

Коммутатор

Ignition amplifier.

Существует несколько типов систем зажигания и множество разновидностей их исполнения, но одним из основных элементов системы зажигания является коммутатор. Основной функцией коммутатора является усиление входного сигнала для управления катушкой зажигания. В системах зажигания с малым количеством входных сигналов коммутатор обычно исполняют как отдельный модуль. В современных цифровых системах управления двигателем расчет угла опережения зажигания происходит по алгоритму, зависящему от показаний большого количества датчиков (показания этих же датчиков используется и для расчёта момента и количества впрыскиваемого топлива...). Поэтому, коммутатор зачастую располагают внутри блока управления двигателем, в котором обрабатываются все входные сигналы.

Система зажигания может насчитывать несколько коммутаторов, в зависимости от количества цилиндров и катушек зажигания. В таком случае, коммутаторы могут быть вынесены в отдельный модуль или встроены в общий с катушками зажигания корпус; при этом коммутаторы выполняют только функцию усилителя.

Момент времени, когда нужно сгенерировать искровой разряд определяется по сигналам от задающих датчиков – от датчиков положения / частоты вращения коленвала, положения распредвала или по сигналу от датчика, встроеного в корпус распределителя зажигания. В современных системах управления двигателем расчёт угла опережения зажигания по сигналам от задающих датчиков выполняется блоком управления двигателем. Но здесь дополнительно учитывает величина подачи топлива, нагрузка на двигатель, его температура и многие другие факторы.

В некоторых системах (например, GM), сигналы от задающих датчиков вращения поступают на предусилитель / преобразователь, далее усиленный сигнал поступает на вход блока управления двигателем, от блока управления двигателя откорректированный сигнал поступает на вход коммутатора. Коммутатор при этом конструктивно объединён с предусилителем / преобразователем.

Встречаются системы, где коммутатор конструктивно объединён с задающими датчиками.



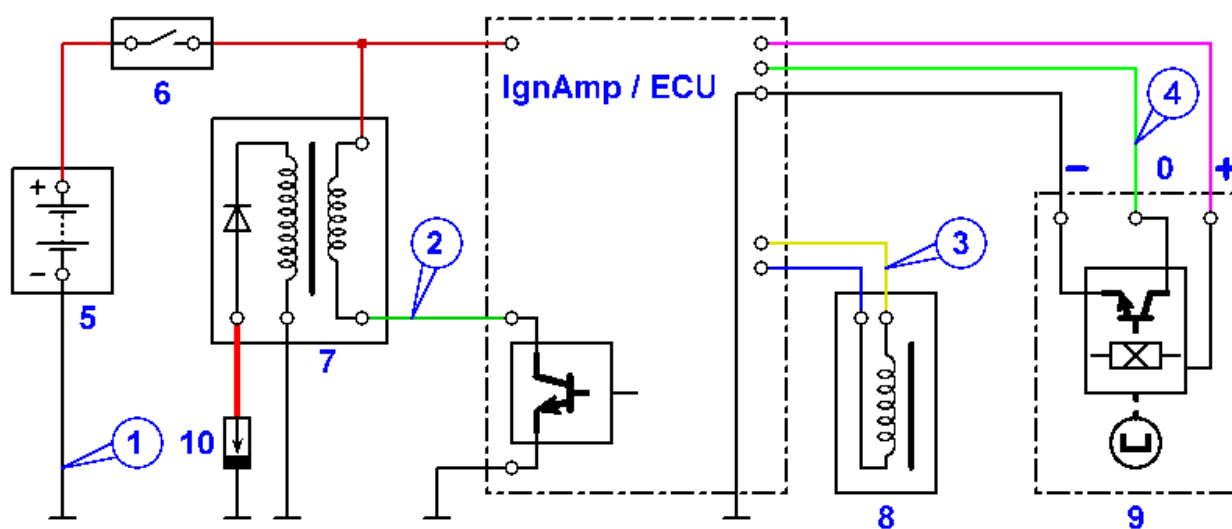
Коммутатор производства MITSUBISHI конструктивно объединённый с задающими датчиками; устанавливается в корпус распределителя зажигания.

Общим и основным элементом любого коммутатора является силовой транзистор (или тиристор), который обеспечивает управление током в первичной обмотке катушки зажигания.

В классической системе зажигания, коммутатор управляет одной катушкой зажигания, и с помощью механического распределителя зажигания подводит (распределяет) высокое напряжение последовательно на свечи всех цилиндров двигателя. В современных двигателях механический распределитель не применяется, при этом используется непосредственное распределение высокого напряжения в цилиндры путём последовательного управления несколькими коммутаторами катушек зажигания. Примером описанного выше способа распределения высокого напряжения служит индивидуальная система зажигания, где каждый коммутатор и обслуживаемая им катушка зажигания управляют зажиганием только в одном цилиндре двигателя.

Также существует так называемая DIS система зажигания, где каждый коммутатор управляет одной двухвыводной катушкой зажигания (катушка выполнена с двумя выводами высоковольтной обмотки), генерирующей высокое напряжение для двух цилиндров двигателя. Здесь для распределения высокого напряжения между двумя обслуживаемыми цилиндрами применяется "метод холостой искры", основанный на принципе работы 4-х тактного двигателя, где в парных цилиндрах (поршни которых перемещаются синхронно) одновременно находящихся в положении перед ВМТ один цилиндр находится в конце такта сжатия, а другой в конце такта выпуска. Подача искровых разрядов одновременно в оба цилиндра вызывает возгорание топливовоздушной смеси в одном цилиндре и разряд холостой искры в другом, которая никак не мешает работе двигателя. Такой метод позволяет сократить число коммутаторов и катушек зажигания в два раза, что значительно упрощает систему. Но данный метод имеет некоторые недостатки, в основном связанные с разной полярностью высокого напряжения подводимого к свечам зажигания парных цилиндров и с укороченным сроком службы свечей зажигания.

Существуют системы зажигания, где для обслуживания свечей зажигания каждого цилиндра применяются индивидуальные катушки зажигания, но при этом первичные обмотки этих катушек попарно объединены и каждая такая пара управляется своим коммутатором. Такие системы зажигания применяются на некоторых двигателях Renault, где один коммутатор управляет соединёнными последовательно первичными обмотками сразу двух катушек зажигания. Здесь также используется метод "холостой искры", но весьма необычным является последовательное соединение первичных обмоток двух катушек зажигания. В отличие от DIS системы зажигания, в такой системе зажигания полярность искры во всех цилиндрах одинакова, что является преимуществом этой системы перед DIS системой зажигания.



Пример схемы включения коммутатора.

IgnAmp / ECU – коммутатор, встроенный в блок управления двигателем.

- 1 Точка подключения зажима типа "крокодил" осциллографического щупа.
- 2 Точка подключения пробника осциллографического щупа для получения осциллограммы выходного напряжения коммутатора.
- 3 Точка подключения пробника осциллографического щупа для получения осциллограммы выходного напряжения датчика положения / частоты вращения коленчатого вала двигателя.
- 4 Точка подключения пробника осциллографического щупа для получения осциллограммы выходного напряжения датчика положения распределительного вала.
- 5 Аккумуляторная батарея.
- 6 Выключатель зажигания.
- 7 Катушка зажигания.
- 8 Датчик положения / частоты вращения коленчатого вала двигателя индуктивного типа.
- 9 Датчик положения распределительного вала работающий на эффекте Холла.
- 10 Свеча зажигания.

Принцип действия

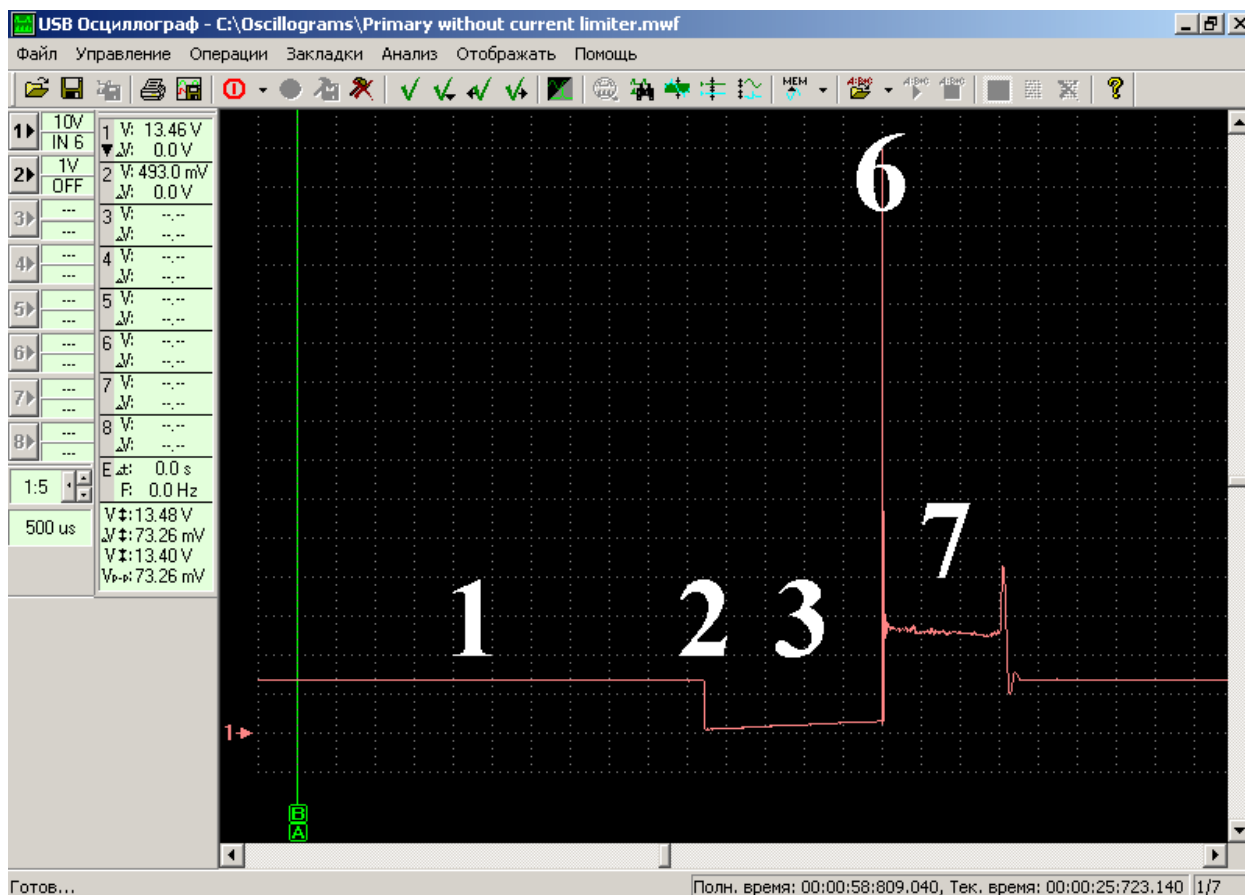
Для генерации во вторичной обмотке катушки зажигания высоковольтного импульса, необходимо предварительно обеспечить протекание тока через первичную обмотку катушки зажигания и последующее резкое прерывание этого тока. Обеспечивается это путём открытия силового транзистора коммутатора и последующего его резкого закрытия. Так как обмотка катушки зажигания обладает индуктивностью, то после резкого прерывания тока в первичной обмотке катушки формируется импульс напряжения амплитудой около 400 V (величина этого напряжения ограничена за счёт стабилитрона, встроенного в силовой транзистор коммутатора). За счет того, что во вторичной обмотке количества витков значительно превышает количество витков в первичной обмотке, во вторичной обмотке в этот момент формируется импульс напряжением около 10...40 kV, чего достаточно для образования искрового разряда между электродами свечи зажигания, даже под высоким давлением внутри цилиндра. Вслед за пробоем начинается горение искры при напряжении в единицы кило Вольт.

Так как обмотка катушки зажигания обладает индуктивностью, то после открытия силового транзистора коммутатора ток в первичной обмотке катушки возникает не мгновенно, а нарастает постепенно, хотя напряжение на первичной обмотке величиной 12 V в это время практически не меняется. Для обеспечения генерации искры зажигания высокой мощности, значение тока протекающего в первичной обмотке катушки зажигания перед моментом прерывания тока должно быть в пределах 6...8 А. Для достижения заданной величины этого тока требуется определённый период времени – обычно, несколько единиц милли Секунд (mS). По этой причине, открытие силового транзистора коммутатора по времени происходит раньше момента формирования искры, на эту необходимую величину времени.

Раннее открытие силового транзистора коммутатора увеличивает продолжительность периода воздействия напряжения 12 V на первичную обмотку катушки. Это, в свою очередь, увеличивает значение протекающего через обмотку тока, что может стать причиной перегрева и повреждения катушки зажигания или коммутатора.

Позднее открытие силового транзистора коммутатора приводит к недопустимому снижению энергии искрового разряда. По этой причине, величина тока в первичной обмотке катушки зажигания должна довольно точно соответствовать заданному уровню. Для регулирования величины тока в первичной обмотке катушки зажигания существует два способа: 1) ограничение тока путем точного расчёта времени открытия и закрытия силового транзистора; 2) ограничения тока путём "призакрытия" силового транзистора коммутатора, что останавливает дальнейшее нарастание тока в первичной обмотке. В каждом конкретном случае применяется один из этих двух способов.

В современных системах управления двигателем, за счет применения специального расположения секторов коленчатого и распределительного валов для датчиков положения / частоты вращения, блок управления точно отслеживает текущее положение поршневой группы двигателя. Блок управления двигателем заранее определяет моменты времени, когда силовой транзистор коммутатора необходимо открыть и когда закрыть. В этом случае, ограничение тока в первичной обмотке катушки зажигания обеспечивается путём точного расчета продолжительности периода, в течение которого силовой транзистор коммутатора будет открыт. В таких системах зажигания коммутатор может принимать одно из двух возможных состояний: открыт или закрыт.

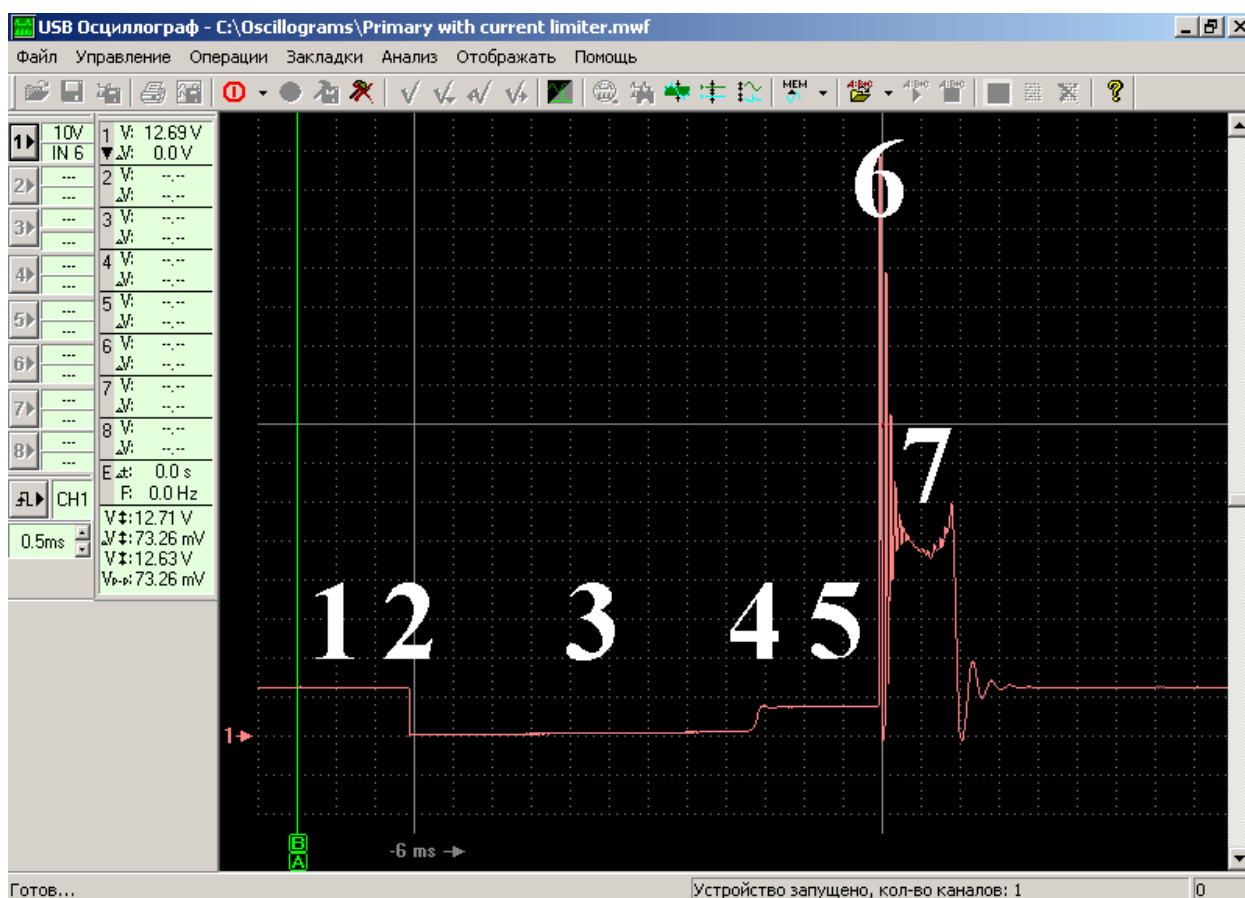


Осциллограмма выходного напряжения коммутатора без встроенной цепи ограничения тока.

- 1 Коммутатор находится в закрытом состоянии. Первичная обмотка катушки зажигания от источника напряжения отключена.
- 2 Момент переключения коммутатора из закрытого в открытое состояние.
- 3 Коммутатор находится в открытом состоянии. Первичная обмотка катушки зажигания находится под воздействием напряжения величиной 12 V. Ток в первичной обмотке катушки постепенно возрастает.
- 6 Момент резкого переключения коммутатора из открытого в закрытое состояние, вследствие чего происходит резкое прерывание тока в первичной обмотке катушки зажигания. Резкое прерывание тока в первичной обмотке катушки приводит к возникновению ЭДС самоиндукции как во вторичной, так и в первичной обмотке катушки зажигания. Напряжение ЭДС самоиндукции, возникающее в первичной обмотке катушки зажигания, ограничено величиной ~400 V за счёт стабилитрона, встроенного в силовой транзистор коммутатора.
- 7 "Отражение" в первичной цепи осциллограммы импульса зажигания во вторичной цепи катушки зажигания.

В более ранних системах зажигания ограничение величины тока, протекающего в первичной обмотке катушки зажигания, обеспечивается за счёт того, что коммутатор, кроме двух своих основных состояний (открыт / закрыт), способен переходить в дополнительный режим работы – режим ограничения тока. Режим ограничения тока обеспечивается коммутатором путём относительно медленного "призакрытия" его

силового транзистора, за счёт чего величина напряжения, воздействующего на первичную обмотку катушки зажигания, уменьшается. Коммутатор переходит в режим ограничения тока автоматически, без вмешательства в процесс блока управления двигателем. Переходом коммутатора из режима открытого состояния в режим ограничения тока управляет встроенная в коммутатор дополнительная электрическая цепь, измеряющая величину тока, протекающего через силовой транзистор коммутатора, и обеспечивающая удержание величины необходимого тока, до подачи сигнала разрешения искры. В таких системах зажигания сигнал, переключающий коммутатор из закрытого в открытое состояние, может поступать от блока управления двигателем (или от задающих датчиков) несколько раньше, чем это необходимо для заряда катушки зажигания. Как следствие, ток в первичной цепи достигает заданного значения раньше, чем это необходимо. Это вызывает автоматический переход коммутатора из открытого состояния в режим ограничения тока, вплоть до момента подачи на вход коммутатора сигнала, вызывающего полное закрытие силового транзистора.



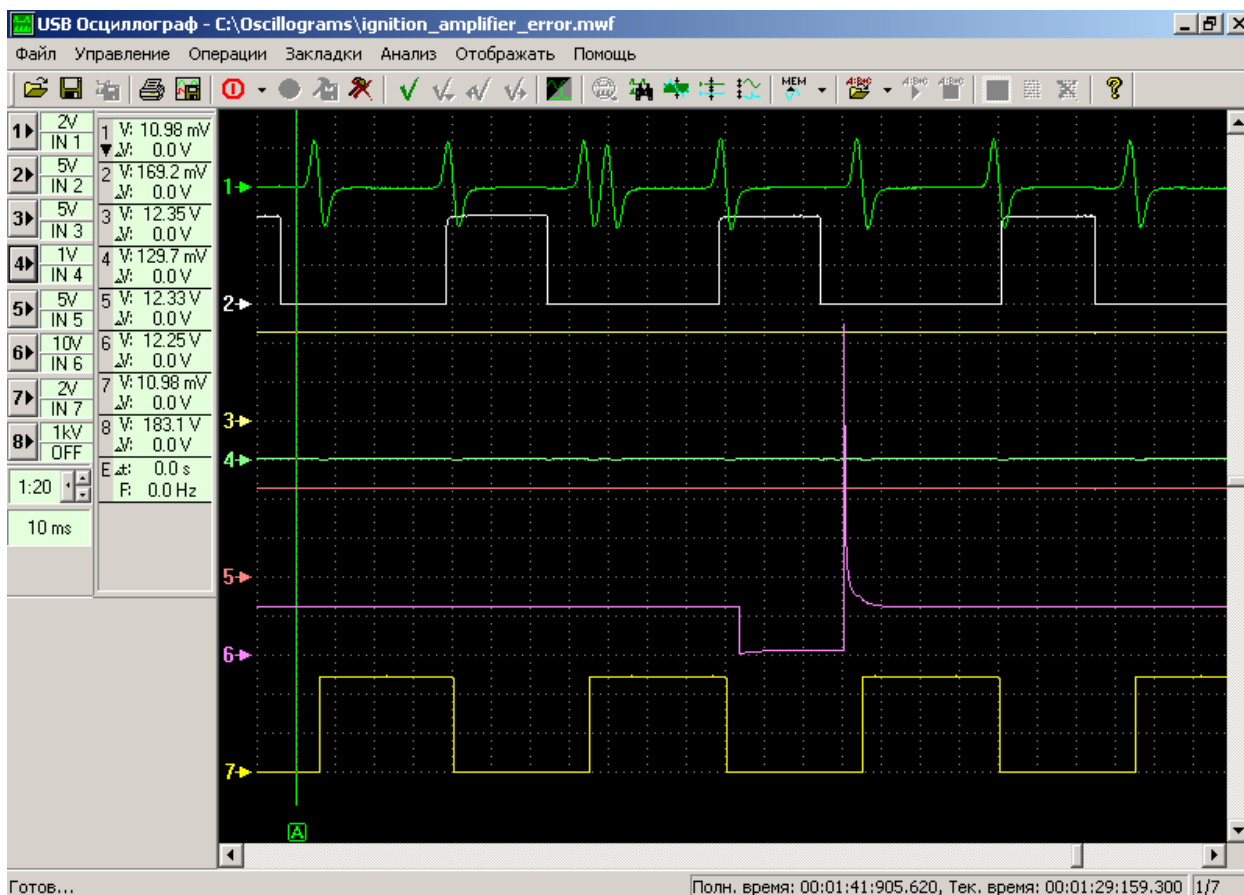
Осциллограмма выходного напряжения коммутатора со встроенной цепью ограничения тока.

- 1 Коммутатор находится в закрытом состоянии. Первичная обмотка катушки зажигания от источника напряжения отключена.
- 2 Момент переключения коммутатора из закрытого в открытое состояние.
- 3 Коммутатор находится в открытом состоянии. Первичная обмотка катушки зажигания находится под воздействием напряжения величиной 12 V. Ток в первичной обмотке катушки постепенно возрастает.
- 4 По достижении заданной величины тока, протекающего через силовой транзистор, коммутатор автоматически медленно переходит из открытого состояния в режим ограничения тока.
- 5 Коммутатор находится в режиме ограничения тока в первичной цепи, обеспечивая, таким образом, стабилизацию величины этого тока.
- 6 Момент резкого закрытия коммутатора, вследствие чего происходит резкое прерывание тока в первичной обмотке катушки зажигания. Резкое прерывание тока в первичной обмотке катушки приводит к возникновению ЭДС самоиндукции как во вторичной, так и в первичной обмотке катушки зажигания. Напряжение ЭДС самоиндукции, возникающее в первичной обмотке катушки зажигания, ограничено величиной ~ 400 V за счёт стабилитрона, встроенного в силовой транзистор коммутатора.
- 7 "Отражение" в первичной цепи осциллограммы импульса зажигания во вторичной цепи катушки зажигания.

Типовые неисправности

Наиболее распространённой неисправностью коммутатора является отсутствие его выходного сигнала при исправности цепей его питания и при наличии входного сигнала – то есть, полный отказ коммутатора от работы. Внешне такая неисправность проявляется как отсутствие генерации искры катушкой зажигания, управляемой этим коммутатором. Искровые разряды между электродами свечей зажигания, обслуживаемых этой катушкой зажигания, не возникают. Соответственно, не происходит воспламенения топливовоздушной смеси – двигатель либо "троит", либо вовсе не запускается (если система зажигания включает только одну катушку зажигания).

В таком случае под подозрение попадают сразу несколько элементов системы зажигания – катушка зажигания, коммутатор, питающие цепи, задающие датчики. Выявить неисправный элемент системы зажигания можно путём проверок входных и выходных сигналов каждого из её элементов при помощи осциллографа. Не следует пренебрегать методом визуального осмотра катушки зажигания на наличие повреждений корпуса, следов пробоя высокого напряжения, обрывов высоковольтных проводов, перегрева элементов коммутатора и прочих признаков повреждений. Неисправность одного элемента системы зажигания часто приводит к повреждению следующего элемента цепочки. В таких случаях замена одного элемента системы зажигания может повлечь повторный выход из строя замененного узла.



Пример диагностирования неисправного коммутатора.

- 1 *Сигнал от датчика положения / частоты вращения коленвала – отсутствует.*
- 2 *Сигнал, поступающий от блока управления двигателем на вход коммутатора – сигнал присутствует.*
- 3 *Напряжение питания коммутатора – присутствует.*
- 4 *Напряжение на выводе "масса" коммутатора – в норме.*
- 5 *Управляющее напряжение, поступающее от коммутатора к катушке зажигания – импульсы отсутствуют.*
- 6 *Напряжение на управляющем выводе топливной форсунки – управляющие импульсы присутствуют, что свидетельствует об успешном распознавании блоком управления двигателем сигналов от задающих датчиков.*
- 7 *Сигнал от датчика положения распредвала – присутствует.*

По приведённому примеру видно, что сигналы от задающих датчиков к блоку управления двигателем поступают, блок управления двигателем эти сигналы распознал и генерирует управляющие сигналы топливной форсункой и коммутатором. Напряжение питания катушки зажигания присутствует, управляющие импульсы от коммутатора на катушку зажигания при этом не поступают. Таким образом, устанавливается диагноз – неисправен коммутатор.

Другой распространённой неполадкой коммутатора является неисправность цепи, управляющей режимом ограничения тока в первичной обмотке катушки зажигания. Оснащённый таким коммутатором двигатель может в значительной степени утратить "приёмистость".

Вследствие такой неполадки, искажается форма осциллограммы выходного напряжения коммутатора в зоне перехода коммутатора из открытого состояния в режим ограничения тока, в зоне ограничения тока в первичной цепи зажигания, в зоне открытого состояния коммутатора, или одновременно в нескольких из перечисленных зон.



Пример осциллограммы выходного напряжения коммутатора с неисправной цепью ограничения тока.

На приведённой выше иллюстрации показан пример осциллограммы выходного напряжения коммутатора с неисправной цепью, управляющей режимом ограничения тока в первичной обмотке катушки зажигания. В зоне открытого состояния коммутатора **3** напряжение на управляющем выводе коммутатора составляет около 4 V вместо положенных 0,5...1,5 V, что может стать причиной слабого заряда катушки зажигания, и как следствие, привести к уменьшению мощности искрового разряда.

Переход коммутатора из открытого состояния в режим ограничения тока **45** происходит слишком быстро, что видно по вертикальному переднему фронту напряжения в этой зоне. Формирование коммутатором такого фронта выходного напряжения может стать причиной возникновения высокого напряжения во вторичной обмотке катушки зажигания, достаточного для образования искрового разряда между электродами свечи

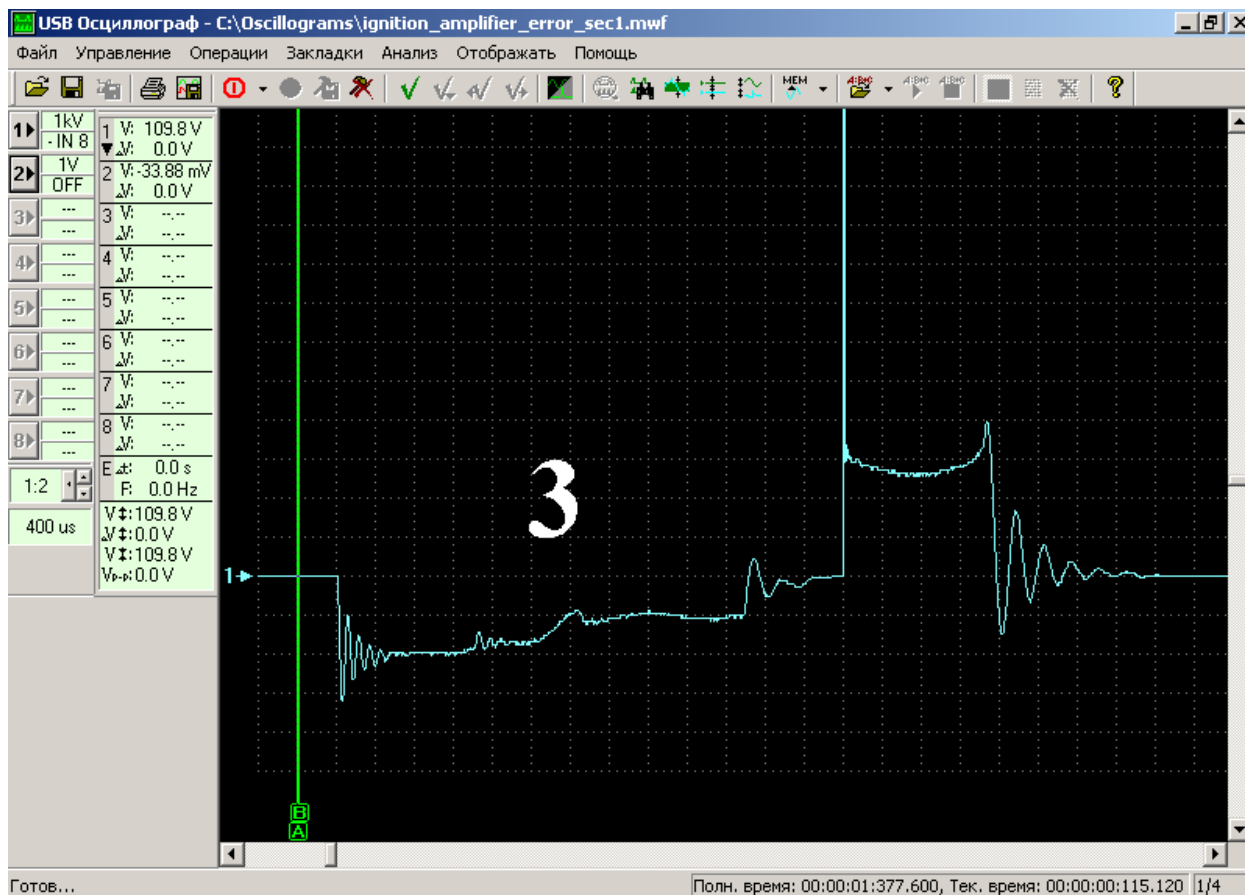
зажигания. Такой искровой разряд может спровоцировать возгорание топливовоздушной смеси раньше необходимого момента. Слишком раннее возгорание топливовоздушной смеси может привести к возникновению детонационного сгорания смеси, что в свою очередь может стать причиной поломки механической части двигателя, повреждения свечи зажигания, уменьшения мощности двигателя...

В режиме ограничения тока 5 коммутатор работает нестабильно, дополнительно формируя вертикальные передние фронты напряжения, о негативном влиянии на двигатель которых сказано выше. Кроме того, неправильная работа коммутатора в режиме ограничения тока в первичной цепи зажигания может привести либо к недостаточному заряду катушки зажигания, и, как следствие, к уменьшению мощности искрового разряда, что влечёт за собой возникновение пропусков воспламенения смеси, либо наоборот – к увеличению значения тока, протекающего в первичной обмотке катушки зажигания, и, как следствие, к перегреву катушки зажигания и коммутатора.

Внимание:

В случае выявления диагностом признаков, указывающих на неправильную работу цепи управления режимом ограничения тока в первичной обмотке катушки зажигания, необходимо обязательно проверить и убедиться в надёжности соединения коммутатора с "массой" двигателя при помощи осциллографа, так как неисправность этого соединения может проявлять себя так же, как и рассматриваемая неисправность коммутатора.

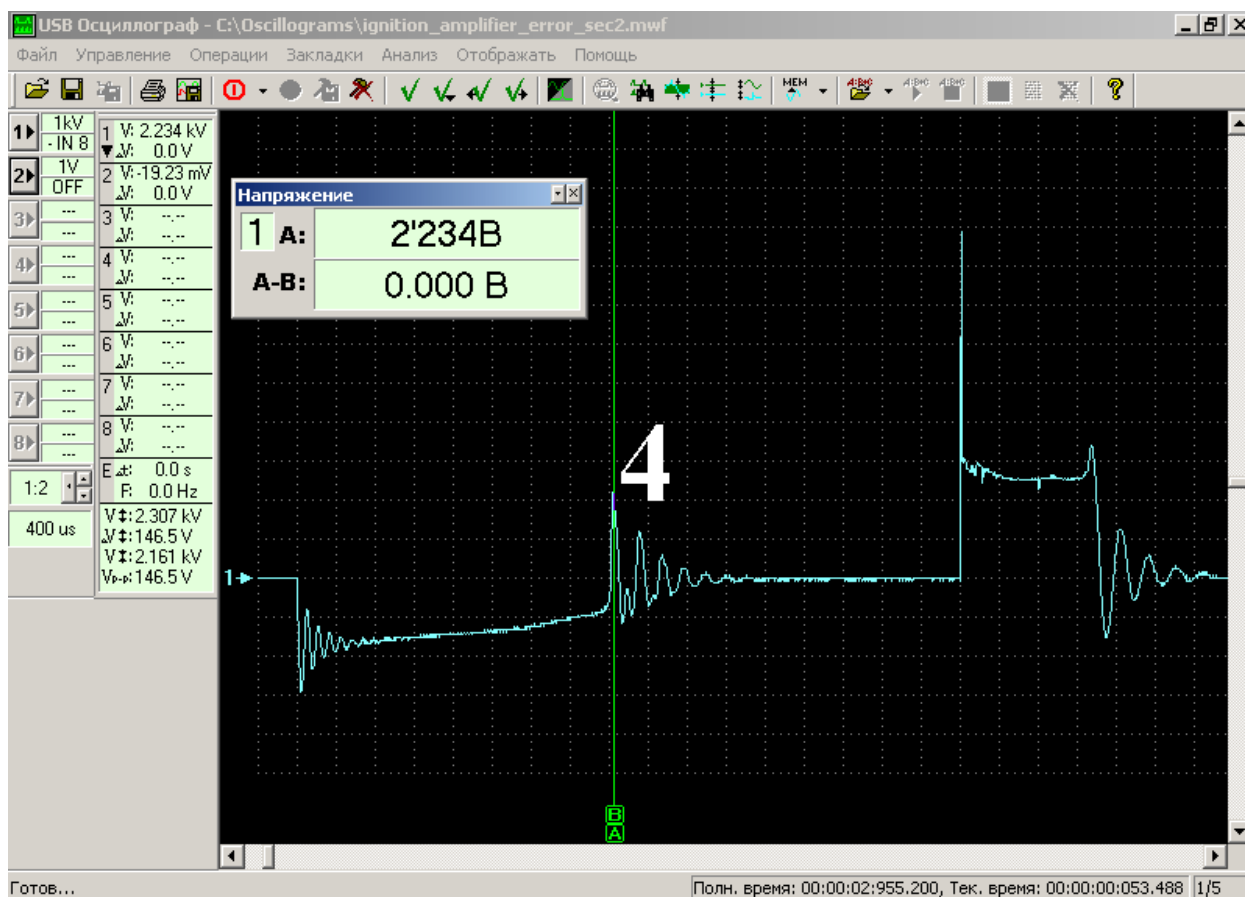
Обнаружить неисправность цепи управления режимом ограничения тока в первичной обмотке катушки зажигания можно так же и путём изучения осциллограммы напряжения во вторичной цепи системы зажигания, полученной при помощи ёмкостного датчика.



Пример осциллограммы выходного напряжения катушки зажигания управляемой коммутатором с неисправной цепью ограничения тока. Неполадка "отражается" в зоне открытого состояния коммутатора 3.

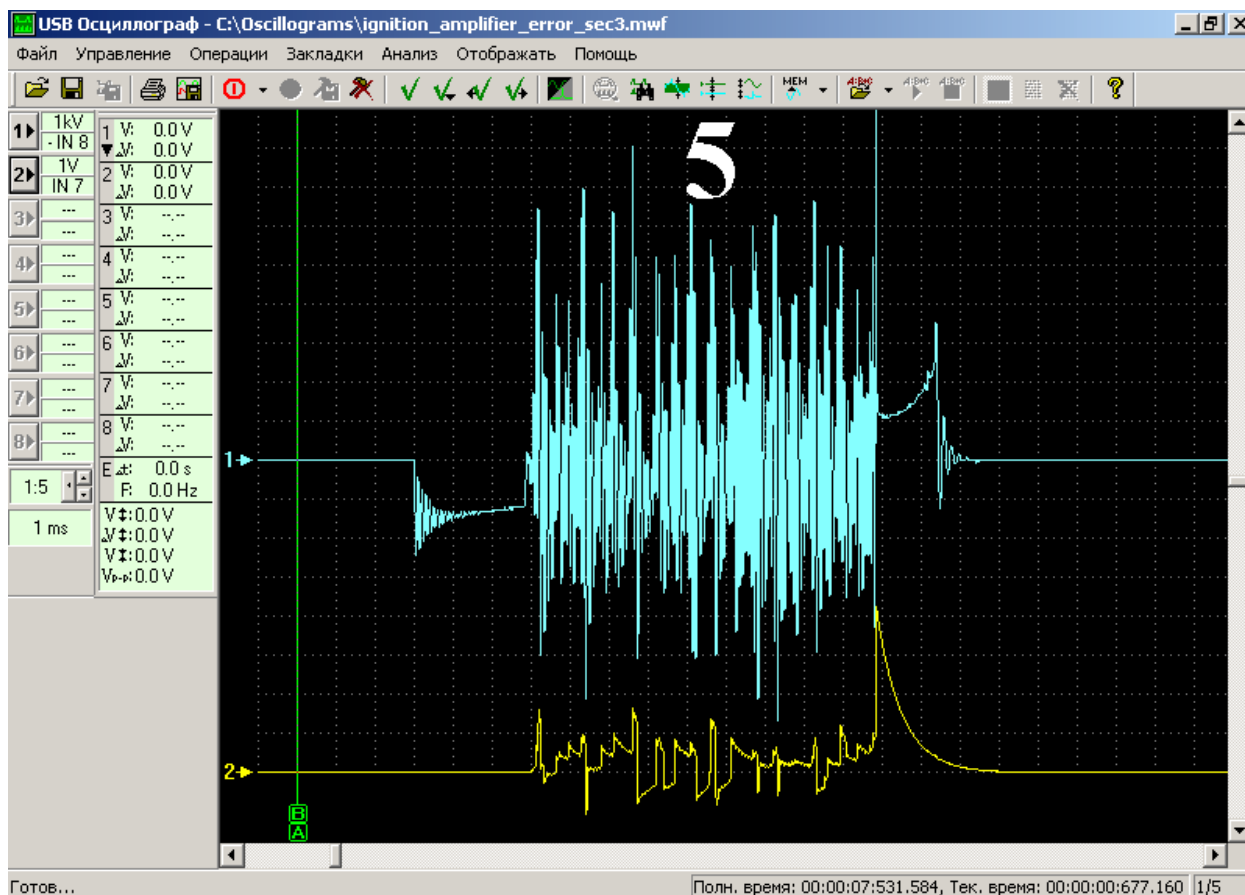
На приведённой выше иллюстрации показан пример "отражения" во вторичной цепи зажигания нестабильной работы коммутатора в режиме открытого состояния, указывающий на неисправность коммутатора, или ненадёжное соединения коммутатора с "массой" двигателя.

Во время перехода коммутатора из режима открытого состояния в режим ограничения тока, во вторичной цепи зажигания может возникать всплеск напряжения (один или несколько). Такой всплеск напряжения является паразитным эффектом, но считается допустимым, если амплитуда напряжения такого всплеска не превышает значения 2 kV. В случае если величина выходного напряжения катушки зажигания во время перехода коммутатора из режима открытого состояния в режим ограничения тока или во время режима ограничения тока достигает значение 2kV, коммутатор, управляющий данной катушкой, необходимо заменить.



Пример осциллограммы выходного напряжения катушки зажигания управляемой коммутатором с неисправной цепью ограничения тока. Вследствие неисправности коммутатора, в зоне перехода коммутатора 4 из режима открытого состояния в режим ограничения тока, амплитуда возникшего во вторичной цепи зажигания импульса напряжения достигла опасной величины, равной в данном случае 2,2 kV.

На некоторых режимах работы двигателя для образования искрового разряда между электродами свечи зажигания может быть достаточно напряжения величиной немногим больше 2 kV. А как рассматривалось выше, такой искровой разряд может стать причиной поломки механической части двигателя, свечи зажигания, уменьшения мощности двигателя... По этой причине, для паразитных импульсов напряжения во вторичной цепи зажигания превышение данной величины напряжения считается критичным.



Пример осциллограммы выходного напряжения катушки зажигания управляемой коммутатором с неисправной цепью ограничения тока. Вследствие неправильной работы, коммутаторы в зоне 5 ограничения тока, возникают многочисленные импульсы напряжения во вторичной цепи системы зажигания. Амплитуда некоторых из этих импульсов достигает значения 8 kV, а этого на многих режимах работы двигателя может быть достаточно для возникновения многочисленных искровых разрядов между электродами свечи зажигания, а, следовательно, и слишком раннего возгорания топливовоздушной смеси в цилиндре.

- 1 Осциллограмма выходного напряжения катушки зажигания, управляемой неисправным коммутатором.
- 2 Сигнал от датчика синхронизации с первым цилиндром.

На приведённой выше иллюстрации показан пример, когда вследствие неисправности коммутатора, амплитуда напряжения паразитных импульсов во вторичной цепи зажигания, возникающих при работе коммутатора в режиме ограничения тока 5, многократно превышает максимально допустимое значение, равное 2 kV.

Подобные неисправности коммутатора могут быть устранены только путём замены коммутатора на исправный.