

Методы впрыска топлива

Существует несколько методов впрыска топлива: непрерывный впрыск топлива, точечный впрыск топлива, распределённый впрыск топлива и непосредственный впрыск топлива. Непрерывный впрыск топлива осуществлялся механическими и электромеханическими системами впрыска топлива. Остальные электронные системы впрыска топлива подают топливо строго дозированными порциями.

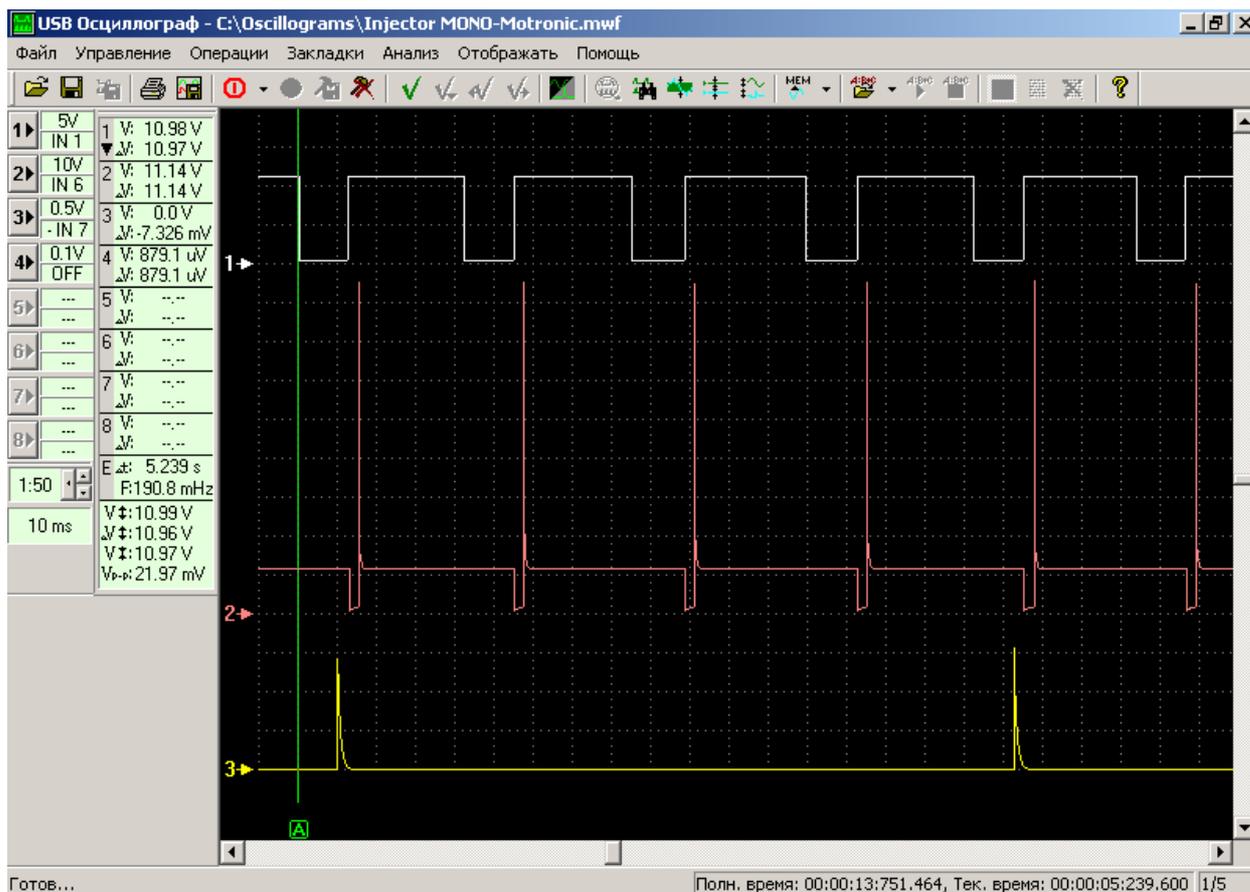
Системы непрерывного впрыска топлива

Наиболее распространёнными примерами непрерывного впрыска топлива являются механическая система впрыска топлива BOSCH K-Jetronic и электромеханическая система впрыска топлива BOSCH KE-Jetronic. Здесь топливо впрыскивается непрерывным потоком при помощи механических форсунок, распыляющих топливо перед впускными клапанами каждого цилиндра. Количество топлива регулируется путём изменения интенсивности потока впрыскиваемого топлива. Данные системы применялись на ранних системах питания двигателя, и были вытеснены более надёжными и точными электронными системами подачи топлива.

Системы точечного впрыска топлива

Системы точечного впрыска топлива оснащены одной электромагнитной форсункой (иногда двумя форсунками работающими в паре, на двигателях с отдельными группами цилиндров), впрыскивающей топливо во впускной тракт перед дроссельной заслонкой. Как и в случае карбюраторного питания, во время работы двигателя оборудованного точечным впрыском, впускной коллектор двигателя весь заполняется готовой топливовоздушной смесью.

Впрыск топлива здесь осуществляется не непрерывной струёй, а подаётся порциями. Количество подаваемого топлива регулируется путём изменения продолжительности открытого состояния форсунки. Форсунка точечной системы впрыска топлива за два оборота коленчатого вала двигателя (один полный цикл работы четырёхтактного двигателя) впрыскивает топливо четыре раза. Недостатки такой системы приготовления топливовоздушной смеси схожи с карбюраторными системами, связанные с задержкой и неравномерностью подачи топливовоздушной смеси для разных цилиндров, не столь хорошей приемистостью двигателя, оседание топлива на стенках впускного коллектора, особенно во время холодного запуска двигателя. Хотя для такой системы впрыска не предъявляются высокие требования к качеству распыла топлива, так как отводится достаточно времени на испарение и смешивание топлива с поступившим в впускной коллектор воздухом.

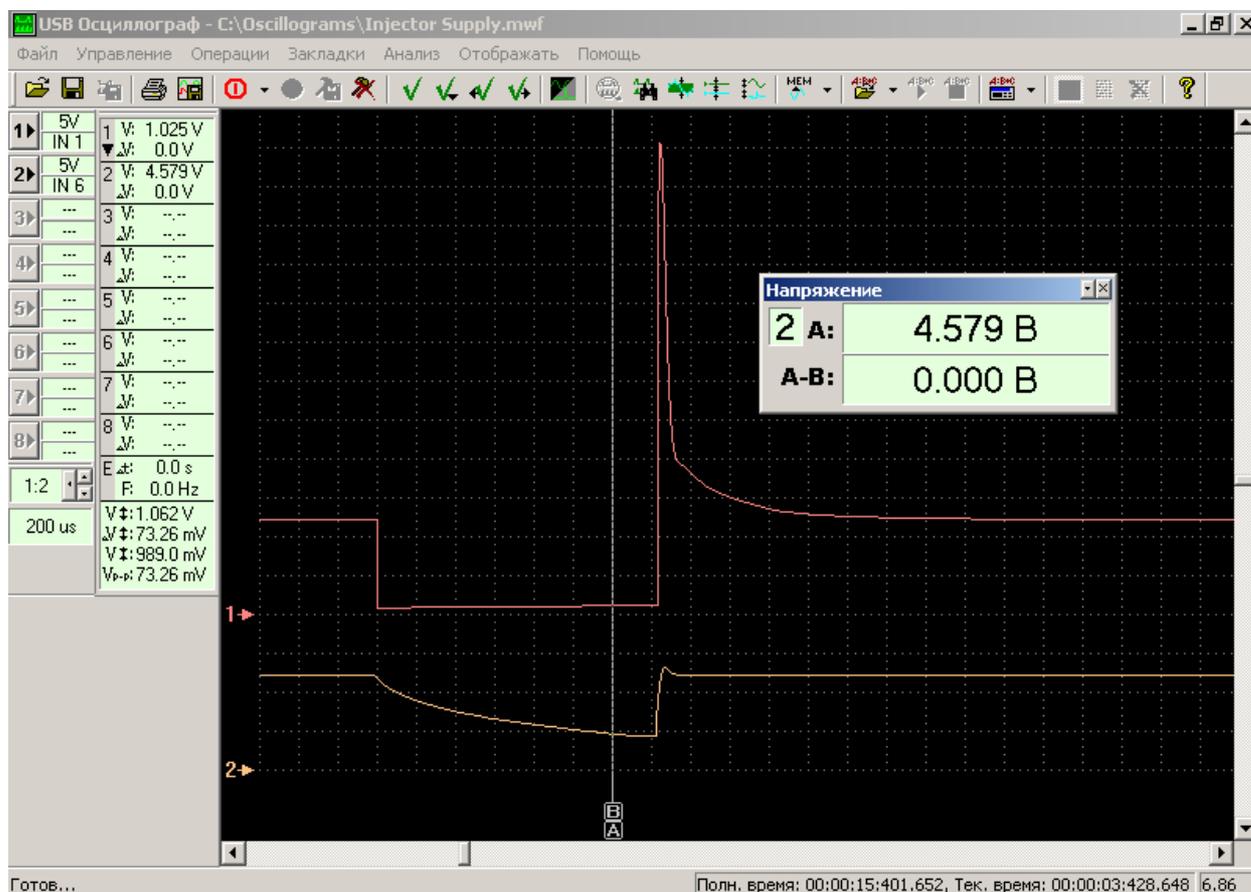


Осциллограммы напряжения сигналов системы управления двигателем BOSCH MONO-Motronic, демонстрирующие схему впрыска топлива данной системы.

- 1 *Осциллограмма напряжения выходного сигнала датчика Холла, встроенного в корпус механического распределителя зажигания. Датчик генерирует четыре импульса за два оборота коленчатого вала двигателя.*
- 2 *Осциллограмма напряжения управляющих импульсов топливной форсункой. За один полный цикл работы двигателя форсунка осуществляет четыре впрыска топлива.*
- 3 *Импульс синхронизации с моментом зажигания в первом цилиндре.*

Обмотка топливной форсунки точечной системы впрыска, имеет низкое электрическое сопротивление – единицы Ома (топливные форсунки с низким электрическим сопротивлением встречаются и в других систем впрыска топлива). За счёт уменьшения сопротивления обмотки увеличивается быстродействие форсунки, что позволяет впрыскивать небольшие порции топлива. Для уменьшения нагрева обмотки форсунки, применяются меры, ограничивающие величину протекающего через обмотку форсунки тока.

В некоторых системах с этой целью используется мощный токоограничивающий резистор, включённый последовательно в цепь питания форсунки.

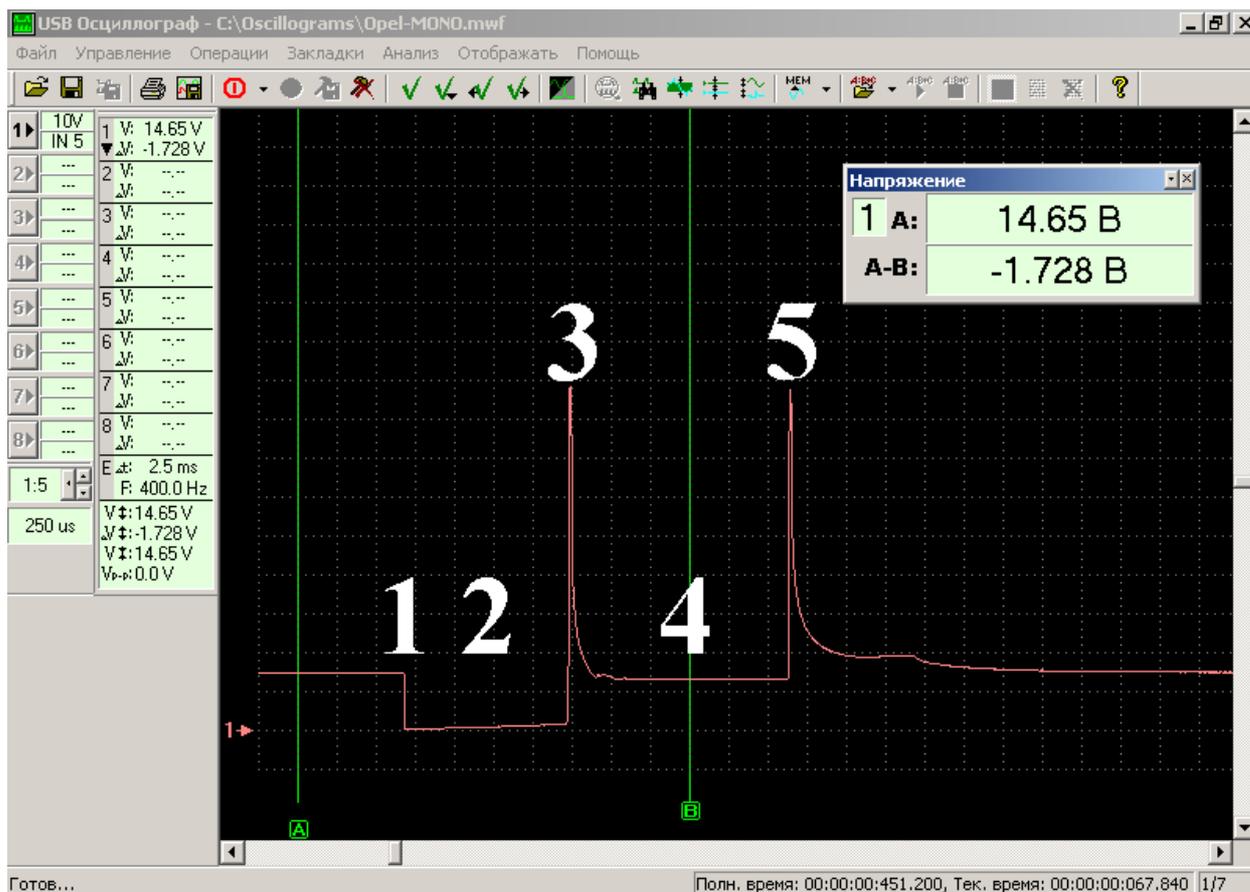


Осциллограммы напряжения питания и управляющего импульса на выводах обмотки низкоомной форсунки (система точечного впрыска топлива BOSCH MONO Jetronic).

- 1 Осциллограмма напряжения на управляющем выводе обмотки форсунки.
- 2 Осциллограмма напряжения на питающем выводе обмотки форсунки (после токоограничивающего резистора).

Как видно по приведённым осциллограммам, за счёт возникновения падения напряжения на токоограничивающем резисторе, напряжение питания обмотки форсунки автоматически снижается.

В некоторых системах, применяются более сложные алгоритмы управления форсункой. В таких случаях, импульс управления форсункой имеет более сложную форму и делится уже на две фазы: фаза открывания клапана топливной форсунки и фаза удержания клапана топливной форсунки в открытом состоянии.



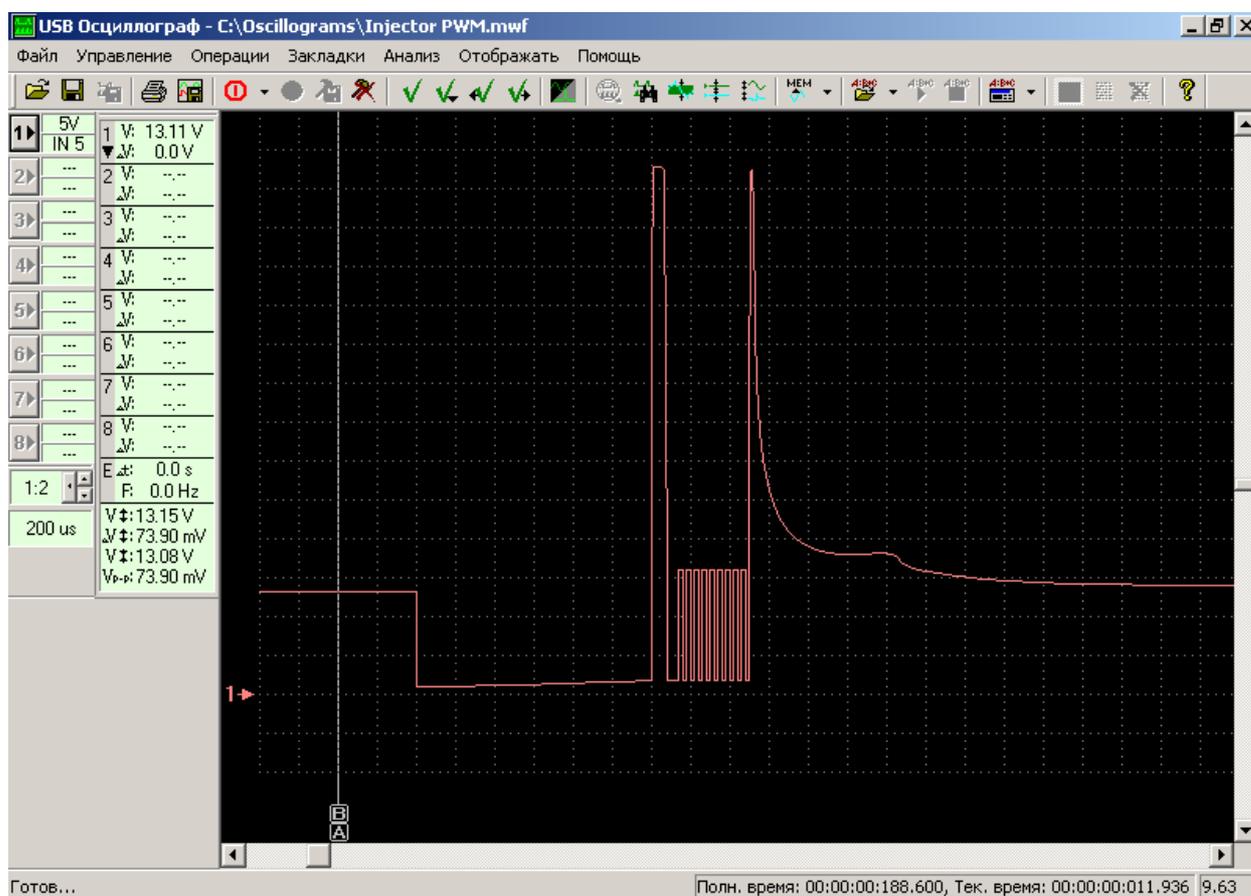
Осциллограмма напряжения управляющего импульса низкоомной форсункой системы управления двигателем с точечным впрыском топлива Multec IEFI автомобиля производства OPEL.

- A: Значение напряжения в момент времени указанный маркером. В данном случае соответствует напряжению питания обмотки форсунки и равно 14,6 V.
- 1 Момент открытия управляющего форсункой силового транзистора. С этого момента на обмотку форсунки действует напряжение величиной около 14 V.
- 2 Фаза открывания клапана топливной форсунки.
- 3 Момент переключения управляющего форсункой силового транзистора в режим ограничения тока в цепи форсунки.
- 4 Фаза удержания клапана топливной форсунки в открытом состоянии. Управляющий форсункой силовой транзистор работает в режиме ограничения тока в цепи форсунки, обеспечивая подвод к обмотке форсунки пониженного напряжения.
- A-B: Значение разницы напряжений между указанными маркерами моментами времени. В данном случае соответствует величине воздействующего на обмотку форсунки напряжения во время фазы удержания клапана топливной форсунки в открытом состоянии и равно ~1,7 V.
- 5 Момент закрытия управляющего форсункой силового транзистора.

Как можно видеть по приведённой выше осциллограмме, в первоначальный момент времени на низкоомную обмотку форсунки кратковременно подаётся напряжение, близкое к напряжению на клеммах аккумуляторной батареи, что обеспечивает ускорение процесса открытия клапана топливной форсунки. Продолжительность фазы открывания клапана

топливной форсунки здесь составляет около 1 мS. Теперь, когда клапан форсунки открыт, для удержания клапана в открытом состоянии достаточно уже меньшего тока. Величина протекающего через обмотку тока ограничивается путём уменьшения величины воздействующего на обмотку напряжения. В данном случае, уменьшение воздействующего на обмотку форсунки напряжения достигается путём "призакрытия" управляющего силового транзистора. Тем самым уменьшается чрезмерный нагрев обмотки форсунки (дополнительное охлаждение форсунки обеспечивается за счёт омывающего форсунку топлива). Продолжительность фазы удержания клапана топливной форсунки в открытом состоянии может изменяться и зависит от того, какую порцию топлива в данный момент требуется впрыснуть.

В некоторых системах, ограничение протекающего через обмотку форсунки тока во время фазы удержания клапана в открытом состоянии реализовано другим способом.



Осциллограмма напряжения управляющего импульса низкоомной форсункой системы управления двигателем BDZ с точечным впрыском топлива, устанавливаемого на автомобиле Peugeot 405.

Здесь во время фазы удержания, управляющий обмоткой форсунки силовой транзистор переключается в режим Широтно-Импульсной Модуляции (ШИМ). Благодаря этому, обмотка форсунки многократно подключается к источнику напряжения и отключается от него, после чего процесс повторяется. Частота процесса подключения / отключения обмотки настолько высока, что механическая система форсунки (клапан) "не успевает" закрываться в моменты, когда питающее напряжение отключено.

Системы распределённого впрыска топлива

Каждый цилиндр системы распределённого впрыска топлива обслуживается собственной электромагнитной форсункой. Каждая форсунка такой системы впрыскивает топливо во впускной коллектор перед впускными клапанами каждого цилиндра. Таким образом, только часть внутреннего объёма впускного коллектора работающего двигателя заполняется подготовленной топливной смесью. Как и в системе точечного впрыска топлива, здесь впрыск осуществляется не непрерывной струёй топлива, а подаётся порциями. Количество подаваемого топлива регулируется путём изменения продолжительности открытого состояния форсунки.

Электромагнитные топливные форсунки имеют некоторую инерционность. Проявляется эта инерционность как задержка открытия и задержка закрытия клапана форсунки относительно управляющего напряжения. Задержка открытия клапана форсунки может составлять около 1,5 мS, кроме того, она может изменяться с изменением величины напряжения на аккумуляторной батарее. Задержка закрытия клапана форсунки может составлять около 1,0 мS. Когда двигатель работает под нагрузкой, длительность впрыска топлива может составлять несколько единиц или даже десятки миллисекунд, то есть – длительность впрыска топлива при этом значительно превышает время задержки срабатывания клапана форсунки, и за счёт этого инерционность форсунки сказывается мало заметно.

Когда двигатель работает при малых нагрузках или на холостом ходу, длительность впрыска значительно уменьшается, и становится сравнимой с временем задержки срабатывания клапана форсунки. Из-за этого, инерционность форсунки может сказываться значительно сильнее и точность дозирования количества впрыскиваемого топлива может сильно снизиться. Поэтому, для таких форсунок не используют управляющие импульсы продолжительностью менее 1,5 мS. Кроме того, инерционность форсунок, обслуживающих разные цилиндры одного и того же двигателя со значительным пробегом может заметно различаться, что вносит дополнительную погрешность дозирования малых порций топлива.

Классификация систем распределённого впрыска топлива

Распределённые системы впрыска топлива различаются по схеме работы впрыска топлива: параллельный впрыск, попарно-параллельный, фазированный (последовательный).

Параллельный впрыск топлива

Топливные форсунки многих ранних распределённых систем впрыска топлива соединены параллельно. При такой схеме, управление форсунками двигателя происходит одновременно – все форсунки такой системы работают синхронно.



Осциллограммы напряжения сигналов системы управления 4-х цилиндрового 4-х тактного двигателя, осуществляющей параллельный впрыск топлива, демонстрирующие схему впрыска топлива данной системы.

- 1 Осциллограмма напряжения управляющих импульсов топливной форсункой 1-го цилиндра.
- 2 Осциллограмма напряжения управляющих импульсов топливной форсункой 2-го цилиндра.
- 3 Осциллограмма напряжения управляющих импульсов топливной форсункой 3-го цилиндра.
- 4 Осциллограмма напряжения управляющих импульсов топливной форсункой 4-го цилиндра.
- 7 Импульс синхронизации с моментом зажигания в первом цилиндре.

В системах параллельного впрыска, за один полный цикл работы двигателя (за два оборота коленчатого вала 4-х тактного двигателя), каждая форсунка впрыскивает топливо дважды. То есть, каждая порция топлива, попадающего впоследствии в цилиндр во время

такта впуска, впрыскивается "за два приёма". Из-за того, что подача каждой порции топлива осуществляется за два впрыска, в сравнении с точечным впрыском, точность дозирования получается несколько лучшей; но в сравнении с фазированным впрыском, точность дозирования получается несколько хуже, особенно на переходных режимах работы двигателя.

Блок управления параллельной системы впрыска топлива должен учитывать инерционность открытия клапана форсунки, которая сильно зависит от величины напряжения в бортовой сети автомобиля. При больших порциях впрыскиваемого топлива, к примеру, во время ускорения автомобиля или во время холодного пуска, часть топлива оседает на стенках впускного коллектора и попадает в цилиндр с некоторой задержкой, что сказывается на приемистости двигателя. Но к качеству распыла топлива здесь предъявляются немного меньшие требования, так как отводится достаточно времени на испарение топлива и смешивание его с воздухом.

Недостаток параллельного впрыска заключается в неодинаковом для всех цилиндров времени от начала впрыскивания топлива форсункой до момента открытия впускного клапана цилиндра. При одновременном впрыске топлива порядок работы цилиндров не учитывается, соответственно время подготовки топливовоздушной смеси (время испарения топлива) для каждого цилиндра получается разным.

Попарно-параллельный впрыск топлива

Для уменьшения зависимости качества подготовки топливовоздушной смеси от момента впрыска топлива, а так же для улучшения точности дозирования топлива на переходных режимах работы двигателя, топливные форсунки были разделены на группы согласно порядку работы цилиндров и соединены попарно-параллельно – половина форсунок соединена параллельно и управляется своим выходным силовым транзистором блока управления двигателем, другая половина форсунок так же соединена параллельно и управляется своим, вторым выходным силовым транзистором блока управления двигателем.

Управление форсунками одной группы происходит одновременно – все форсунки одной группы работают синхронно. Когда форсунки первой группы впрыскивают топливо, форсунки второй группы закрыты, и наоборот. При этом, первая и вторая группы форсунок, так же как и в системе параллельного впрыска топлива, впрыскивают топливо дважды за один цикл работы 4-х тактного двигателя (за два оборота коленвала).



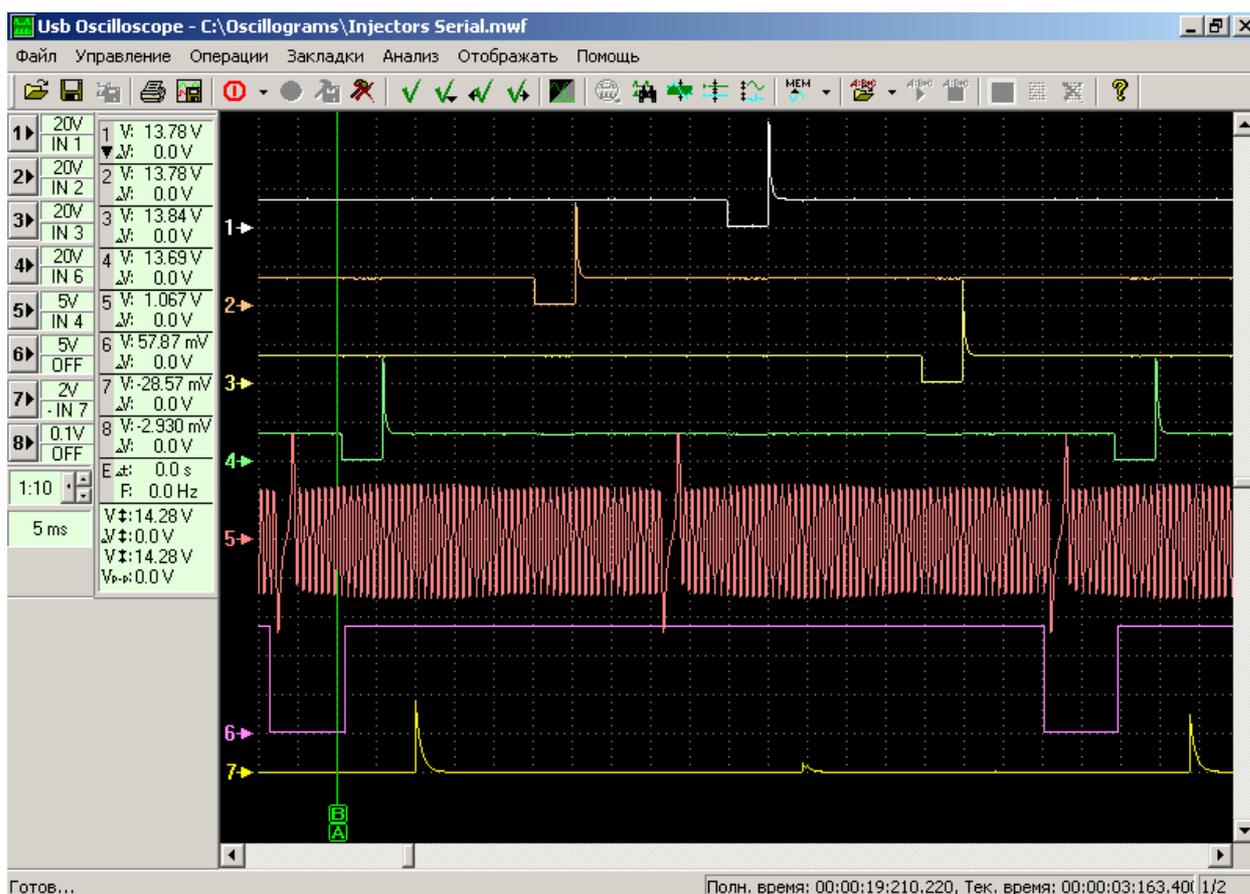
Осциллограммы напряжения сигналов системы управления 4-х цилиндрового 4-х тактного двигателя, осуществляющей попарно-параллельный впрыск топлива, демонстрирующие схему впрыска топлива данной системы. Порядок работы цилиндров 1 - 3 - 4 - 2. В данном случае в первую пару объединены форсунки, обслуживающие цилиндры №1 и №4, а во вторую пару объединены форсунки, обслуживающие цилиндры №2 и №3. Но встречаются системы, где при таком же порядке работы цилиндров двигателя, форсунки объединены в пары по-другому.

- 1 Осциллограмма напряжения управляющих импульсов топливной форсункой 1-го цилиндра.
- 2 Осциллограмма напряжения управляющих импульсов топливной форсункой 2-го цилиндра.
- 3 Осциллограмма напряжения управляющих импульсов топливной форсункой 3-го цилиндра.
- 4 Осциллограмма напряжения управляющих импульсов топливной форсункой 4-го цилиндра.
- 5 Осциллограмма напряжения выходного сигнала датчика положения / частоты вращения коленчатого вала. За один полный оборот коленвала датчик генерирует 58 импульсов и один пропуск, продолжительность которого соответствует продолжительности двух импульсов. Соответственно, за один полный цикл работы 4-х тактного двигателя (за два оборота коленвала) датчик генерирует такие пропуски дважды.
- 7 Импульс синхронизации с моментом зажигания в первом цилиндре.

Следует заметить, что в момент пуска двигателя блок управления двигателем переключается на параллельную схему впрыска топлива, то есть, включает и выключает все топливные форсунки одновременно.

Фазированный впрыск топлива

Для дальнейшего повышения точности дозирования впрыскиваемого топлива при малых длительностях впрыска путём уменьшения негативного влияния инерционности электромагнитных топливных форсунок, каждую форсунку стали обслуживать собственным выходным транзистором блока управления двигателем. Такая схема впрыска называется фазированным впрыском или последовательным впрыском топлива. За счёт уменьшения частоты срабатывания форсунки по сравнению с параллельным и попарно-параллельным впрыском в два раза, потребовалось уже более продолжительное открытие форсунки для обеспечения подачи того же количества топлива. То есть, схема управления форсунками была модернизирована так, что вместо двух коротких впрысков топлива осуществляется один более продолжительный впрыск. Таким образом, замена параллельной схемы впрыска топлива на фазированную позволила заметно повысить точность дозирования впрыскиваемого топлива при малых длительностях впрыска.



Осциллограммы напряжения сигналов системы управления 4-х цилиндрового 4-х тактного двигателя, осуществляющей фазированный впрыск топлива, демонстрирующие схему впрыска топлива данной системы.

- 1 Осциллограмма напряжения управляющих импульсов топливной форсункой 1-го цилиндра.
- 2 Осциллограмма напряжения управляющих импульсов топливной форсункой 2-го цилиндра.
- 3 Осциллограмма напряжения управляющих импульсов топливной форсункой 3-го цилиндра.
- 4 Осциллограмма напряжения управляющих импульсов топливной форсункой 4-го цилиндра.
- 5 Осциллограмма напряжения выходного сигнала датчика положения / частоты вращения коленчатого вала. За один полный оборот коленвала датчик генерирует 58 импульсов и один пропуск, продолжительность которого соответствует продолжительности двух импульсов. Соответственно, за один полный цикл работы 4-х тактного двигателя (за два оборота коленвала) датчик генерирует такие пропуски дважды.
- 6 Осциллограмма напряжения выходного сигнала датчика положения распределительного вала (датчика фаз). За два полных оборота коленвала датчик генерирует один импульс.
- 7 Импульс синхронизации с моментом зажигания в первом цилиндре.

Здесь, впрыск топлива осуществляется тогда, когда обслуживаемый данной форсункой цилиндр находится на такте выпуска отработавших газов, то есть, незадолго до такта впуска. За два полных оборота коленчатого вала двигателя соответствующих одному полному циклу работы четырёхтактного двигателя, каждая форсунка впрыскивает топливо только один раз. То есть, по сравнению с параллельным и попарно-параллельным впрыском, здесь частота срабатывания форсунки уменьшена в два раза. За счёт этого, для обеспечения подачи заданного количества топлива потребовалось более продолжительное открытие форсунки, а за счёт увеличения продолжительности открытого состояния форсунки уменьшилось негативное влияние инерционности электромагнитных топливных форсунок на точность дозирования топлива. Таким образом, замена попарно-параллельной схемы впрыска топлива на фазированную позволила ещё больше повысить точность дозирования впрыскиваемого топлива при малых длительностях впрыска.

Для реализации фазированной схемы впрыска топлива потребовались заметные доработки системы управления двигателем, обеспечивающие привязку алгоритма управления форсунками к фазам рабочего цикла цилиндров. По этому, двигатели, оборудованные фазированным впрыском топлива, дополнительно оснащены датчиком положения распределительного вала (датчиком фаз). Кроме того, блок управления такого двигателя потребовалось дооснастить ещё несколькими силовыми транзисторами, для управления каждой форсункой индивидуально. Кроме внесения изменений в блок управления двигателем, потребовалось применение форсунок с более тонким распылом топлива, так как уменьшилась продолжительность процесса испарения топлива и смешивания его с воздухом. На некоторых двигателях, дополнительно, это позволило использовать режим работы при более бедной смеси (дополнительно потребовалось изменение конструкции впускного коллектора и применение заслонок завихрителей, для формирования вертикальных потоков воздуха в цилиндре).

Следует заметить, что в момент пуска двигателя блок управления двигателем переключается на параллельную схему впрыска топлива, то есть, включает и выключает все топливные форсунки одновременно до тех пор, пока не распознает сигнал от датчика положения распределительного вала.

Дополнительно применяется асинхронный режим впрыска. В момент, когда водитель очень резко нажимает на педаль акселератора, некоторые блоки управления могут осуществлять впрыскивание дополнительного количества топлива несколькими малыми порциями в цилиндры, которые в данный момент находятся перед или вначале такта впуска.



Осциллограммы напряжения сигнала управления форсункой и сигнала от датчика положения дроссельной заслонки системы фазированного впрыска топлива в момент резкой перегазовки.

- 4 Осциллограмма напряжения выходного сигнала датчика положения дроссельной заслонки.
- 6 Осциллограмма напряжения управляющих импульсов топливной форсункой одного из цилиндров.

Как видно из приведённым выше осциллограммам, на переходных режимах работы двигателя, в данном примере в момент резкого открытия дроссельной заслонки, система фазированного впрыска топлива может осуществлять дополнительные циклы впрыска топлива, дополнительно обогащая таким образом состав приготавливаемой топливовоздушной смеси. Благодаря этому снижается вероятность возникновения пропусков воспламенения топливовоздушной смеси в цилиндрах при работе двигателя на переходных режимах.

В системах точечного впрыска топлива подавляющего большинства двигателей современных автомобилей реализован именно фазированный впрыск топлива.

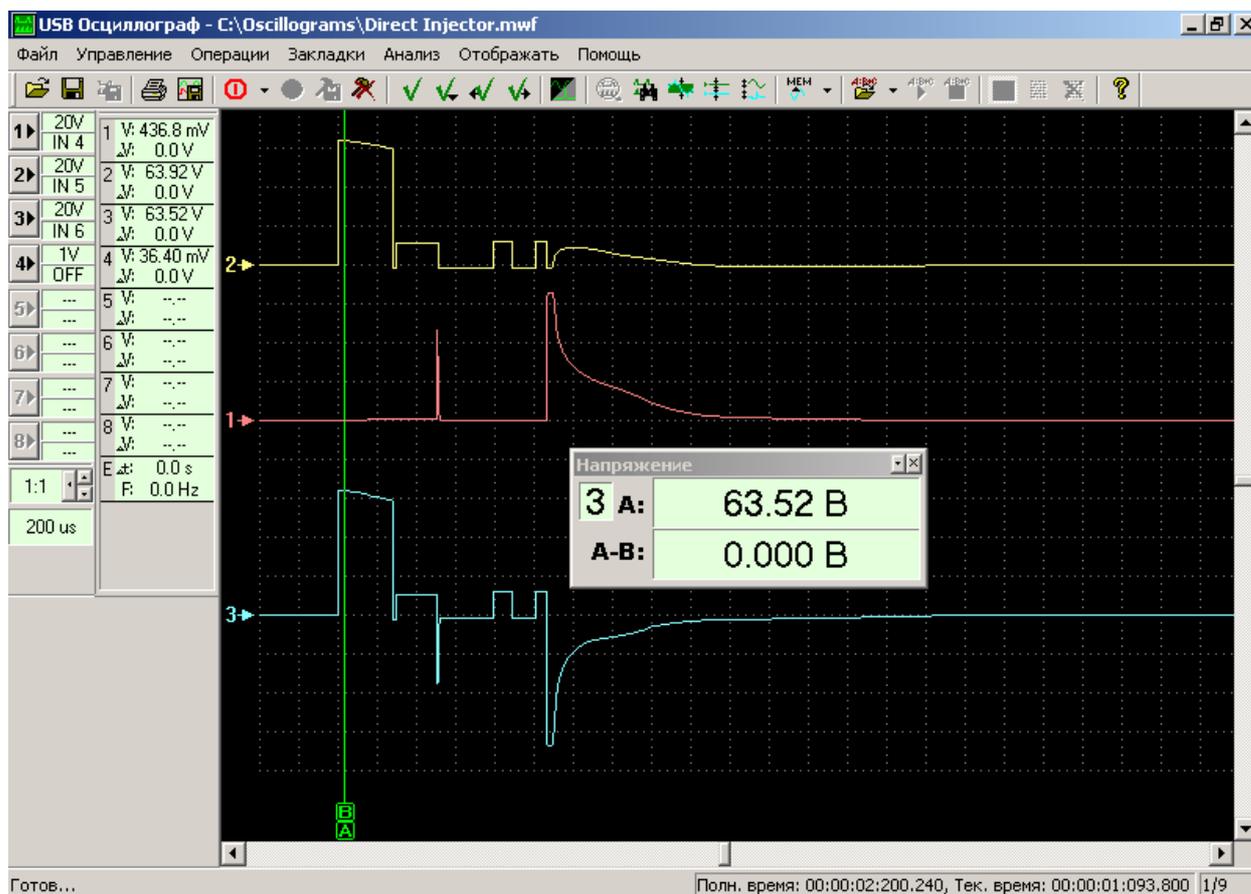
Системы непосредственного впрыска топлива

Наиболее современными системами управления двигателем являются системы с непосредственным впрыскиванием топлива. Здесь топливная форсунка впрыскивает топливо непосредственно в камеру сгорания, то есть, во внутренний объём цилиндра. Благодаря этому, при работе двигателя с низкой нагрузкой (холостой ход, равномерное движение автомобиля с небольшой скоростью...) удалось достичь приготовления внутри цилиндра топливовоздушной смеси с неоднородным соотношением воздух-топливо. Вблизи электродов свечи зажигания образуется нормальная или немного обогащённая смесь, за счёт чего происходит устойчивое воспламенение этой смеси от искрового разряда между электродами свечи зажигания. В остальном объёме цилиндра образуются бедные и сверхбедные смеси, которые сгорают от пламени горения нормальной по составу смеси вблизи электродов свечи зажигания. За счёт послойного приготовления топливовоздушной смеси (состав смеси в объёме камеры сгорания неоднороден), усреднённый состав приготовляемой и сжигаемой таким образом топливовоздушной смеси оказывается сверхбедным – соотношение воздух-топливо при работе двигателя в таком режиме может достигать значений 30:1...40:1. Для сравнения, на бензиновом двигателе с подачей топлива во впускной коллектор и оборудованном специальными завихрителями потока воздуха (для создания послойной смеси в камере сгорания) не удаётся достичь обеднения топливовоздушной смеси с соотношением воздух-топливо более 25:1. А, как известно, обеднение топливовоздушной смеси позволяет заметно снизить количество расходуемого двигателем топлива.

Системы управления двигателем с непосредственным впрыскиванием топлива, да и сами двигатели, обслуживаемые подобными системами, имеют ряд отличий от обычных систем с точечным впрыскиванием топлива. Это: вертикальные каналы ввода потока воздуха в цилиндры, поршни с закругленной выборкой для направления топливной смеси в сторону свечи зажигания, вихревые инжекторы высокого давления, топливный насос высокого давления. Кроме того, при работе двигателя на сверхбедных смесях, впрыскивание топлива в камеру сгорания происходит в конце такта сжатия. Из-за высокого давления в камере сгорания в момент впрыска топлива, а так же для обеспечения направленного перемещения впрыснутого топлива к свече зажигания, давление топлива в топливной рейке здесь существенно увеличено, соответственно изменена и конструкция топливной форсунки. С целью повышения давления в топливной рейке, кроме электрического топливного насоса, размещённого внутри бака, здесь дополнительно применён механический топливный насос высокого давления, приводимый от распределительного вала двигателя. Механический топливный насос высокого давления обеспечивает поддержание давления в топливной рейке на уровне нескольких десятков Bar.

Для обеспечения правильного послойного образования топливовоздушной смеси, движение воздушного потока внутри цилиндра было оптимизировано за счёт изменения конструкции двигателя – изменены форма и направление впускного воздушного канала для создания в камере сгорания вертикально направленных воздушных потоков. Так же здесь применена специальная форма днища поршня. За счёт изменённой формы днища поршня, струя впрыскиваемого форсункой топлива "отражается" от наклонного углубления в днище поршня и направляется к свече зажигания, где образуется область с достаточно богатым содержанием топлива.

В связи с повышением давления топлива в топливной рейке, потребовалось значительно сократить длительность открытия топливной форсунки, измеряемое здесь в единицах десятых долей милли Секунды. Для уменьшения инерционности топливных форсунок, величина управляющего форсунками напряжения была значительно увеличена и достигает нескольких десятков Вольт. Для управления топливными форсунками многих систем непосредственного впрыска топлива применяется специальный модуль, преобразующий низковольтные импульсы от блока управления двигателем в высоковольтные импульсы для управления топливными форсунками.



Осциллограммы напряжений сигналов управления топливной форсункой системы непосредственного впрыска топлива.

- 1 Осциллограмма напряжения на одном из выводов топливной форсунки системы непосредственного впрыска топлива.
- 2 Осциллограмма напряжения на втором из выводов топливной форсунки системы непосредственного впрыска топлива.
- 3 Осциллограмма напряжения, воздействующего на обмотку топливной форсунки системы непосредственного впрыска топлива.

Следует отметить, что при работе двигателя на холостом ходу, для поддержания необходимой температуры нейтрализатора выхлопных газов приготовление сверхбедной топливовоздушной смеси периодически чередуется с приготовлением обычной однородной смеси (послойное смесеобразование чередуется с гомогенным смесеобразованием). При гомогенном смесеобразовании впрыск топлива в камеру сгорания происходит не во время такта сжатия, а на такте впуска. Переключения между

послойным и гомогенным смесеобразованием заметны по незначительному изменению частоты вращения двигателя на холостом ходу.

На определенных режимах работы двигателя возможен комбинированный режим приготовления смеси, когда топливо впрыскивается форсунками на такте впуска и дополнительно в конце такта сжатия.

Из-за низкого качества топлива, повышается степень износа деталей некоторых узлов системы непосредственного впрыскивания топлива. Высокое содержание серы и нерегламентированных присадок в бензине фактически сводит на нет экономические, экологические и мощностные показатели данных двигателей. Поэтому, не многие производители автомобилей одобряют эксплуатацию таких двигателей в странах СНГ.