



2. Сигналы.

В проекте предусмотрен один входной сигнал от датчика Холла или оптического датчика - линия PD2(int0). Датчик должен выдавать импульс заданной угловой длины LDELTA за базовый угловой интервал (Base).

Таблица 1

Цилиндры	1	2 <sup>(1)</sup>	3 <sup>(1)</sup>
Base	360	180	120

Примечание: Одновременная искра

Выходной сигнал искрообразования - по умолчанию это линия PC3(adc3).

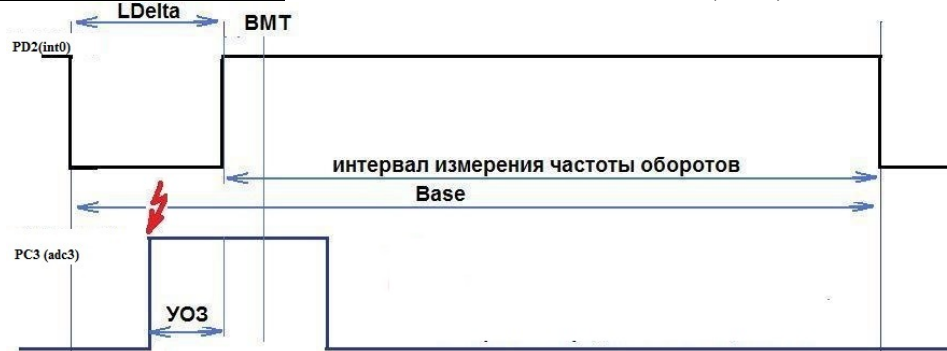


Рис.1 Входной и выходной сигнал

Важно помнить, что существует начальный угол смещения импульса LDELTA относительно BMT. В дальнейшем будем называть угол внутри метки LDELTA углом опережения зажигания (YO3), памятуя, что он отличается от истинного на постоянное значение, связанное с конструктивом датчика.

Совокупность таблиц YO3 (до 32 шт.) из которых прошивка выбирает активную таблицу и нужный YO3 из неё, хранятся во энергонезависимой памяти контроллера. Выбор активной таблицы осуществляется алгоритмом в зависимости от уровня аналогового напряжения в пределах 0..5В на одном из аналоговых входов контроллера (по умолчанию adc4). К этому вход может быть подключен или ДПЗД или ДАД или просто потенциометр, выведенный в удобное место для переключения (Рис.2)

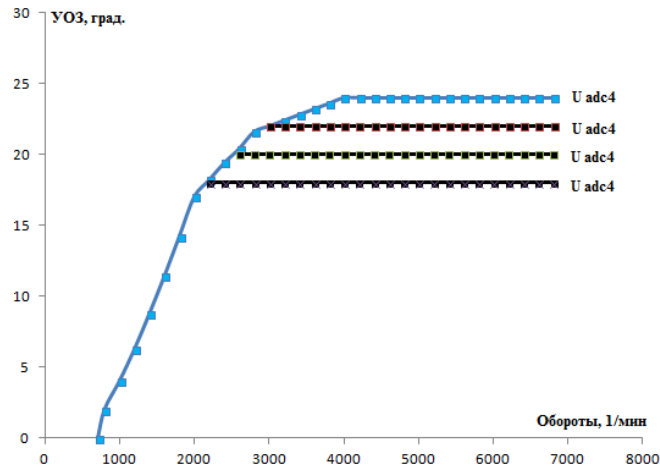


Рис.2 Таблицы YO3 (4 шт.)

Каждая таблица состоит из 32 значений YO3 в ключевых узловых точках. Алгоритм программы измеряет частоту вращения двигателя и выбирает нужный диапазон оборотов (две узловые точки больше и меньше измеренного) из активной таблицы. Далее с помощью линейной интерполяции между узловыми точками вычисляется нужный YO3.

Выходной сигнал предназначен для построения как CDI, так и TCI систем зажигания. Сигнал активизируется в нужный момент по рассчитанному YO3. Системой предоставляется на выбор три способа отключения этой линии:

**LineOFFMode=0:** Линия управления отключается в начале импульса LDELTA (для TCI с самодельным коммутатором - мощный транзисторный ключ с контролем тока через высоковольтную катушку). Тип выходного каскада Рис.3б.



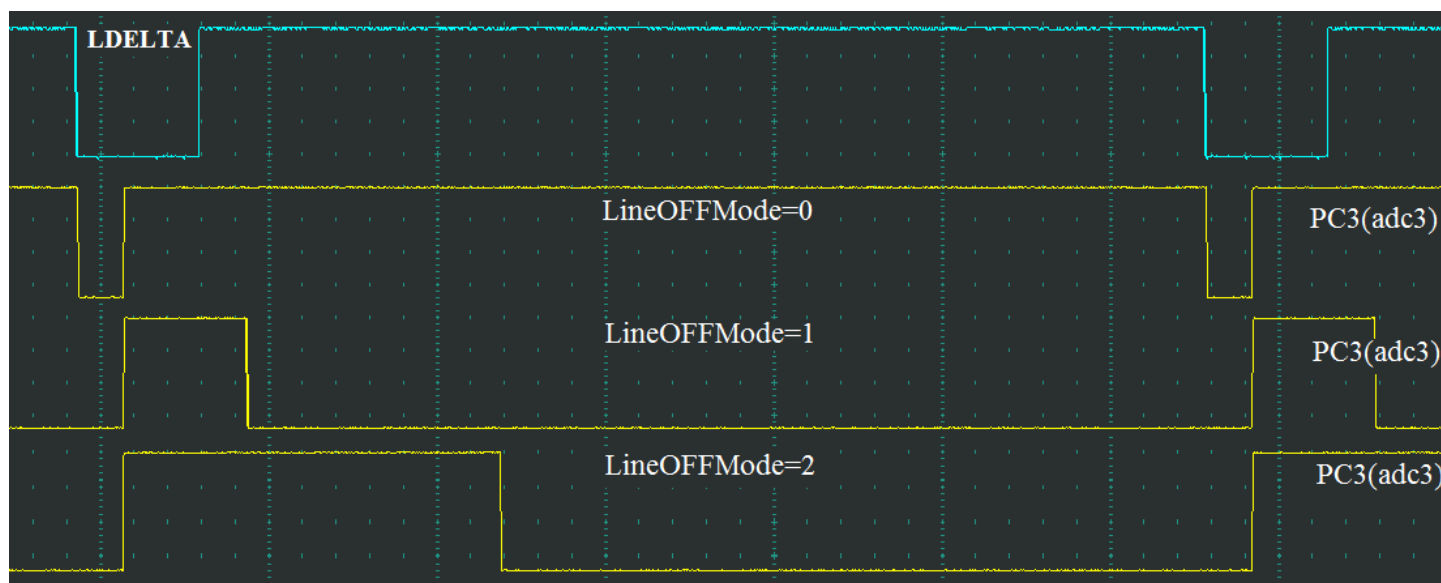


Рис.5 Формирование искры в разных режимах.

Если в течении некоторого интервала времени входной сигнал не изменяет свое значение, то программа переводит устройство в режим СТОП.

Все параметры устройства связаны между собой. Для упрощения процесса подгонки параметров устройства к конкретной задаче применяется электронная таблица «**Главная разметочная таблица.ods**» в приложение OpenOffice. В таблицу заносятся основные параметры. Далее все необходимые константы для прошивки следует перенести из таблицы в исходный текст прошивки «**main.asm**».

### 3. Процесс заполнения «Главная разметочная таблица.ods».

**Внимание! Заполняются только зеленые поля, остальные поля служебные.**

**Поля, выделенные голубым цветом или названия которых выделены этим цветом подлежат переносу в прошивку.**

Итак, исходя из графических схем в пункте 2 необходимо ввести параметры Base и угловой размер метки в градусах LDELTA (он может быть равен не целому значению градусов). Главная разметочная таблица автоматически разделит целую и дробную части и заполнит соответствующие ячейки.

У созданной системы есть физическое ограничение на максимальный УОЗ в пределах LDELTA, связанная с временными затратами на вычисления. В прошивке есть защита на случай превышения времени расчета времени достижения порога срабатывания таймера с целью обеспечения времени задержки искрообразования. Экспериментально определено, что время эквивалентно ~3 градусам! На это можно ориентироваться при проектировании. Не разумно задавать максимальный УОЗ выше, чем LDELTA-3 градуса. **За это отвечает ячейка C45.**

Далее необходимо задать верхний предел диапазона оборотов вращения ДВС. Пусть будет 10000. Нижний предел определяется разрядностью измерительного таймера T1 и частотой, поступающих на него импульсов. Далее следует заполнить 30 значений оборотов и код частоты Fn. В этом вопросе есть нюансы.

Первое, как расставлять значения? Не надо забывать, что между узловыми точками осуществляется алгоритм линейной интерполяции, это означает, что если есть участок функции УОЗ(Обороты) с линейной зависимостью, то его можно обозначить крайними значениями. Напротив, где есть нелинейные участки можно поставить больше точек.

Второе, подбор кода частоты Fn тоже суть компромисс двух факторов. С одной стороны хочется уменьшать частоту тактирования таймера, что бы получить как можно меньшее значение минимальных оборотов в таблице, с другой стороны с уменьшением частоты ухудшается разрешающая способность алгоритма в целом. Это заключается в несоответствии расстояния между значениями измерительного таймера конкретному значению оборотов двигателя. Это приведет к появлению ступенчатого шага изменения ОУЗ(оборотов) на высоких их значениях. Для контроля этой ситуации в Главной разметочной таблице **введен столбец E**. Как правило, на высоких оборотах уже нет потребности в

резком изменении УОЗ, и считаю допустимым, если в итоге колонка Е будет показывать «Ступеньки» на паре верхних диапазоне частот вращения двигателя. Однако следует не допускать появления этого сообщения в на средних и малых оборотах, которое может появиться, если попросить очень крупный шаг по оборотам.

После этого надо заполнить столбец N, где находится базовая зависимость значений УОЗ(обороты). Эта зависимость используется как «по умолчанию», и храниться в программном коде. Рабочие таблицы формируются из неё и хранятся во флэш памяти контроллера. Об этом позже.

Главное не забывайте, что сдвиг по углу не относительно ВМТ, а по отношению к концу импульса с датчика, а реальный угол отличается в большую сторону на константу во всем диапазоне частот вращения.

Вот так заполнено в примере.

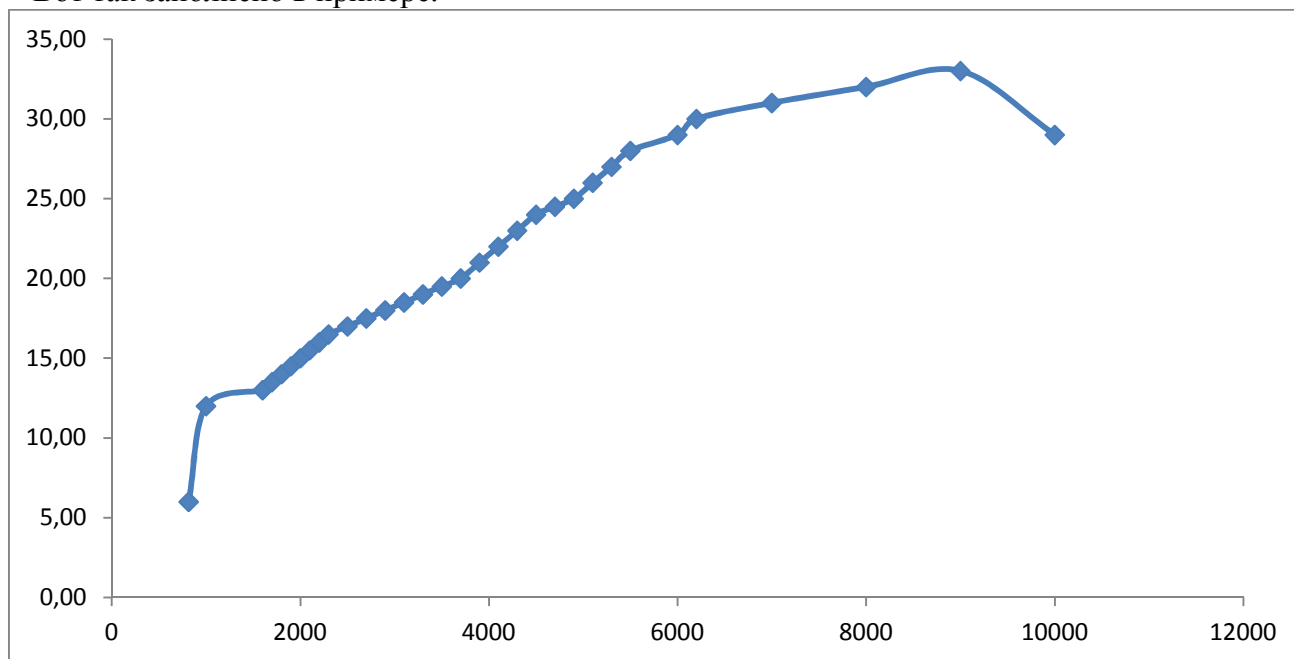


Рис.6 УОЗ(обороты).

На мой взгляд, в данном примере не разумно заполнена таблица в районе 2000 оборотов. Точки «прилеплены» друг к другу. Зависимость там явно линейная, можно было только в крайних точках задать, а между ними прошивка рассчитает по линейной зависимости.

По вопросу задания характеристики УОЗ(обороты) осталось еще раз указать, что на оборотах ниже нижней границы (816 оборотов/мин) сигнал зажигания будет вырабатываться по окончании импульса LDELTA. При оборотах выше предельного значения (10000 оборотов/мин) угол опережения зажигания будет оставаться константой, равной последнему табличному значению, в нашем случае - 29 градусов.

Следующий параметр – полная остановка двигателя (Режим СТОП). Алгоритм прошивки устанавливает режим СТОП в случае если нет изменения на входной линии системы в течении некоторого времени. Это время следует установить в ячейку С49.

Для режима LineOFFMode=1 также следует указать угловой размер временного интервала отключения выходного сигнала за меткой LDELTA в градусах - **ячейка С50.** При этом соответствующее значение будет занесено в поле AlfaT. Для режима LineOFFMode=2 константа Alfa763734 рассчитывается автоматически. В режиме LineOFFMode=0 вышеперечисленные константы не требуются и их можно оставить «по умолчанию».

Следующая группа параметров - параметры протокола защиты входной линии от импульсных помех. Алгоритм работы защитного протокола подразумевает процесс повторного чтения входной линии при её изменении. На рис. 7 приведена иллюстрация этого процесса.

Параметр ProtectClk определяет период повторного чтения состояния входной линии в микросекундах. **Ячейка С54 определяет количество повторных чтений (после первого изменения) протоколом защиты.** Это чтение будет продолжаться до тех пор, пока алгоритм не получит устоявшиеся значения уровня входной линии на выборке заданной длины. В лучшем случае это будет 3 значения (С54=2) - одно значение при изменении и два повторных чтения. В случае неизменения уровня входной линии (импульсная помеха), алгоритм не произведет ни каких действий.

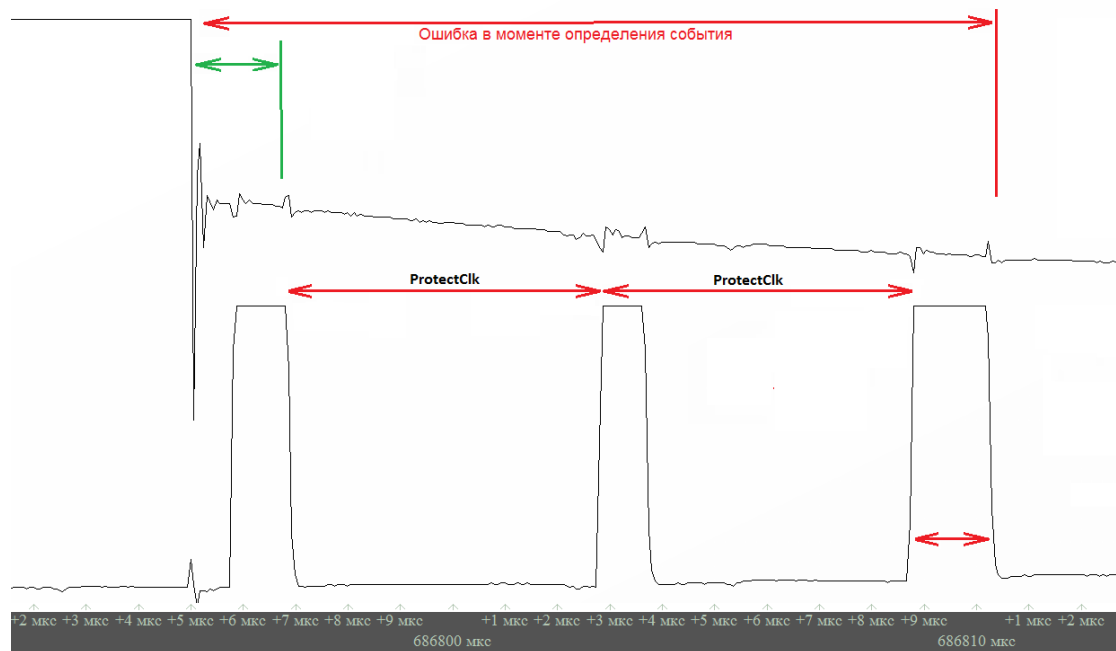
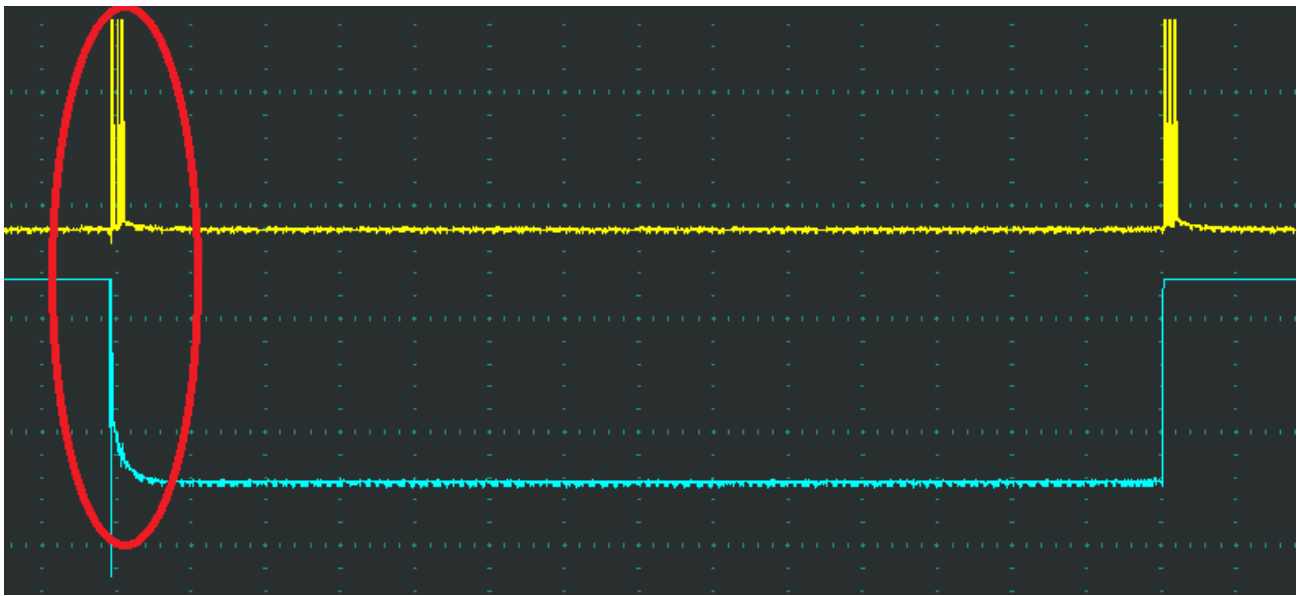


Рис.7 Иллюстрация работы протокола защиты входной линии

Эти два параметра (ProtectClk и C54) тоже есть компромисс между «хочу лучше защищать входную линию» и увеличением ошибки в моменте определения события. Пара значений 6 и 2 уже протестирована на реальном одноцилиндровом двигателе 4Т двигателе. Пусть это будет пара «по умолчанию».

Отличительной особенностью построенного протокола защиты является возможность компенсации потерянного времени между изменением входного сигнала и моментом принятия решения алгоритмом о происходящем процессе. То есть «Ошибку в моменте определения события» (Рис.7.) удалось компенсировать путем к коррекции порога OCR1 таймера. Опустим вычисления и обработку экспериментальных данных. Итог приведен в параметре **ProtectCorr**.

Понятно, что в случае присутствия сильных помех протокол защиты будет вынужден делать лишние шаги и корректирующее слагаемое ProtectCorr не будет полностью компенсировать временные потери. В этом случае следует экспериментально подобрать пару ProtectClk и C54, подавляющие характерные помехи и вновь получить другую оценку коррекции.

Отставшие две константы **StartLDelta** и **StopLDelta** представляют собой битовые значения логического уровня сигнала датчика в четыре момента времени, соответствующих изменения уровня сигнала датчика и его нового устоявшегося значения. Последнее значение соответствует младшему биту. По умолчанию эти константы соответствуют положению на Рис1. На рис. 8 представлен случай другой случай, для которого **StartLDelta = 0b0101**, **StopLDelta = 0b1010**.

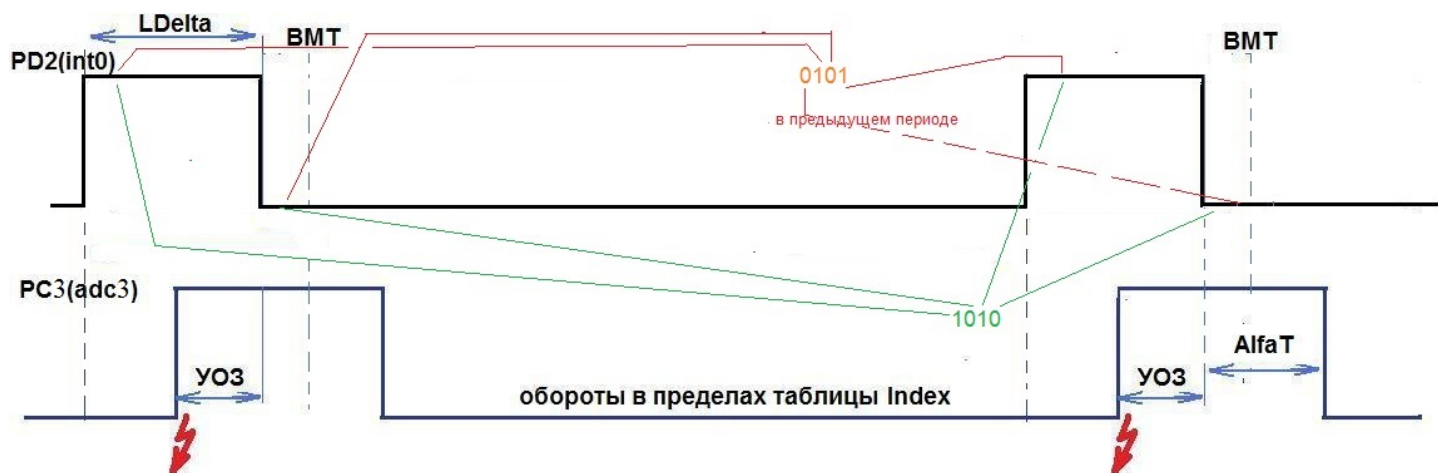


Рис. 8. Инверсная полярность входного сигнала

На этом процесс заполнения Главной разметочной таблицы завершен. Немного о случае, когда такой коррекции нет. Рассмотрим классическую схему построения таких систем. Нет повторных чтений. Есть только обработка прерывания при изменении входной линии. **Это время не нулевое (~7 тактов кварцевого генератора контроллера)**. Есть еще временные потери, связанные с чтением значения измерительного таймера и его перезапуска. В самом благоприятном случае (корректное построение кода программы) и при кварце 16 МГц суммарные временные потери составляют **до 3 мкс**, а при кварце 4 МГц – **12 мкс**. На рис.7 этот случай представлен зелеными стрелками. Алгоритм с протоколом защиты дает время ~ **18 мкс**. Ниже представлены результаты некомпенсации этих временных потерь.

Обороты 1/мин	Базовая таблица, град	Эффективная таблица, град		
		Обработка прерываний		Протокол защиты
		16 МГц	4 МГц	16 МГц
816	6	5,99	5,93	5,91
1000	12	11,98	11,92	11,89
1600	13	12,97	12,87	12,83
1700	13,5	13,47	13,36	13,32
1800	14	13,97	13,85	13,81
1900	14,5	14,47	14,35	14,29
2000	15	14,96	14,84	14,78
2100	15,5	15,46	15,33	15,27
2200	16	15,96	15,82	15,76
2300	16,5	16,46	16,31	16,25
2500	17	16,96	16,80	16,73
2700	17,5	17,45	17,28	17,21
2900	18	17,95	17,77	17,69
3100	18,5	18,44	18,25	18,17
3300	19	18,94	18,73	18,64
3500	19,5	19,44	19,22	19,12
3700	20	19,93	19,70	19,60
3900	21	20,93	20,69	20,58
4100	22	21,93	21,67	21,56
4300	23	22,92	22,65	22,54
4500	24	23,92	23,64	23,51
4700	24,5	24,42	24,12	23,99
4900	25	24,91	24,60	24,47
5100	26	25,91	25,59	25,45
5300	27	26,90	26,57	26,43
5500	28	27,90	27,56	27,41
6000	29	28,89	28,52	28,35
6200	30	29,89	29,50	29,33
7000	31	30,87	30,43	30,24
8000	32	31,86	31,35	31,14
9000	33	32,84	32,27	32,03
10000	29	28,82	28,19	27,92

Отклонение эффективного угла опережения зажигания бесспорно можно просто учесть при задании исходной таблицы.

#### 4. Перенос данных в исходник прошивки. Компиляция и прошивка.

Исходник прошивки состоит из трех файлов: «m328pdef.inc» - файл, определяющий константы микроконтроллера, «main.asm» - основная часть прошивки, «eeprom&uart.inc» - набор функций для работы с флэш памятью и интерфейсом UART.

Для этой цели требуется текстовый редактор самый простой Блокнот. Офисные приложения и WordPad не годятся. Открываем на редактирование файл main.asm.

Аккуратно вносим в текст программы нужные значения полей констант из Главной разметочной таблицы:

```
.equ  LDelta      =    39
.equ  LDeltaFP16  =    0
.equ  Base        =   360
.equ  Fn          =    7
```

Система тактирования измерительного таймера может быть реализована от внешнего источника. В качестве внешнего источника используется другой таймер микроконтроллера, выход которого должен быть соединен со входом измерительного таймера - выходы Ардуино D6 (OCA=PD6=AIN0) и D5 (T1=PD5=OCOB). Этот режим доступен для любого значения параметра Fn. Для включения этого режима константа SystemClk должна быть равна 7 (**SystemClk =ExternalClk**).

В одном частном случае, когда Fn=3 в качестве источника тактовых импульсов можно использовать внутренний источник. Для этого SystemClk должна быть равна 2 (**SystemClk = InternalClk**). Выходы Ардуино D6 и D5 тогда не надо соединять, а восьмиразрядный таймер 0 можно использовать для любой другой цели.

Продолжим заполнение параметров. Четный масштабный коэффициент рассчитывается автоматически для использования разрядности вычислителя в максимальном диапазоне.

```
.equ  Ka          =   16
```

Обращаю внимание на то, что при некоторых значениях этого коэффициента можно сократить время расчета в программе. В тексте прошивки есть описание этого процесса в процедуре расчета задержки искрообразования и программирование "сравнителя" таймера StartIgnition.

Далее заполняются ограничительные константы.

```
.equ  OUZMaxFP8   =   249
.equ  OUZMinFP8   =   19
```

**Устанавливаем количество рабочих страниц:**

```
.equ  UOZCount    =    4          (1, 2, 4, 8, 16, 32)
```

и таймаут режима СТОП -

```
.equ  StopCntMax  =   61
```

Константы процедуры защиты от пульсаций - интервал дискретизации протокола защиты от пульсаций в мкс:

```
.equ  ProtectClk  =    6          ;
```

и маска-длина защитного протокола формата:

```
.equ  Maskchain   = 0b00000111
```

Корректирующая константа к сравнителю для компенсации времени работы алгоритма защиты.

```
.equ  ProtectCorr =   19          ;
```

Следующий шаг, настройка входа АЦП для датчика ДПЗД, а именно номер канала мультиплексора АЦП, к которому подключен переменный резистр ДПЗД на землю. Этот же вход должен быть подключен через резистор 500 Ом к +5В Ардуино. В этом случае при обрыве в цепи ДПЗД или его физического отсутствия алгоритм будет выбирать таблицу с максимальным номером из имеющихся.

```
.equ  OUZCanBit   =    4 -
```

В целях борьбы с помехами отсчеты АЦП помещаются в кольцевой буфер длиной  
.equ OUZAverCount= 8

Основная программа производит усреднение по кольцевому буферу и в зависимости от числа страниц выбирает её номер как доля напряжения на входе АЦП по отношению 5В линейно. ДПЗД, по идеи, тоже должен осуществлять линейное преобразования угла поворота в его сопротивление. Чем длиннее этот буфер, тем лучше защита от помехи, но больше постоянная времени контура управления – инерция.

Следующий шаг, если он необходим, это изменение констант **StartLDelta** и **StopLDelta**. Последний шаг – это импорт столбцов M и R в конец файла прошивки. Там находятся процедуры FillIndex, FillTable, в которые необходимо их вставить.

**Процесс подгонки прошивки завершен.**

Компиляция и прошивка, а также запуск управляющей программы может быть осуществлен только под системой Windows. Удобно делать в консоли или файловом менеджере Far.

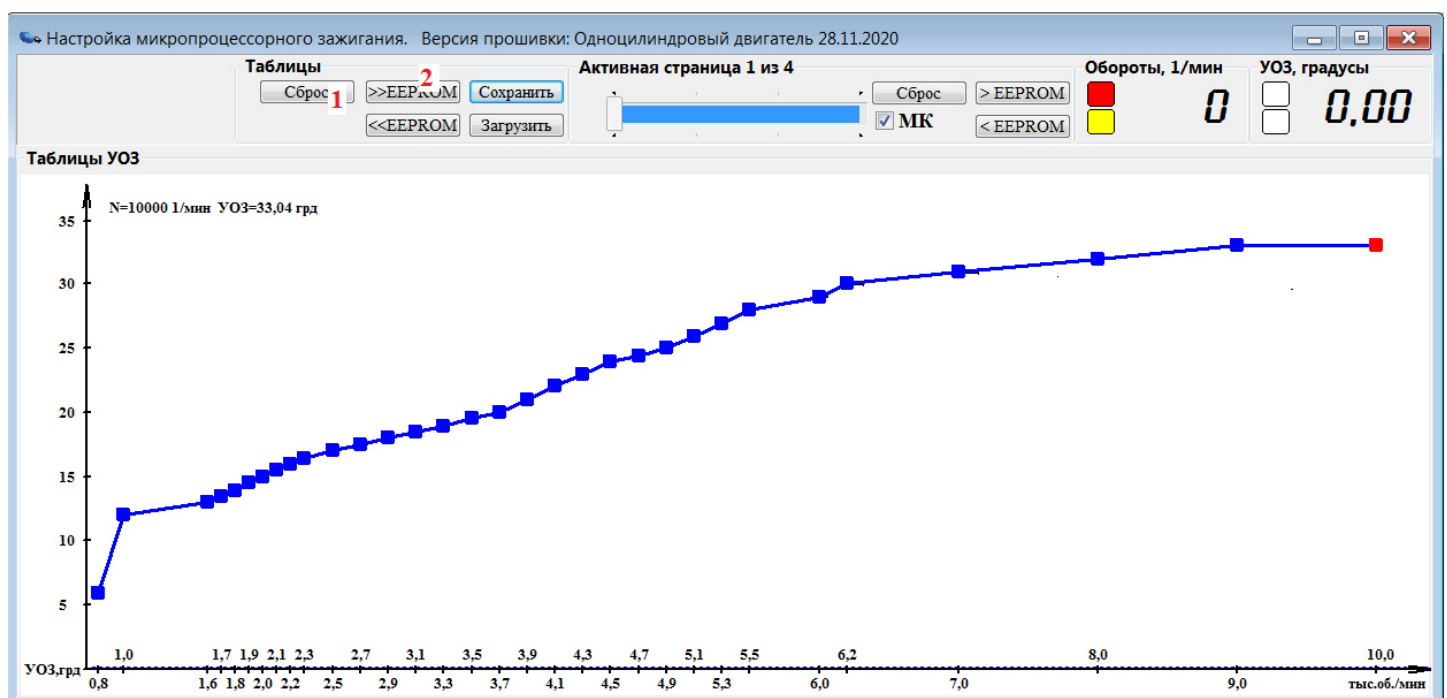
Для компиляции создан командный файл C.bat – исполняем его и образуется файл main.hex – собственно прошивка.

Подключаем Ардуинку к USB порту и образованный файл main.hex записываем в Ардуинку с помощью командного файла W.bat. **Важно предварительно исправить в командном файле номер COM порта Windows, к которому подключена Ардуинка. Иногда приходится изменять скорость работы COM порта с 57600 на 112200. Это зависит только от работоспособности моста USB-UART. Кроме того перед прошивкой не забудьте установить драйвер используемого моста USB-UART. В моем примере это был CH340G.**

При реализации записи следует помнить, что некоторые мосты USB-UART не имеют прямого прохождения сигнала сброса на микроконтроллер на Ардуинке. Так на моем варианте этого нет и приходится сразу после запуска BAT файла на плате нажать кнопку Reset. Конденсатор на плате Ардуино Pro Mini, через который проходит этот импульс, в моем случае заземлен для помехозащитности. На платформах NANO, UNO все это делать не надо!

## 5. Первый запуск и функционирование.

Настало время первого запуска. На самом деле он уже произошел после прошивки. Тот же интерфейс, который использовался для прошивки будем использовать для настройки системы в целом. Запускаем приложение UOZ.exe нажимаем последовательно две кнопки –

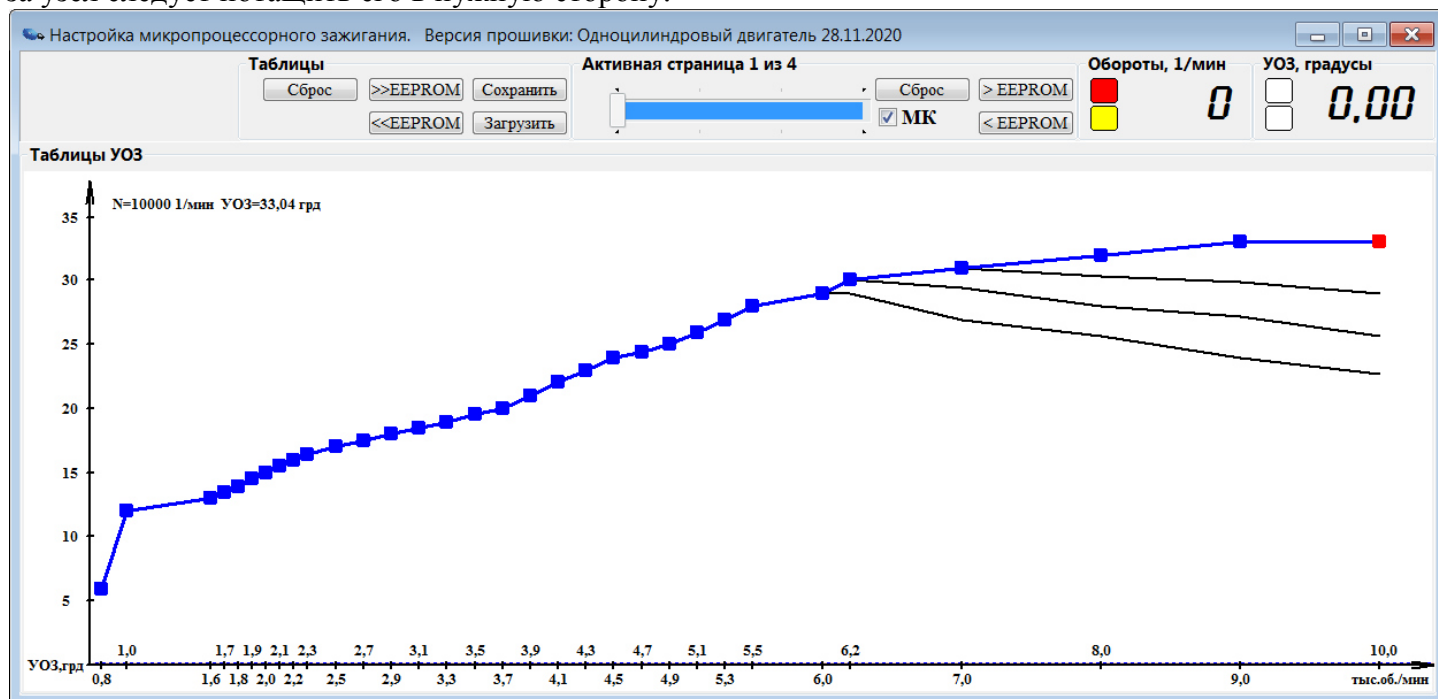


Тем самым мы заполняем все таблицы значениями «по умолчанию» и сохраняем их в флэш МК. При следующем запуске этого делать уже не надо и таблицы автоматически считаются от туда. **Система готова к работе.** Все таблицы одинаковые. Активная таблица 4.

Кнопки из секции «Таблица» относятся ко всем таблицам сразу. Совокупность таблиц можно: установить «по молчанию», записать и прочитать из флэш, записать и считать с диска. На диске таблицы хранятся в файлах с расширением «u\*», где \* – число таблиц в наборе. Каждые 2 минуты оболочка автоматически сохраняет таблицы на диск в файле «autosave.u\*». При нормальном завершении работы на диск дополнительно сохраняется еще одна копия таблиц в файле «exitsave.u\*».

Кнопки из секции «Активная страница» относятся к одной странице. При включенном переключателе «МК» активная страница назначается МК. Если эту деактивировать этот переключатель, то выбор активной таблицы осуществляется ползунковым регулятором, при этом на Ардуинке загорится светодиод. Активную страницу можно сбросить «по умолчанию», записать и считать из флэш. Самое главное, её можно поточно корректировать визуально, даже при работающем двигателе.

Для этого мышкой выбирается нужный узел и далее или колесиком мышки или просто взявшись за узел следует потащить его в нужную сторону.



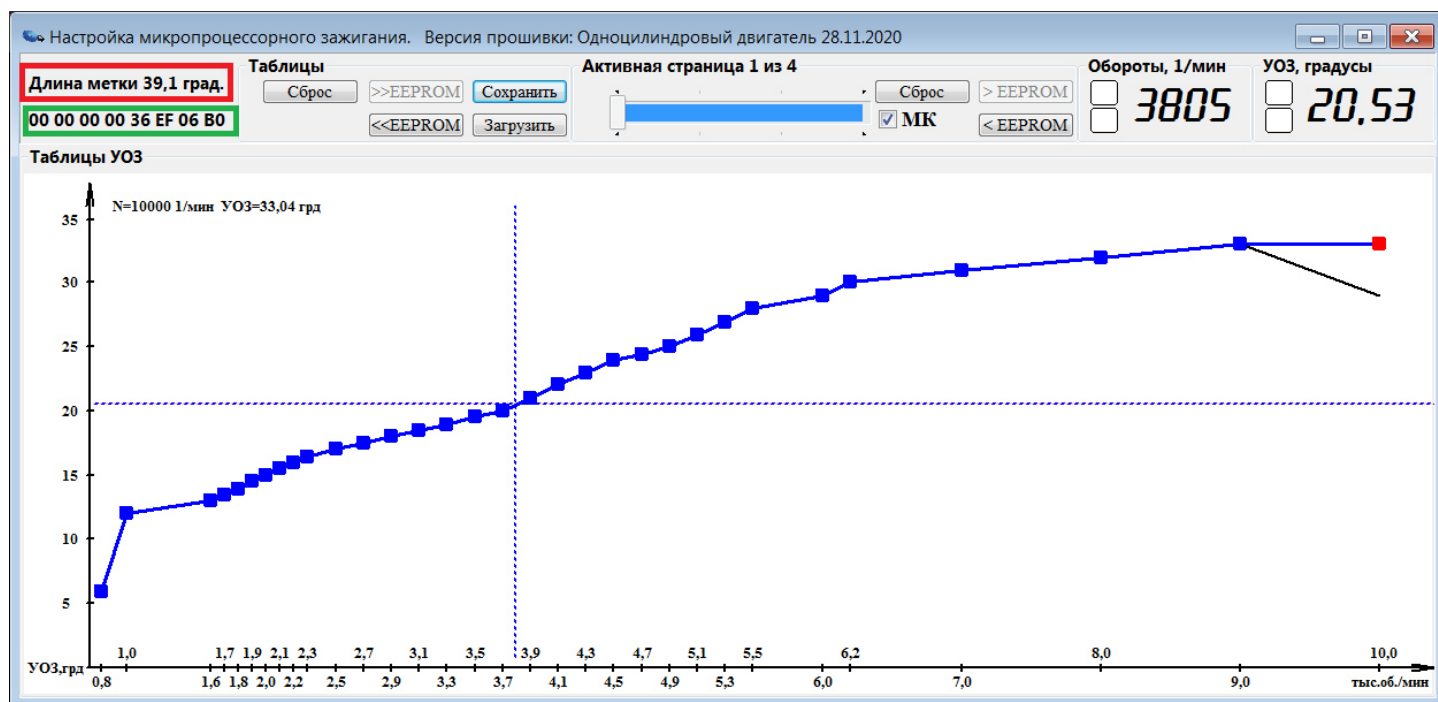
Обращаю внимание на то, что все изменения таблиц осуществляются в ОЗУ контроллера. Если в конце сеанса правки не сохранить на флэш, то все ваши изменения будут утрачены.

**Программа UOZ теперь имеет и сервисный режим.** В этом режиме можно наблюдать за восемью переменными tester[0..7] из прошивки. Отмечу, что старшие четыре байта всегда заняты сервисной информацией о длине интервала LDELTA и значению измерительного таймера на текущем цикле работы..

В любом месте прошивки можно запомнить любой регистр в ячейки 0..3 памяти tester в следующем формате:

```
sts    tester,A
sts    tester+1,B
sts    tester+2,r0
sts    tester+3,C
```

Далее программу OUZ следует запустить с параметром tester. На экране тогда можно будет наблюдать картину:



В области, отмеченной красным прямоугольником, отражена оценка LDELTA по показаниям измерительного таймера (работает только при вращающемся двигателе). Ниже в зеленом прямоугольнике 8 ячеек памяти tester 0...7. Оценка длины метки не зависит от настроек прошивки (за исключением частоты Fn) и её можно далее использовать для заполнения Главной разметочной таблицы.