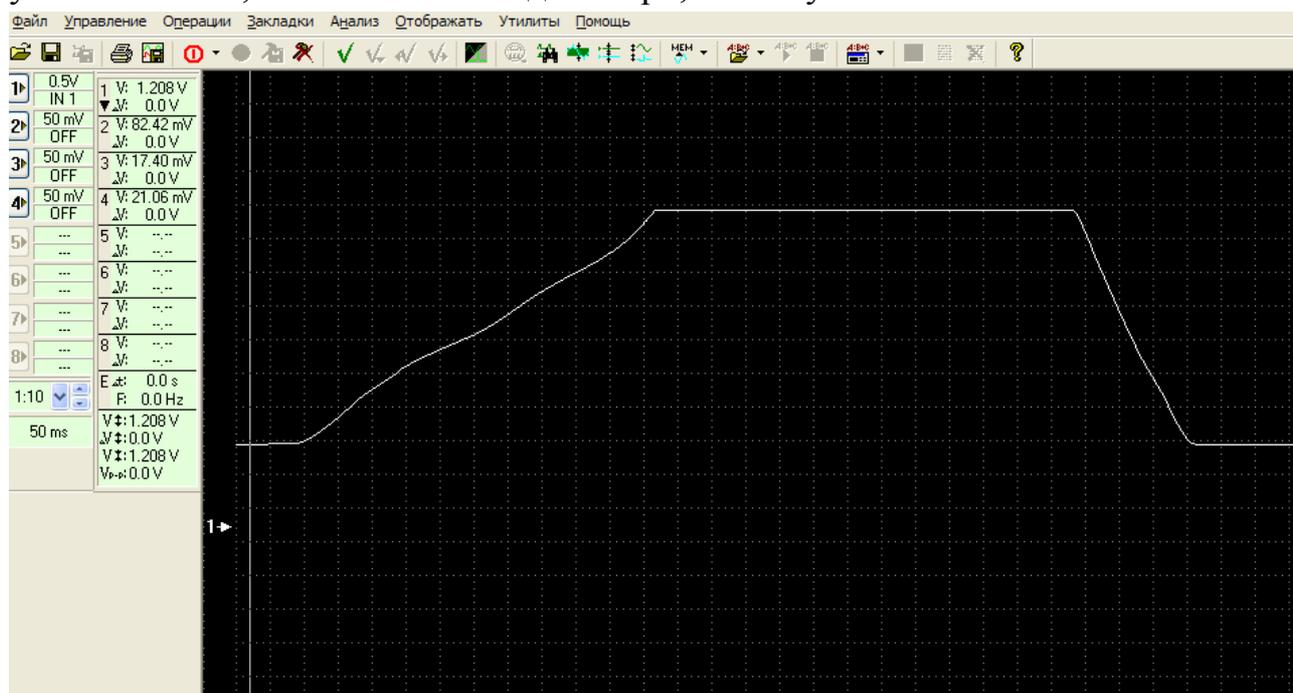


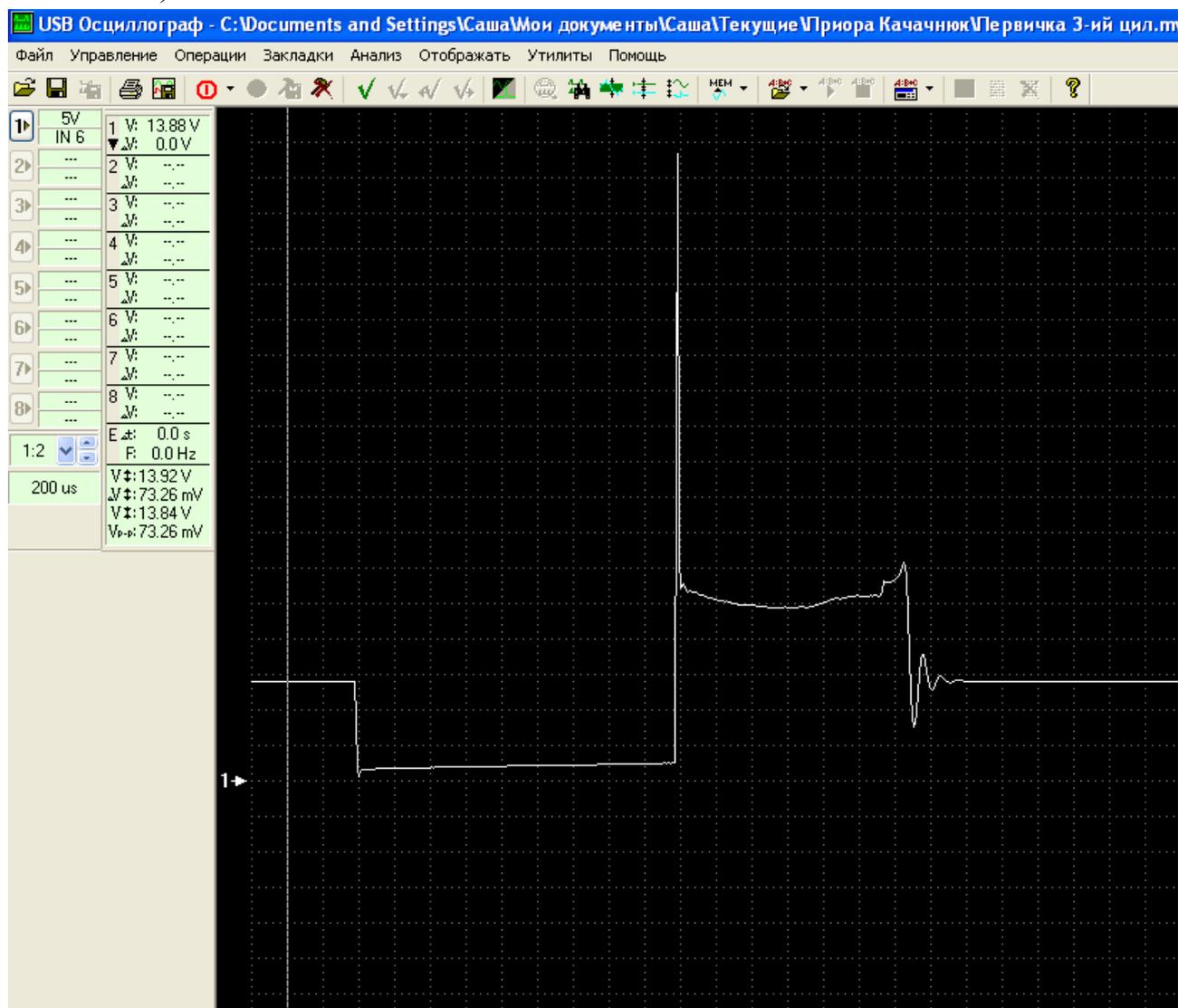
Осциллограф для начинающих

Начинающие диагносты искренне верят, что после приобретения осциллографа они, теперь то уж точно, смогут обнаружить любую неисправность. Но, частенько, после приобретения прибора появляется много вопросов. Причем, если даже удалось корректно записать осциллограмму, то не всегда получается разобраться с полученными графиками. Даже если богатенький владелец СТО «не полюбился» и купил все необходимое оборудование, начинающие диагносты, частенько, оказываются в положении интернов из известного телесериала. И анализы все можно сделать, и процедуры, и лекарства под рукой. Вот, только, результат... Как писал в сети Юра Игнатенко, (более известный как GNAT), "...врачей много, а правильно расшифровать кардиограмму могут единицы...". И тогда, на профильных форумах, начинают появляться многочисленные сообщения с просьбой помочь проанализировать то, что наснимал начинающий... Получается, что "права купил, машину купил, а «ездить» не купил". Поэтому, попробую рассказать про свой скромный опыт в анализе и расшифровке осциллограмм.

Осциллограф – это, фактически, графический вольтметр. Его отличие от вольтметра в том, что он показывает не только величину напряжения, но и как оно изменяется во времени, т.е. его форму. Соответственно, ось "Y" – это величина напряжения, а ось "X" – это время. Если величина напряжения не меняется мы увидим на мониторе горизонтальную линию. Если напряжение увеличивается мы увидим на мониторе горизонтальную линию. Если напряжение увеличивается, то эта линия пойдет вверх, а если уменьшается – то вниз.



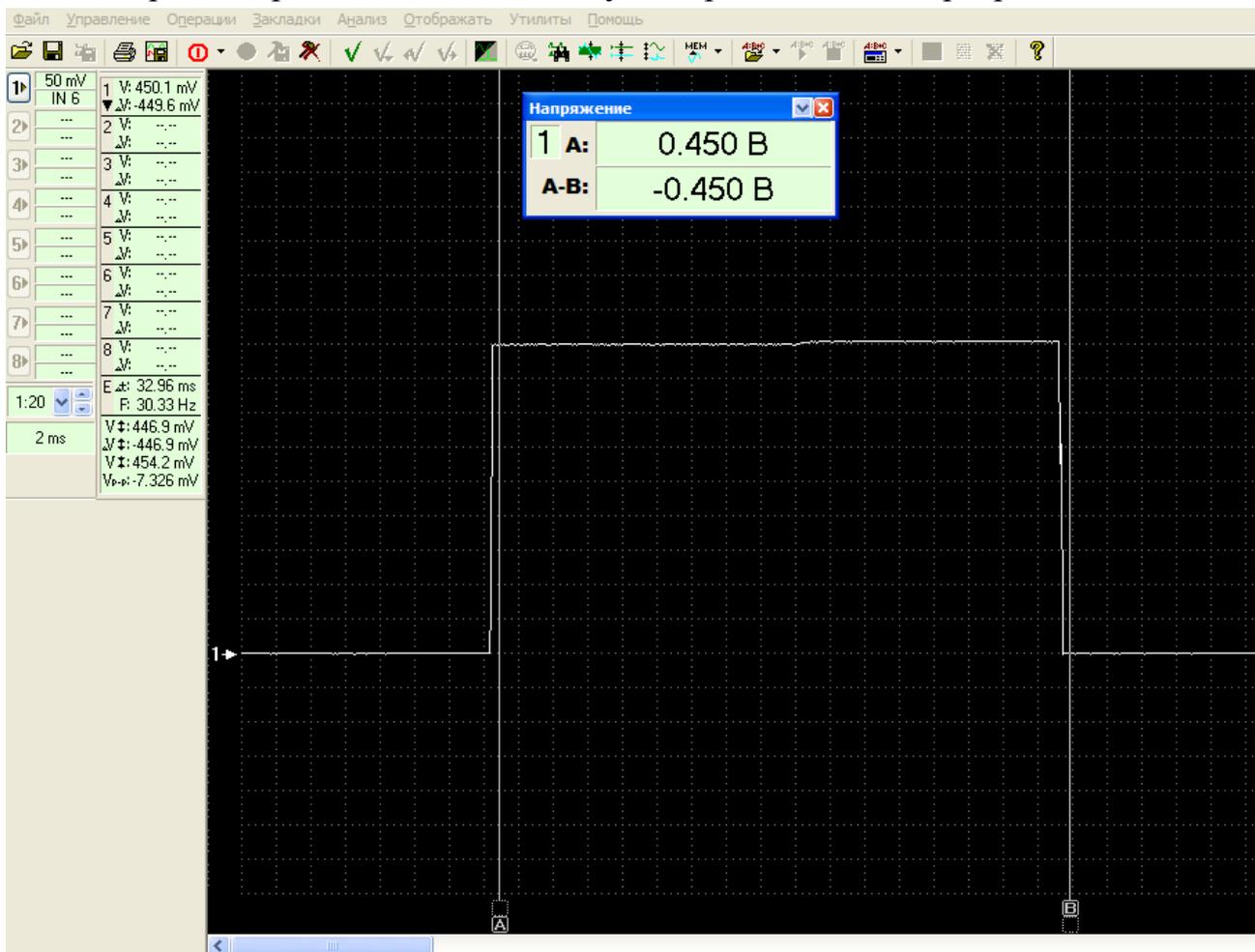
Особенно ценным осциллограф будет при анализе быстро протекающих процессов (например, сигналов датчиков) или сигналов имеющих, к тому же, еще и сложную форму (например, управления форсункой или катушкой зажигания).



Для того, чтобы уметь проанализировать осциллограмму нужно, прежде всего, знать и понимать протекающие процессы и приобрести определенный опыт.

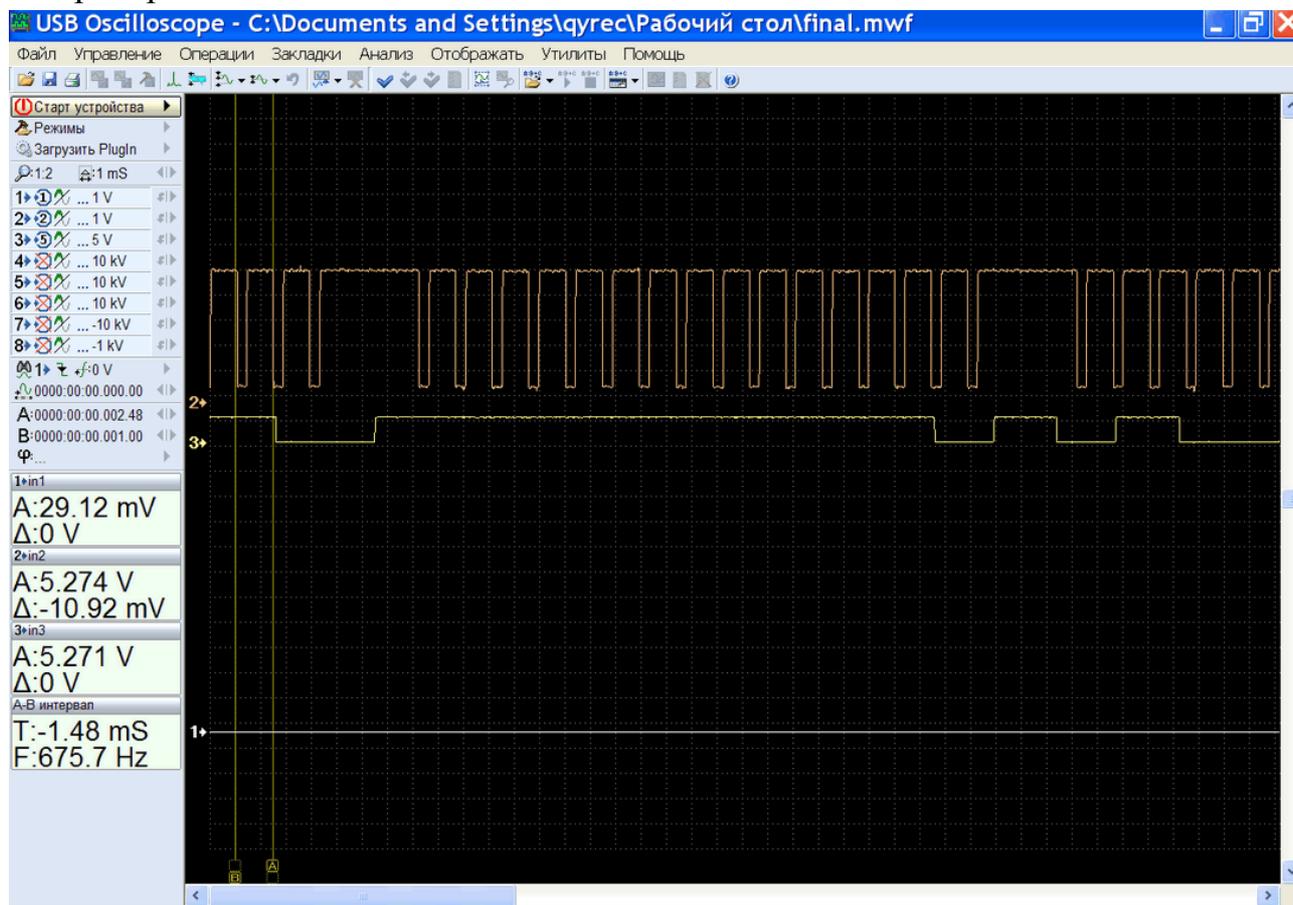
Потренируемся следующим образом. Возьмем любой источник питания, (например, автомобильную аккумуляторную батарею или пальчиковую батарейку) и будем подключать ее к осциллографу. Когда на сигнальном выводе осциллографического щупа напряжения нет, мы видим на мониторе горизонтальную линию. А когда напряжение есть, мы тоже увидим горизонтальную линию, только она «подпрыгнет» вверх. Если подключать питание к осциллографическому щупу и тут же отключать его, то на мониторе появятся импульсы прямоугольной формы. Изменяя чувствительность входа осциллографа можно изменять высоту этих импульсов, а изменяя развертку – изменять их ширину. При помощи индикатора значения можно, с большой точностью, измерить величину напряжения в точке, куда установлен

измерительный маркер, а также измерить продолжительность любого участка осциллограммы, расположив его между измерительными маркерами.



Усложняем задание. Для его проведения понадобится помощник (или, лучше помощница). Берем два источника питания и будем подключать-отключать их к двум разным каналам осциллографа. Тогда мы увидим на мониторе пример двухканальной осциллограммы. Причем, если помощница будет совершать свои подключения не спеша, а вы, наоборот, будете «частить», то прямоугольные импульсы разных каналов будут отображаться на мониторе в разное время.

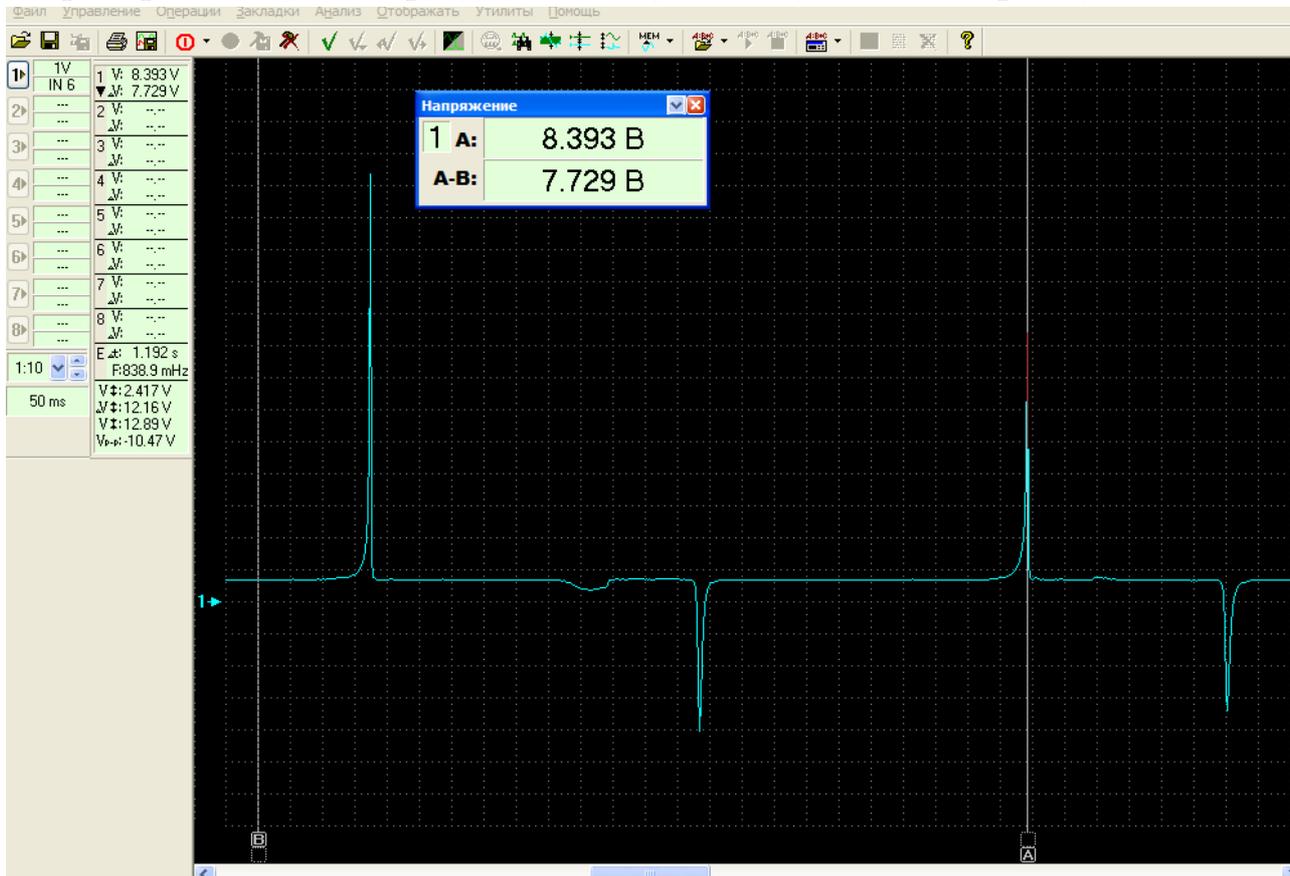
Можно привести много примеров подобных сигналов в системе управления автомобильного двигателя. Например, особенно ценной будет такая запись при проверке правильности установки цепи, или ремня газораспределения.



Можно, также, поэкспериментировать с сигналами различных автомобильных датчиков и устройств, приобретая, тем самым, нужный и необходимый опыт.

Датчик положения коленвала.

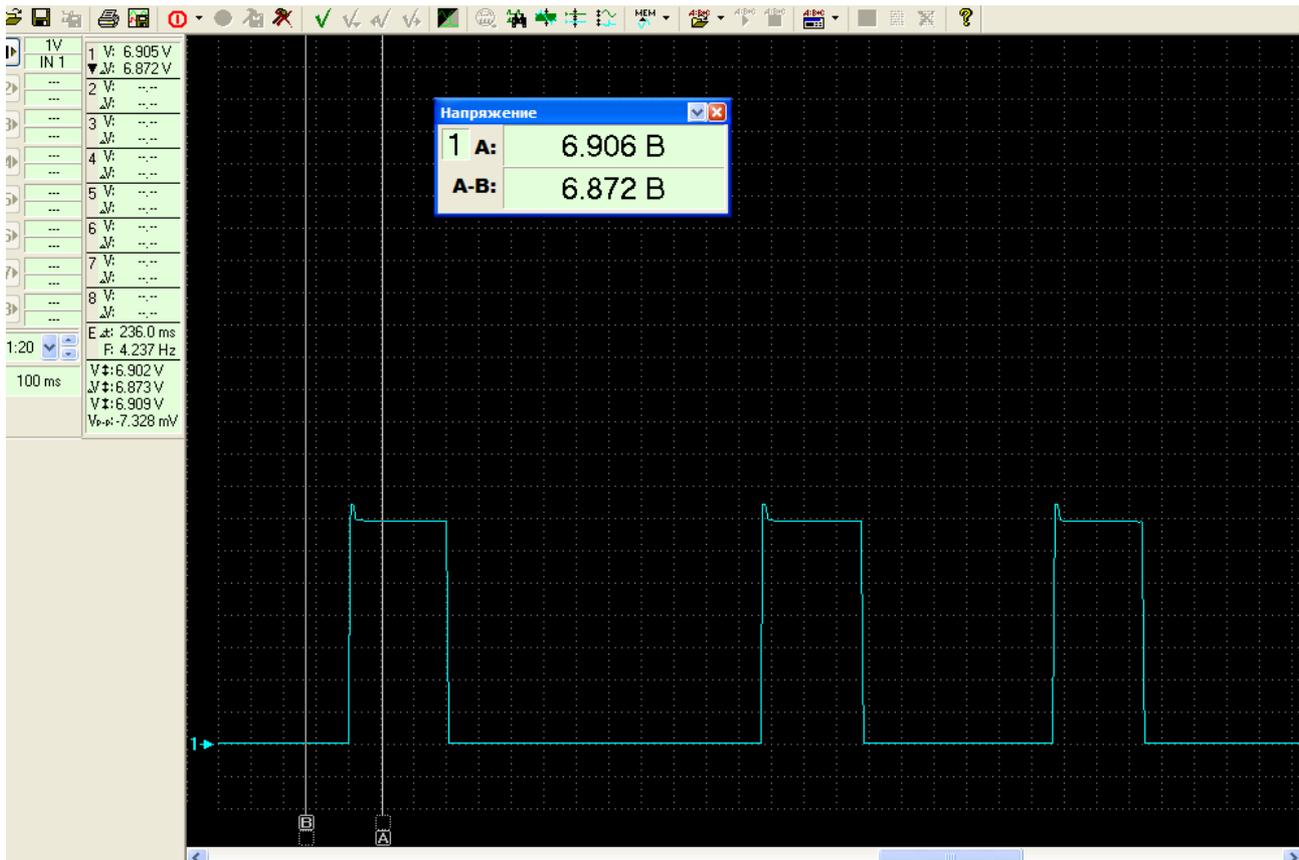
Этот датчик, в большинстве случаев, индукционный. Т.е. он не является источником напряжения, но способен реагировать на металлические предметы. Так, если подключить к такому датчику осциллограф и поднести к нему, например, обычную отвертку, то мы получим такую осциллограмму.



Как тут не вспомнить Audi 100 V6, с объемом 2.6 или 2.8 литра.

Датчик Холла.

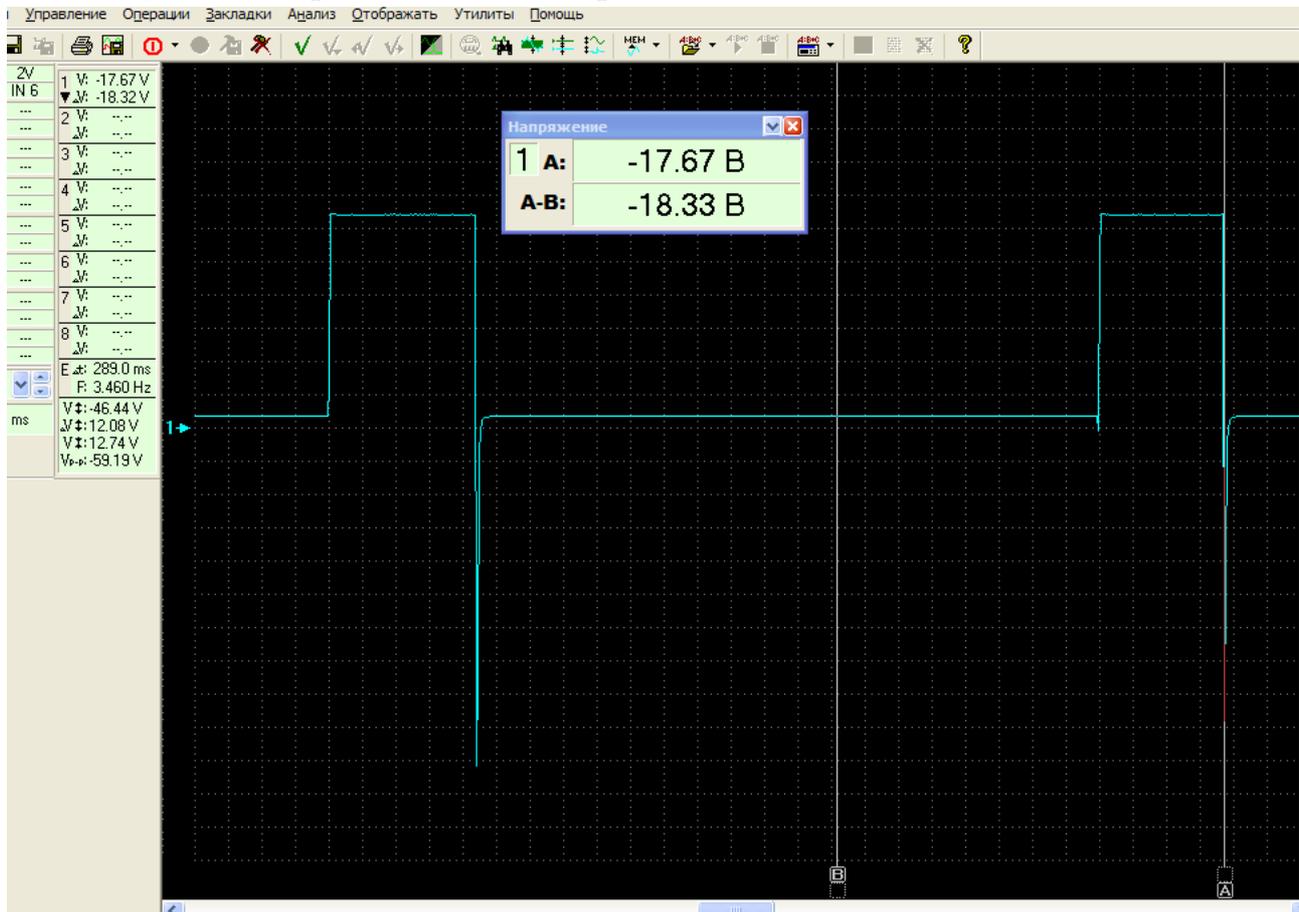
Этот датчик работает как обыкновенный выключатель. Для работы ему необходимо питающее напряжение. Поэтому если этот датчик «на весу» подключить, например, к разъему трамблера карбюраторной Славуты, или ВАЗ 2109, то после включения зажигания можно поэкспериментировать с датчиком. Если в паз датчика вставлять и вынимать, например, ножовочное полотно, то осциллограф, подключенный к сигнальному проводу датчика, покажет такую осциллограмму.



Некоторые думают, что датчик Холла сам "выдает" напряжение. Но, это не так. Никакого напряжения датчик Холла не выдает. Он просто подключает сигнальный выход к «массе» и отключает его от «массы», и тем самым изменяет величину опорного напряжения, которое приходит к нему от коммутатора или электронного блока управления двигателем.

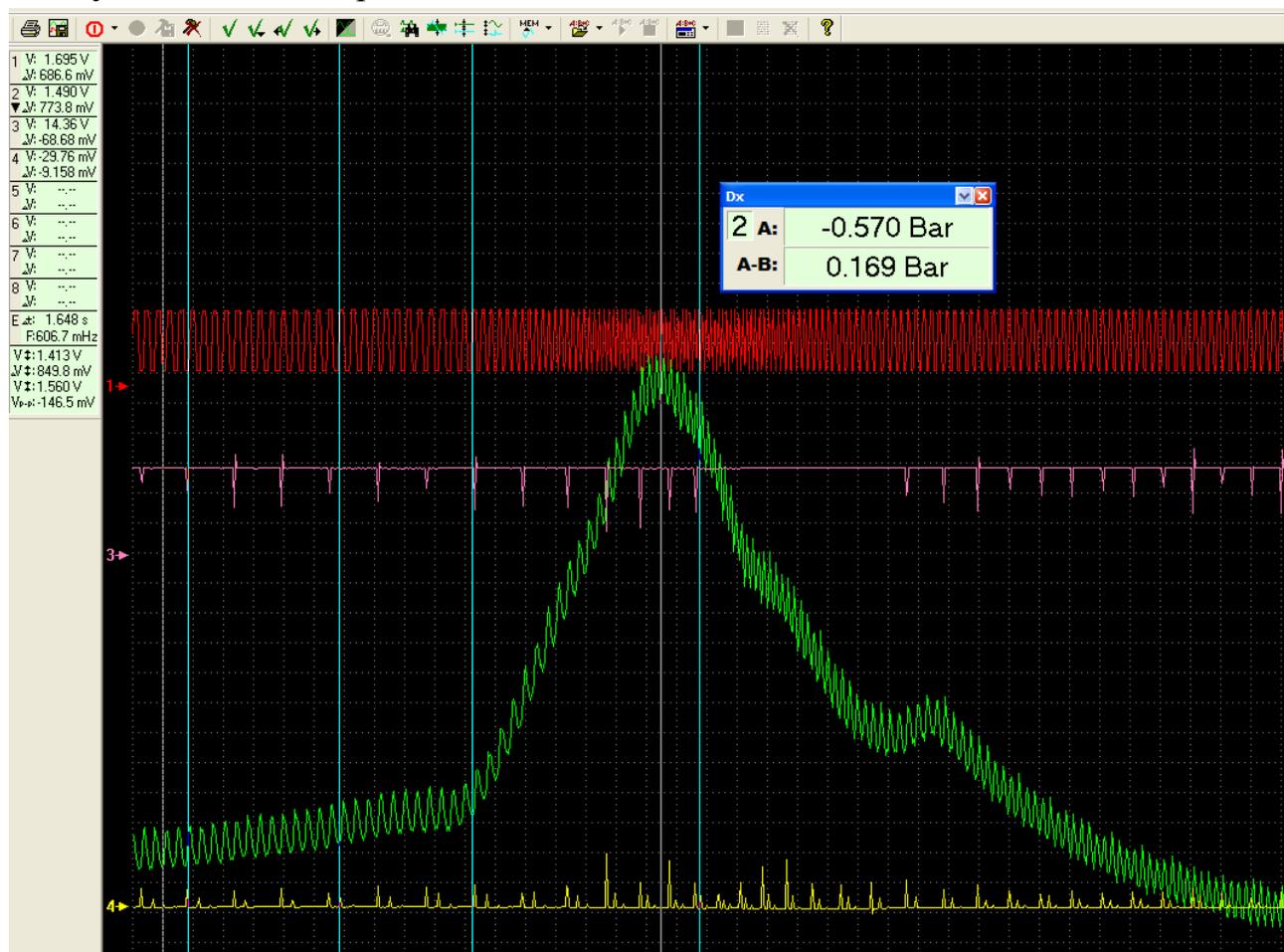
Электромагнитное реле.

Если подключить осциллограф к обмотке реле и подавать на его обмотку импульсное напряжение, (т.е. по простому говоря, подключать и отключать питание), то на осциллограмме мы увидим «выброс» напряжения самоиндукции в отрицательной полярности.



Если мысленно попробовать перевернуть эту осциллограмму «вверх ногами», то она станет очень-очень похожей на осциллограмму управления электромагнитной форсункой (впрочем, как и на осциллограмму любого другого элемента, обладающего значительной индуктивностью – электромагнитного клапана и т.п.).

Еще больше информации можно получить при многоканальной записи. Например, если подключиться к форсунке, искре, MAP и измерить разрежение во впускном коллекторе.



А теперь, плавно переходим к электромагнитной форсунке. В ее разьеме имеется два вывода. На один из выводов подается «+», а другой вывод управляющий, т.е. при замыкании его на «массу» форсунка откроется и будет впрыскивать топливо. Как же правильно подключить осциллограф к электромагнитной форсунке? Сразу же напомним, что подавляющее большинство многоканальных осциллографов позволяет снимать осциллограммы только относительно массы. Это означает, что один вывод осциллографического щупа (например в Постолографе, это крокодил черного цвета) нужно всегда подключать к «массе» автомобиля (причем, в одной точке с массовыми крокодилами других каналов), а другой вывод (называемый сигнальным) нужно подключать к измеряемой точке электросхемы автомобиля.

Что же произойдет, если при многоканальной записи черные крокодилы подключить к самым разным точкам электропроводки авто? (и, даже, к таким, на которых имеется напряжение относительно «массы» автомобиля)? Поскольку все черные крокодилы соединены с массой осциллографа (которая, к тому же, еще, обычно, и заземлена), т.е. все черные крокодилы соединены друг с другом, то мы не только замкнем эти точки между собой, но и также замкнем их на массу.

Еще один момент. Электромагнитная форсунка имеет индуктивность, из-за чего при отключении питания обмотка форсунки генерирует импульс самоиндукции величиной в несколько десятков Вольт (впрочем, как и другие компоненты имеющие значительную индуктивность – электромагнитные клапаны и реле, ротор генератора, катушка зажигания...). Поэтому подключать осциллограф к форсунке нужно обязательно к входу с делителем напряжения 1:10.

Уточню, что в виде исключения, один канал осциллографа можно подключить к обоим выводам одной форсунки (т.е. на один вывод форсунки подключить крокодил черного цвета, а на другой – сигнальный щуп). Но! Подключаться так возможно только тогда, когда используется только один канал, т.е. к другим входам осциллографа ничего не подключено. Иначе, возможны определенные неприятности.

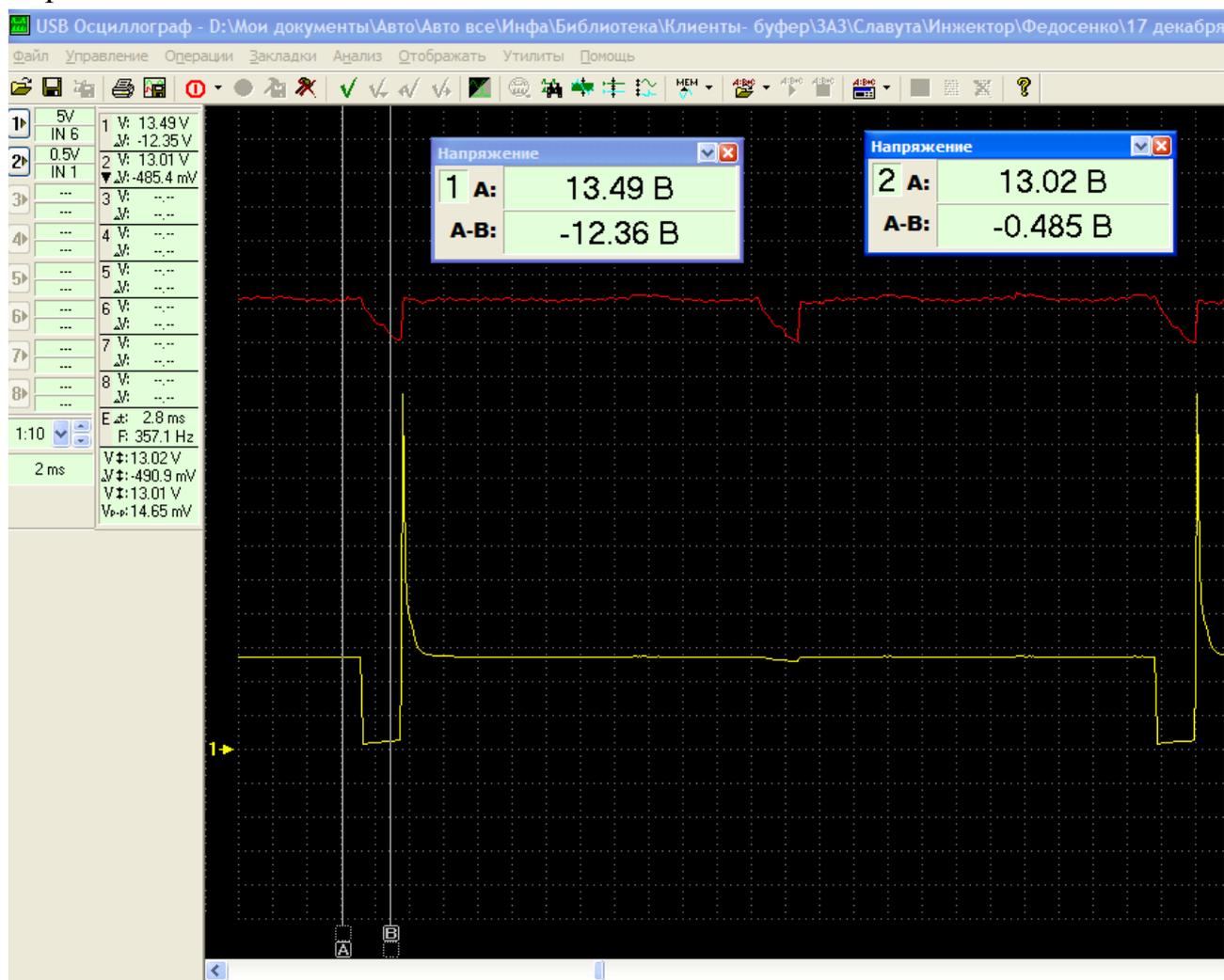
Что же мы увидим на мониторе осциллографа, подключенного двумя каналами (т.е. при двухканальной записи) к обоим выводам форсунки и включив зажигание? При неработающем моторе на обоих выводах мы должны увидеть напряжение питания. Так происходит потому, что управляющий вывод форсунки при неработающем моторе никуда не подключен, т.е. просто «висит». Поэтому, напряжение проходит через обмотку форсунки и попадает также и на второй вход осциллографа. Сопротивление обмотки форсунки настолько мало, что осциллограф потери напряжения на ней просто «не замечает» (получается, что осциллограф, как бы, подключен к напряжению питания через обмотку катушки).

Если же напряжения на одном из выводов форсунки не будет, то тут возможны несколько причин:

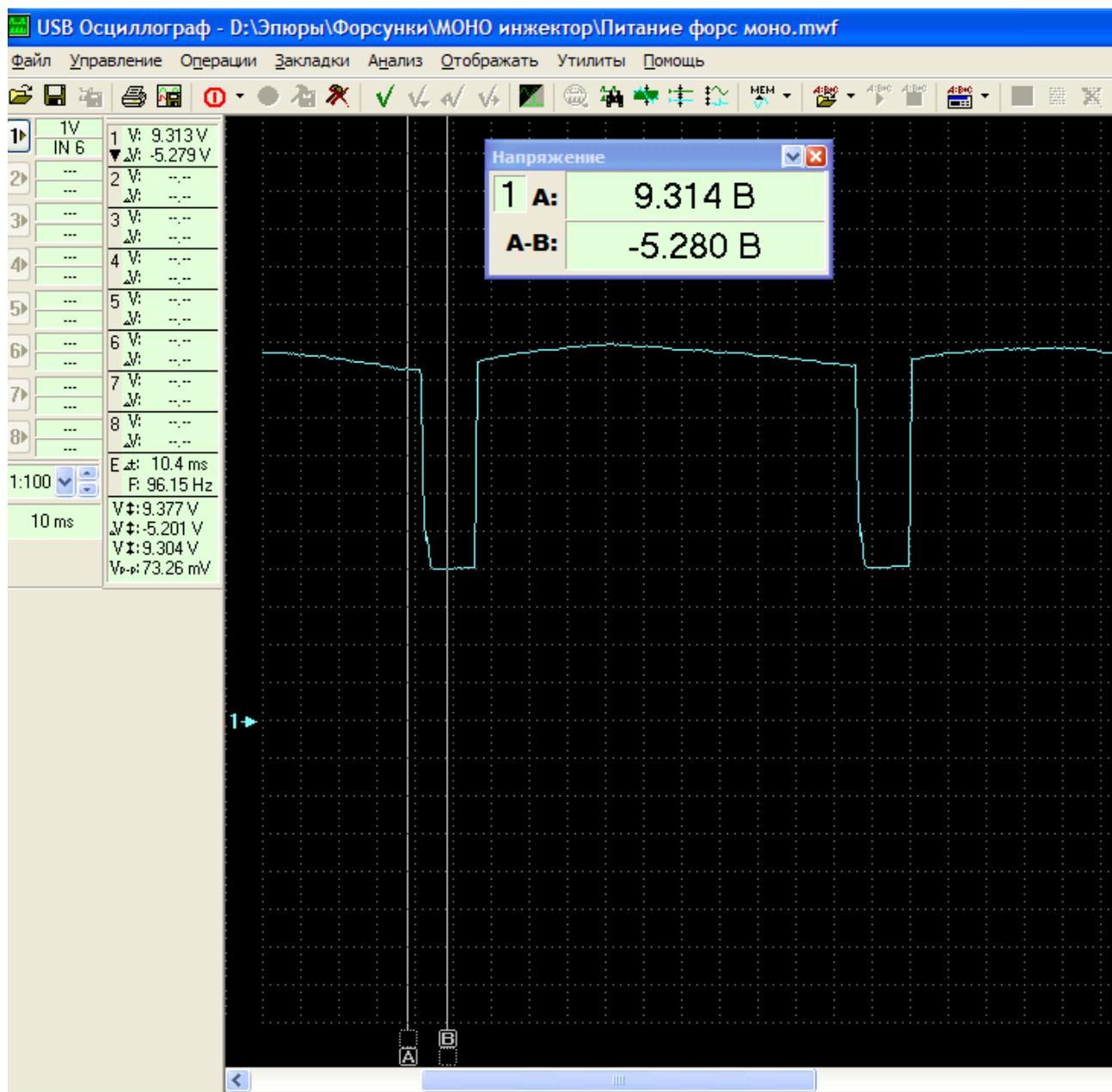
- 1) нет контакта щупа осциллографа с выводом форсунки;
- 2) обмотка форсунки оборвана;
- 3) вывод форсунки по каким-то причинам замкнут на «массу»;
- 4) ошибка при выборе канала осциллографа.

А вот, при замыкании управляющего вывода на «массу» (что и происходит на работающем моторе), график напряжения на управляющем выводе форсунки резко изменяется.

Итак. На канале осциллографа, подключенного к питающему выводу форсунки, при включенном зажигании мы увидим напряжение питания. При работающем моторе на нем будут небольшие просадки напряжения (кратковременные провалы), величиной в десятые доли Вольта, которые возникают от подключения мощных потребителей (катушки зажигания, других форсунок и т.д.). Если величина этих просадок менее 1 Вольта, то это нормально.

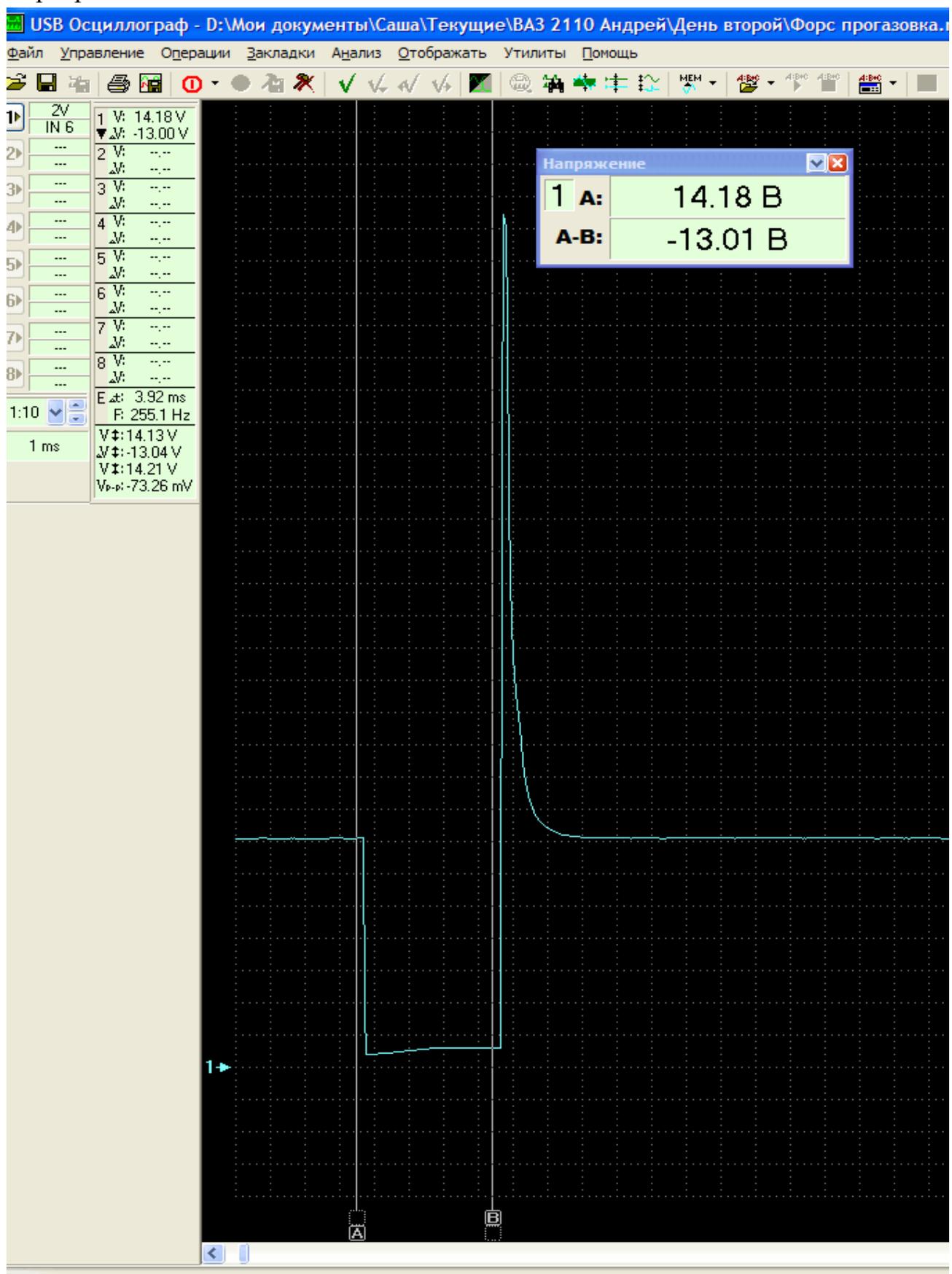


Если же величина просадки напряжения достигает нескольких Вольт, то тогда нужно искать причину. Возможно, виноваты плохие контакты в электропроводке.



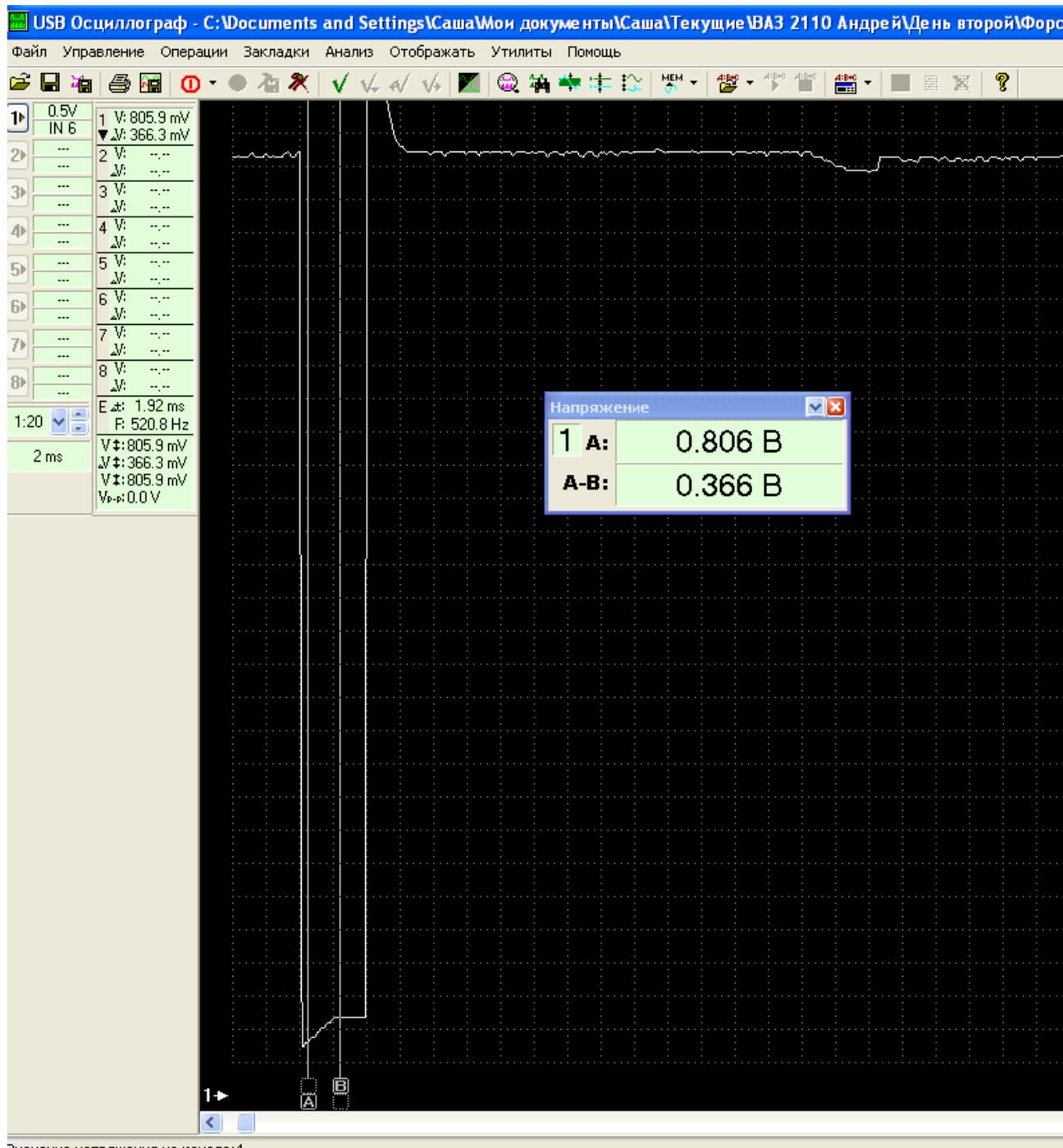
Осциллограмма, снятая с управляющего вывода форсунки, будет иметь более сложную форму. Она, также, будет зависеть и от алгоритма управления, заложенного в блоке управления. Рассмотрим классический сигнал управления электромагнитной форсункой более подробно. При включении форсунки ее управляющий вывод подключается к «массе». В этот момент напряжение на этом выводе должно уменьшиться с напряжения бортовой сети до величины менее одного Вольта (это величина падения напряжения на управляющем транзисторе и питающих проводах, и, обычно, она составляет несколько десятых Вольта). Пока управляющий вывод форсунки подключен к «массе», форсунка будет открыта и будет впрыскивать топливо.

Время открытия форсунки можно измерить при помощи измерительных маркеров.

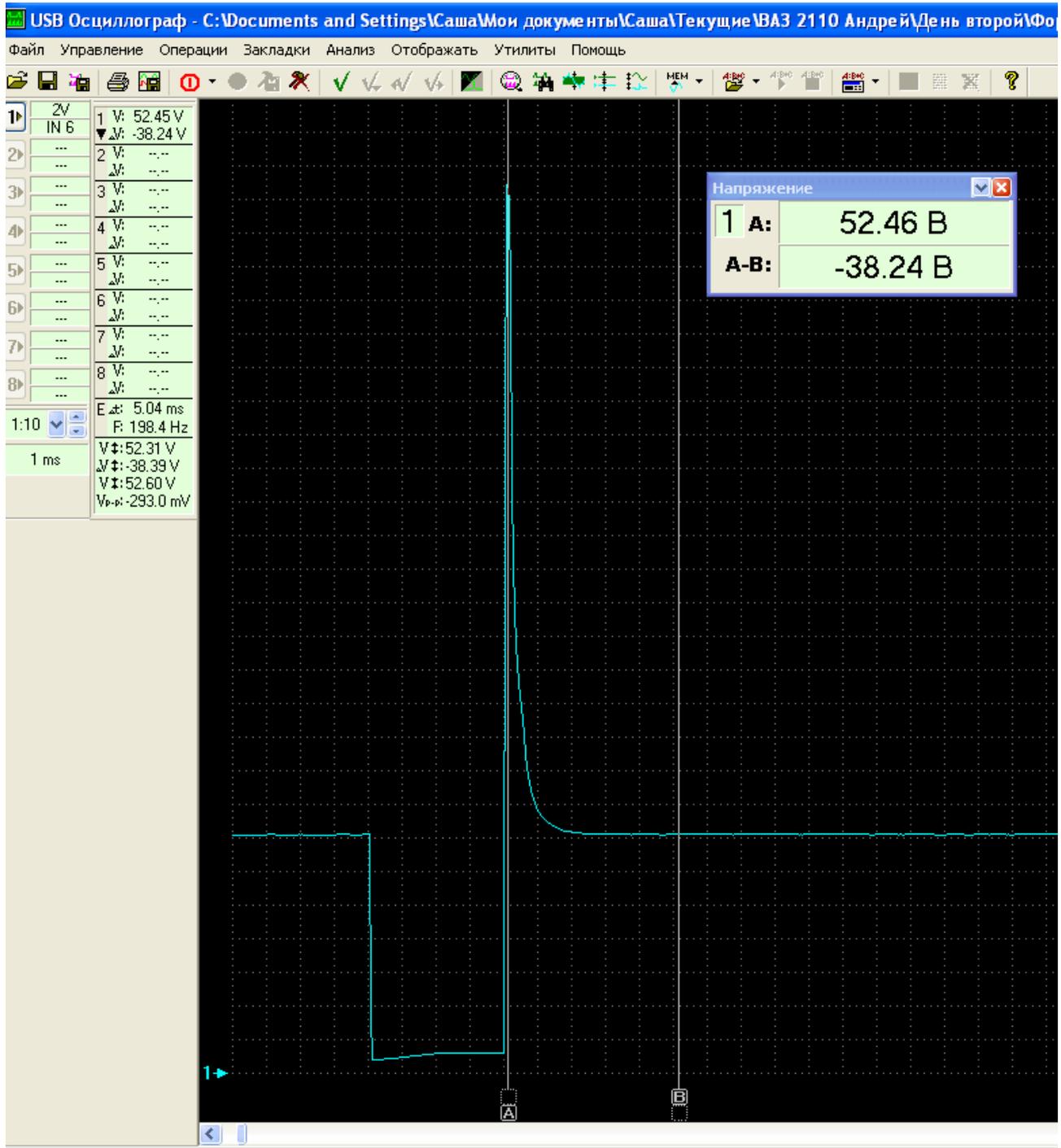


Время открытия форсунки может изменяться в очень широких пределах

Можно заметить, что после открытия форсунки напряжение на ее управляющем выводе очень незначительно повышается. Это нормально, и из-за этого не нужно поднимать панику.

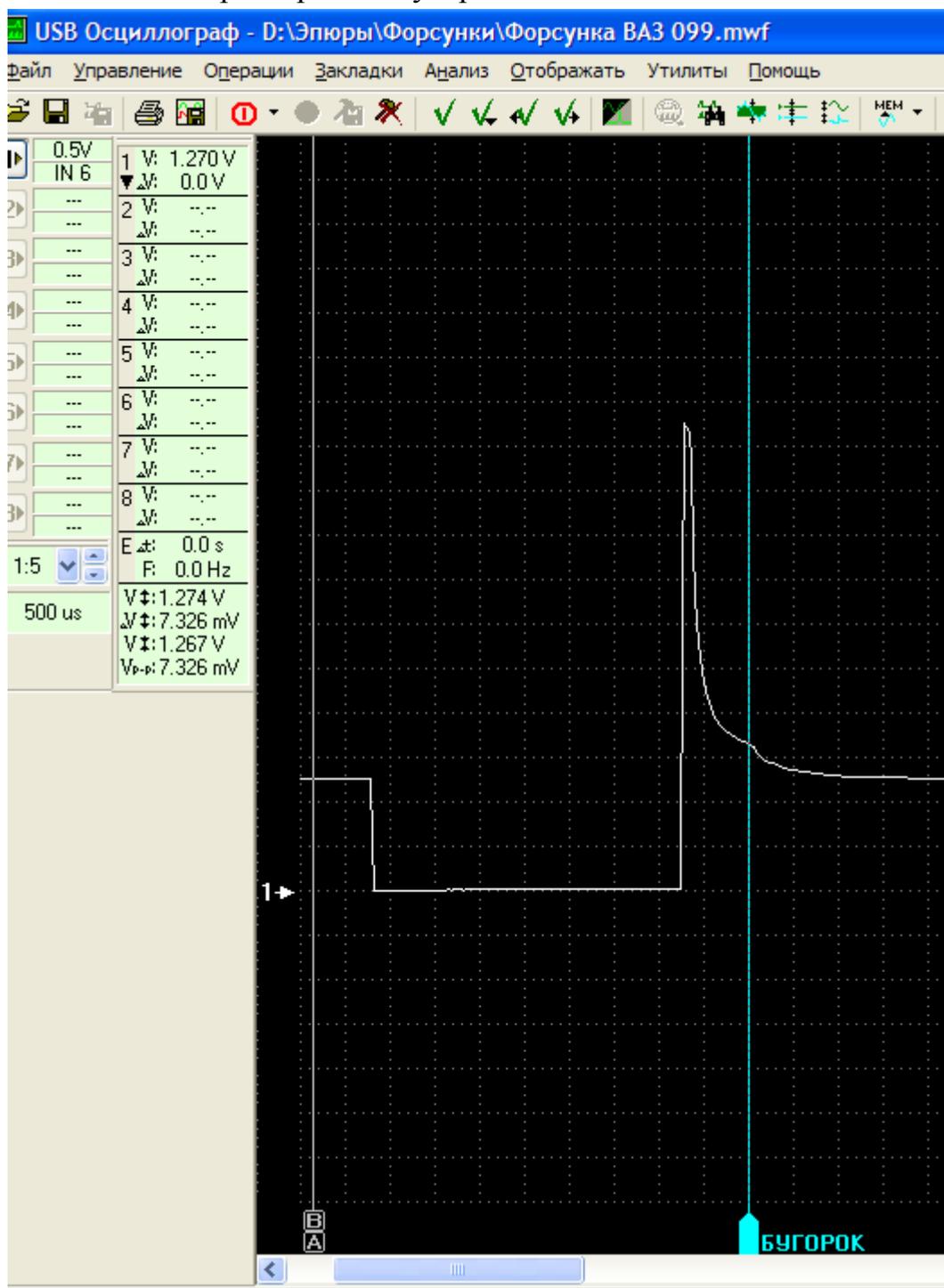


При выключении форсунки (при отключении ее управляющего вывода от «массы») на осциллограмме должен появиться всплеск напряжения самоиндукции, величиной в несколько десятков Вольт.



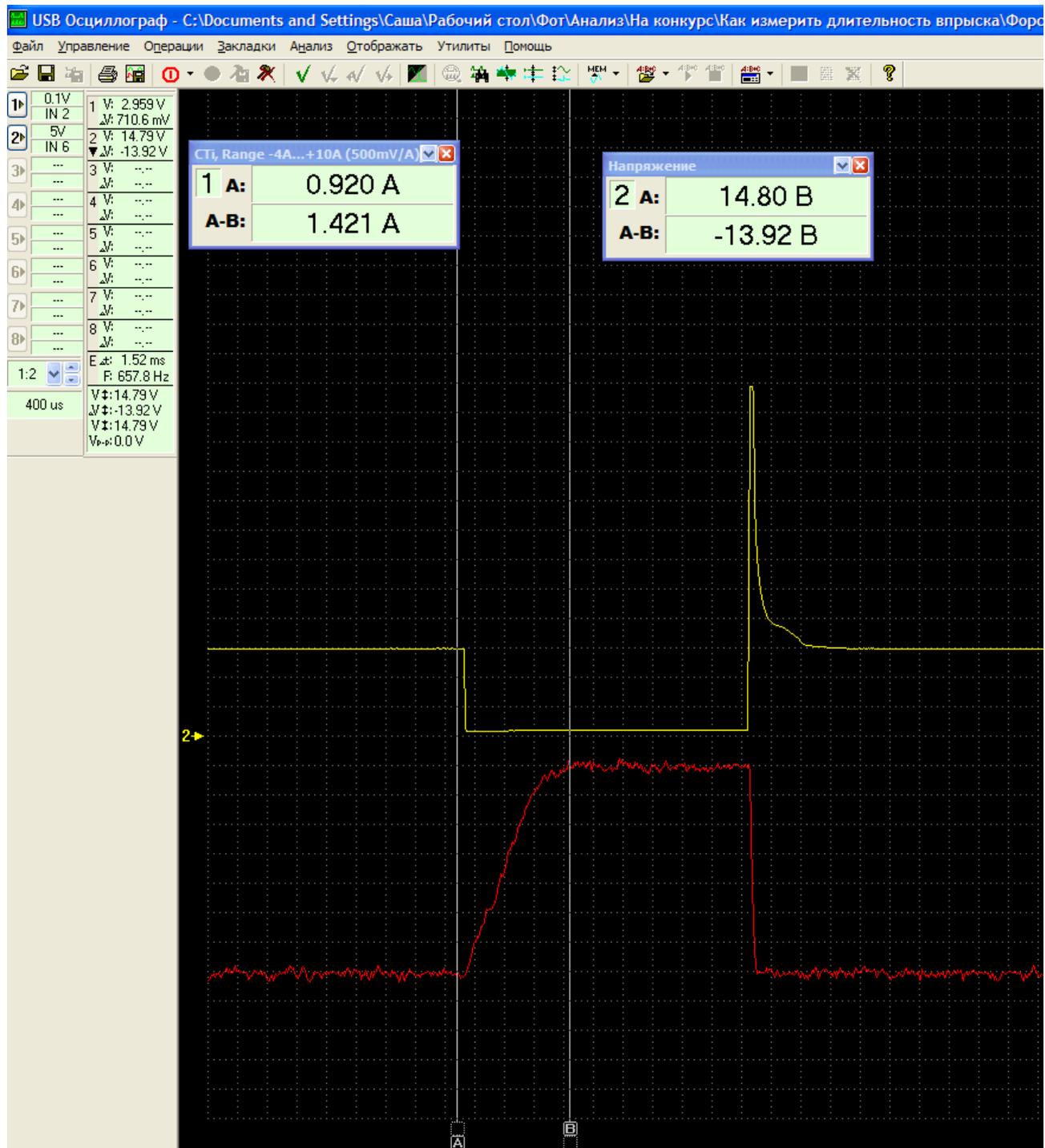
Если в обмотке форсунки есть короткозамкнутые витки, то напряжение самоиндукции будет значительно снижено. Таким образом, сравнивая пик самоиндукции одной форсунки с пиками других форсунок этого же автомобиля, можно определить дефектную форсунку. Еще раз напомним, что этот вывод форсунки должен быть подключен к входу с делителем напряжения 1:10, иначе, всплеск самоиндукции будет срезан, и пика мы не увидим.

После достижения максимального значения напряжения самоиндукции (т.е. после наивысшей точки пика) напряжение плавно снижается. На осциллограмме будет видна нисходящая дуга. Почти в нижней части этой дуги должен быть виден характерный «бугорок».



Давайте поговорим об этом бугорке чуть подробнее. Он возникает в момент посадки запорной иглы форсунки в седло, т.е. это фактический момент закрытия форсунки. Подробнее об этом можно почитать на сайте <http://alflash.com.ua/Learn/oscilw.pdf>. Но, если получается, что форсунка закрывается с запаздыванием, то она, что же, будет открыта дольше чем нужно? Ответ на этот вопрос очень прост. Форсунка не только закрывается с

запаздыванием, но и открывается тоже с запаздыванием. Поэтому, одно, практически, компенсирует другое. Правда, если момент закрытия форсунки хорошо виден на осциллограмме напряжения, то момент ее открытия хорошо видно только на осциллограмме тока, которую можно получить, например, при помощи токовых клещей. В момент прихода запорной иглы в верхнюю точку на графике тока виден характерный «провальчик».



Вывод из вышесказанного очень прост. Даже если к форсунке пришло напряжение, это еще не означает что она открылась (а вдруг она заклинена!). Поэтому этот момент нужно обязательно учитывать при диагностике.

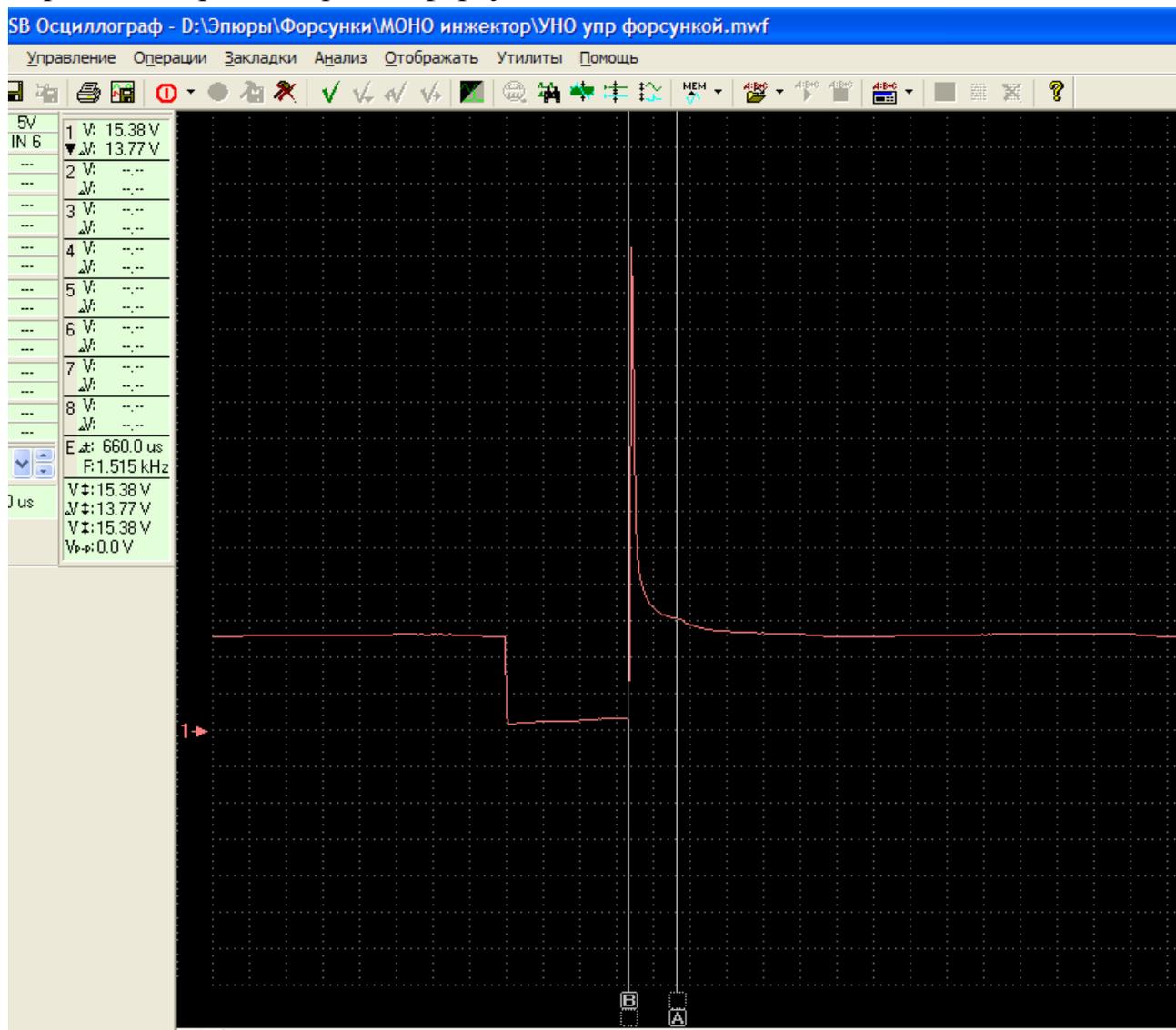
Желающие подробнее почитать о работе электромагнитной форсунки могут почитать замечательную статью Дмитрия Рокк, на сайте http://chiptuner.ru/content/pub_22.

Давайте теперь повторим еще раз, какую информацию можно извлечь из осциллограммы электромагнитной форсунки.

Одно-канальная запись:

- 1) величину напряжения подводимую к неработающей форсунке и, косвенно, определить обрыв ее обмотки. Разумеется, что при пониженном напряжении нужно найти причину этого;
- 2) величину напряжения на управляющем выводе форсунки при ее срабатывании, т.е. состояние управляющего ключа и качество контактных соединений подводящих проводов;
- 3) длительность подачи управляющего импульса на форсунку, т.е. почти правильное время ее открытия;
- 4) величину напряжения самоиндукции, т.е. косвенно определить наличие короткозамкнутых витков обмотки форсунки;

5) характерный бугорок покажет нам точку посадки запорной иглы в седло, а его отсутствие посеет сомнения в исправности форсунки. А, установив маркеры на наивысшую точку пика самоиндукции и бугорок, мы сможем определить время закрытия форсунки.



Двухканальная запись:

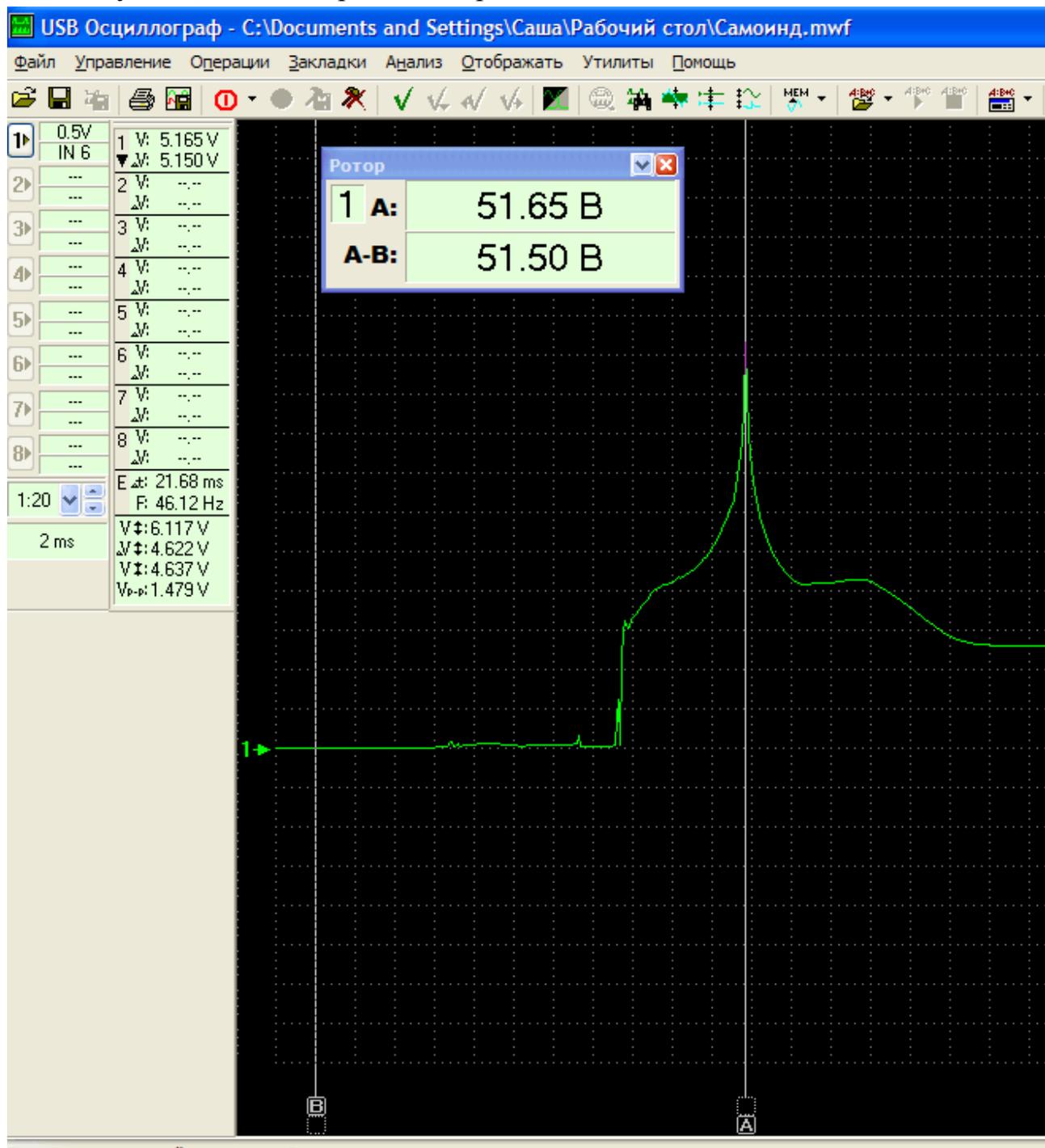
- а) при подключении, также, и к питающему выводу форсунки мы увидим величину просадки напряжения питания форсунки;
- б) при использовании токовых клещей мы увидим точку прихода иглы в верхнее положение и, соответственно, время ее открытия, ток насыщения.

Вот, примерно так, анализируется осциллограмма классического управления электромагнитной форсункой. Но, в системах управления двигателем встречаются еще и ограничение тока электромагнитной форсунки, и широтно-импульсная модуляция (ШИМ) и т.д. Для того, чтобы лучше понять для чего это нужно давайте, для начала, подробнее рассмотрим как работает втягивающее реле стартера. Общим для втягивающего реле и электромагнитной форсунки будет то, что и то и другое является соленоидом, т.е. катушкой с сердечником.

Втягивающие реле стартера бывают с одной обмоткой и с двумя. Возникает естественный вопрос – а для чего нужна вторая обмотка? Оказывается, одно-обмоточное втягивающее реле стартера потребляет ток около 25 Ампер и, если этот ток умножить даже на 10 Вольт (до такой величины, обычно, просаживается напряжение АКБ при пуске), то мы получим 250 Ватт мощности! Это, довольно таки, немаленькая мощность. Она нужна для сжатия демпферной пружины бендикса, которая, потом, при проворачивании маховика и введет, бендикс в зацепление с зубчатым венцом. Из-за такого большого тока обмотка втягивающего реле довольно сильно нагревается, особенно при длительном «маслании» стартером во время зимних пусков. Желаящие почувствовать такой нагрев на «собственной шкуре» могут, например, засунуть на пару минут, себе за пазуху включенную лампочку на 250 Ватт...).

Но, после того, как втягивающее уже вошло в зацепление, ему уже и не нужен такой большой ток, а, соответственно, и такая большая мощность, поскольку теперь нужно только удерживать сердечник во втянутом положении.

Кроме того, поскольку обмотка втягивающего реле имеет индуктивность, то при отключении питания происходит мощный выброс напряжения самоиндукции, из-за которого подгорают контакты выключателя зажигания.



Подробнее о самоиндукции можно почитать, например, в статье "Клапан адсорбера" http://injectorservice.com.ua/docs/fuel_evaporation_regeneration.pdf. Из-за этой самой индуктивности магнитное поле вокруг катушки создается не мгновенно, т.к. ток в катушке нарастает постепенно.

Выводы: одно-обмоточное втягивающее реле конструктивно проще, но сильнее нагревается и дает больший всплеск напряжения самоиндукции.

Эти недостатки почти устранены в двух-обмоточных втягивающих реле. В них, при втягивании сердечника работают обе обмотки (при этом потребляемый ток составляет около 30 Ампер), а при удерживании сердечника подключена только одна обмотка – удерживающая (при этом потребляемый ток составляет около 8 Ампер).



Выводы: двух-обмоточное втягивающее реле меньше нагревается при длительном включении и дает меньший всплеск напряжения самоиндукции, при отключении питания.

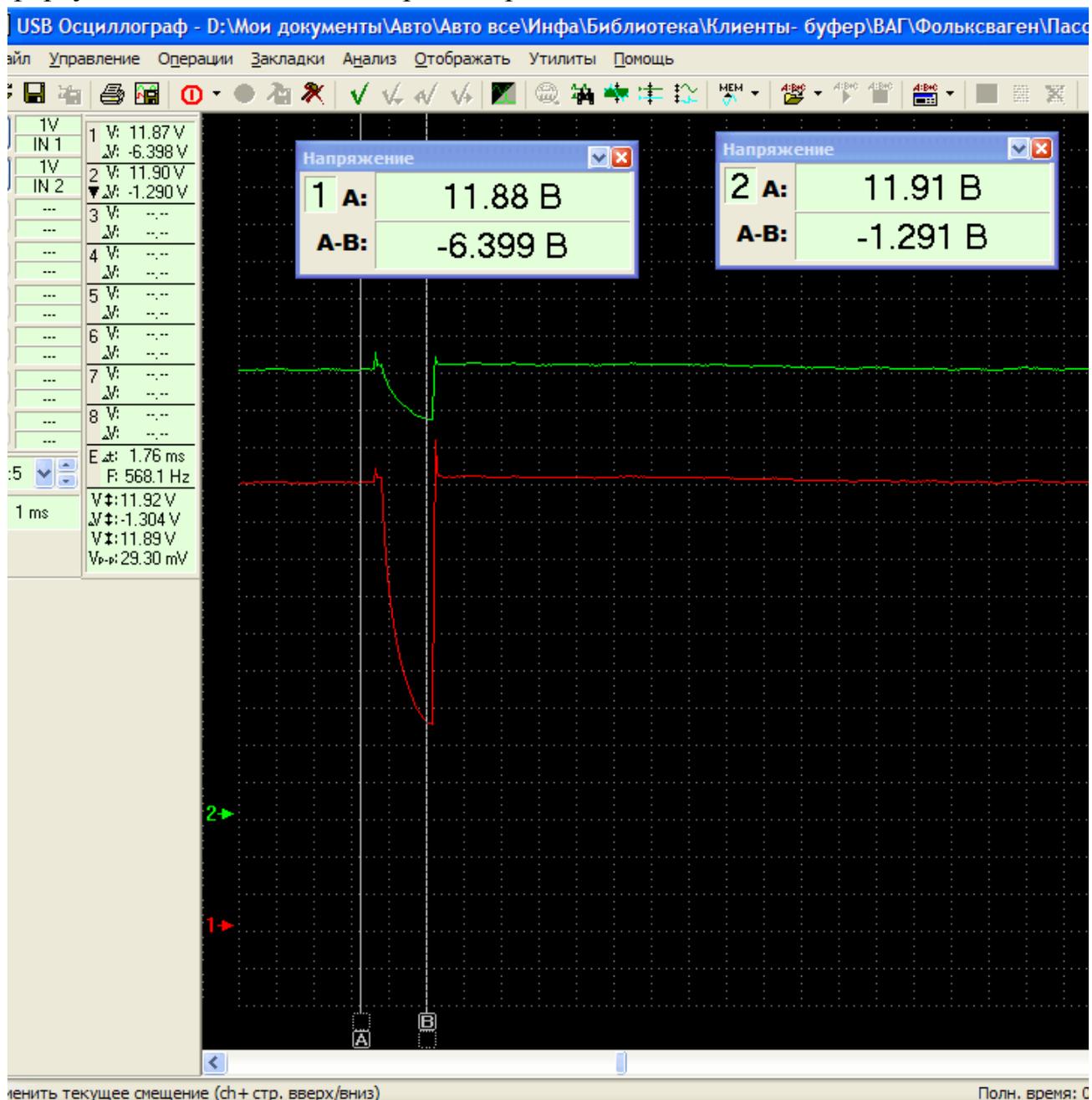
Напомню, что у двух-обмоточных втягивающих реле стартера имеется одна интересная особенность: при зависании щеток стартера (или обрыве якоря, или любого другого разрыва цепи внутри стартера) втягивающее реле не работает. Поэтому, если втягивающее реле перестало срабатывать, не нужно торопиться сразу же его менять. Сначала необходимо убедиться в исправности стартера.

А теперь, вооруженные новыми знаниями, опять возвращаемся к электромагнитной форсунке. В современных авто возникает необходимость уменьшения времени срабатывания форсунок. Этого можно добиться уменьшением сопротивления обмотки форсунки, т.е. увеличивая протекающий через нее ток. Но после открытия форсунки большой ток уже станет вредным, т.к. будет перегревать ее. Особенно это критично при увеличении длительности впрыска, например, при холодном пуске (так, на Chevrolet Aveo при холодном пуске я увидел длительность первого импульса открытия форсунки 68 миллисекунд!).

Какой же выход из этой ситуации? На практике применяется два конструкторских решения:

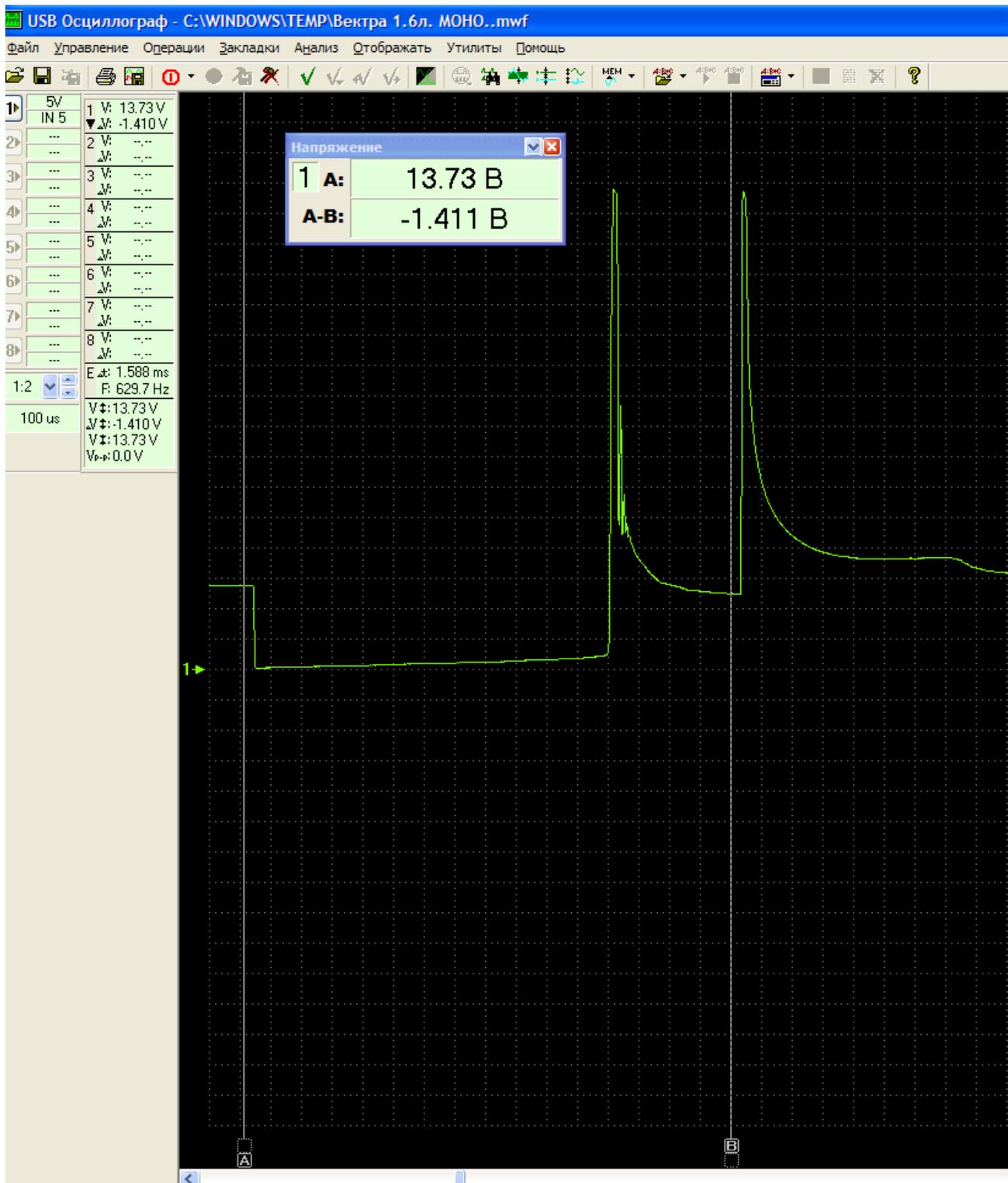
- 1) последовательно с форсункой устанавливают балластный резистор (как писал в своей статье Дмитрий Рокк – это способ для ленивых);
- 2) электронный блок управления уменьшает напряжение, а, соответственно, и ток протекающий через форсунку, или применяется ШИМ.

В качестве практического примера приведу осциллограмму питания форсунки с дополнительным резистором.



Канал 1 – питание, т.е. "+" форсунки (красный), канал 2 – это "+" бортовой сети (зеленый). На осциллограмме видно, что при включении форсунки напряжение питания снижается до 6 Вольт, т.е. примерно половина напряжения теряется на добавочном резисторе. В этом примере одинаковое напряжение подается на всем протяжении открытия форсунки.

А теперь пример с удержанием, полученный на Opel Vectra A 1.6 1986 г.в., центральный впрыск, низкоомная форсунка.

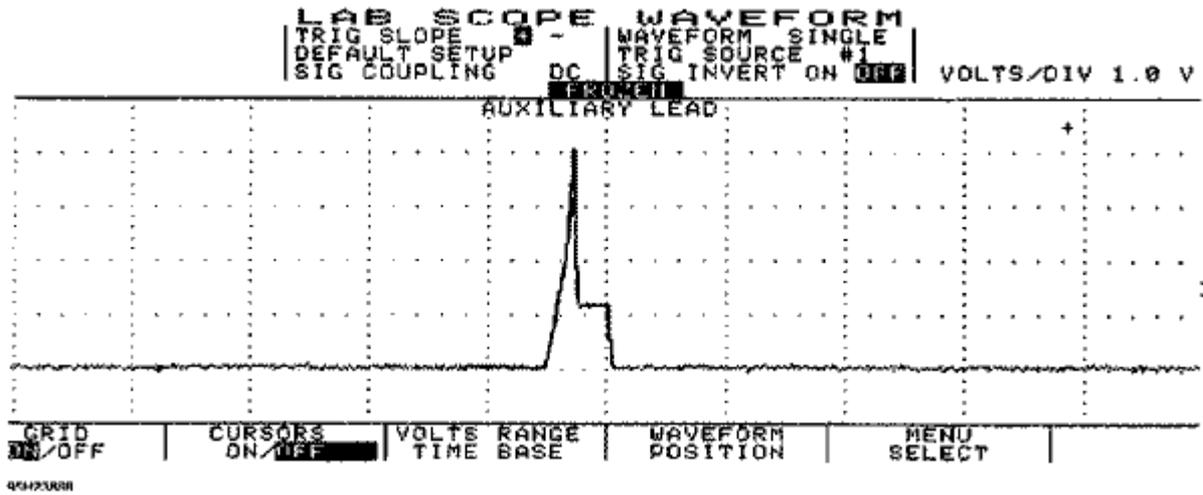


По этой осциллограмме видно, что сначала на форсунку подается напряжение бортовой сети, а через 1 миллисекунду напряжение ограничивается до 1.4 Вольт (и такого низкого напряжения достаточно для удержания форсунки в открытом состоянии).

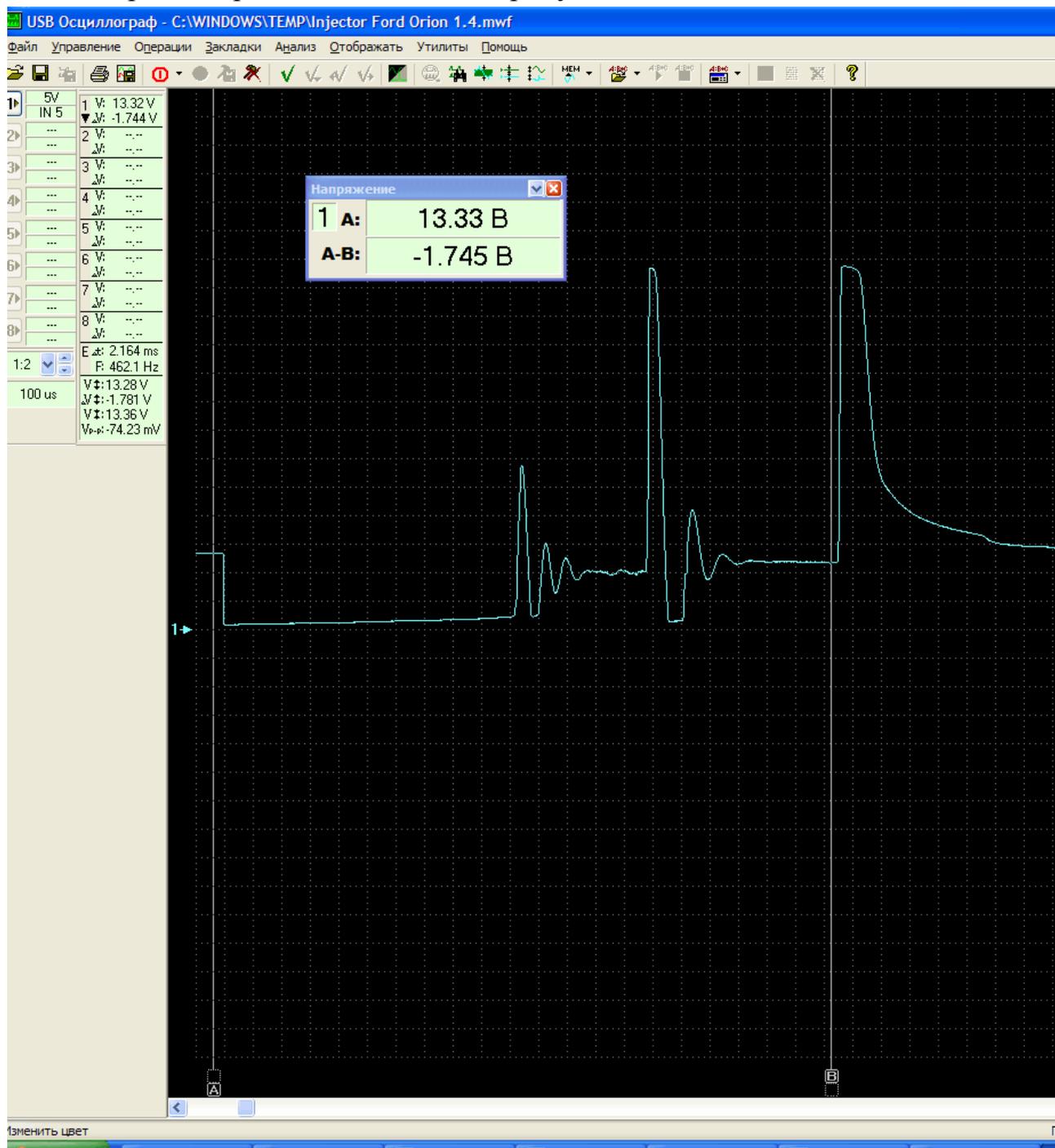
Во время снижения напряжения видим первый пик самоиндукции, а уже после отключения форсунки, видим второй пик самоиндукции. Для измерения времени впрыска этой форсунки нужно поставить маркеры между точкой

включения форсунки и вторым пиком. Получаем около 1.6 миллисекунд.

А вот осциллограмма тока, потребляемого форсункой при снижении напряжения (при удержании). На графике видна характерная «ступенька».



Еще один пример более сложного удержания, полученный на Ford Orion 1.4 1991 г.в. Из-за того, что напряжение снижается в два этапа, осциллограмма принимает довольно причудливый вид.

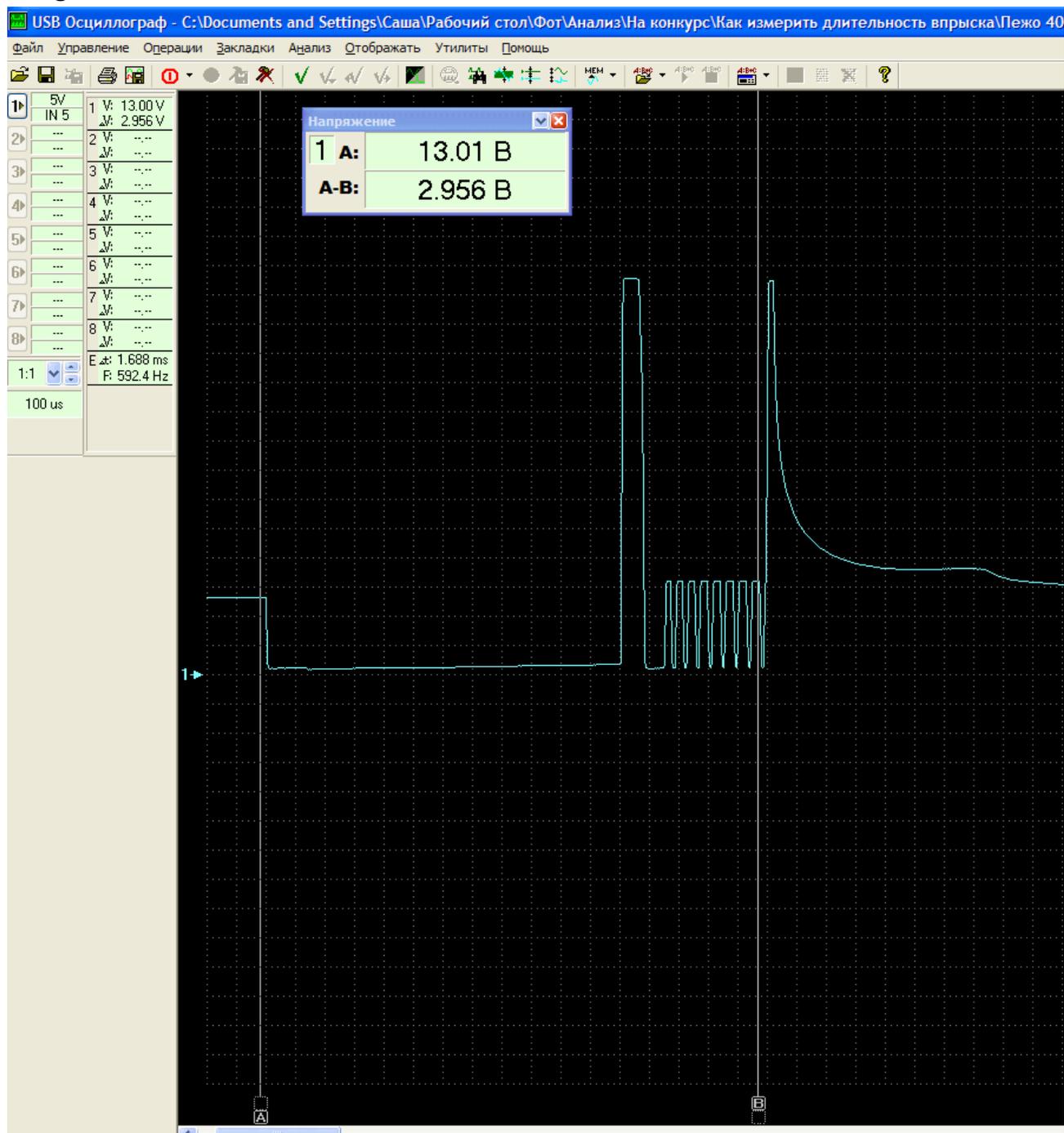


Процессы, происходящие с этой форсункой, очень доходчиво объясняет форумчанин Ygryk с сайта

<http://injectorservice.com.ua/forum/viewtopic.php?f=1&t=1510#p5198>.

Для измерения длительности впрыска такого типа форсунки, нужно поставить маркеры между началом включения форсунки и последним пиком самоиндукции. Получаем 2.1 миллисекунд.

Кроме снижения напряжения на форсунке, в некоторых системах применяется и ШИМ. Следующий пример такого управления получен на Peugeot 405



Время открытия форсунки здесь около 1.7 миллисекунд.

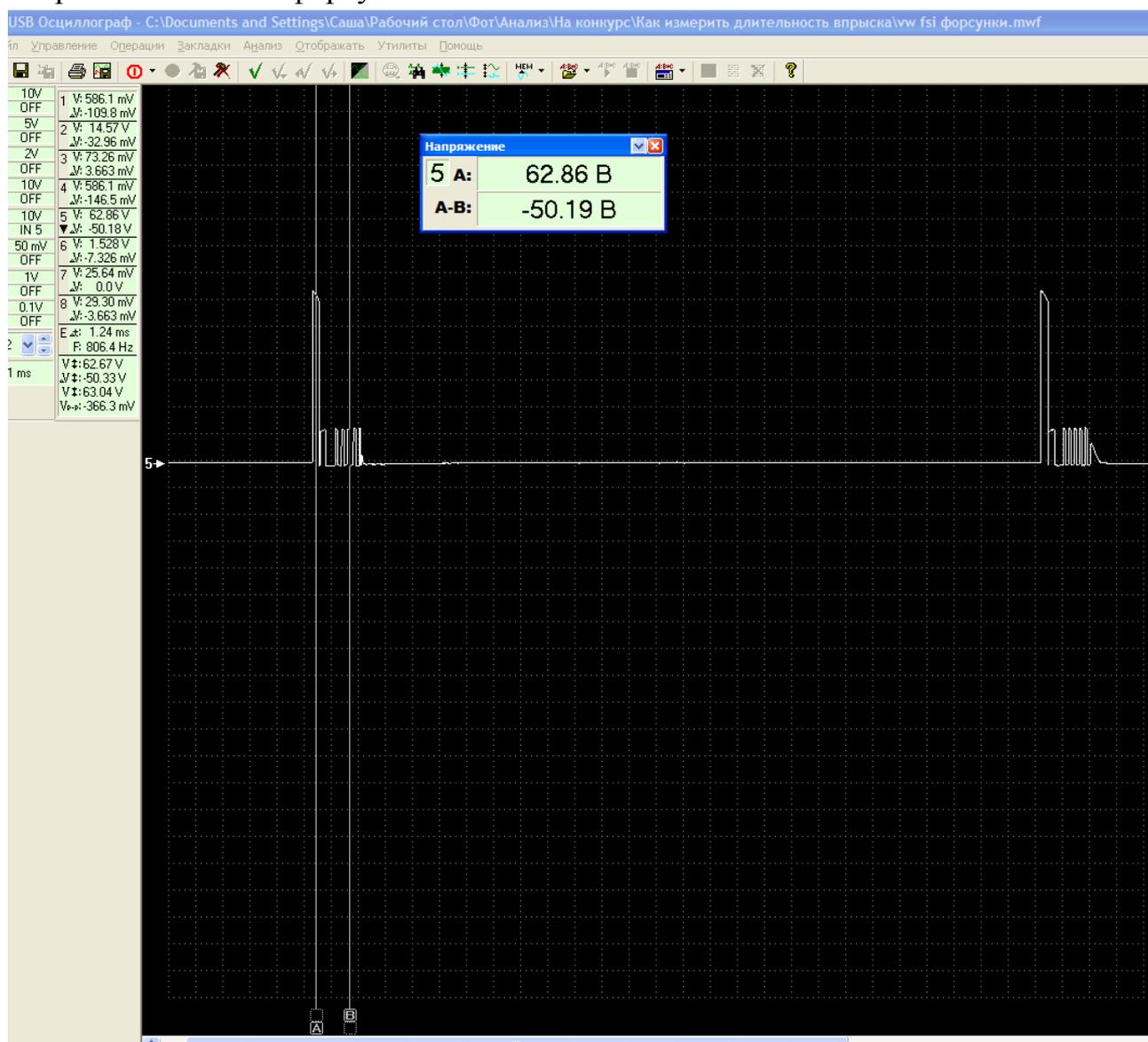
При измерении длительности впрыска на разных видах управления форсункой применяется одно общее правило – маркеры нужно ставить между включением форсунки и последним пиком самоиндукции.

Хочу хоть пару слов сказать о работе форсунок двигателей с непосредственным впрыском топлива – GDI, FSI, D4 и др. На определенных режимах эти моторы работают на бедных (а на моторах GDI и сверх-бедных) смесях, а давление топлива в них достигает, примерно, от 40 до 110 Bar. Из-за этих конструктивных особенностей длительность впрыска у них составляет при

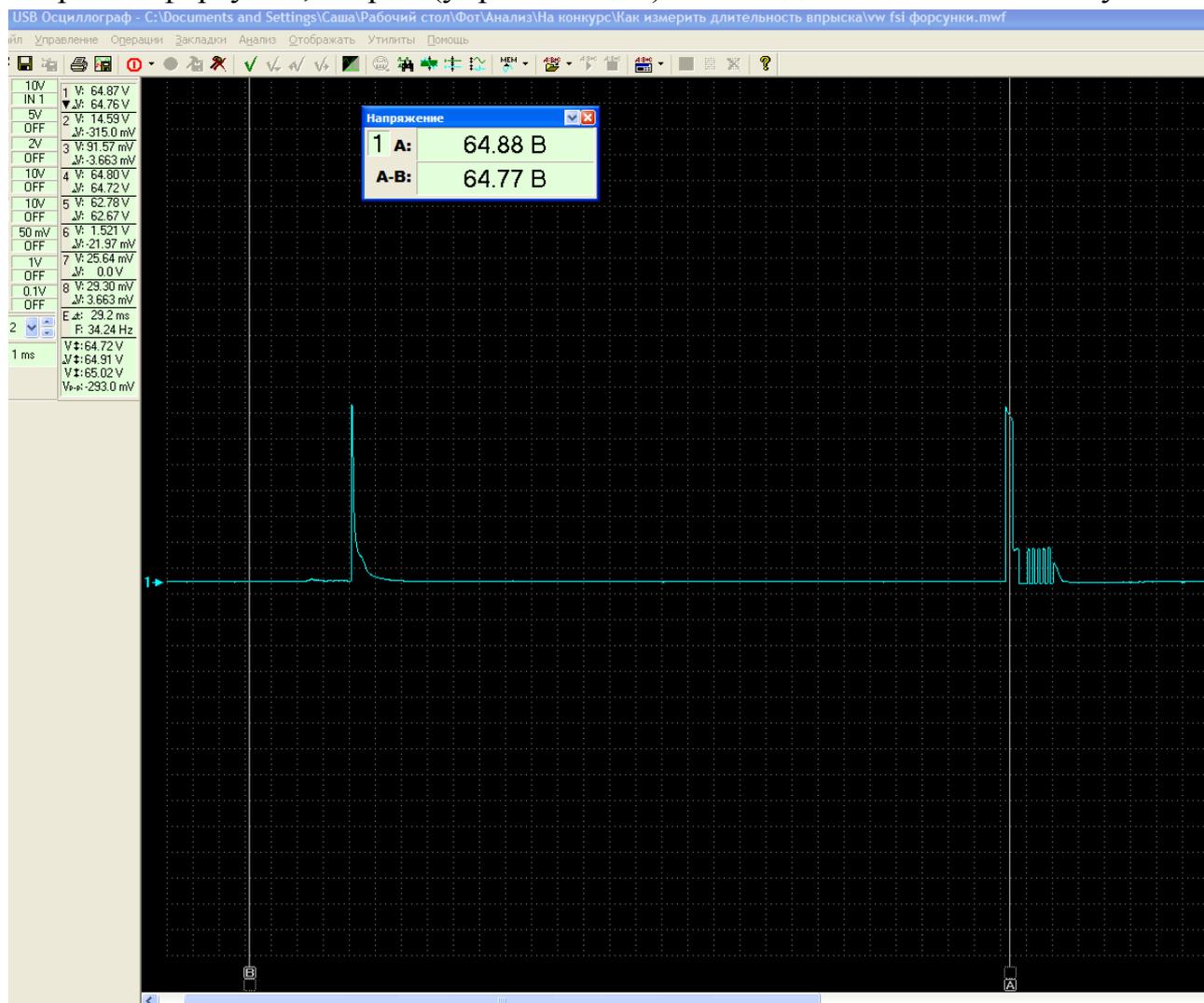
работе на нормальных (гомогенных) смесях 2...4 миллисекунд, а на сверх-бедных – 0.5 миллисекунд. Разумеется, что при таком высоком давлении топлива (необходимого для того, чтобы впрыснуть топливо в цилиндр на такте сжатия), и длительности впрыска 0.5 миллисекунд, время открытия форсунки должно быть соответственным. Для этого применяются низкоомные форсунки (например, с сопротивлением 1.9 Ом), на которые от накопительного конденсатора подается открывающий импульс напряжения амплитудой 50...90 Вольт и длительностью около 280 микросекунд, что позволяет добиться высокой скорости открывания форсунки. Далее идут импульсы удержания (сигнал ШИМ). Питаящий импульс, обычно, приходит одновременно на две форсунки, соединенные в группу (например 1-4 и 2-3 цилиндры).

В разных поколениях систем непосредственного впрыска (например MED7 и MED9) имеются небольшие отличия. Поэтому, давайте подробнее рассмотрим систему впрыска, на которую у меня имеются осциллограммы.

Напомню, что в системах впрыска во впускной коллектор на питающем выводе форсунки питание появлялось сразу после включения зажигания и не отключалось при работе мотора. В системах с непосредственным впрыском на питающем проводе будут появляться открывающий форсунку импульс напряжением 60 Вольт, 12 Вольт удерживающего сигнала ШИМ, так и полное отключение напряжения. Поэтому, при подключении осциллографа только к одному питающему проводу, мы увидим питающие импульсы, но не узнаем открывается ли эта форсунка.



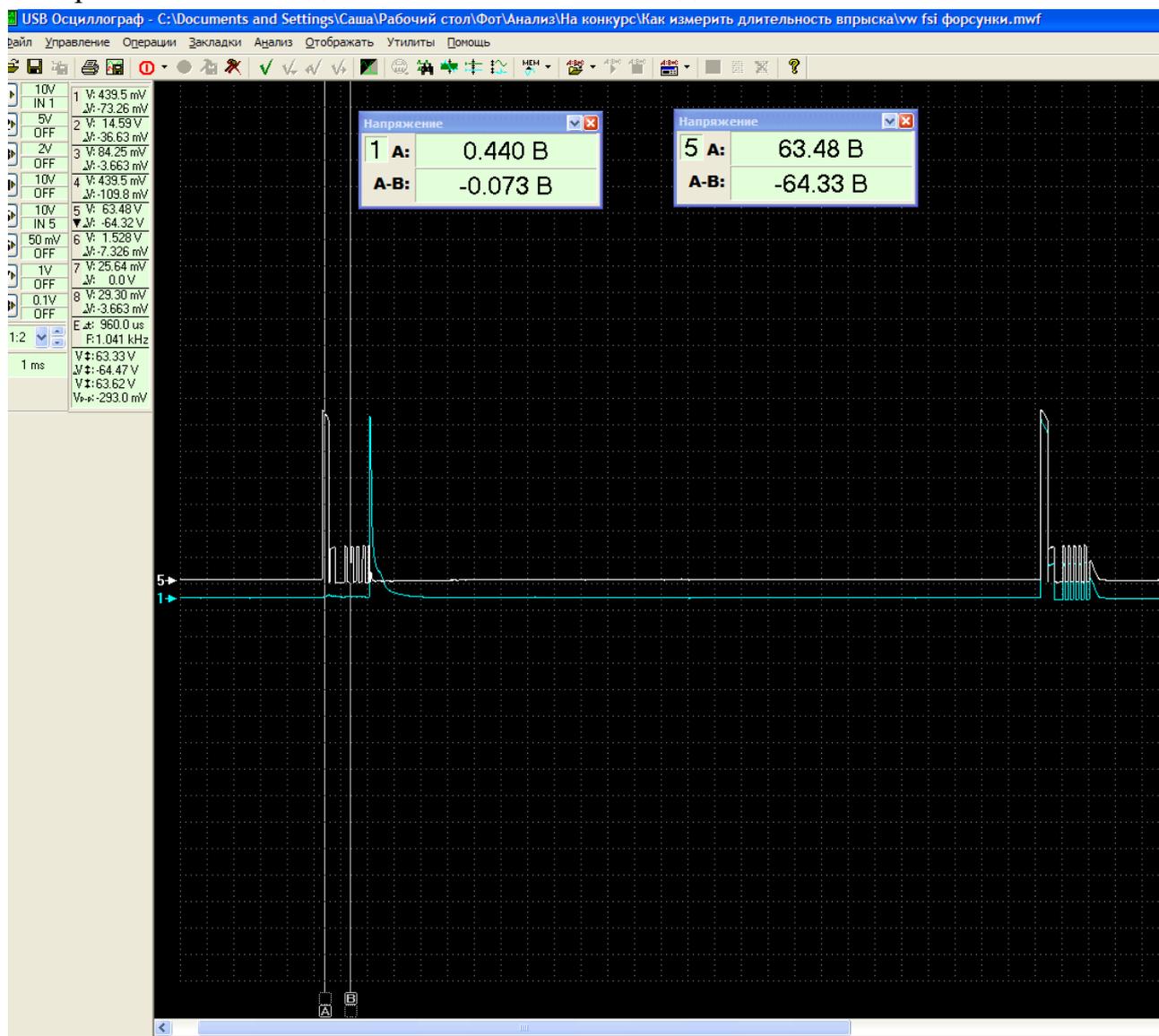
Полную информацию мы получим, только, подключившись к обеим выводам форсунки. (Возможно также использование токовых клещей). Для открытия форсунки, второй (управляющий) ее вывод замыкается на массу.



Здесь, первый импульс – управляющий, т.к. подключен к массе, после отключения которого появляется пик самоиндукции. А вторая «пачка» импульсов – "холостой", т.к. повторяет сигнал питания. Уточню еще раз, что на управляющем выводе форсунки при срабатывании парной (т.е. другой форсунки, к которой подводится то же питание) будет буквальное повторение напряжения питающего вывода, а вот при включении именно этой форсунки, в момент подачи открывающего импульса управляющий вывод будет подключен к массе, а в момент отключения питания (или перехода в режим удержания) на управляющем выводе будет пик самоиндукции.

Для лучшего понимания такого управления двумя форсунками можно сравнить их (хотя это будет и очень неуклюжее сравнение) с DIS-системой зажигания, в которой искра проскакивает одновременно в двух цилиндрах, но рабочей будет, только, одна.

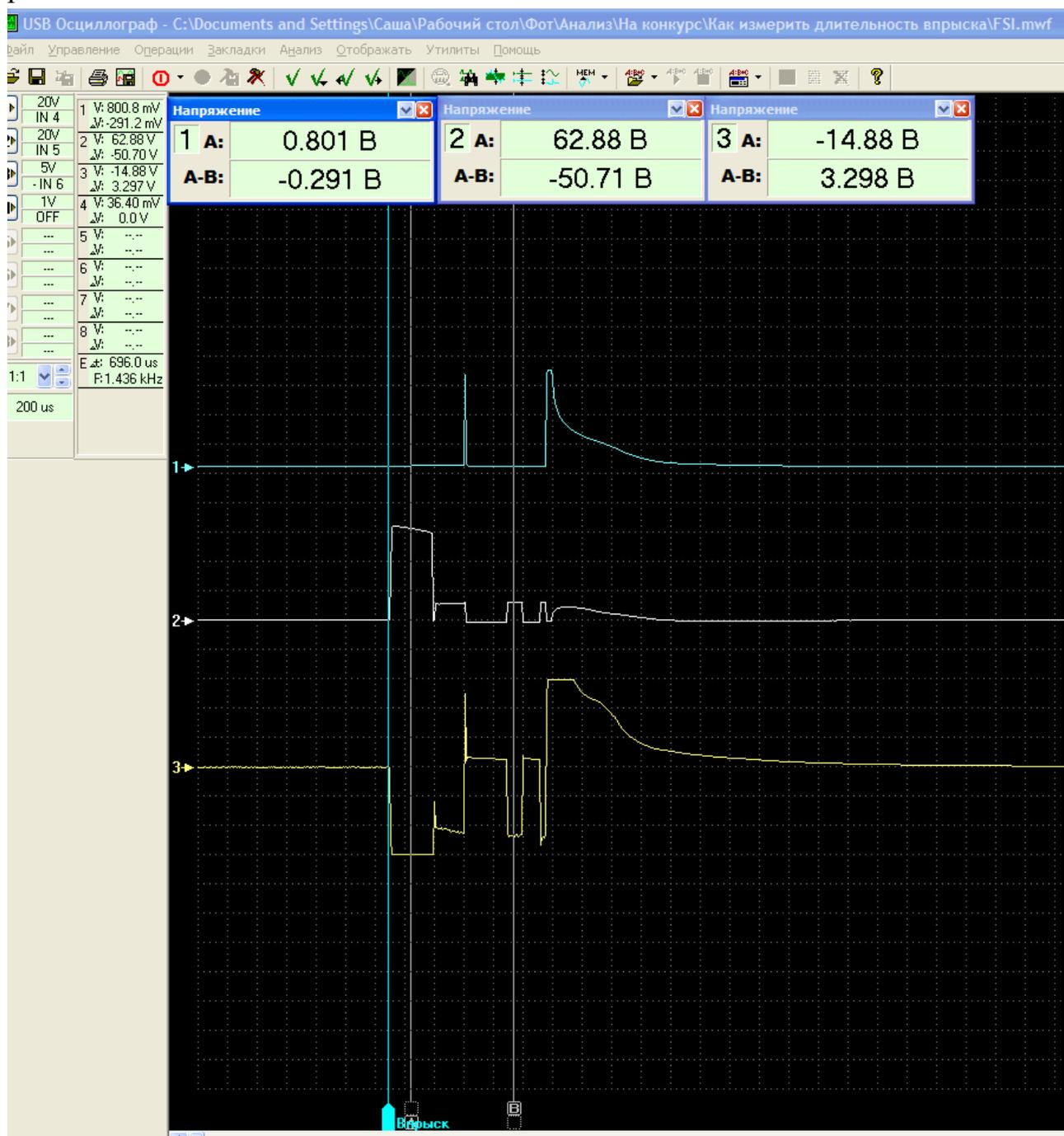
Если максимально приблизить друг к другу два канала – питания и управления (или, даже, совместить их нулевые линии), то силой своего воображения можно два сигнала "сложить" в один.



На осциллограмме видно, что в первой пачке импульсов сначала по каналу 5 (белый) идет открывающий импульс, а канал 1 (голубой) в это время подключен к массе. Потом идет ШИМ сигнал удержания и отключение питания. В момент отключения питания, форсунка выдает пик самоиндукции, на котором виден и характерный бугорок, т.е. посадка иглы в седло.

На второй пачке импульсов форсунка не впрыскивает, так как ее управляющий вывод не подключен к массе, а просто «висит». Поэтому, второй вывод форсунки дублирует напряжение первого (питающего), т.е. в этом цикле эта форсунка не работает.

Ниже показана эта же осциллограмма, полученная в дифференциальном режиме.



Канал 1 (голубой) – управление форсункой, канал 2 (белый) – питание, канал 3 (желтый) – разность напряжений между выводами форсунки.

Рассуждая так долго и подробно о бензиновых электромагнитных форсунках будет неправильно не сказать, хотя бы пару слов, о форсунках Common Rail. Что же означают эти английские слова? Вот как сказано об этом в Википедии:

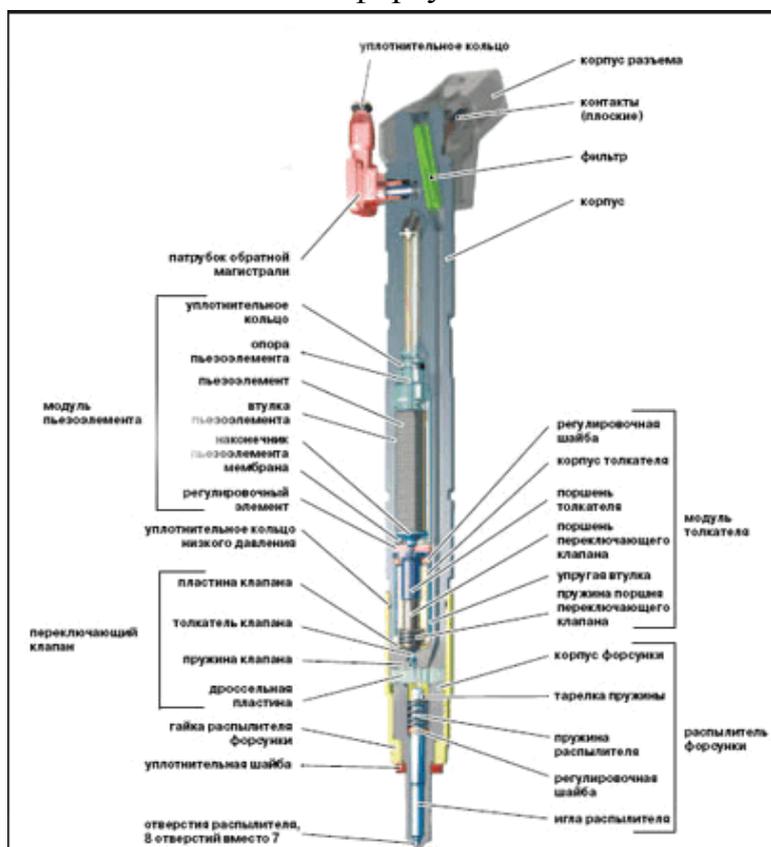
"Аккумуляторная топливная система, или система типа Common Rail (англ. общая магистраль) – система подачи топлива, применяемая в дизельных двигателях с непосредственным впрыскиванием топлива. В системе типа Common Rail насос высокого давления нагнетает топливо под высоким

давлением (до 300 МПа, в зависимости от режима работы двигателя) в общую топливную магистраль существенного объема (аккумулятор)."

Эта система имеет несколько поколений и очень сложна. Форсунки, применяемые в ней (встречаются как электромагнитные, так и пьезофорсунки), управляются блоком управления при помощи электрического сигнала. Поэтому, становится возможным увидеть форму управляющего сигнала при помощи осциллографа. Вот только для того чтобы разобраться в правильности формы такого сигнала нужно знать, каким должен быть эталонный сигнал и понимать алгоритм работы системы. Напомню, что в системе Common Rail основной дозе топлива предшествует короткий предвпрыск или даже несколько, в зависимости от поколения. Ниже представлен пример осциллограмм четырех форсунок Common Rail.



Еще пару слов о пьезофорсунках. В современных дизельных системах Common Rail давление топлива достигает 2500 Bar, а для «мягкой» работы мотора и снижения токсичности выбросов становится обязательным применение очень короткого предвпрыска. Для выполнения этих условий конструкторами и была создана пьезофорсунка.



Напомню, что минимальное время открытия электромагнитной форсунки с подвижным сердечником составляет 0.5 миллисекунд, что не позволяет оперативно изменять подачу топлива. Для более быстрого срабатывания форсунки в настоящее время применяется пьезокерамическая форсунка, которая работает вчетверо быстрее. Эти форсунки уже не электромагнитные, так как в них нет обмотки, а вместо нее используется пьезокристалл. Принцип действия таких форсунок основан на свойстве пьезокристалла изменять свои размеры при подаче на него электрического напряжения (если по умному, то существует прямой пьезоэлектрический эффект – эффект возникновения поляризации диэлектрика под действием механических напряжений, и обратный – возникновение механических деформаций под действием электрического поля). Люди старшего возраста, конечно же, помнят проигрыватели грампластинок с пьезоэлектрическими звукоснимателями. В головке таких звукоснимателей находится пьезокристалл, при деформации которого (она возникала от колебаний иглы двигающейся в канавке грампластинки) возникало электрическое напряжение. Более юные, конечно же, встречались с пьезоэлектрическими зажигалками, в которых нет ни батарейки, ни аккумулятора, и провода к ней не подходят, а искру они, непонятно за счет чего, выдают (но, теперь то уже стало понятно, что нажатие на кнопку зажигалки деформирует пьезокристалл).

Выводы.

Сущность пьезоэффекта в том что:

- 1) при деформации пьезокристалла он «выдает» напряжение, что и используется в пьезоэлектрических звукоснимателях и зажигалках;
- 2) при подаче напряжения на пьезокристалл он деформируется, что и применяется, например, в пьезофорсунках. Хочу еще раз напомнить, что пьезофорсунка имеет очень большую скорость реакции, в четыре раза больше, чем электромагнитная, что и делает пьезофорсунку незаменимой в дизельных системах Common Rail с предвпрыском.

Хочу привести практические осциллограммы управления пьезофорсунками взятые с сайта <http://injectorservice.com.ua/forum/viewtopic.php?f=15&t=4990>.





Эти осциллограммы сняты с авто Volkswagen Touareg V6 3.0 TDI 225hp. Попробую их проанализировать:

1) канал 1 (белый) – это ток, протекающий через форсунку. В данном случае, около 5 Ампер. Видно, что ток сначала протекает в одну сторону, а потом его полярность изменяется на противоположную. Возможно, у любознательных возникнет вопрос: а почему так происходит? Если по простому, то ток проходящий через пьезокристалл можно, хотя и очень отдаленно, сравнить с током заряда и разряда конденсатора. А, поподробнее можно посмотреть, например, здесь <http://alflash.com.ua/phpBB2/viewtopic.php?f=4&t=919>;

3) канал 3 (желтый) – это питающее напряжение, которое подключено к группе из трех форсунок (напомню, что мотор V-образный, 6-и цилиндровый). Питающее напряжение подается импульсами, на все три форсунки, с амплитудой около 115 Вольт. Если умножить напряжение на ток, то получим мощность, потребляемую форсункой

$$115 \text{ V} * 5 \text{ A} = 575 \text{ Вт}$$

4) канал 4 (зеленый) – это управляющее напряжение только одной форсунки. Когда напряжения на этом выводе нет, то форсунка работает. Когда напряжение на этом выводе есть – то эта форсунка не работает (А тем временем включена другая форсунка из этой же группы).

Теперь детальнее рассмотрим работу одной форсунки. Сначала на форсунку подается импульс длиной около 0.39 миллисекунд (думаю, что это предвпрыск). Через 0.66 миллисекунд на эту же форсунку подается второй импульс, но уже чуть длиннее около 0.45 миллисекунд (думаю, что это тоже предвпрыск). А, примерно, через 1 миллисекунду на форсунку подается третий

импульс – около 0.56 миллисекунд (вот это, похоже, уже будет основной впрыск топлива).

Если прокрутить осциллограмму дальше, то уже через 47 миллисекунд мы увидим еще одну группу из трех импульсов. Но, в этой группе ток через форсунку уже не течет, а напряжение на управляющем выводе форсунки, практически, полностью повторяет питающее напряжение. Вывод: в данное время впрыск происходит в другой форсунке.

Может возникнуть закономерный вопрос, почему, напряжение на управляющем выводе повторяет питающее? Ведь в пьезофорсунке нет обмотки, и, соответственно, напряжения на управляющем выводе быть не должно... Как объясняет форумчанин Ygryk, пьезоэлемент имеет большую емкость и, хотя и очень большое, но и сопротивление тоже. Поэтому то на управляющем выводе форсунки и появляется питающее напряжение.

В заключение хочу сказать, что вся информация рассказанная мной имеется в сети, т.е. я не сообщил, практически, ничего нового. Например, с похожей статьей можно ознакомиться на сайте http://injectorservice.com.ua/docs/fuel_injection_methods.pdf.

Я только попытался систематизировать информацию по электромагнитным форсункам и «разложить ее по полочкам». Буду рад, если рассказанное мною окажется кому то полезным. Конструктивная критика приветствуется.

Хочу выразить благодарность Андрею Бежанову (andreika)
Александр Передерий