не нашли широкого применения.

Наилучшими показателями с точки зрения трудоемкости, технологичности и надежности обладают коммутаторы третьей группы. Они содержат специальную заказную микросхему, на которой реализуются основные функциональные узлы: схема нормирования скважности с адаптацией по уровню выходного тока, схема безыскрового отключения тока, устройство ограничения тока и некоторые другие узлы. По гибридной толстопленочной технологии выполняется силовая часть схемы коммутатора с элементами защиты от импульсных перегрузок по цепи питания. Примером использования этой технологии может служить коммутатор 0.227.100.103 фирмы "Бош" (ФРГ) (рис. 3.57).

Схема содержит следующие основные элементы: бескорпусный выходной транзистор VT1; специализированную микросхему DA1 (MA 7355) совместно с навесными миниатюрными конденсаторами С2 ... С5, выполняющую основные функции коммутатора; корпусные диод VD1, стабилитрон VD2, миниатюрный конденсатор С1 и толстопленочные резисторы R3, R4, выполняющие функции защиты от импульсных перенапряжений в бортовой сети и перепутывания полярности батареи. Схема также содержит толстопленочные резисторы, служащие для измерения и подстройки требуемых уровней первичного тока R6, R7, R10 и первичного

напряжения R8, R9. RC-цепь защиты выходного транзистора выполнена на дискретных элементах C7, R11.

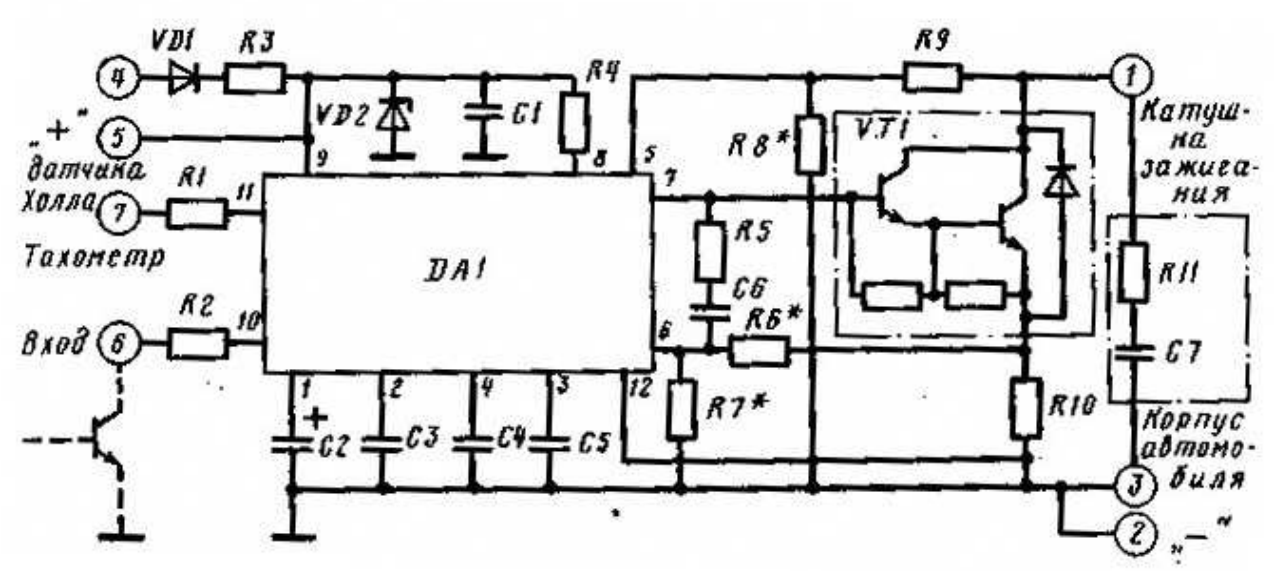


Рис. 3.57. Электрическая схема гибридного коммутатора фирмы "Бош" (ФРГ)

Отечественной промышленностью также осваивается выпуск аналогичных коммутаторов, выполненных в виде большой гибридной интегральной схемы (БГИС), представляющей собой толстопленочную микросборку операционной части и микросборку силовой части коммутатора, смонтированные на медном основании корпуса из полимерного материала. Причем корпус выполнен заодно с семиштырьковым разъемом. Корпус герметизируется приклеиваемой крышкой. Подложками толстопленочных сборок служит алюмооксидная керамика (А1203).

Внешний вид одноканального и двухканального коммутаторов показан на рис. 3.58.

В основе одноканального транзисторного коммутатора 3620.3734 (рис. 3.59, а) лежит специализированная микросхема КР1055ХШ, выполняющая его основные функции.

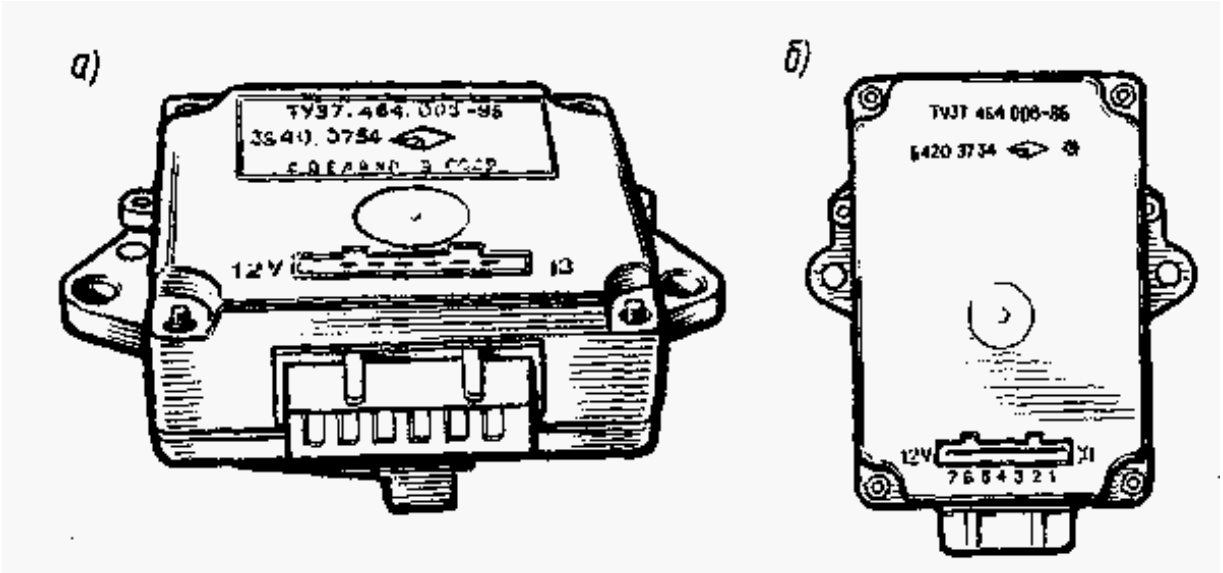
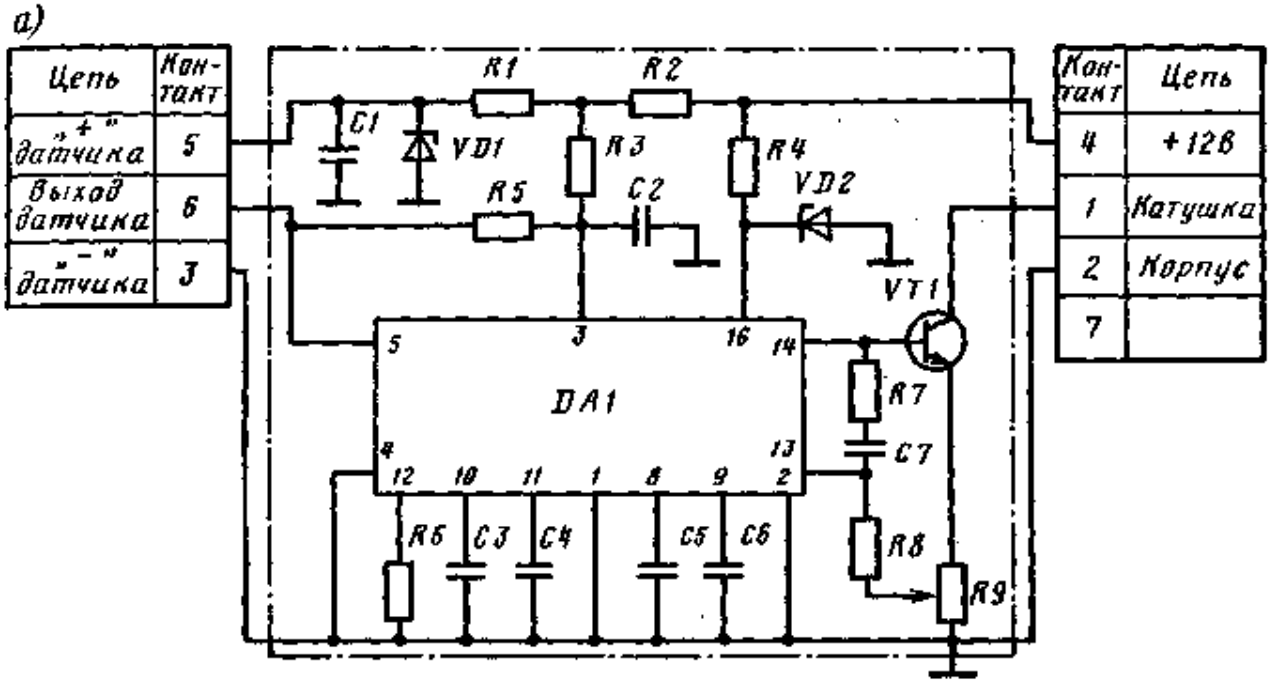


Рис. 3.58. Общий вид гибридных интегральных коммутаторов:
а — одноканальный; б — двухканальный

1. Управление силовым транзистором, прерывающим ток в первичной цепи системы зажигания.
2. Регулирование времени протекания тока в первичной цепи.
3. Ограничение максимального первичного тока.
4. Переход в режим расширения длительности выходного импульса тока первичной цепи, если значение тока разрыва $I_р$ ниже (0,9...0,98) $I_{р\ ном}$.
5. Восстановление функции регулирования времени протекания тока в течение заданного промежутка времени.
6. Формирование управляющего сигнала для работы тахометра.
7. Безыскровое отключение первичного тока при постоянном высоком уровне сигнала с выхода микропереключателя Холла.
8. Защита от перенапряжений в бортсети и инверсного включения источника питания.

В качестве выходного транзистора *VT1* применен транзистор Дарлингтона типа КТ898А с встроенным стабилитроном. Навесные конденсаторы *С3... С6* совместно с резистором *R6* обеспечивают выполнение микросхемой основных функций. Резисторы *R8* и *R9* служат для измерения первичного тока, используемого в качестве управляющего сигнала для микросхемы *DA1*. Резисторы *RI, R2* и *R3* обеспечивают необходимое напряжение питания микросхемы и микропереключателя Холла. Резистор *R5* служит нагрузкой для микропереключателя Холла. Стабилитроны *VD1* и *VD2* защищают микросхему и микропереключатель Холла от перенапряжений в цепи питания. Кратковременные всплески высокого напряжения, а также перенапряжения обратной полярности гасятся конденсаторами *С1* и *С2*. Резистор *R4* определяет силу тока базы выходного транзистора и, следовательно, значение тока в первичной цепи. Цепочка обратной связи *R7, С7* улучшает качество переходного процесса при регулировании первичного тока.

Электрическая схема двухканального коммутатора 6420.3734 (рис. 3.59, *б*) разработана на основе электрической схемы коммутатора 3620.3734. Основное различие заключается в наличии двух специализированных микросхем КР1055ХШ *(DA1* и *DA2),* управляющих работой двух выходных транзисторов *VT2* и *VT3*. В свою очередь микросхемы управля-



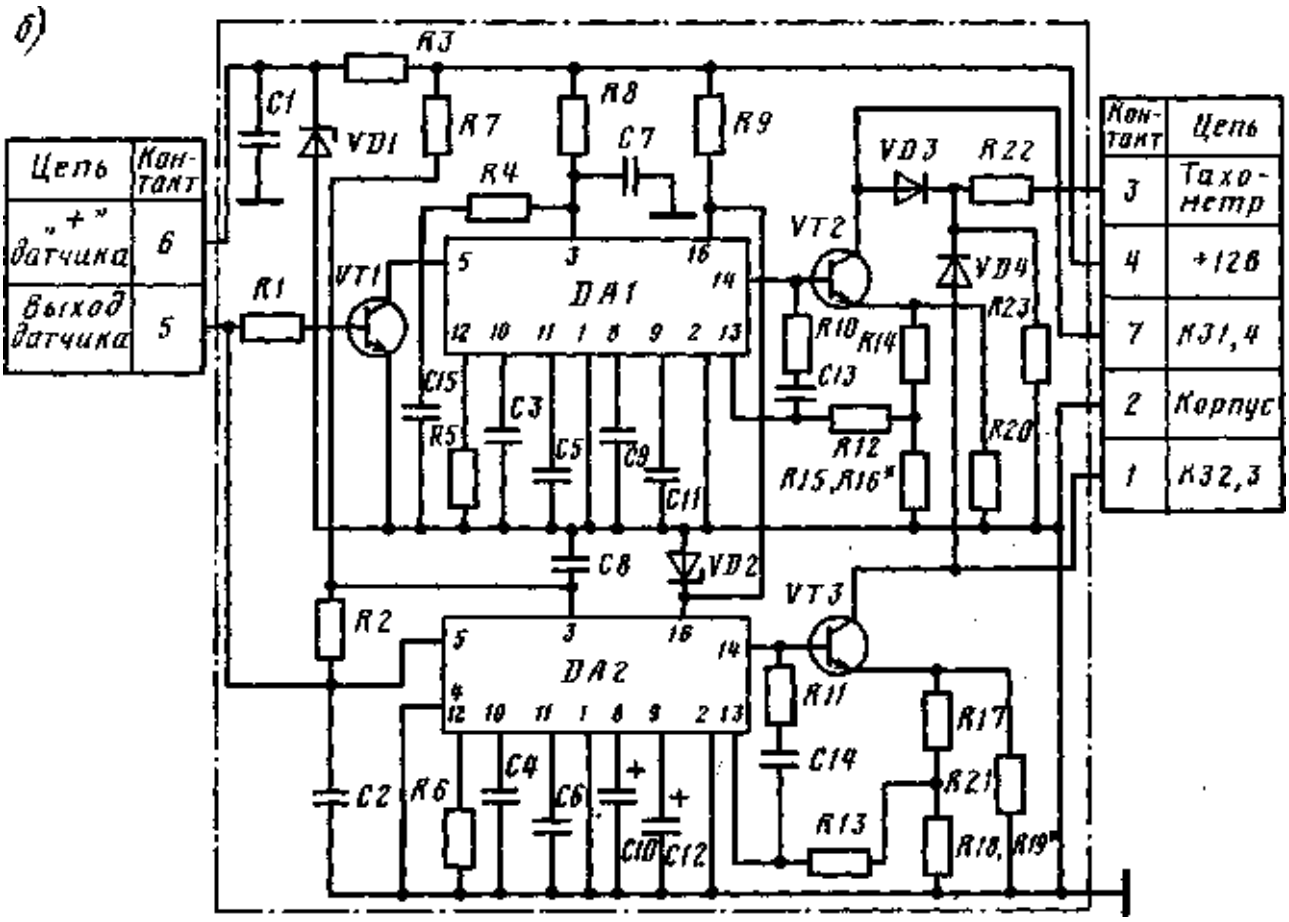


Рис. 3.59. Электрические схемы коммутаторов:
а — одноканалыюго 3620.3734; б — двухканального 6420.3734

ются сигналом выхода датчика импульсов (или контроллера) через схему разделения каналов коммутатора посредством ключевого каскада на транзисторе *VTI* (КТ352БМ). Схема коммутатора также снабжена устройством формирования сигнала управления тахометром *(VD3, VD4, R22).* Конструктивно коммутатор выполнен на одной печатной плате, так же как и коммутатор 3620.3734.

Ведется работа по созданию специальной цифровой интегральной схемы, что позволит в дальнейшем отказаться от дорогостоящих конденсаторов и повысить точность регулировки.

По мере развития цифровой и микропроцессорной техники и разработки комплексных систем управления двигателем транзисторный коммутатор, сохраняя свое функциональное значение, в конструктивном плане может терять очертания самостоятельного изделия, интегрируясь в рамках единой конструкции с цифровым контроллером. Следующим шагом на пути интеграции электронного блока является передача функции нормирования скважного выходного импульса тока в схему контроллера. В этом случае модуль коммутатора реализует функции распределения высоковольтных импульсов, ограничения тока и первичного напряжения, выдачи сигнала обратной связи об уровне тока в катушке зажигания.

Контроллеры. Отечественной промышленностью разработаны контроллеры серий МС2715.03 для легковых автомобилей ВАЗ-21083 и МС2713.01 для грузовых автомобилей ЗИЛ-4314, предназначенные для управления углом опережения зажигания по оптимальной характеристике регулирования на основе информации от датчиков начала отсчета, частоты вращения, разрежения в задроссельном пространстве карбюратора

и температуры охлаждающей жидкости. Контроллеры осуществляют также управление электроклапаном ЭПХХ. Контроллер МС2715.03 для легковых автомобилей с четырехтактным четырехцилиндровым двигателем вырабатывает сигнал "Выбор канала" для обеспечения функции статического распределения энергии по цилиндрам двигателя.

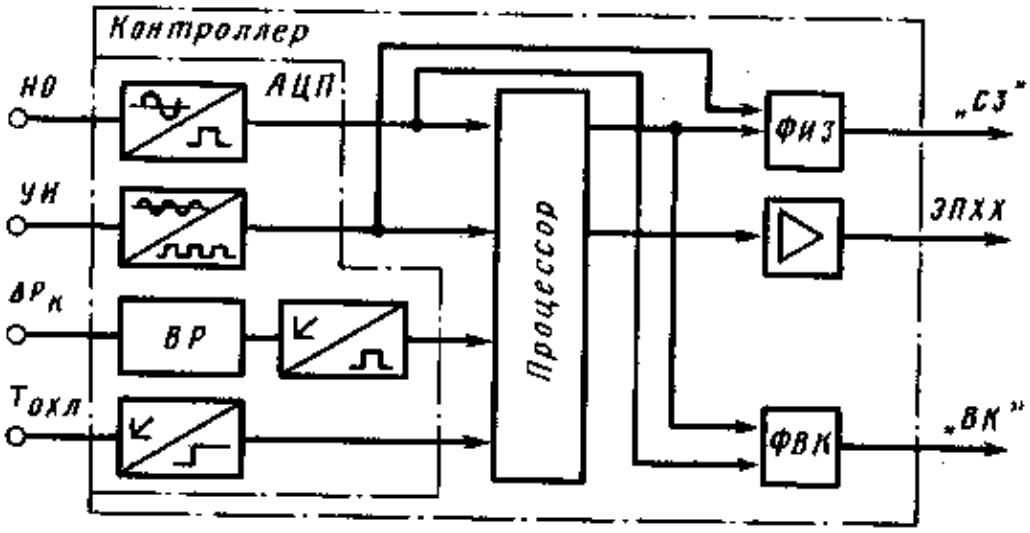


Рис. 3.60. Структурная схема контроллера МС2715.03

Структурная схема контроллера приведена на рис. 3.60. На выходы контроллера поступают сигналы от датчика начала отсчета *НО*, датчика угловых импульсов *УИ*, датчика разрежения *ВР*, датчика температуры охлаждающей жидкости $T_{охл}$. После обработки сигналов датчиков в аналого-цифровом преобразователе *АЦП* информация о параметрах двигателя в виде цифровых кодов поступает в процессор, который вычисляет частоту вращения, разрежение, температуру, угловое положение коленчатого вала двигателя и на основании этих данных вычисляет угол опережения зажигания в соответствии с картой углов опережения зажигания двигателя, которая хранится в памяти процессора.

Синхронизация работы контроллера с работой ДВС и формирование сигнала "выбор канала" производится посредством импульсов датчика *НО*. Выходные сигналы процессора управляют работой формирователей импульса зажигания *ФИЗ* и импульса выбора канала *ФВК*, усилителя ЭПХХ. Сигналы *ФИЗ* и *ФВК* непосредственно управляют работой двухканального коммутатора.

3.7.6. Преимущества электронных систем зажигания

Применение электронных систем зажигания на автомобилях с карбюраторными двигателями позволяет получить следующие преимущества:

значительно уменьшается эрозия контактов прерывателя и увеличивается их ресурс (в контактно-транзисторных системах);

исключаются полностью механический прерыватель и связанные с ним погрешности момента искрообразований и необходимость его регулировки в процессе эксплуатации;

обеспечивается возможность повышения вторичного напряжения U_{2m}; гарантируется работа на обедненных рабочих смесях, в частности, путем увеличения искрового промежутка в свечах зажигания;

обеспечивается надежная работа двигателя даже при загрязненных свечах (при малых значениях сопротивления $R_ш$ за счет крутого фронта

нарастания импульса вторичного напряжения);

облегчается холодный пуск двигателя при сильно разряженной аккумуляторной батарее (6 В);

гарантируется оптимальное регулирование угла опережения в функции ряда параметров двигателя (в электронных системах зажигания) без свойственных механическим регуляторам опережения зажигания погрешностей;

обеспечивается возможность полного отказа от механического высоковольтного распределителя (в системах с низковольтным распределением).

В результате применения электронных систем зажигания созданы условия, обеспечивающие экономичность и безопасность работы двигателя на всех режимах, повышение его приемистости при разгонах, снижение расхода топлива и токсичности отработавших газов, соответствие уровня излучаемых радиопомех современным требованиям.

3.8. ИСКРОВЫЕ СВЕЧИ ЗАЖИГАНИЯ

3.8.1. Общие сведения

Свеча зажигания предназначена для воспламенения рабочей смеси цилиндре двигателя. При подаче высокого напряжения на электроды свеч возникает искровой разряд, воспламеняющий рабочую смесь. Свеча является важнейшим элементом системы зажигания двигателей внутренне сгорания с принудительным воспламенением рабочей смеси. По исполнению свечи бывают экранированные и неэкранированные (отрытого исполнения), по принципу работы:

- с воздушным искровым промежутком;
- со скользящей искрой; полупроводниковые;
- эрозийные; многоискровые (конденсаторные);
- комбинированные.

Наибольшее распространение на автомобилях получили свечи с воздушным искровым промежутком. Это объясняется тем, что они удовлетворительно работают на современных двигателях, наиболее просты по конструкции и технологичны. В последние годы для специальных двигателей (например, роторно-поршневых и газотурбинных) применяют комбинированные свечи, где искровой разряд проходит частично по воздуху, а частично по поверхности изолятора.

В силу своего назначения и специфики работы свеча влияет на надежность и выходные показатели двигателя. Для правильного выбора конструкции свечи необходимо знать специфические требования, предъявляемые к ней двигателем.

3.8.2. Условия работы свечи на двигателе

Свеча при работе на двигателе подвержена высоким тепловым, механическим, электрическим и химическим воздействиям. По мере развития двигателестроения и форсирования двигателей интенсивность воздействия перечисленных факторов возрастает. Введение в бензин антидетонационных присадок, содержащих металл (свинец или марганец), способствует снижению срока службы свечи.

В процессе работы частота тепловых, механических, электрических и химических воздействий на свечу зависит от частоты вращения коленчатого вала и тактности двигателя. Количество воздействий на свечу в единицу времени на многоцилиндровом, например, восьмицилиндровом, четырехтактном, двигателе в 6 раз меньше, чём в двухтактном двигателе. Поэтому срок службы свечей для разных двигателей различен.

Тепловые нагрузки. Температура газовой среды в камере сгорания двигателя колеблется от 70$^{\circ}C$ (температура свежего заряда смеси, поступающей в цилиндр) до **2000** ... 2700 $^{\circ}C$ (максимальная температура цикла), а наружная часть свечи, находящаяся в подкапотном пространстве, омывается встречным потоком воздуха. В определенных случаях свеча может работать при температуре окружающей среды до —60 °С (в северных районах). Из-за неравномерного нагрева свечи возникают тепловые деформации и напряжения, которые усугубляются тем, что материалы ее деталей имеют различные коэффициенты линейного расширения (металл, керамика).

В процессе пуска двигателя на холодном тепловом конусе (части изолятора свечи, находящейся в камере сгорания) возможна конденсация влаги, которая может привести к отказу в искрообразовании. Таким образом, указанный перепад температур свеча должна выдерживать без потери работоспособности. Кроме того, изолятор свечи должен иметь фактически нулевое влагопоглощение, а ее поверхность должна быть стойкой к смачиванию.

Механические нагрузки. Давление в цилиндре двигателя достигает 5...6 МРа (максимальное давление в цикле). На поверхность свечи, находящуюся в камере сгорания, действует усилие, пропорциональное ее площади. Это усилие составляет 0,5... 1,2 кН. Кроме того, свеча подвергается вибрационным нагрузкам от работающего двигателя. В процессе сборки по существующей технологии изолятор свечи при завальцовке в корпусе и термоосадке подвергается усилию сжатия, равному 25...30 кН. При ввертывании свечи в головку цилиндра к ее корпусу прилагается крутящий момент **40...60** Н***м.** В процессе эксплуатации этот показатель значительно повышается, особенно при вывертывании свечи из-за образования нагара на резьбе или срыва резьбы в головке цилиндра.

Электрические и химические нагрузки. Свеча находится под электрическим напряжением, приложенным к ее электродам, равным пробивному напряжению искрового промежутка. Это напряжение может превышать 20 кВ. Рабочая часть электродов подвергается воздействию электрической энергии в процессе искрообразования. Износ электродов дополнительно увеличивается из-за того, что в продуктах сгорания находятся вещества, которые вызывают их химическую коррозию. Опыт показывает, что в процессе работы зазор в свече увеличивается в среднем на **0,015** мм на **1000** км пробега автомобиля.

Шунтирование свечи. Неполное сгорание топливной смеси ведет к отложению токопроводящего нагара на поверхности теплового конуса, электродах и стенках камеры свечи. Нагар образуется также из-за попадания смазочного масла на тепловой корпус изолятора, особенно при работе свечи на двухтактном двигателе. Смазочное масло является изолятором для электрического тока, но когда оно смачивает слой ранее отложившегося нагара, то вся образовавшаяся масса превращается в токопроводное вещество. Это отложение постепенно обугливается под действием температуры и становится более токопроводным. При этом напряжение, развиваемое во вторичной цепи системы зажигания,

уменьшается и может оказаться равным или даже меньшим пробивного напряжения искрового промежутка свечи, что приводит к нарушению в бесперебойности искрообразования и даже к полному его прекращению.

К аналогичному результату может привести попадание влаги и загрязнение открытой части изолятора свечи, находящейся в подкапотном пространстве автомобиля.

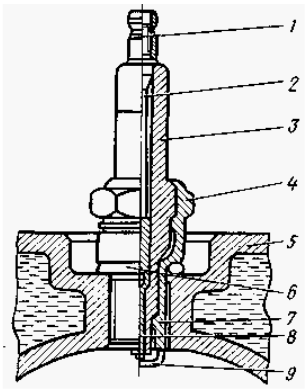


Рис. 3.61. Свеча зажигания открытого типа

3.8.3. Устройство свечей зажигания

Современная свеча открытого исполнения (рис. 3.61) состоит, как правило, из металлического корпуса *4* с резьбой для ввертывания в головку цилиндра 5, бокового электрода 9, изолятора *3* с контактной головкой *2* и центральным электроде *8*. Между коническими посадочными местами изолятора и корпуса кладется уплотнительная теплоотводящая шайба 7. Между головкой блока цилиндров и свечой, устанавливается уплотнительное кольцо *6*. Для обеспечения контакта между свечой и высоковольтным проводом иногда применяют контактную гайку *1*.

Сердечник, включающий в себя изолятор с контактной головкой и центральным электродом, соединяется с корпусом при помощи термоосадки корпуса. При этом буртик корпуса завальцовывается за плечико изолятора, корпус нагревается и впрессовывается с усилием до 30 кН. Корпус нагревают методом пропускания электрического тока силой до 9000 А через термоосадочную канавку. Эту же операцию производят при помощи тока высокой частоты.

Центральный электрод и контактную головку закрепляют в изоляторе с помощью токопроводящего стеклосплава. Этот способ обеспечивает герметичность свечи в процессе эксплуатации. Центральный электрод устанавливают в канале изолятора сверху, а на него — контактную головку. Изолятор вместе с этими деталями нагревают до температуры 800...900 °С, и контактная головка запрессовывается в расплавившуюся таблетку стеклогерметика. Боковой электрод прикрепляют к корпусу методом контактной сварки.

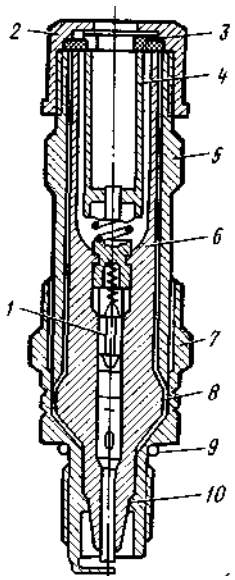


Рис. 3.62. Экранированная свеча зажигания:
1 — помехоподавительный резистор; *2* — накидная гайка; *3* — резиновое уплотнение; *4* — контактное устройство; (КУ20); *5* — экран; *6* — сердечник (изолятор в сборе); 7 — корпус с боковым электродом; *8* — шайба; *9* — уплотнительное кольцо; *10* — теплоотводящая шайба

Для специальных целей, в случае необходимости наиболее полного подавления радиопомех или обеспечения работы свечи в условиях сильного загрязнения, применяют экранированные и герметизированные свечи (рис. 3.62). Контакт провода со свечой при этом обеспечивается с помощью контактного устройства *4*, а защита от попадания влаги — с помощью резинового уплотнения *3*.

Иногда в цепь центрального электрода встраивают подавительное сопротивление 500... 10 000 Ом.

Материал центрального электрода должен обладать высокой коррозионной и эрозионной стойкостью, жаростойкостью и хорошей теплопроводностью. Центральные электроды изготавливают из хромотитановой стали 13Х25Т, а у некоторых типов свечей — из нихрома Х20Н80, боковые электроды — из никель-марганцевого сплава (например, НМц-5). Корпус свечи и контактную головку изготавливают из конструкционных сталей.

3.8.4. Тепловая характеристика и маркировка свечей

Нормальная работа свечи происходит при температуре теплового конуса изолятора в пределах от 400...500 до 850...900 °С. Нагар на конусе исчезает при нагреве его до температуры 400...500 °С. Эта температура называется *температурой самоочищения свечи.* Если температура деталей свечи превысит 850...900 °С, может возникнуть преждевременное воспламенение смеси (калильное зажигание) во время процесса сжатия еще до момента появления искры.

Тепло, подведенное к свече, отводится от нее через различные элементы ее конструкции (корпус, изолятор, центральный электрод) и поступающую в камеру сгорания горючую смесь (рис. 3.63). Доля теплоты, отводимая от свечи рабочей смесью, составляет около 20 %. Так как диапазон изменения температуры свечи для всех свечей практичес ки одинаков, а тепловые условия работы ее на различных двигателях существенно отличаются, свечи изготавливаются с различной тепловой характеристикой (калильным числом).

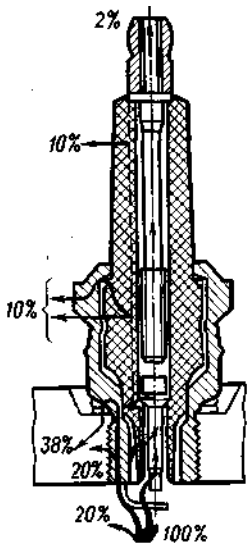


Рис.4.63. Тепловой баланс свечи

Критерием для оценки калильного числа свечи служит отвлеченный показатель, пропорциональный среднему индикаторному давлению и соответствующий порогу калильного зажигания. Калильное число определяют на испытательной установке с одноцилиндровым двигателем путем постоянного повышения тепловой нагрузки на свечу зажигания до момента появления калильного зажигания. Калильное число выбирается из следующего ряда чисел: 8, 11, 14, 17, 20, 23, 26.

Маркировка свечей зажигания должна содержать:

- обозначение резьбы на корпусе (А — резьба М14Х1.25 или М — резьба М18Х1.5);
- калильное число;
- обозначение длины резьбовой части корпуса (Н - 11 мм, Д — 19 мм);
- длину резьбовой части корпуса (12 мм) не обозначают;
- обозначение выступания теплового конуса изолятора за торец корпуса — В;
- отсутствие выступания не обозначают;
- обозначение герметизации по соединению изолятор — центральный электрод термоцементом — Т;
- герметизацию иным герметикой не обозначают.

Примером условного обозначения свечи зажигания с резьбой на корпус М14Х1.25, калильным числом 20, длиной резьбовой части корпуса 19 мм имеющей выступание теплового конуса изолятора за торец корпу-

са, загерметизированной по соединению изолятор — центральный электрод герметиком (кроме термоцемента), является свеча зажигания А20ДВ.

Свечи зажигания подбирают к двигателю с учетом обеспечения надежной работы свечи и двигателя на верхнем и нижнем пределах тепловой характеристики свечи.

3.9. ДИАГНОСТИРОВАНИЕ СИСТЕМ ЗАЖИГАНИЯ

Основной метод диагностирования классической и контактно-транзисторной систем зажигания заключается в ***сравнении переходных процессов происходящих в различных узлах, с эталонными.*** Идея метода состоит том, что характерные кривые напряжений переходных процессов выводя на экран осциллографа и, сравнивая полученные формы кривых с эталонными, выявляют практически любую неисправность системы. Для облегчения анализа изображений осциллограф снабжается специальным устройством, позволяющим получать на экране одновременно несколько изображений (по числу цилиндров двигателя), развернутых на весь экран и расположенных друг над другом или наложенных друг на друга. По осциллограммам можно определить техническое состояние катушки зажигания, конденсатора, первичное и вторичное напряжение, угол замкнуто и разомкнутого состояний контактов прерывателя и др.

Широко распространенным стендом для диагностирования классической и контактно-транзисторной систем зажигания является стенд Э205. Наблюдая на экране осциллографа за кривыми изменения напряжение в системе, можно с определенной точностью судить как о состоянии системы зажигания в целом, так и об отдельных элементах.

На рис. 3.64, *а* приведена эталонная кривая напряжения на контактах прерывателя. По горизонтальной оси отложен угол поворота вала распределителя. Постоянный уровень *3* соответствует напряжению аккумуляторной батареи при разомкнутых контактах прерывателя. Высокочастотные колебания *1* в начале цикла обусловлены колебательным процессом в системе конденсатор — первичная обмотка катушки зажигания при размыкании контактов прерывателя. Высокочастотные колебания *2* на спаде импульса зажигания отражают процесс рассеивания энергии в катушке зажигания после прекращения искрового разряда. Длительность импульса зажигания $\tau_з$ определяется запасом энергии в катушке зажигания. В пределах угла $\theta_р$ контакты прерывателя разомкнуты, а в пределах $\theta_з$ замкнуты.

Описанному циклу изменения напряжения на контактах прерывателя соответствует цикл изменения на вторичной обмотке катушки зажигания (рис. 3.64, б). Высокочастотные колебания *4* вызваны перезарядом распределенных емкостей выходной цепи при замыкании контактов прерывателя.

Неисправности различных элементов системы зажигания определенным образом влияют на форму импульсов напряжения в пределах цикла зажигания. Если в цепи свечи короткое замыкание, то импульс напряжения во вторичной цепи имеет меньшую амплитуду и большую длительность разряда по сравнению с импульсами других цилиндров, однако форма его напоминает нормальные импульсы. Такая же форма импульса наблюдается и при очень малом зазоре между электродами свечи. Нечеткость размыкания контактов прерывателя свидетельствует о загрязнении или неисправности контактов, разболтанном креплении оси

контакта или слабом напряжении пружины и приводит к дребезжанию. Несовпадение углов замкнутого состояния контактов для различных цилиндров двигателя свидетельствует о дефектах привода, крепления контактов прерывателя и т.д. Следует отметить, что в контактно-транзисторной системе импульс напряжения на контактах прерывателя имеет почти прямоугольную форму и осциллографическая кривая этого напряжения позволяет судить лишь о регулировке контактов прерывателя и исправности цепи, в которую включен прерыватель.

Систему зажигания диагностируют при вращении двигателя с частотой 1000 и 2000 мин$^{-1}$. При частоте вращения 1000 мин$^{-1}$ определяют состояние катушки зажигания и конденсатора, а также угол замкнутого состояния контактов и его изменение. При увеличении частоты вращения коленчатого вала двигателя, до 2000 мин$^{-1}$ угол замкнутого состояния контактов на наблюдаемой осциллограмме не должен изменяться более чем на 2°. Состояние контактов прерывателя определяют при 1000 мин-1, а затем при увеличении частоты вращения до 2000 мин-1 оценивают по изменению угла замкнутого состояния контактов на осциллограмме.

Первичное напряжение на всех цилиндрах проверяют по углу замыкания контактов прерывателя. Расхождение в углах замыкания для осциллограммы в "наложенном" виде не должно превышать 2°. Проверка вторичных цепей системы зажигания по осциллограмме первого цилиндра определяет полярность вторичного напряжения, состояние вторичной обмотки катушки зажигания и высоковольтного провода от катушки к прерывателю. Осциллограмма вторичного напряжения всех цилиндров в наложенном виде устанавливает увеличение зазора свечи, короткое замыкание, обрыв и увеличение сопротивления в цепи свечи. Осциллограмма вторичного напряжения всех цилиндров последовательно определяет характер пробивного напряжения на всех свечах и качество работы свечей в режиме работы двигателя до 2000 мин-1. Пробивные напряжения на разных свечах не должны отличаться более чем на 10 %.

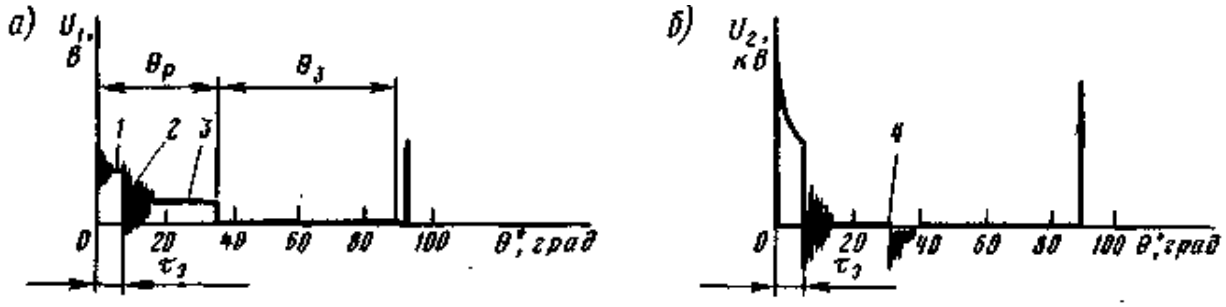


Рис. 3.64. Эталонные кривые первичного (а) и вторичного (б) напряжений системы зажигания

Диагностирование системы зажигания следует начинать с анализа первичного напряжения. Неисправное состояние контактов прерывателя легко устанавливается по характеру искажения кривой первичного напряжения. Наложенное изображение первичного напряжения всех цилиндров позволяет определить износ кулачка и привода прерывателя, приводящий к асинхронизму в чередовании искр.

Для диагностирования бесконтактных систем зажигания, таких как БСЗ с датчиком Холла или микропроцессорной, использование метода, основанного на сравнении осциллограмм переходных процессов с эта-

лонными, не дает однозначного ответа о техническом состоянии данных систем. Это связано прежде всего с тем, что процессы, происходящие в электронных блоках, в указанных осциллограммах не проявляются. Более того, наличие неисправностей в электронных блоках, приводящих к полному нарушению функционирования системы зажигания, исключает применение осциллограмм вообще. Поэтому для обеспечения достоверной оценки технического состояния БСЗ существующая диагностическая аппаратура должна комплектоваться специальными средствами технического диагностирования) электронных блоков (коммутатора, контроллера и т. д.).

Применение электронных блоков в системе зажигания позволит осуществить систему тестового диагностирования, т. е. специальную организацию входных воздействий с одновременной регистрацией выходных ответов блоков. Система тестового диагностирования позволяет производить поиск и локализацию неисправностей в системе зажигания даже при неработающем двигателе.

Разработан ряд устройств и приборов для диагностирования электронных блоков и связанных с ними датчиков бесконтактных систем зажигания. К ним относятся: прибор проверки коммутатора (ППК), тестер микропроцессорной системы зажигания (тестер МСУАД), многофункциональный прибор контроля коммутатора (ПКК).

Вопросы для самоконтроля

1. Из каких этапов состоит рабочий процесс системы зажигания?
2. Объясните характер изменения тока в первичной цепи для классической и бесконтактной систем зажигания.
3. Какие факторы определяют первичный ток системы зажигания?
4. Дайте сравнительную характеристику зависимостей $U_2 = (fn)$ для контактных и бесконтактных систем зажигания. Объясните характер зависимостей.
5. От каких факторов зависит максимальное вторичное напряжение, развиваемое катушкой зажигания?
6. Какие факторы обусловливают выбор типа свечей зажигания для конкретного двигателя?
7. Дайте сравнительную характеристику бесконтактных датчиков импульсов, применяемых в современных БСЗ.
8. Чем обусловлена необходимость применения формирующих каскадов в транзисторных коммутаторах?
9. Как осуществляется регулирование времени протекания тока в первичной цепи БСЗ?
10. Каким образом в БСЗ осуществляется отключение тока в первичной цепи при включенном замке зажигания и неработающем двигателе?
11. Перечислите основные принципы построения цифровых систем управления углом опережения зажигания?
12. Чем обусловлено применение двухвыводных катушек зажигания. Каков принцип их действия?
13. Какие существуют методы диагностирования системы зажигания?