

УДК 629.3.014

## УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ СИСТЕМЫ ЗАЖИГАНИЯ НА СОВРЕМЕННЫХ ДВИГАТЕЛЯХ

А. Р. КИСЕЛЁВ, З. М. СУСЛОВ  
(Представлено: В. В. КОСТРИЦКИЙ)

Данная статья подробно описывает устройство и принцип действия систем зажигания на современных двигателях. Рассматриваются процессы, протекающие в первичной и вторичной цепи с их графическим анализом на осциллограмме. Подобные знания необходимы для корректного представления о работе системы и последующего ее диагностирования, определения неисправностей и технического обслуживания.

Основной задачей системы зажигания является формирование импульсов высокого напряжения, необходимых для воспламенения топливно-воздушной смеси. Первичное воспламенение смеси возникает от энергии, выделяющейся в шнуре пробоя.

Электрическая искра, в объёме шнура, провоцирует почти моментальную ионизацию молекул смеси, их термический нагрев, а также химическую реакцию между ними. При этом, если высвободившейся энергии будет в достаточном количестве, то смесь воспламенится, и цилиндр сработает в штатном порядке. В иной ситуации возможно возникновение пропуска воспламенения.

В упрощённом виде процесс образования шнура пробоя выглядит следующим образом. Газы и их смеси, в частном случае, являются идеальными изоляторами, но из-за воздействия ионизирующего излучения в воздухе всегда присутствуют положительно заряженные ионы и соответственно свободные электроны. Если между двумя электродами разместить газ и подать на них напряжение, это повлечёт возникновение электрического тока между ними. Тем не менее величина полученного тока будет небольшой по причине малого количества ионов и электронов.

Между плоскими электродами, находящимися на не большом расстоянии друг от друга, образуется однородное электрическое поле. Внутри искрового промежутка электроны движутся к положительно заряженному электроду, получая ускорение вследствие действия на них электрического поля. При определенном значении напряжения на электродах приобретенной электроном кинетической энергии становится достаточно для ударной ионизации молекул. Свободный электрон при соударении с нейтральной молекулой расщепляет её на еще один электрон и положительный ион. Полученные электроны при дальнейшем соударении с нейтральными молекулами снова расщепляют их на электроны и положительные ионы, и т.д.

При движении положительно заряженных ионов возникает точно такое же явление (рисунок 1).

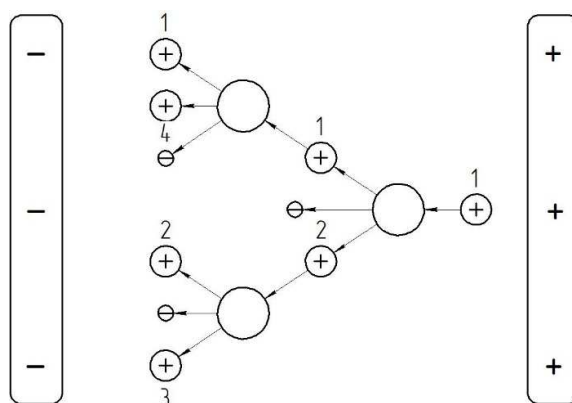


Рисунок 1. – Движение положительно заряженных ионов

Начинается лавинообразное размножение положительных ионов и электронов при соударении положительных ионов с нейтральными молекулами. Таким образом, процесс идет по нарастающей, и ионизация в газе быстро достигает очень большой величины. В результате между электродами возникает значительный электрический ток, который создает сильно нагретый и ионизированный канал. Температура в канале достигает 10 000 К. Напряжение, при котором возникает ионная лавина, называется напряжением пробоя и обозначается  $U_{пр}$ . Изначально процесс проходит в очень узкой зоне, но в результате быстро-

го роста температуры канал пробоя со сверхзвуковой скоростью расширяется. При этом возникает ударная волна, напоминающая по звучанию треск.

Время накопления энергии – это промежуток между моментами замыкания и размыкания транзистора в первичной цепи.

Под действием напряжения аккумуляторной батареи в момент замыкания первичной цепи по ней начинает идти ток. Этот ток приводит к образованию магнитного поля в первичной обмотке катушки и накоплению энергии в нем. Однако рост тока вызывает возникновение электродвижущей силы самоиндукции, направленной навстречу напряжению батареи. Это позволяет говорить об эффективном напряжении на катушке зажигания, которое представляет собой разницу напряжения батареи и ЭДС самоиндукции. Таким образом, ток в первичной обмотке катушки зажигания нарастает не мгновенно, а с некоторой задержкой.

Описанные выше процессы, происходящие в первичной цепи, находят свое отражение во вторичной, так как катушка зажигания является по сути трансформатором. Если пренебречь внутренними потерями, то можно сказать, что она усиливает напряжение во вторичной цепи во столько же раз, во сколько раз ослабляет силу тока. При этом действует уравнение трансформатора (формула 1).

$$n = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_1}{I_2} = \frac{N_1}{N_2}, \quad (1)$$

где  $n$  – коэффициент трансформации,  $U_1$  и  $U_2$  – напряжения соответственно первичной и вторичной обмоток,  $I_1$  и  $I_2$  – токи обмоток,  $N_1$  и  $N_2$  – количество витков в обмотках.

В момент замыкания первичной цепи возникающая в ней ЭДС самоиндукции генерирует во вторичной обмотке напряжение в соответствии с коэффициентом трансформации. В момент завершения формирования магнитного поля это напряжение становится равным нулю.

Поскольку сгенерированное напряжение не вызывает образование искры, вторичная цепь системы зажигания является электрически разомкнутой из-за воздушного зазора между электродами свечи зажигания и ток во вторичной цепи не течет. Энергия, имеющаяся в катушке зажигания, уменьшается в форме затухающих колебаний.

В первичной цепи при этом прекращается ток, а магнитное поле начинает быстро исчезать. Это исчезновение поля приводит к значительному выбросу ЭДС самоиндукции, стремящейся ему воспрепятствовать. В результате индуцируется высокое напряжение, и чем быстрее исчезает поле, тем это напряжение выше. В зависимости от типа и параметров катушки зажигания это напряжение может составлять до 400 В.

Во вторичной цепи в момент размыкания первичной цепи, вследствие очень быстрого уменьшения магнитного поля, возникает высокое индуцированное напряжение соответственно коэффициенту трансформации  $n$ . Значение напряжения может достигать 40000 В. Генерированное высокое напряжение ионизирует газовое облако между электродами свечи зажигания. Выступавшие до этого в качестве изолятора молекулы газа по меньшей мере частично становятся электропроводящими. При этом возникает искра и замыкается электрическая цепь, проходящая через распределителя зажигания, обмотки катушки зажигания и аккумуляторную батарею. В цепи течет ток.

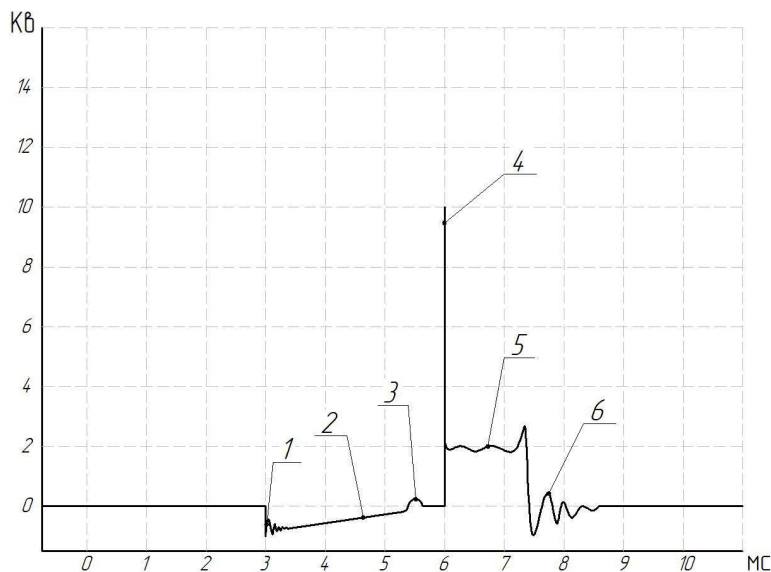
Энергия, выделяющаяся после искрового разряда, воспламеняет рабочую смесь, которая находится в воздушном зазоре между электродами свечи зажигания. Приблизительно через 1...2,5 мс энергия, накопленная в катушке зажигания, уменьшается настолько, что искра зажигания обрывается.

Время от момента пробоя до момента угасания искры называется временем горения и является одним из важнейших параметров, используемых при диагностике системы зажигания. Энергия, все еще остающаяся в катушке зажигания, гасится в форме затухающих колебаний.

Эта осциллограмма (рисунок 2) является характерной для всех систем зажигания и является самым важным диагностическим параметром.

На современных автомобилях используются системы DIS (Distributorless Ignition System) и COP (Coil On Plug), системы с механическим распределением и ИА (Integrated Ignition Assembly) являются устаревшими и уже не используются. Обусловлено это тем, что система COP, как и система DIS, не содержит подвижных элементов и не требует обслуживания.

В системе DIS управление временем накопления и углом опережения зажигания осуществляется контроллером на основе информации о режиме работы двигателя, получаемой от датчиков системы управления. Данная система использует метод «холостой искры». Цилиндры двигателя объединены в пары, например, 1-4 и 2-3. Искрообразование происходит одновременно в двух цилиндрах: в цилиндре, в котором заканчивается такт сжатия и в цилиндре, в котором заканчивается такт выпуска. Направление тока в свечах парных цилиндров разное: в одном от центрального электрода к боковому, в другом от бокового к центральному.



1 – момент замыкания катушки; 2 – время накопления энергии;  
3 – срабатывание схемы ограничения первичного тока; 4 – напряжение пробоя; 5 – время горения;  
6 – момент угасания искры

Рисунок 2. – Осциллограмма

В системе СОР каждый отдельный цилиндр двигателя имеет свою индивидуальную катушку зажигания. Чаще всего катушки устанавливаются высоковольтным наконечником непосредственно на свечу зажигания. Благодаря особенностям конструкции электрической части эти катушки зажигания очень быстро формируют магнитное поле. Это может еще в процессе формирования магнитного поля привести к нежелательному искровому разряду в конце такта впуска или в начале такта сжатия. Такой искровой разряд можно подавить с помощью включенного во вторичную цепь диодного каскада, представляющего собой группу из нескольких диодов.

**Вывод.** Современные системы зажигания являются простыми как в устройстве, так и в диагностировании. При владении необходимыми знаниями об ее устройстве и принципе действия, можно быстро определить неисправность по графическому изображению импульсов напряжения – осциллограмме.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Коваленко, О. Л. Электронные системы автомобилей: учебное пособие / О. Л. Коваленко; Сев. (Арктич.) федер. ун-т им. М. В. Ломаносова. – Архангельск: ИПЦ САФУ, 2013. – 80 с.
2. Режим доступа: <http://chiptuner.ru/content/sensor/> – Дата доступа: 01.05.2016 г.
3. Режим доступа: [http://injectorservice.com.ua/docs/temperature\\_sensor\\_diagnostics.pdf](http://injectorservice.com.ua/docs/temperature_sensor_diagnostics.pdf) – Дата доступа: 01.05.2016 г.