

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Космических и информационных технологий
институт

Вычислительная техника

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ О.В. Непомнящий
подпись инициалы, фамилия
«___» 2019 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

09.03.01 Информатика и вычислительная техника

код и наименование направления

Микроконтроллерная система электронного зажигания ДВС
титул

Руководитель _____ доцент, канд.техн.наук С.Н. Титовский
подпись, дата _____ должность, ученая степень инициалы, фамилия

Выпускник _____
подпись, дата

Нормоконтролер _____ доцент, канд.техн.наук _____ В.И. Иванов
подпись дата _____ должность ученая степень _____ инициалы, фамилия

Нормоконтролер _____ доцент, канд.техн.наук _____ В.И. Иванов
подпись дата _____ должность ученая степень _____ инициалы, фамилия

Нормоконтролер _____ доцент, канд.техн.наук _____ В.И. Иванов
подпись дата _____ должность ученая степень _____ инициалы, фамилия

Красноярск 2019

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1 Анализ задания на вкр	6
1.1 Цель и задачи выпускной квалификационной работы.....	6
1.2 Обзор существующих типов систем зажигания	6
1.2.1 Контактная система зажигания.....	7
1.2.2 Бесконтактная система зажигания	9
1.2.3 Электронная система зажигания.....	10
2 Разработка информационной модели системы	12
2.1 Разработка структурной схемы.....	12
3 Разработка функциональной схемы	14
3.1 Обоснование выбора компонентов для системы.....	14
3.1.1 Описание микроконтроллера	14
3.1.2 Выбор микроконтроллера	14
3.1.3 Датчик положения коленчатого вала	16
3.1.4 Датчик положения дроссельной заслонки.....	18
3.1.5 Датчик детонации.....	19
3.1.6 Датчик положения распределительного вала.....	22
3.1.7 Катушка зажигания	24
3.1.8 Свечи зажигания.....	25
3.1.9 Источник питания	26
3.2 Функциональная схема системы	29
4 Моделирование и разработка.....	31
4.1 Выбор среды моделирования	31
4.1.1 Proteus	31
4.1.2 Micro-Cap	33
4.1.3 LTspice.....	34
4.2 Моделирование системы в выбранной среде	35
4.3 Разработка алгоритма вычисления угла опережения зажигания.....	35
4.4 Разработка алгоритма расчета таймера	37

4.5 Разработка блок-схем алгоритмов функционирования системы.....	39
4.6 Разработка программного обеспечения для среды моделирования	42
4.7 Представление результатов моделирования.....	43
5 Разработка схемы электрической принципиальной	46
Заключение	47
Список использованных источников	48
Приложение А	50

ВВЕДЕНИЕ

Система зажигания двигателя внутреннего сгорания (далее ДВС) — совокупность всех приборов и устройств, которые обеспечивают образование электрической искры и в нужный момент поджигают топливовоздушную смесь в цилиндрах ДВС. Эта система является частью общей системы электрооборудования.

Важным элементом, влияющим на всю систему зажигания, является непосредственно момент зажигания — это время, когда система искровым разрядом воспламеняет сжатую рабочую смесь. Величина момента зажигания определяется в градусах угла поворота кривошипа коленчатого вала относительно верхней мертвой точки (далее ВМТ) поршня. Данная величина представляется как угол опережения зажигания (далее УОЗ). Значение УОЗ зависит от режима работы двигателя, который должен обеспечивать оптимальное изменение давления в цилиндре во время сгорания смеси, с учетом задержки воспламенения рабочей смеси.

Из-за того, что скорость распространения фронта пламени около 20-30 м/с, необходимо время, чтобы рабочая смесь сгорела в цилиндре. Обусловлено это тем, что поджигание смеси в положении поршня в ВМТ, смесь догорит уже на такте расширения и отчасти на выпуске, это не позволит достичь эффективного давления на поршень. Поэтому оптимальный момент зажигания опережают относительно ВМТ, чтобы максимальное давление отработанных газов приходилось на ВМТ.

Чтобы двигатель работал с максимальной мощностью и крутящим моментом, давление газов, после сжигания рабочей смеси, должно достигать максимальной величины в точке $10-12^\circ$ после ВМТ. Тогда сила давления газов на поршень будет преобразована максимально эффективно в механическую энергию вращения коленчатого вала. Топливно-воздушная смесь (далее ТВС) не сгорает сразу и не взрывается в цилиндрах. Чтобы

получить максимум давления газов в нужной нам точке нужно согласовать скорость движения поршня и скорость сгорания ТВС [1].

1 Анализ задания на ВКР

1.1 Цель и задачи выпускной квалификационной работы

Целью, данной выпускной квалификационной работы, является разработка системы электронного зажигания двигателя внутреннего сгорания на основе микроконтроллера AVR.

Исходя из поставленной цели ВКР, были составлены следующие задачи для ее достижения:

- обзор существующих типов систем зажигания;
- разработка информационной модели системы;
- разработка структурной схемы;
- разработка аппаратных средств;
- разработка функциональной схемы;
- разработка алгоритма функционирования системы;
- моделирование системы зажигания;
- разработка схемы электрической принципиальной.

1.2 Обзор существующих типов систем зажигания

Основным назначением системы зажигания ДВС является подача искрового разряда на свечи зажигания в определённый тakt работы бензинового двигателя.

Систему зажигания, по мере своего развития, можно разделить на три типа:

- контактная система зажигания;
- бесконтактная система зажигания;
- микроконтроллерная система зажигания.

1.2.1 Контактная система зажигания

Контактная система зажигания – самый ранний вид системы зажигания. Сейчас данный тип используется лишь на некоторых моделях отечественных автомобилей. Образование высокого напряжения и его распределение по цилиндрам совершается с помощью контактов.

Контактная система содержит такие элементы, как выключатель зажигания, источник бесперебойного питания, механический прерыватель, механический распределитель, катушки зажигания, центробежного регулятора опережения зажигания, вакуумного регулятора опережения зажигания, высоковольтных проводов и свечей зажигания.

Механический распределитель предназначен для размыкание цепи первичной обмотки катушки зажигания. Во вторичной цепи катушки зажигания формируется высокое напряжение. Механический распределитель обеспечивает распределение высокого напряжения по свечам цилиндров ДВС.

Катушка зажигания образует из тока в цепи низкого напряжения ток в цепи высокого напряжения. Катушка по своей структуре имеет две обмотки – высокого и низкого напряжения.

Центробежный регулятор опережения зажигания необходим для изменения УОЗ, который зависит от вращения коленчатого вала. Вакуумный регулятор опережения зажигания изменяет УОЗ в зависимости от нагрузки на двигатель.

С помощью высоковольтных проводов ток в цепи высокого напряжения проходит от катушки зажигания к распределителю, а далее на свечи зажигания.

Принцип действия данной системы заключается в следующем, когда контакт прерывателя находится в замкнутом состоянии, ток в цепи низкого напряжения распределяется по первичной катушке зажигания. При размыкании контактов формируется ток в цепи высокого напряжения во

вторичной обмотке. Ток в цепи высокого напряжения попадает на крышку распределителя, где происходит распределение по соответствующим свечам зажигания с определенным УОЗ.

Увеличение оборотов коленчатого вала приводит к увеличению оборотов вала прерывателя распределителя.

При увеличении оборотов коленчатого вала двигателя, увеличиваются обороты вала прерывателя распределителя. Грузики центробежного регулятора опережения зажигания под действием центробежной силы расходятся, приводя в действие подвижную пластину с кулачками прерывателя. Таким образом, контакты прерывателя размыкаются раньше, тем самым увеличивается УОЗ. При уменьшении оборотов коленчатого вала двигателя УОЗ уменьшается [2]. Контактная система зажигания представлена на рисунке 1.

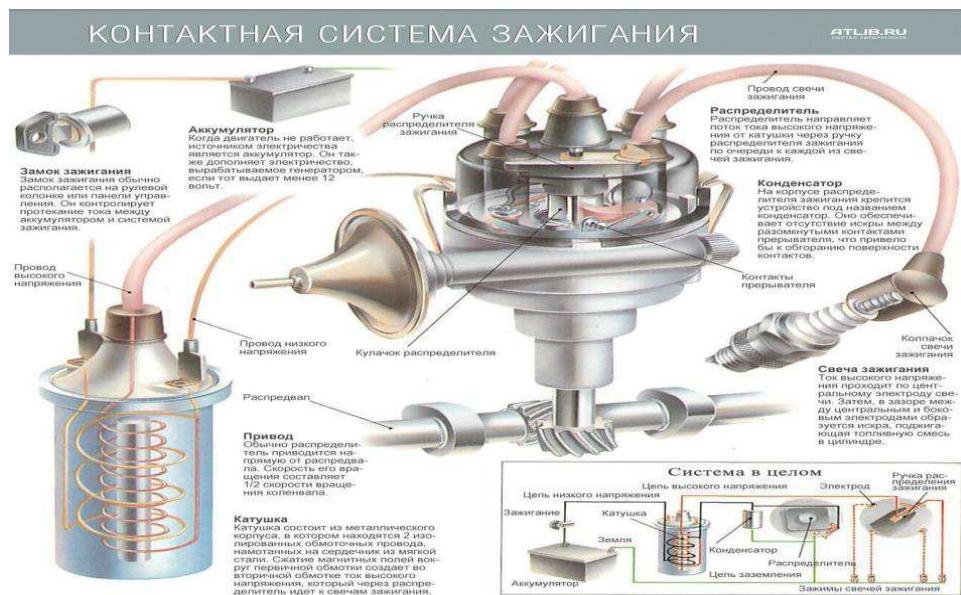


Рисунок 1 – Контактная система зажигания

1.2.2 Бесконтактная система зажигания

В бесконтактной системе зажигания были сделаны некоторые изменения. Контакт прерывателя поменяли на бесконтактный датчик, который вырабатывает электроимпульсы в точно заданный момент времени. Эти импульсы поступают в схему управления током первичной обмотки катушки зажигания. Преимуществом бесконтактных датчиков является то, что они не подвержены механическому воздействию, поэтому это делает их износостойкими.

Бесконтактная система зажигания содержит такие элементы как: бесконтактный датчик углового положения коленчатого вала двигателя, формирующий каскад, выходной каскад, коммутатор, катушка зажигания, распределитель.

В наиболее простых бесконтактных системах зажигания коммутатор преобразует сигналы с бесконтактного датчика углового положения коленчатого вала. После чего осуществляется усиление мощности, и происходит коммутация выходного каскада, нагрузкой которого служит катушка зажигания, т.е. реализуются те же механические автоматы опережения зажигания.

Основной недостаток бесконтактной системы зажигания – это механический способ распределения энергии по цилиндрям ДВС. Из-за этого возникает погрешность момента искрообразования от коленчатого вала ДВС к распределителю [3]. Бесконтактная система зажигания представлена на рисунке 2.

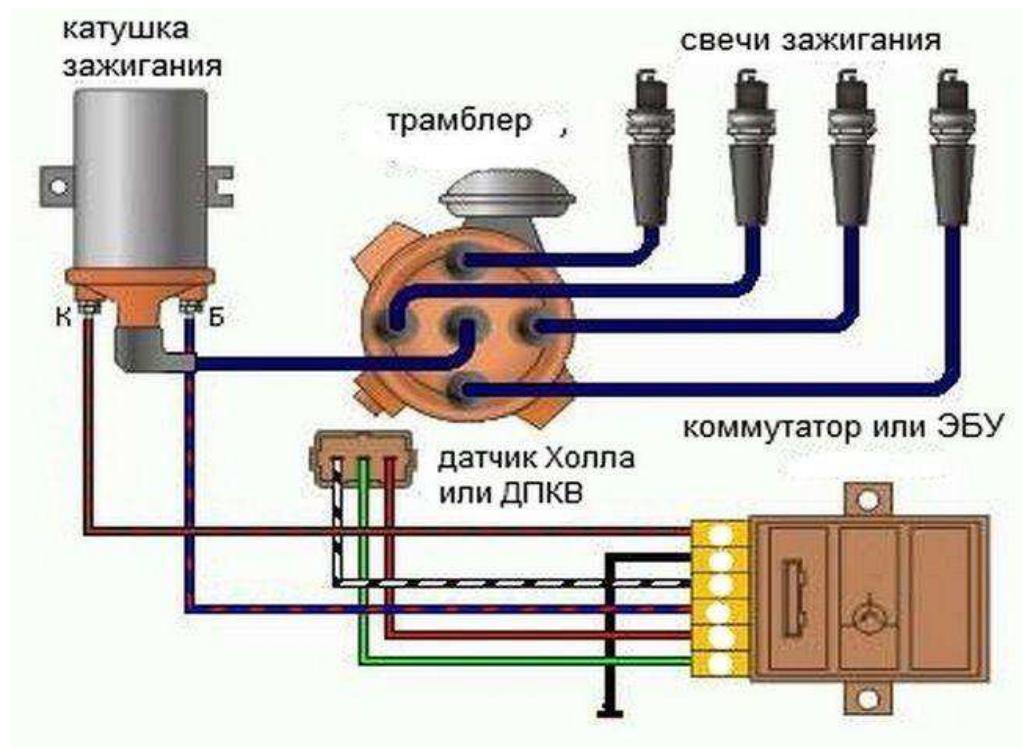


Рисунок 2 – Бесконтактная система зажигания

1.2.3 Электронная система зажигания

Электронная система зажигания на сегодняшний день является важным компонентом современного автомобиля. Ток в цепи низкого напряжения образуется и распределяется благодаря электронным устройствам. Такая система обладает преимуществом перед другими системами зажигания, к примеру, электронная система зажигания облегчает запуск двигателя в зимнее время.

В электронную систему зажигания входят такие компоненты, как источник питания, датчики, электронный блок управления, выключатель зажигания, воспламенитель, катушка, свечи зажигания, провода высокого напряжения.

Сигналы, которые поступают с датчиков, передаются в электронный блок управления (далее ЭБУ). ЭБУ обрабатывает поступивший сигнал по разработанному алгоритму. После обработки подается электронный сигнал

на воспламенитель. Далее происходит включение транзистора, который обеспечивает прохождение тока на первичную обмотку катушки зажигания. В определенный момент времени ток цепи первичного напряжения размыкается, повышая напряжение на первичной обмотке, после чего импульс уходит на нужную свечу.

В процессе работы анализируется скорость вращения коленчатого вала и нагрузка на двигатель. Это позволяет при необходимости корректировать УОЗ, увеличивая отдачу двигателя [4].

2 Разработка информационной модели системы

На основе разрабатываемой электронной системе зажигания можно составить информационную модель данной системы.

В системе будут использоваться 2 цифровых датчика:

- датчик положения коленчатого вала - необходим для расчета оборотов двигателя и положения коленчатого вала в определенные моменты времени;
- датчик положения распределительного вала – необходим для того, чтобы определить такт сжатия первого цилиндра.

Также будут использоваться 2 аналоговых датчика:

- датчик положения дроссельной заслонки;
- датчик детонации.

Датчик детонации и датчик количества топливовоздушной смеси необходимы для контроля угла опережения зажигания (далее УОЗ).

Данные с микроконтроллера поступают на 4 катушки зажигания, которые выполняет функцию генератора импульсов высокого напряжения (порядка 20кВ) и работает по принципу трансформатора.

Напряжение с катушек поступает на свечи, искра позволяет ДВС завести автомобиль.

2.1 Разработка структурной схемы

Исходя из информационной модели пункта 2 можно составить структурную схему системы зажигания, которая изображена на рисунке 3.

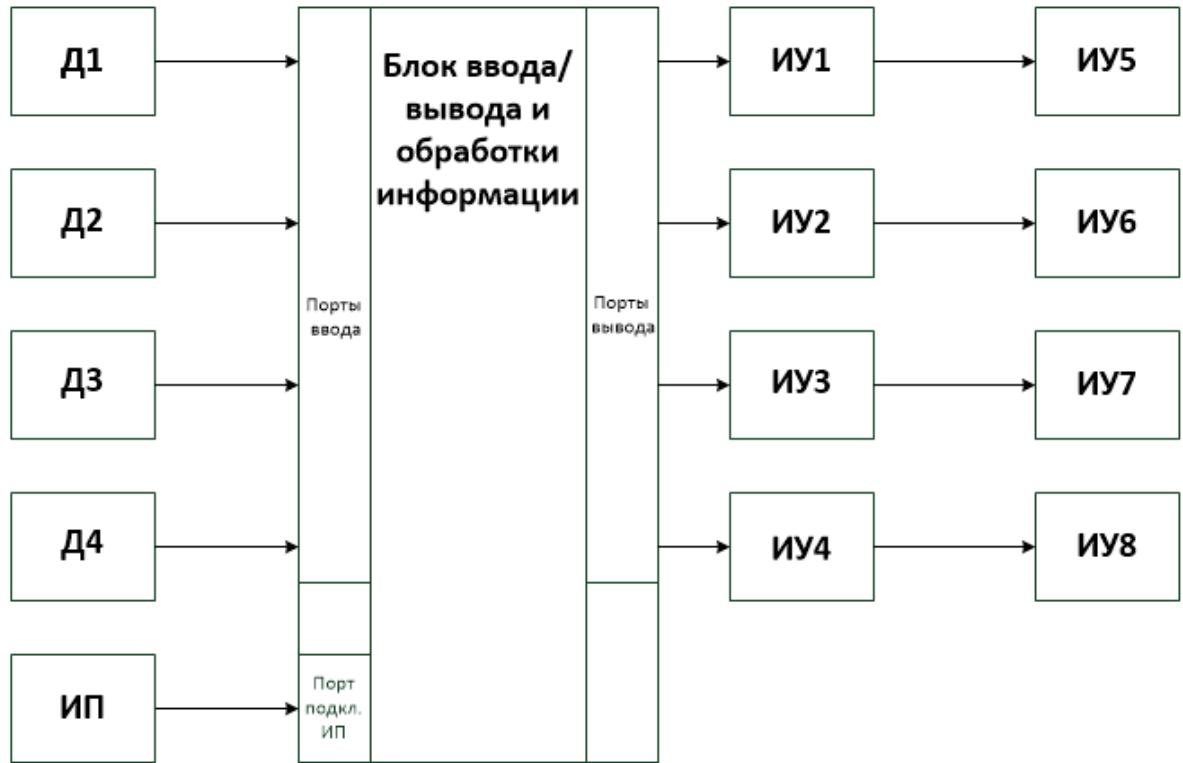


Рисунок 3 – Структурная схема электронной системы зажигания ДВС

Описание используемых компонентов:

- блок ввода/вывода и обработки информации(микроконтроллер);
- Д1 – датчик положения распределительного вала;
- Д2 – датчик положения коленчатого вала;
- Д3 – датчик детонации;
- Д4 – датчик положения дроссельной заслонки;
- ИУ1- ИУ4 – катушки зажигания;
- ИУ5-ИУ8 – свечи зажигания;
- ИП – источник питания.

3 Разработка функциональной системы

3.1 Обоснование выбора компонентов для системы

Исходя из структурной схемы, составленной в пункте 2.1, будет осуществляться выбор компонентов для системы зажигания.

3.1.1 Описание микроконтроллера

Микроконтроллер – это специальная микросхема, предназначенная для управления различными электронными устройствами. Микроконтроллеры объединяют в себя процессор, память, ПЗУ и периферию внутри одного корпуса, внешне похожего на обычную микросхему. Производство микроконтроллеров ежегодно во много раз превышает производство процессоров, а потребность в них не снижается. Микроконтроллеры выпускают десятки компаний, причем производятся не только современные 32-битные микроконтроллеры, но и 16, и даже 8-битные.

На сегодняшний день существует более 200 модификаций микроконтроллеров, выпускаемых двумя десятками компаний. Популярностью у разработчиков пользуются 8-битные микроконтроллеры PIC фирмы Microchip Technology и AVR фирмы Atmel [5].

3.1.2 Выбор микроконтроллера

Ограничимся выбором одного из нескольких различных вариантов микроконтроллеров AVR: ATxmega64A1U, ATMega8, ATTiny4.

В таблице 1 обозначены их общие характеристики.

Таблица 1 – Общие характеристики исследуемых микроконтроллеров

Параметр	ATxmega64A1U	ATMega8	ATtiny4
Количество выходов (Pin Count)	100	23	6
Flash память (Kbytes)	64	8	0.5
Частота (MHz)	32	16	12
ЦП (CPU)	8-bit AVR	8-bit AVR	8-bit AVR
Внешние прерывания	78	32	4

Изучив представленные выше данные, можно сделать вывод, что микроконтроллер ATtiny4 не подходит для решения данной задачи, так как имеет всего 6 выходов, 4 из которых могут иметь внешние прерывания. Для решения данной задачи потребуется как минимум 11 выходов. Микроконтроллер ATxmega64A1U не подходит для использования в данной системе, так как имеет избыточное количество выходов – 100, а также избыточное количество Flash-памяти. В качестве используемого в данной системе микроконтроллера выбран ATMega8 – 8-разрядный высокопроизводительный AVR микроконтроллер с малым потреблением. Выполняет команды за один цикл (при частоте задающего генератора 1 МГц – производительность 1 MIPS). Имеет 8 КБ программируемой в системе Flash память программы, 512 байтную EEPROM память данных, 1024 байтное SRAM (статическое ОЗУ), 23 линий ввода – вывода общего применения, 32 рабочих регистра общего назначения, однопроводный интерфейс для встроенного отладчика, три гибких таймера/счетчика со схемами сравнения, внутренние и внешние источники прерывания, последовательный программируемый USART, универсальный последовательный интерфейс с детектором стартового условия, программируемый сторожевой таймер со встроенным генератором и пять программно-инициализируемых режимов пониженного потребления [6].

На рисунке 4 показан микроконтроллер ATMega8 в качестве электронного блока управления в разрабатываемой системе:

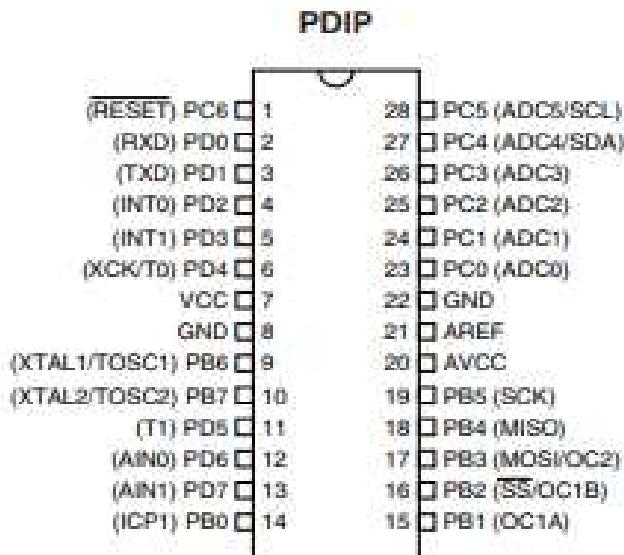


Рисунок 4 – Микроконтроллер ATMega8 УГО

3.1.3 Датчик положения коленчатого вала

Датчик положения коленчатого вала (далее ДПКВ) предназначен для синхронизации работы топливных форсунок и системы зажигания. ДПКВ отправляет сигналы на электронный блок управления, которые содержат информацию о положение коленчатого вала, частоте и направлении вращения коленчатого вала.

Конструкция ДПКВ состоит из:

- чувствительного элемента — намагниченного стального сердечника;
- алюминиевого или пластмассового корпуса цилиндрической формы;
- основания с фланцем и крепежным отверстием;
- разъема для присоединения к проводке авто;

Диск синхронизации коленвала имеет 58 зубцов, которые располагаются по окружности каждые 6 градусов. В шкиве отсутствует двое

зубьев, которые определяют начальное положение коленчатого вала, с помощью которых генерируются импульсы синхронизации.

Принцип работы ДПКВ различается в зависимости от типа используемых датчиков. Существует три типа датчиков:

- магнитные датчики. Такие датчики не нуждаются в отдельном источнике питания. Для сигнала ЭБУ индуцируется напряжение в тот момент, когда через магнитное поле проходит зуб синхронизации;

- датчики Холла. Данный тип датчиков основан на так называемом эффекте Холла. Принцип работы датчика: начало движения тока и перехват импульса диска синхронизации происходит в момент, когда переменное магнитное поле приближается к датчику;

- оптические датчики. В датчиках этого типа диск синхронизации выполнен с пазами (зубьями) или отверстиями. Диск прерывает световой поток между приёмником и светодиодом. Приёмник, перерабатывая полученный световой поток в импульс напряжения, передаёт его в ЭБУ [7].

В качестве датчика положения коленчатого вала выбран отечественный образец 48.3855, представленный на рисунке 5.



Рисунок 5 – Датчик 48.3855

Основные технические характеристики [8]:

- напряжение питания, В – от 6,3 до 24;

- выходная схема – открытый коллектор;
- максимально допустимый ток коллектора, мА, не более – 40;
- диапазон оборотов распределительного вала – от 10 до 4000;
- величина воздушного зазора между датчиком и отметчиком, мм – 0,3 до 1,5;
- длительность фронтов, мкс, не более – 5;
- габаритные размеры, мм – 24.4x46.5x53.5;
- масса, кг – 0,08.

3.1.4 Датчик положения дроссельной заслонки

ДПДЗ установлен в системе питания двигателя. Предназначение этого датчика – оптимизация расхода топлива в зависимости от положения педали газа.

ДПДЗ считывает получает сигнал о положение педали акселератора и, затем, изменяет выходное напряжение. Во время закрытого положения дроссельной заслонки напряжение на выходе с ДПДЗ составляет не более 0,7 В. При нажатии на педаль ось дроссельной заслонки поворачивает ползунок датчика на определенный угол. Датчик реагирует на открытие заслонки изменением сопротивления на резистивных дорожках и, как следствие, повышение напряжения на выходе. Нажатая до отказа педаль акселератора сопровождается повышением выходного напряжения до 4 В.

Далее напряжение попадает на ЭБУ, который производит корректировку подачи топливной смеси. ДПДЗ и контроллер быстро реагируют на изменение положения педали «газа», точно дозируя поступающее топливо [9].

В качестве датчика положения дроссельной заслонки был выбран ДПДЗ 2112-1148200, представленный на рисунке 6.



Рисунок 6 –Датчик ДПДЗ 2112-1148200

Технические характеристики [10]:

- диапазон рабочих температур, °С – -45...+115;
- номинальное напряжение питания, В – 5,0 + 0,1;
- максимальный ток потребления, мА – не более 15,0;
- полный механический угол поворота вала, не менее $120^\circ + 1^\circ$;
- рабочий угловой диапазон – $14,5^\circ \dots 111^\circ$;
- максимальная нелинейность функциональной характеристики в рабочем угловом диапазоне, % – +5%;
- износостойчивость, циклов работы – 1000000.

3.1.5 Датчик детонации

Датчик детонации предназначен для своевременного обнаружения детонации топливо воздушной смеси. При раннем угле зажигания топливо сгорает раньше времени, это приводит к появлению ударных нагрузок на поршневую группу. Дабы избежать такой ситуации датчик детонации

передает сигнал появления детонации на ЭБУ. В ответ ЭБУ уменьшает угол опережения зажигания обогащение топливно-воздушной смеси.

Наиболее популярный на сегодняшний день датчик детонации – широкополосный. Рассмотрим его конструкцию и принцип работы.

Состоит датчик из двух половинок корпуса – внешнего и внутреннего. Внутри корпуса установлена пьезокерамическая шайба, которая соединена с проводками, ведущими на контакты, изолятор и стальной грузик. На выводе проводов установлен регулировочный резистор.

Принцип работы заключается в следующем. При появлении детонационного сгорания вибрация значительно увеличивается, из-за этого увеличивается воздействие грузика на пьезокерамическую шайбу, значение электроимпульса увеличивается. При достижении определенного значения импульс пробивает резистор и поступает на ЭБУ, а ЭБУ в свою очередь принимает действия по дальнейшему предотвращению детонации путем уменьшения угла опережения зажигания [10].

На рынке представлено огромное количество датчиков детонации, в данной работе будет использоваться датчик, подходящий на ряд отечественных автомобилей: 18.3855АТ, представленный на рисунке 7.



Рисунок 7 – Датчик детонации

Основные технические характеристики [10]:

- коэффициент преобразования на частоте 7,0 кГц, мВ/г 26 ± 6 ;
- коэффициент преобразования на частоте 6,5 кГц, мВ/г 28 ± 8 ;
- неравномерность АЧХ в диапазоне (5-10) кГц, мВ/г не более 6;
- электрическая ёмкость, пФ 900 – 1300;
- выходное сопротивление, МОм 1 – 10;
- масса, г. – 40.

Амплитуда сигнала на выходе ДД составляет несколько долей вольта.

Это напряжение слишком мало, для того чтобы МК смог распознать и сгенерировать прерывание при детонации.

В качестве усилителя выбран сдвоенный операционный усилитель КР1401УД5, представленный на рисунке 8.

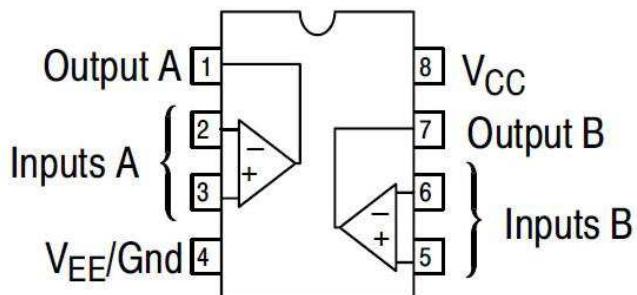


Рисунок 8 – Сдвоенный операционный усилитель КР1401УД5

Усиленный сигнал можно подать на АЦП или аналоговый компаратор МК. Так как в микросхеме КР1401УД5 имеется второй операционный усилитель, то его можно использовать в качестве компаратора, а на выходе получить логический сигнал срабатывания ДД.

3.1.6 Датчик положения распределительного вала

По работе датчика положения распределительного вала (далее ДПРВ) определяется в каком из цилиндров должен осуществляться впрыск топлива и зажигание. ДПРВ функционально связан с датчиком положения коленчатого вала. Работа ДПРВ построена на эффекте Холла, иначе данный датчик называют датчиком Холла. Система контроля состоит из двух основных элементов:

- магнитное поле, расположенное в корпусе;
- репер, расположенный на валу распределителя зажигания.

Принцип работы: момент изменения магнитного поля происходит, когда металлический зуб проходит вблизи датчика. Сигнал о замыкании магнитного поля передается ЭБУ, позволяя рассчитать идеальный момент впрыскивания и зажигания топливно-воздушной смеси [11].

В качестве ДПРВ возьмем: датчик 21.3847АТ представленный на рисунке 9.



Рисунок 9 – Датчик ДПРВ

Основные технические характеристики [11]:

- напряжение питания, В – от 6,3 до 24;
- диапазон оборотов распределительного вала – от 10 до 4000;
- угол включения, выключения угл град – 0+-5,5;
- габаритные размеры, мм – 24.4x46.5x53.5;
- ток потребления, не более 15mA;
- масса, кг – 0,08.

3.1.7 Катушка зажигания

Катушка зажигания выполняет функцию генератора импульсов высокого напряжения и работает по принципу трансформатора. Состоит из двух индуктивно связанных обмоток – первичная и вторичная обмотки. Когда ток проходит по первичной обмотке, создается магнитное поле. После коммутатор разъединяет цепь первичной обмотки, тем самым прекращая работу магнитного потока. В результате в обеих обмотках индуцируется напряжение. В первичной обмотке напряжение достигает значения не более 500 В, во вторичной обмотке составляет не менее 20 кВ. Катушка зажигания предназначена для накопления энергии, которой будет достаточно для зажигания топливовоздушной смеси. В ее вторичной цепи формируется высокое напряжение, которое подает искру на свечи зажигания [12]. Для коммутации первичных обмоток катушек зажигания нужны n-канальные полевые транзисторы.

Для проектируемой системы зажигания подходит катушка зажигания 21.12370-5010-10, который представлен на рисунке 10.



Рисунок 10 – Катушка зажигания 21.12370-5010-10

Технические характеристики [12]:

- масса: не более 0,19 кг;
- длительность искрового разряда: $t \geq 1,35\text{мс}$;
- ток искрового разряда: $I_p = (85 - 95) \text{ мА}$;
- энергия искрового разряда: не менее 35 мДж;
- рабочая температура: от -40° С до $+100^\circ \text{ С}$;
- катушка должна быть работоспособна при напряжении от 6 до 16 В, при этом номинальное напряжение питания $(14,2 \pm 0,2)$ В.

3.1.8 Свечи зажигания

Свеча зажигания – устройство для воспламенения топливовоздушной смеси. Воспламенение происходит электрическим разрядом напряжения в несколько тысяч или десятков тысяч вольт, которые возникают между электродами свечи. Свеча зажигания является решающим фактором в определении оптимальной работы и надежного функционирования бензинового двигателя. Задачей свечи зажигания является подача высокого напряжения, генерированного в катушке зажигания, к камере сгорания, и воспламенение топливно-воздушной смеси. Между тем, свеча зажигания является предметом чрезвычайных и часто изменяющихся режимов работы, таких как "прекращение и начало" дорожного движения в городе или вождение по автострадам на полном газу [13].

В рамках данной работы рассмотрим недорогой вариант, подходящий на большой ряд российских автомобилей: свечи LR15TC-1, представлены на рисунке 11. Таких необходимо 4 штуки, так как в данной работе рассмотрен случай с четырёхцилиндровым двигателем.



Рисунок 11 – Свеча зажигания

Техническая информация [13]:

- тип двигателя - бензиновый;
- количество электродов - 3;
- зазор между электродами, мм - 0.7;
- материал наконечника среднего электрода - сплав никеля;
- калильное число - 15;
- длина резьбы, мм - 19.

3.1.9 Источник питания

Аккумуляторные батареи – устройство, состоящее из нескольких аккумуляторов. АКБ предназначены для накопления, сохранения и расхода энергии. Данное устройство может заряжаться и разряжаться многократно. Это связано с тем, что внутри АКБ происходят обратимые химические процессы.

Аккумулятор представляет собой химический источник, включающий в себя несколько элементов питания. Объединение элементов питания дает

большой результирующий ток и напряжение. В автомобилях наиболее распространённый вид АКБ – построенный на 6 элементах, которые выдают напряжение примерно 2.1 вольт. В результате АКБ выдает 12.6 вольт.

На сегодняшний день существует большой выбор автомобильных АКБ. Ниже рассмотрим наиболее популярные виды аккумуляторные батареи:

- свинцово-кислотные аккумуляторы на данный момент наиболее распространённые ввиду своей недорогой стоимости и универсальности. Сфера применения обширна, так как имеется большое количество разновидностей этого типа. В качестве положительно заряженных электродов используется свинец. Отрицательные электроды выполняются из оксида свинца. Электролит – серная кислота. У свинцовых-кислотных батарей есть множество разновидностей имеющие разные технологии производства;

- гелевые и AGM аккумуляторные батареи содержат электролит не в «классическом» жидким виде, а в связанном, гелеобразном состоянии. Гель более плотный и менее текучий, в сравнении с жидкостью. Такая технология позволила повысить безопасность аккумуляторных батарей и помогла уменьшить осыпание активной массы пластин. Преимуществом таких батарей является низкий саморазряд и устойчивость к вибрациям. Также после глубокого разряда гелевые аккумуляторы способны полностью восстановить свою емкость и могут выдержать большое количество циклов разряд-заряд. Срок эксплуатации этого вида составляет 10 лет. Но ограничивает использование гелевых аккумуляторов их высокая стоимость [14].

Так как гелевые аккумуляторы отличаются своей большой стоимостью, то в данной работе будет использован свинцово кислотный аккумулятор.

В таблице 2 представлены характеристики некоторых свинцово-кислотных аккумуляторов [15].

Таблица 2 – Характеристики свинцово-кислотных аккумуляторов

Название	Емкость A*ч	Заявленный ток, А	Резервная емкость после полного заряда, мин	Ток заряда в конце 10-й минуты при 0 °C, А	Цена, руб
Exice 56031	60	500	78	20,98	4900
Bars Silver	60	500	88	21,45	2900
SilverStar 6CT-60L	60	520	86	19,62	3300

Из представленных свинцово-кислотных аккумуляторов в таблице 2, аккумулятор Bars Silver имеет неплохие характеристики и относительно небольшую цену в сравнении с другими аккумуляторами. На рисунке 12 изображен внешний вид свинцово-кислотного аккумулятора Bars Silver.



Рисунок 12 – Аккумулятор Bars Silver

Данный аккумулятор выдаёт напряжение 12В, а многие элементы работают от напряжения 5В, поэтому необходим стабилизатор напряжения, который преобразовывает 12В в 5В.

Стабилизатор KP142EH5A работает от входного напряжения до 40В, а на выходе получается напряжение 5В. На рисунке 13 изображен внешний вид стабилизатора KP142EH5A.

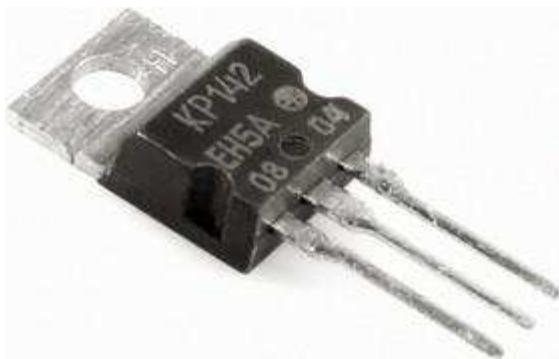


Рисунок 13 – Стабилизатор KP142EH5A

3.2 Функциональная схема системы

Исходя из выбранных компонентов в пункте 3.1, можно составить функциональную схему системы электронного зажигания, которая изображена на рисунке 14.

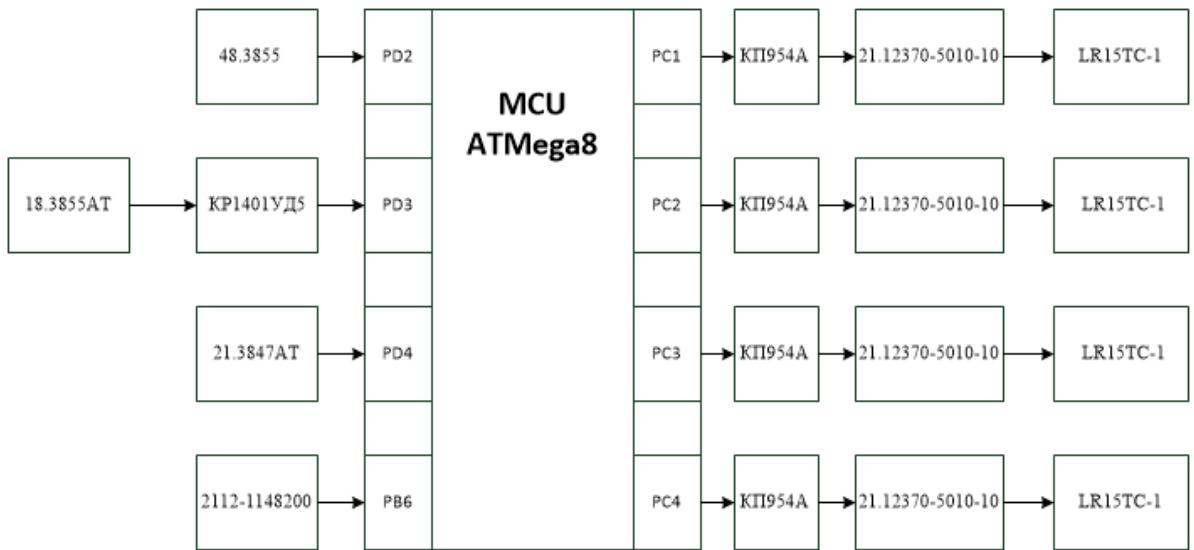


Рисунок 14 – Функциональная схема системы

Схема, представленная на рисунке 14, включает в себя следующие обозначения:

- микроконтроллер ATmega8;
- датчик положения коленвала 48.3855;
- датчик детонации 18.3855AT;
- сдвоенный операционный усилитель KP1401УД5;
- датчик положения распределала 21.3847AT;
- датчик положения дроссельной заслонки 2112-1148200;
- транзисторы полевые КП954А;
- катушки зажигания 21.12370-5010-10;
- свечи зажигания LR15TC-1.

4 Моделирование и разработка

4.1 Выбор среды моделирования

Одним из важных этапов в разработке систем является моделирование электрических цепей. Моделирование помогает сформировать критерии к аппаратному и программному обеспечению и улучшить эффективность разработки, дабы на последующих этапах исключить возникновение ошибки.

Для построения модели используют специализированные программно-аппаратные инструменты моделирования. На этапе моделирования можно оценить работоспособность всей системы.

Ниже представлены наиболее популярные средства разработки:

- Proteus;
- Micro-Cap;
- LTspice.

4.1.1 Proteus

Proteus – одна из наиболее популярных систем для автоматизированного проектирования. Данная система позволяет смоделировать работу немалого количества аналоговых и цифровых устройств [16]. На рисунке 15 представлен интерфейс программы.

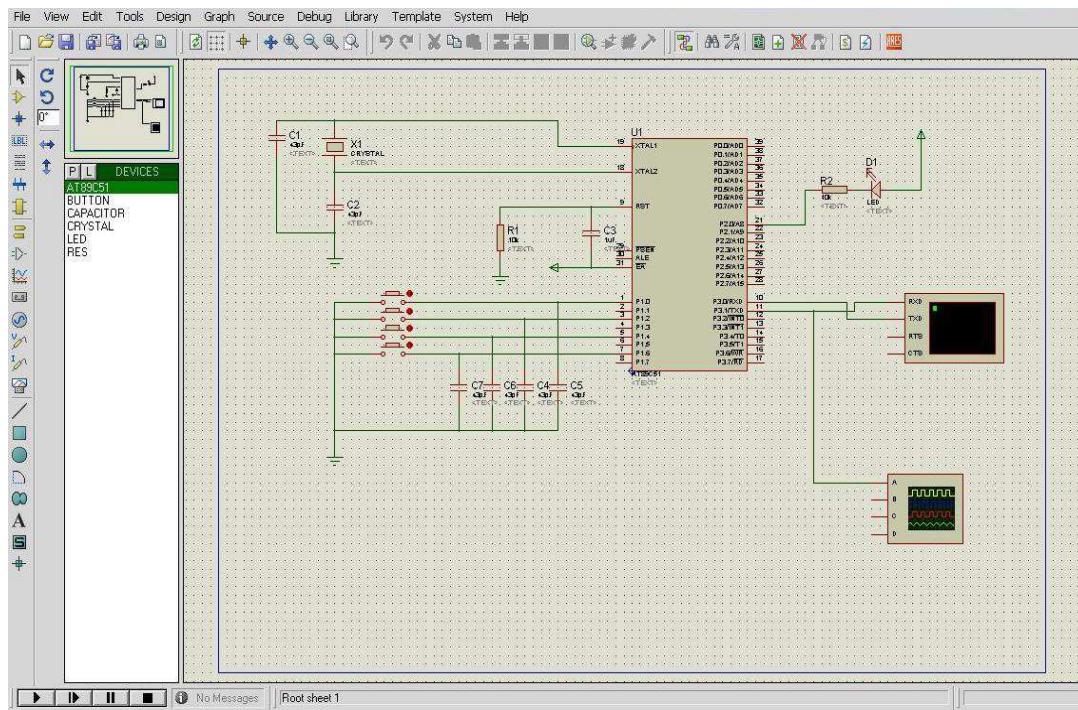


Рисунок 15 – Интерфейс программы Proteus

С помощью программы Proteus можно собрать схему электронного устройства и симулировать работу, которая позволяет выявить ошибки, которые были допущены на этапе проектирования. Proteus состоит из двух подпрограмм: ARES и ISIS.

ARES – программа для разработки печатных плат, ISIS – редактор электронных схем с дальнейшим имитированием их работы.

Proteus содержит более 6000 электронных компонентов со всеми справочными данными, а также демонстрационные ознакомительные проекты. Сама программа является платной продукцией, но присутствует бесплатная версия, которая обладает всеми функциями и возможностями платного инструмента [16].

4.1.2 Micro-Cap

Micro-Cap – универсальная программа схематического анализа, которая предназначена для решения широкого круга задач. Характерная особенность этой программы – интуитивный графический интерфейс, представленный на рисунке 16.

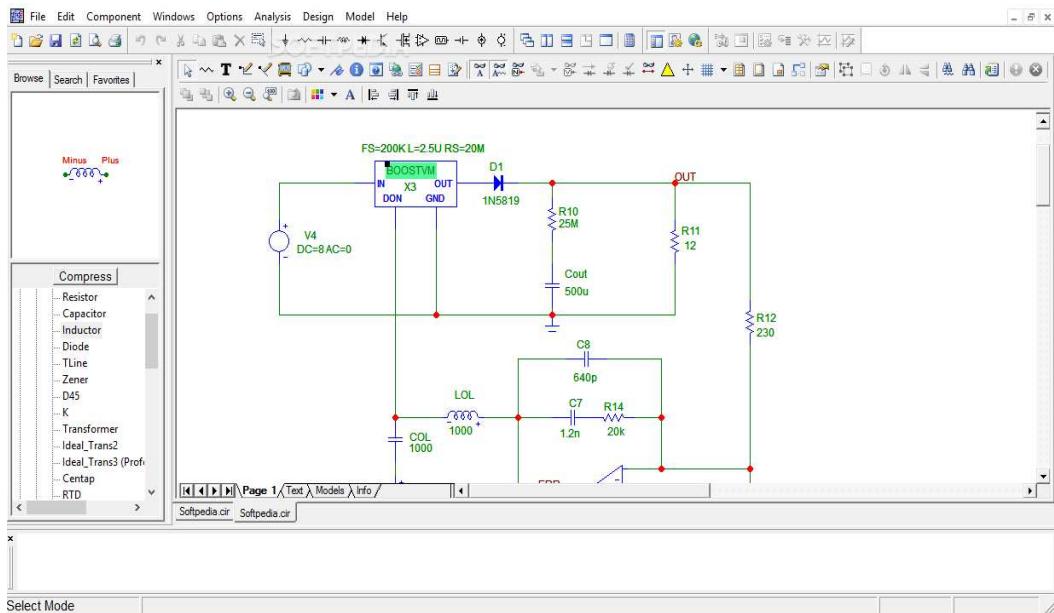


Рисунок 16 – Интерфейс программы Micro-Cap

Широкий интерес к программе Micro-Cap среди радиолюбителей, студентов и преподавателей микроэлектроники вызван тем, что Micro-Cap не требователен к программно-аппаратным средствам ПК и имеет хороший функционал.

Принцип работы включает в себя создание электрической цепи в графическом редакторе, задание параметров анализа и изучение полученных данных. Графический редактор использует библиотеки электронных компонентов, которые можно пополнять с помощью встроенного модуля Shape Editor [17].

4.1.3 LTspice

LTspice – универсальная среда для проектирования, тестирования и анализа электрических схем. Программа позволяет изменять элементы и характеристики электронных схем, а также помогает находить оптимальные решения. Интерфейс программы изображен на рисунке 17.

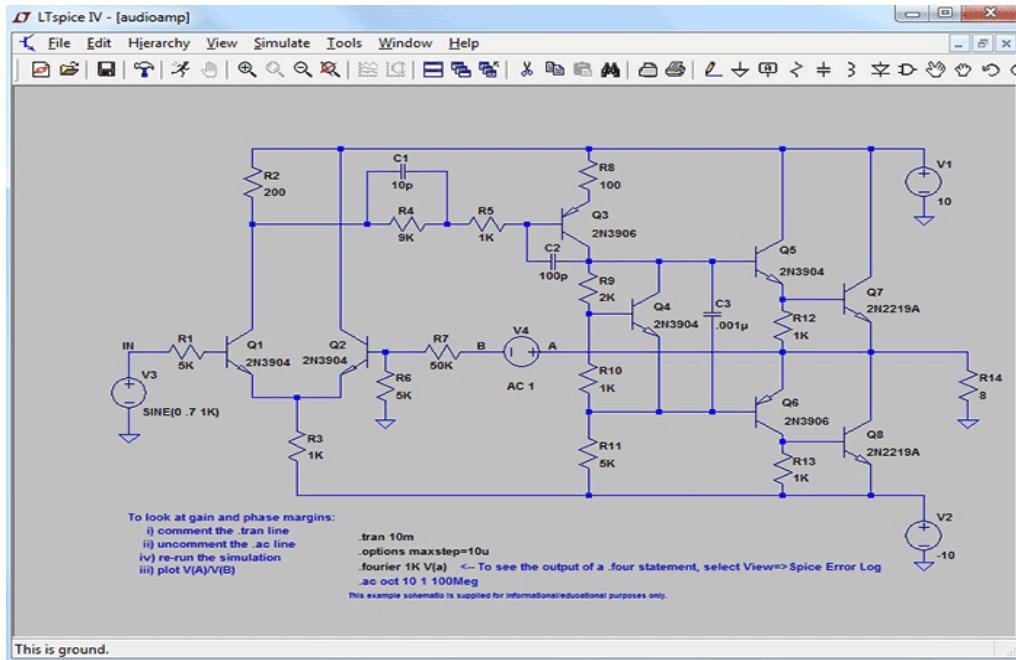


Рисунок 17 – Интерфейс программы LTspice

LTspice включает в себя всю библиотеку компонентов компании Linear Technology Corporation. Программа использует стандартные SPICE-модели электронных деталей, поэтому к базе можно добавлять библиотеки других производителей, а также встраивать свои модели. Преимуществом программы является возможность индивидуальной настройки всех компонентов. От других программ (Microcap, OrCAD) LTspice отличается небольшим объемом необходимого дискового пространства и более высокой скоростью моделирования процессов [18].

4.2 Моделирование системы в выбранной среде

Анализ программ моделирования помог определить наиболее популярные системы проектирования САПР, таких как: Proteus, Micro-Cap, MultiSim, LTspice.

Для микроконтроллерной системы зажигания была выбрана программа автоматизированного проектирования Proteus. Данная программа приспособлена для работы с микроконтроллерами и микропроцессорами, имеет понятный интерфейс, а также обладает большой библиотекой электронных компонентов.

4.3 Разработка алгоритма вычисления угла опережения зажигания

Угол опережения зажигания зависит от двух основных факторов: скорости вращения коленчатого вала и наполнения камеры сгорания топливной смесью.

Так как скорость горения топливной смеси постоянна и составляет 50-80 м/с, а скорость движения поршня постоянно варьируется, то максимальное давление в камере сгорания может смещаться как в большую, так и в меньшую сторону относительно ВМТ. Установлено (здесь ссылку приложить), что пик давления газов должен находиться на 10-12 градусов позже ВМТ. КПД при этом будет максимальным. Поддержание оптимального пика давления осуществляется путем выбора времени зажигания смеси. Чем больше обороты двигателя, тем раньше должно быть зажигание.

В свою очередь, максимальное давление сгоревших газов будет зависеть от объема смеси в цилиндре. Положение дроссельной заслонки определяет объем поступающей смеси в цилиндры и может характеризовать требуемую от двигателя мощность. Чем больше наполнение цилиндра смесью, тем больше сгорит топлива, и быстрее поднимется давление.

Соответственно, для того чтобы избежать детонации, зажигание должно происходить позже. Зависимость УОЗ зависит также от формы и объема камеры сгорания, а также используемого топлива.

Для моделирования была построена таблица 3, которая представлена ниже, со значением УОЗ от оборотов и нагрузки на двигатель, учитывая описанные выше особенности. Каждое смещение соответствует 6 градусам от полного оборота коленчатого вала. Эта таблица занесена в постоянную память МК в виде двумерного массива. Значение смещения для конкретного двигателя может быть скорректировано перепрограммированием МК.

Таблица 3 – Изменение значений УОЗ от оборотов и нагрузки двигателя

Об/мин	Нагрузка			
	0-25	26-50	51-75	76-100
500	0	0	0	0
1000	1	0	0	0
1500	1	1	0	0
2000	1	1	1	0
2500	2	1	1	0
3000	2	2	1	1
3500	2	2	2	1
4000	3	2	2	1
4500	3	3	2	2
5000	3	3	3	2
5500	4	3	3	2
6000	4	4	3	3

На холостых оборотах УОЗ составляет 0 градусов. По мере роста скорости, угол опережения зажигания смещается на 6-12-18-24 градуса. В тоже время, при увеличении нагрузки фаза смещается в обратном направлении. Данная зависимость построена на основе диаграммы зависимости УОЗ, представленной на рисунке 18, блока управления М73 автомобиля ВАЗ.

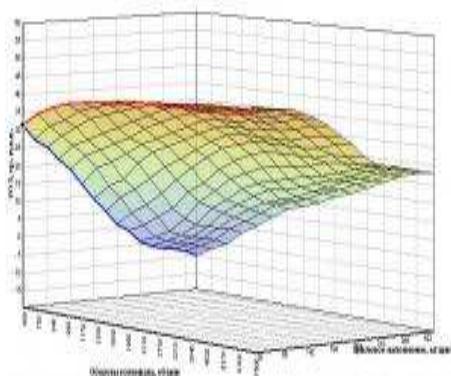


Рисунок 18 – Диаграмма зависимости УОЗ

4.4 Разработка алгоритма расчета таймера

С одной стороны коленчатого вала установлен специальный диск. Этот диск, как правило, имеет 60 зубцов. Соответственно, угловая разность между двумя зубцами составляет 6 градусов. Временной интервал одного зубца будет определяться по формуле

$$t = \frac{1}{\omega} \cdot \frac{1}{T_n}, \quad (1)$$

где ω – число оборотов коленчатого вала в минуту;

T_n – количество зубцов.

В одном месте венца пропущено два зуба. Это нужно для того чтобы контроллер мог синхронизироваться с валом и знать его абсолютное положение. Соответственно период этого окна увеличивается в 3 раза.

Для подсчёта временных интервалов используется 16 разрядный таймер. Зная число тиков нужное для прохождения одного зубца или окна, можно узнать обороты и начало точки синхронизации. Для таймера, работающего на частоте 2 МГц, число тиков будет определяться по формуле

$$ticks = \frac{t}{0.0000005}, \quad (2)$$

где t – значение из формулы (1).

На основе этих выводов была построена таблица 4.

Таблица 4 – Определение числа тиков таймера от оборотов двигателя

Об/мин	Время одного зубца	Окно
500	4000	12000
1000	2000	6000
1500	1333,333333	4000
2000	1000	3000
2500	800	2400
3000	666,666667	2000
3500	571,4285714	1714,285714
4000	500	1500
4500	444,4444444	1333,333333
5000	400	1200
5500	363,6363636	1090,909091
6000	333,3333333	1000

4.5 Разработка блок-схем алгоритмов функционирования системы

На рисунке 19 представлена блок-схема работы системы.

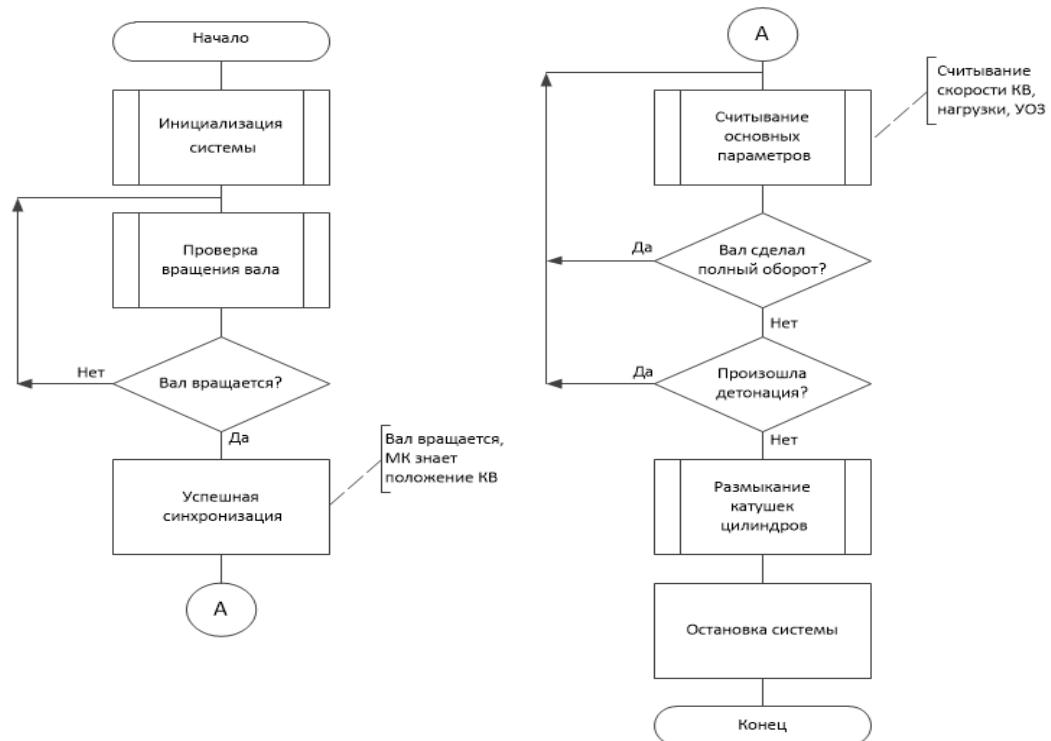


Рисунок 19 – блок-схема работы системы

На рисунке 20 представлена блок-схема инициализации системы.



Рисунок 20 – блок-схема инициализации системы

На рисунке 21 изображена блок-схема проверки запуска двигателя.

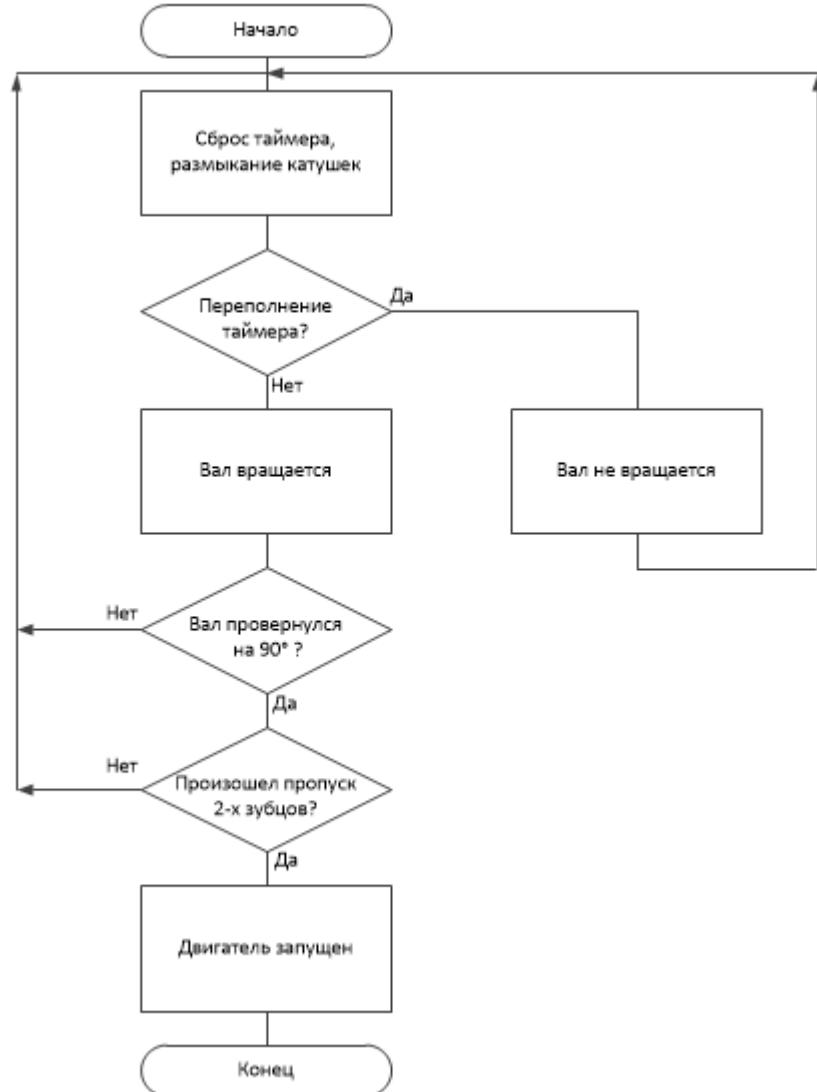


Рисунок 21 – блок-схема проверки запуска двигателя

На рисунке 22 представлена блок-схема работы цилиндров.

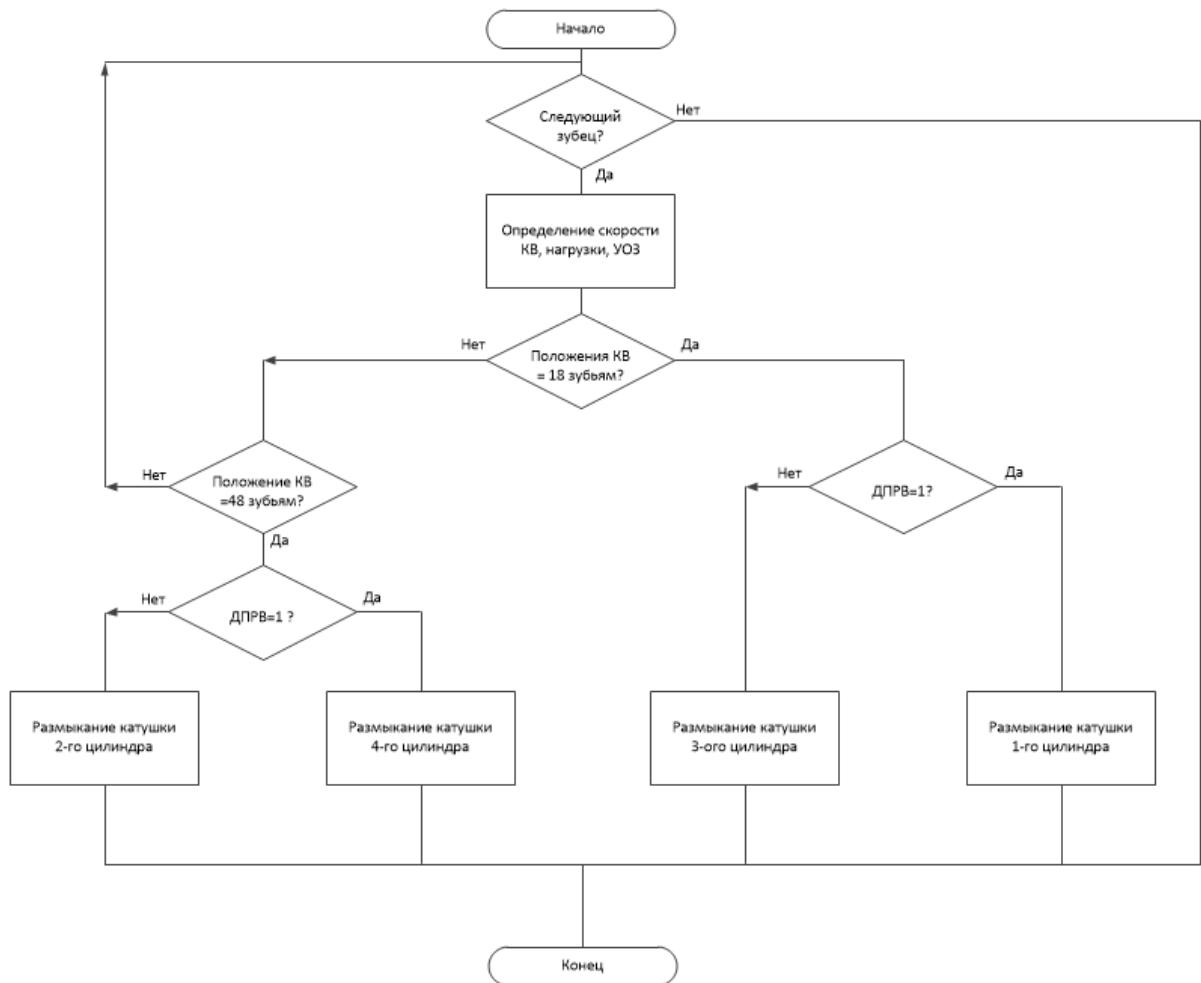


Рисунок 22 – блок-схема работы цилиндров

4.6 Разработка программного обеспечения для среды моделирования

Разработка программного обеспечения и модулей проводится с адаптацией под задачу моделирования. В дальнейшем программное обеспечение, разработанное с адаптацией под задачу моделирования, с небольшими корректировками будет исправно функционировать на конкретном микроконтроллере. В качестве языка программирования выбран

язык высокого уровня C/C++, который является основным языком программирования микроконтроллеров.

Для разработки программного обеспечения использована бесплатная среда разработки (IDE) для 8- и 32-битных микроконтроллеров семейства AVR и 32-битных микроконтроллеров семейства ARM – Atmel Studio 7, которая содержит компилятор GNU C/C++ и эмулятор, позволяющий отладить выполнение программы на конкретном микроконтроллере. Листинг программы приведен в приложении А.

4.7 Представление результатов моделирования

На рисунке 23 представлен скриншот моделирования системы в программе автоматизированного проектирования Proteus.

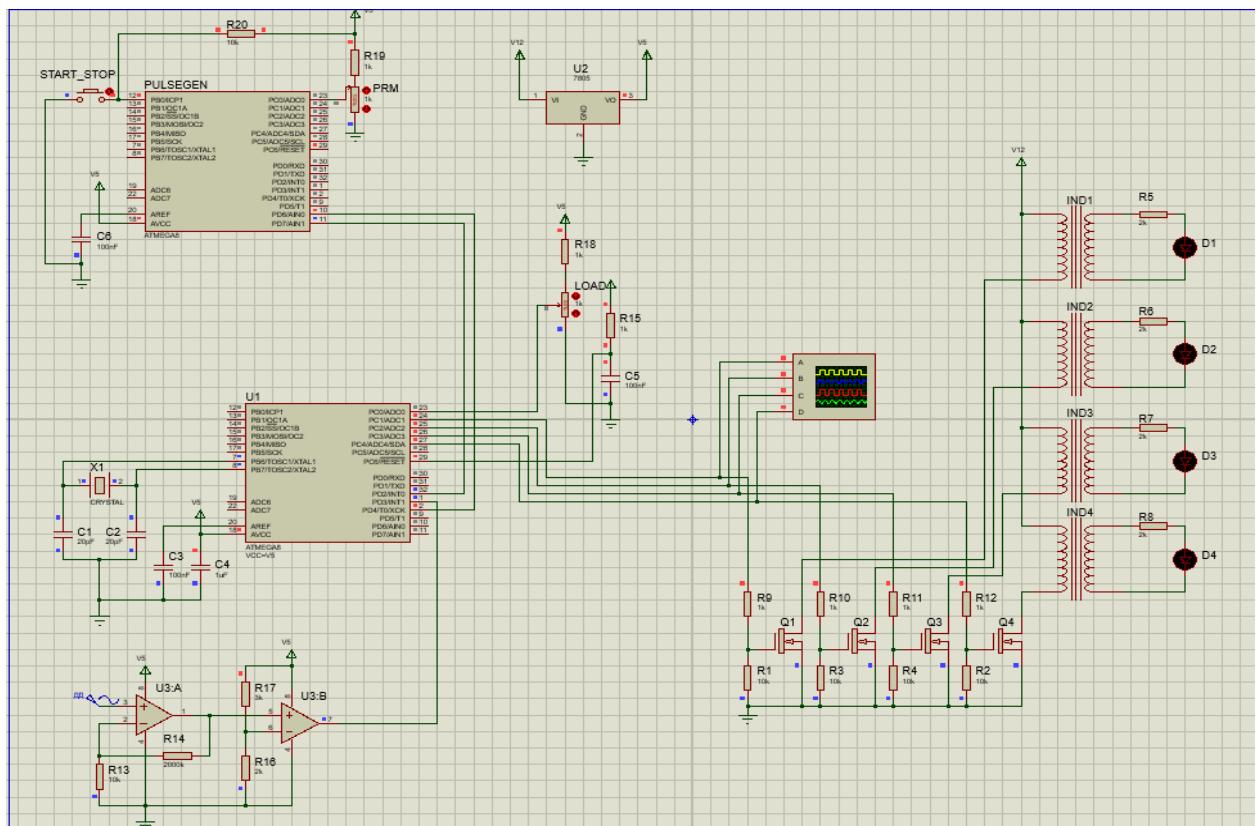


Рисунок 23 – Моделирование системы в Proteus

На рисунке 24 представлен старт и синхронизация системы.

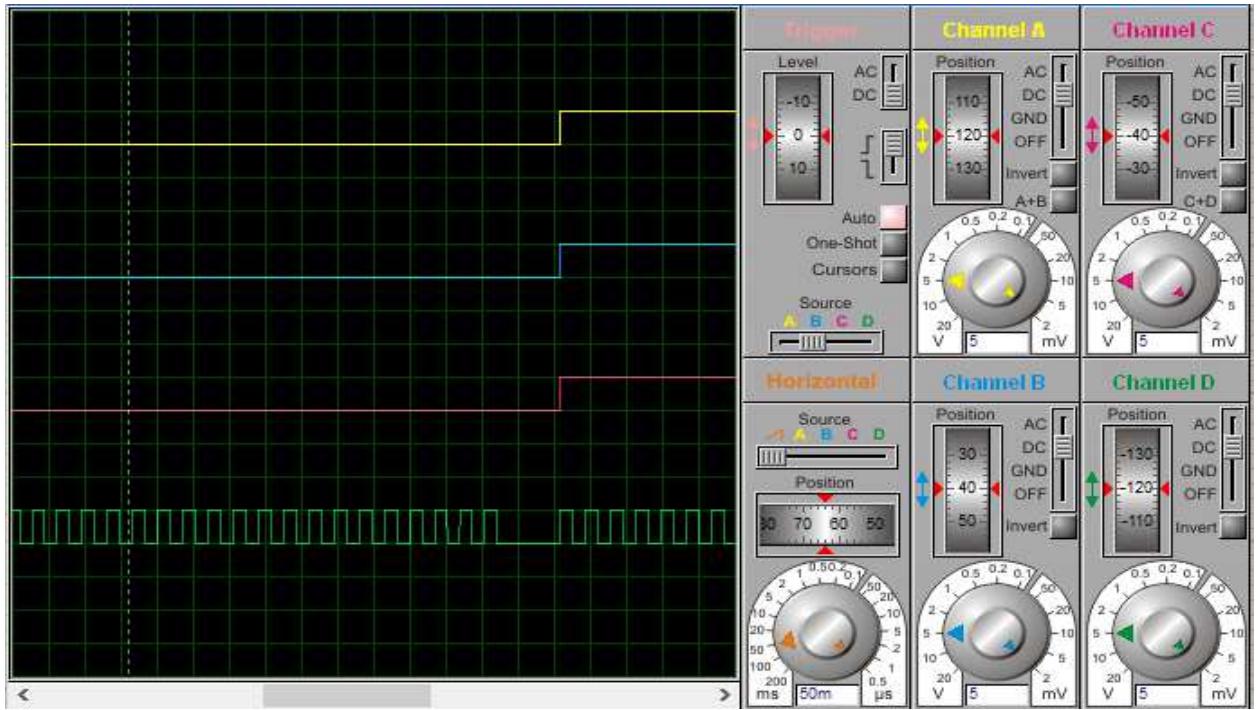


Рисунок 24 – Старт и синхронизация

После запуска моделирования на экран осциллографа выводится старт и синхронизация системы. Для имитации датчика ПКВ и ПРВ используется второй микроконтроллер Atmega8 (PulseGen). С порта PD7 каждый цикл генерируется 120 импульсов равной длительности, что соответствует 60 зубцам венца коленчатого вала. С PD6 генерируются импульсы датчика распределительного вала. Длительность импульсов определяется положением переменного резистора PRM, значение с которого поступает на АЦП. Значение в 100% даёт максимальную длительность импульсов, что соответствует оборотам холостого хода или при старте двигателя. 0% задает минимальную длительность импульсов, что имитирует максимальные обороты двигателя. Кнопка START_STOP имитирует состояние, когда

двигатель остановлен или работает. При высоком уровне на PB0, то есть когда кнопка отжата, коленчатый вал вращается и импульсы генерируются.

Переменный резистор LOAD имитирует датчик положения дроссельной заслонки. Датчик работает по принципу делителя напряжения. Сигнал с датчика поступает на вход АЦП. RC цепь R15, C5 служит для задержки старта МК после включения питания.

Усиленный сигнал с датчика детонации поступает на компаратор. Порог срабатывания $U_{ср}$ компаратора определяется резисторами R17 и R16. На выходе получается логический сигнал срабатывания ДД. Далее этот сигнал подаётся на вход PORTD3 внешнего прерывания INT1.

Для коммутации первичных обмоток катушек зажигания используется n-канальные полевые транзисторы. Для того чтобы открыть транзистор, нужно подать высокий уровень напряжения. Напряжение порта МК Atmega8(U1) способно открыть полевой транзистор. Для ограничения тока зарядки емкости затвора в цепи базы включается токоограничивающий резистор номиналом 100 – 1000 Ом. Также между затвором и истоком полевого транзистора включается резистор номиналом 10 КОм. Он нужен для разрядки емкости затвора при закрытии, если по каким-либо причинам микроконтроллер не смог этого сделать.

При размыкании ключа, в первичной обмотке катушки зажигания ток резко уменьшается, при этом во вторичной обмотке возникает ЭДС в несколько десятков киловольт. Эта напряжение поступает на свечу, и искровой разряд зажигает топливную смесь. Для демонстрации во вторичной обмотке включены светодиоды, которые вспыхивают каждый раз, когда размыкается ключ.

5 Разработка схемы электрической принципиальной

Система электронного зажигания ДВС состоит из следующих элементов:

- микроконтроллер ATmega8 (DD1);
- стабилизатор KP142EH5A (DA1);
- операционный усилитель KP1401УД5 (DA2);
- четыре полевых транзистора КП954А;
- семь конденсаторов;
- кварцевый резонатор;
- пятнадцать резисторов;
- вилка, разъемы.

Номиналы электронных элементов указаны в приложении «Перечень элементов».

Микроконтроллер ATmega8 является «ядром» системы. К его портам через разъемы подключаются датчики:

- датчик детонации 18.3855АТ – разъем XP1;
- датчик положения коленчатого вала 48.3855 – разъем XP3;
- датчик положения распределительного вала 21.3847АТ – разъем XP4;
- датчик положения дроссельной заслонки 2112-1148200 – XP5.

Схема электрическая принципиальная представлена в документе, который приложен к выпускной квалификационной работе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы над данным проектом был выполнен анализ предметной области, проанализированы существующие типы систем зажигания. Разработана информационная модель системы зажигания, а также на ее основе составлена структурная схема электронной системы зажигания. Были выбраны компоненты из которых будет состоять система электронного зажигания и на их основе была разработана функциональная схема системы. Разработана граф-схема алгоритма работы системы и сделано моделирование системы в среде Proteus. Также была разработана схема электрическая принципиальная.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Система зажигания [Электронный ресурс] : – Режим доступа: <http://autoustroistvo.ru/dvigatel-dvs/sistema-zazhiganiya-dvigatelja/>.
2. Контактная система зажигания [Электронный ресурс] : – Режим доступа: <http://systemsauto.ru/fire/contact.html>.
3. Бесконтактная система зажигания [Электронный ресурс] : – Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/doc/5-93604-016-SCN0007/001.html>.
4. Электронная система зажигания [Электронный ресурс] : – Режим доступа: <http://www.autoopt.ru/articles/products/3505297/>.
5. ELECTRIK INFO [Электронный ресурс] : – Режим доступа: <http://electrik.info/main/automation/549-chto-takoe-mikrokontrollery-naznachenie-ustroystvo-princip-ra>.
6. 8- и 32- разрядные микроконтроллеры Atmel AVR [Электронный ресурс] : – Режим доступа: <https://www.microchip.com/design-centers/microcontrollers>.
7. Датчик положения коленвала. Основа работы современного двигателя [Электронный ресурс] : – Режим доступа: <http://www.autoopt.ru/articles/products/39478569/>.
8. Датчик положения коленвала [Электронный ресурс] : – Режим доступа: <https://www.rain-auto.ru/fai/?id=74630>.
9. Датчик положения дроссельной заслонки [Электронный ресурс] : – Режим доступа: <https://unit-car.com/ustroystvo/151-dpdz.html>.
10. Датчик детонации [Электронный ресурс] : – Режим доступа: <https://labavto.com/elektronika/sensor/regulyator-detonatsii/>.
11. Датчик положения распределителя [Электронный ресурс] : – Режим доступа: <http://autolirika.ru/teoriya/datchik-polozheniya-raspredvala.html>.
12. Что из себя представляет катушка зажигания автомобиля [Электронный ресурс] : – Режим доступа: <http://avtomotoprof.ru/obsluzhivanie->

i-uhod-za-avtomobilem/chto-iz-sebya-predstavlyaet-katushka-zazhiganiya-avtomobilya/.

13. Устройство свечи зажигания [Электронный ресурс] : – Режим доступа: <http://selectelement.ru/total-block/car-electricity/spark-plug.php>.

14. Виды аккумуляторов для автомобилей [Электронный ресурс] : – Режим доступа: <https://akbinfo.ru/ustrojstvo/vidy-akkumulyatorov-dlya-avtomobilej.html>.

15. Тест аккумуляторов [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <https://www.zr.ru/content/articles/902977-zoloto-iz-svintsa/>.

16. Proteus [Электронный ресурс] : – Режим доступа: <http://cxem.net/software/proteus.php>.

17 Micro-Cap [Электронный ресурс] : – Режим доступа: <http://cxem.net/software/micro-cap.php>.

18 LTspice [Электронный ресурс] : – Режим доступа: <http://cxem.net/software/ltpice.php>.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Листинг программы

```
#include <avr/io.h>
#include "avr/iom8.h"
#include "avr/interrupt.h"
// матрица зависимости угла опережения от PRM и нагрузки
uint8_t const leadAngle [12][4] = {{0,0,0,0},{1,0,0,0},{1,1,0,0},{1,1,1,0},
{2,1,1,1},{2,2,1,1},{2,2,2,1},{3,2,2,1},
{3,3,2,2},{3,3,3,2},{4,3,3,2},{4,4,3,3}};

uint16_t adc_data;
volatile uint8_t detFlag = 0; // флаг детонации
volatile uint8_t timOverFlowFlag = 0; // флаг переполнения таймера
volatile uint16_t interval = 0; // хранит временные интервалы между зубьями
volatile uint8_t extIntFlag = 0; // флаг прихода зубца

typedef enum
{
    OFF,
    ON
}StateInductor;

// внешнее прерывание при приходе зубца по возрастающему фронту
ISR(INT0_vect)
{
    interval = TCNT1; // запись интервала между зубьями
    TCNT1 = 0; // сброс таймера
    extIntFlag = 1;
    return ;
}

// внешнее прерывание при детонации по возрастающему фронту
ISR(INT1_vect)
{
    detFlag = 1;
    return ;
}

ISR(TIMER1_OVF_vect) // прерывание переполнения таймера
{
    timOverFlowFlag = 1;
    return ;
}

// считываем расход воздуха через положение заслонки с АЦП
```

```

uint8_t read_load()
{
    ADCSRA |=(1<<ADSC); // старт преобразования
    while ((ADCSRA & (1<<ADIF))==0); // ожидание завершения преобразования
    ADCSRA |=(1<<ADIF);
    return ADCH;
}

// возвращает угол опережения
uint8_t getOptimAngle(uint16_t interval, uint8_t load){

    uint8_t numPRM;
    uint8_t numLoad;

    if(load<64)
        numLoad = 0;
    else if(load<128)
        numLoad = 1;
    else if(load<192)
        numLoad = 2;
    else
        numLoad = 3;

    if(interval >=4000) // > 500 об/мин
        numPRM = 0;
    else if((interval <4000)&&(interval >=2000))// < 1000 об/мин
        numPRM = 1;
    else if((interval <2000)&&(interval >=1333))// < 1500 об/мин
        numPRM = 2;
    else if((interval <1333)&&(interval >=1000))// < 2000 об/мин
        numPRM = 3;
    else if((interval <1000)&&(interval >=800))// < 2500 об/мин
        numPRM = 4;
    else if((interval <800)&&(interval >=666))// < 3000 об/мин
        numPRM = 5;
    else if((interval <666)&&(interval >=571))// < 3500 об/мин
        numPRM = 6;
    else if((interval <571)&&(interval >=500))// < 4000 об/мин
        numPRM = 7;
    else if((interval <500)&&(interval >=444))// < 4500 об/мин
        numPRM = 8;
    else if((interval <444)&&(interval >=400))// < 5000 об/мин
        numPRM = 9;
    else if((interval <400)&&(interval >=363))// < 5500 об/мин
        numPRM = 10;
    else // > 6000 об/мин
        numPRM = 11;
    return leadAngle[numPRM][numLoad];
}

```

```

// включение и отключение катушек
void setStateInductor(StateInductor s1, StateInductor s2, StateInductor s3, StateInductor s4){
    uint8_t tempVar = PORTC & 0b11100001;
    PORTC = tempVar | (s4<<4)|(s3<<3)|(s2<<2)|(s1<<1);
}

int main(void)
{
    DDRC=0b11110; // настройка портов для управления катушками

    // настройка таймера
    TCCR1A=(0<<COM1A1) | (0<<COM1A0) | (0<<COM1B1) | (0<<COM1B0) | (0<<WGM11) |
(0<<WGM10);

    // делитель частоты установлен на 8
    TCCR1B=(0<<ICNC1) | (0<<ICES1) | (0<<WGM13) | (0<<WGM12) | (0<<CS12) | (1<<CS11) |
(0<<CS10);

    TCNT1H=0x00;
    TCNT1L=0x00;
    ICR1H=0x00;
    ICR1L=0x00;
    OCR1AH=0x00;
    OCR1AL=0x00;
    OCR1BH=0x00;
    OCR1BL=0x00;

    // включение прерывания по таймеру
    TIMSK=(0<<OCIE2) | (0<<TOIE2) | (0<<TICIE1) | (0<<OCIE1A) | (0<<OCIE1B) | (1<<TOIE1) |
(0<<TOIE0);

    GICR|=(1<<INT1) | (1<<INT0); // инициализация внешних прерываний
    MCUCR=(1<<ISC11) | (1<<ISC10) | (1<<ISC01) | (1<<ISC00);
    GIFR=(1<<INTF1) | (1<<INTF0);

    // выбор канала №0 (PORTC0), опорного напряжения и смещения
    ADMUX= ((1<<REFS1) | (1<<REFS0) | (1<<ADLAR));

    // частота АЦП 250,000 kHz с кварцем на 16 МГц
    ADCSRA=(1<<ADEN) | (0<<ADSC) | (0<<ADFR) | (0<<ADIF) | (0<<ADIE) | (1<<ADPS2) |
(1<<ADPS1) | (0<<ADPS0);

    SFIOR=(0<<ACME);
    // для того чтобы убедится в том, что вал двигателя вращается,
    // эта переменная хранит число зубьев без переполнения таймера
    uint8_t falseStart = 0;
    uint8_t T = 1; // порядковый номер зуба
    uint8_t angle = 0; // хранит оптимальный угол опережения зажигания

```

```

uint8_t load = 0;      // хранит нагрузку
uint8_t engineStopFlag = 1; // флаг остановки двигателя
sei(); // разрешение глобальных прерываний

// порядок работы цилиндров 1-3-4-2

while (1)
{
    while(engineStopFlag){
        setStateInductor(OFF,OFF,OFF,OFF);
        TCNT1 = 0;
        timOverFlowFlag = 0;

        // ожидаем внешнего прерывания или переполнения таймера
        while(!timOverFlowFlag && !extIntFlag);

        //если произошло переполнение, значит вал не вращается или вращается < 200 об/мин
        if(timOverFlowFlag){
            falseStart = 0;
            continue;
        }

        timOverFlowFlag = 0;// иначе вал повернулся на 6 градусов
        extIntFlag = 0;
        falseStart++;

        // подсчитываем 15 импульсов, что соответствует обороту КВ на 90 градусов для того,
        // чтобы убедиться в старте двигателя
        // ожидаем пропуска 2 зубцов, что соответствует интервалу 3-6 мс
        //при оборотах от 500 до 1000 или тикам таймера от 8000 до 14000

        if(falseStart >= 15 && ((interval>=8000) && (interval<=14000)) ){
            engineStopFlag = 0;
        }
    }
}

// попадание в этот цикл означает успешную синхронизацию, МК знает положение КВ
while(!engineStopFlag){
    T = 1; // соответственно идет первый зуб или новый оборот КВ
    detFlag = 0;
    setStateInductor(ON,ON,ON,ON); // включаем обмотки катушек

    // если еще не достигли 2 пропуска двух зубцов и вал вращается
    while (T <= 58 && !engineStopFlag){

        // ожидаем внешнего прерывания или переполнения таймера
        while(!timOverFlowFlag && !extIntFlag);
    }
}

```

```

// если произошло переполнение, значит вал не вращается или вращается < 200 об/мин.
// Переходим в начало
    if(timOverFlowFlag){
        engineStopFlag = 1;
    }

    extIntFlag = 0; // иначе вал повернулся на 6 градусов
    T++; // следующий зуб
    load = read_load(); // считываем нагрузку на двигатель

    // получаем угол опережения при данных условиях
    angle = getOptimAngle(interval, load);

// если была детонация, то КВ повернется вхолостую до след оборота
    if(!detFlag){

        // обычно 18 зубец соотвт. ВМТ 1 и 3 цилиндров в момент сжатия
        // опережение фазы происходит на 6 градусов.
        if((T + angle) == 18){
            if(PIND & 0b10000) // считывание датчика ПРВ.
                setStateInductor(OFF,ON,ON,ON); // зажигание 1 цилиндра
            else
                setStateInductor(ON,ON,OFF,ON); // зажигание 3 цилиндра
            }
        else if((T + angle) == 48){ // ВМТ 4 и 2 цилиндров в момент сжатия
            if(PIND & 0b10000)
                setStateInductor(ON,ON,ON,OFF); // зажигание 4 цилиндра
            else
                setStateInductor(ON,OFF,ON,ON); // зажигание 2 цилиндра
            }
        }

    }
}
}

```

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Космических и информационных технологий
институт

Вычислительная техника
кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
О.В. Непомнящий
подпись инициалы, фамилия
«28» 06 2019 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

09.03.01 Информатика и вычислительная техника
код и наименование направления

Микроконтроллерная система электронного зажигания ДВС

тема

Руководитель 26.06.19 доцент, канд.техн.наук
подпись, дата должность, ученая степень С.Н. Титовский
ициалы, фамилия

Выпускник 26.06.19 Н.Д. Хлебалов
подпись, дата ициалы, фамилия

Нормоконтролер 27.06.19 В.И. Иванов
подпись, дата должность, ученая степень ициалы, фамилия

Красноярск 2019