Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

ФАКУЛЬТЕТ **ИНФОРМАТИКА И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ**

КАФЕДРА **КОМПЬЮТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ (ИУ6)**

НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ **09.03.01 Информатика и вычислительная техника**

РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

К КУРСОВОЙ РАБОТЕ

по дисциплине «Микропроцессорные системы»

НА ТЕМУ:

Электронный калькулятор

Студент ИУ6-73Б (Группа) _____ (Подпись, дата) М.М. Левашова (И.О. Фамилия)

Руководитель _____ (Подпись, дата) С.В. Ибрагимов (И.О. Фамилия)

2022 г.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой ИУ6
_____ / Пролетарский / А.В
« 2 » сентября 2022 г.

З А Д А Н И Е
на выполнение курсовой работы

по дисциплине «Микропроцессорные системы»

Студент Левашова М.М. (ИУ6-73Б)
(фамилия, инициалы, индекс группы)

Направленность курсовой работы – учебная
Источник тематики - кафедра
График выполнения работы: 25% - 4 нед., 50% - 8 нед., 75% - 12 нед., 100% - 16 нед.

Тема курсовой работы: Электронный калькулятор
Разработать на основе микроконтроллера семейства AVR электронный калькулятор. Обеспечить подключение клавиатуры для ввода выражения и дисплея для отображения выражения и результата вычислений. Выводить на дисплей текущее состояние набора выражения. Клавиатура должна включать в себя клавиши с цифрами и клавиши с математическими операциями. По нажатию соответствующей клавиши выводить на дисплей результат вычисления введенного выражения.
Разработать схемы, алгоритмы и программы. Отладить разработанную программу и проверить ее работу с помощью симулятор.
Оценить потребляемую мощность устройства.

Оформление курсовой работы:

1. Расчетно-пояснительная записка на 30 листах формата А4.
2. Перечень графического материала курсовой работы:
   а) функциональная электрическая схема;
   б) принципиальная электрическая схема.

Дата выдачи задания « 02 » 09 2022 г.
Руководитель курсовой работы _____ / Ибрагимов С.В. /
Задание получил _____ / Левашова /
« 2 » сентября 2022 г.

Примечание: Задание оформляется в двух экземплярах: один выдается студенту, второй хранится на кафедре.

РЕФЕРАТ

РПЗ 46 страниц, 14 рисунков, 9 таблиц, 10 источников, 3 приложения.

МИКРОКОНТРОЛЛЕР, КАЛЬКУЛЯТОР, ATMEGA8515, USART, ДИСПЛЕЙ, КЛАВИАТУРА.

Объектом разработки является электронный калькулятор.

Цель работы – создание функционального устройства ограниченной сложности, модель устройства и разработка необходимой документации на объект разработки.

Поставленная цель достигается посредством использования Proteus 8.

В процессе работы над курсовым проектом решаются следующие задачи: выбор МК и драйвера обмена данных, создание функциональной и принципиальной схем системы, расчет потребляемой мощности устройства, разработка алгоритма управления и соответствующей программы МК, а также написание сопутствующей документации.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

ТЗ – техническое задание

МК – микроконтроллер

УГО – условное графическое обозначение

ATmega8515 – используемый микроконтроллер

USART – (англ. Universal Synchronous receiver/transmitter) Универсальный синхронный приемопередатчик

Datasheet – документация на устройство

Proteus 8 – среда моделирования

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

В данной работе производится разработка на основе микроконтроллера AVR ATmega8515 электронного калькулятора, позволяющего выполнять базовые арифметические операции (сложение, вычитание, умножение, деление), операции для нахождения целой части от деления и остатка от деления, вычисление процента от числа. Также предусмотрена возможность использовать полученный ответ в следующем вычислении, передавать ответ по протоколу UART в компьютер, очищать, включать и выключать дисплей. Калькулятор работает с вещественными числами.

В процессе выполнения работы проведён анализ технического задания, создана концепция устройства, разработаны электрические схемы, построен алгоритм и управляющая программа для МК, выполнено интерактивное моделирование устройства.

Система состоит из МК и клавиатуры, дисплея и блока передачи данных.

Проектирование контроллера с заданными функциями состоит из двух основных частей: конструкторская часть и технологическая часть.

Конструкторская часть включает в себя:

- проектирование структурно-функциональной схемы;
- описание архитектуры, используемого микроконтроллера и описание назначения функциональных элементов схемы;
- описание принципиальной электрической схемы МК-системы с обоснованием выбора используемых радиоэлементов;
- описание алгоритмов функционирования МК-системы;
- расчет потребляемой мощности устройства.

Технологическая часть включает в себя:

- характеристику использованных систем разработки и отладки программ;
- тестирование и отладку программы;
- описание и моделирование работы системы;
- описание способа программирования МК.

1 КОНСТРУКТОРСКАЯ ЧАСТЬ

1.1 Анализ требований и принцип работы системы

Согласно техническому заданию, необходимо разработать на основе микроконтроллера семейства AVR электронный калькулятор. Обеспечить подключение клавиатуры для ввода выражения и дисплея для отображения выражения и результата вычислений. Выводить на дисплей текущее состояние набора выражения. Клавиатура должна включать в себя клавиши с цифрами и клавиши с математическими операциями. По нажатию соответствующей клавиши выводить на дисплей результат вычисления введенного выражения.

Клавиатура калькулятора состоит из 23 клавиш, их обозначения и функции представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Функции клавиш клавиатуры калькулятора

Клавиши	Функция
«0» … «9»	Цифры для ввода числа
«.»	Точка для ввода вещественных чисел
«+», «-», «*», «/»	Арифметические операции двух переменных
«=»	«Равно» выводит результат вычисления введенного выражения на дисплей
«MOD»	Остаток от деления
«DIV»	Целочисленное деление
«%»	Процент от числа (первый аргумент – сам процент, второй - число)
«ANS»	Результат последнего вычисления используется вместо аргумента текущей операции (для второго аргумента)
«AC»	Очищение дисплея
«ON/OFF»	Включение / выключение дисплея
«UART»	Передача результата вычисления в компьютер

Для реализации данного функционала устройство должно содержать следующие структурные блоки [1]:

– микроконтроллер;
– программатор;
– клавиатура;
– дисплей;
– блок передачи данных из ПЭВМ.

Разработанная структурная схема устройства представлена на рисунке 1.

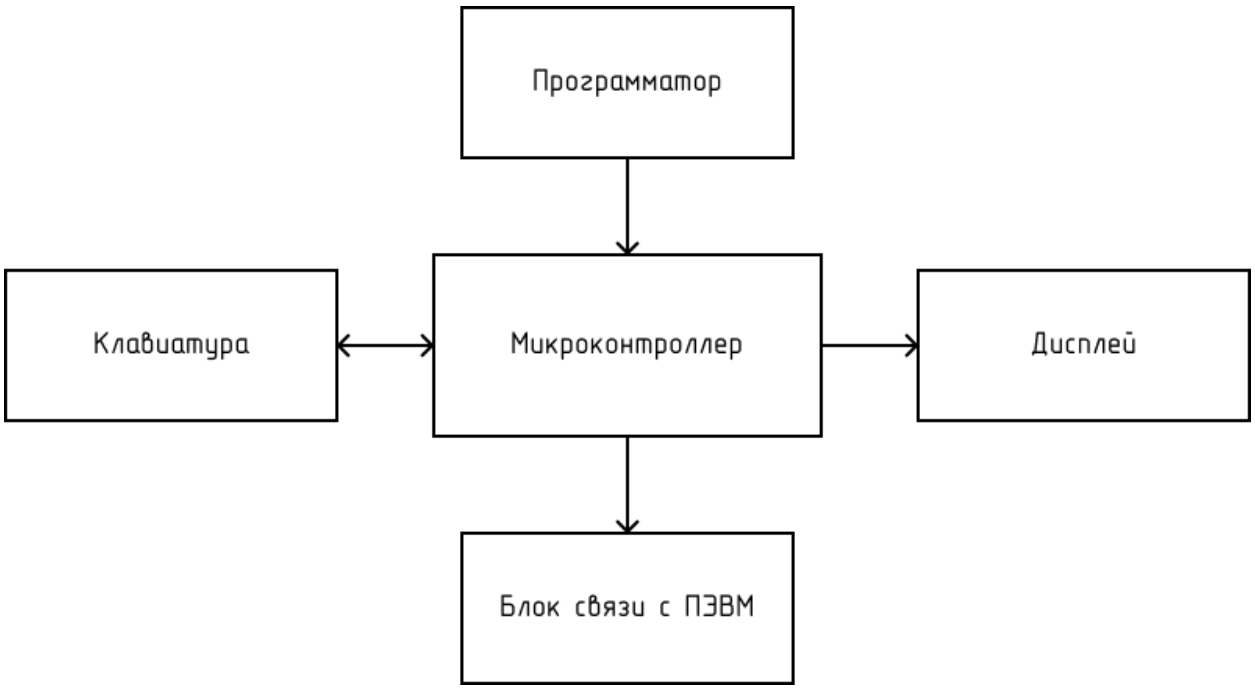


Рисунок 1 – Структурная схема устройства

1.2 Проектирование функциональной схемы

В этом разделе приведено функциональное описание работы системы и проектирование функциональной схемы.

1.2.1 Микроконтроллер ATmega8515

Микроконтроллер является основным элементом разрабатываемого устройства. В соответствие с техническим заданием для реализации системы необходимо использовать микроконтроллер AVR.

Микроконтроллеры AVR делятся на семейства:

1. TinyAVR, имеющие следующие характеристики:
   - Flash-память до 16 Кбайт;
   - RAM до 512 байт;
   - ROM до 512 байт;
   - число пинов (ножек) ввода-вывода 4–18;
   - небольшой набор периферии.
2. MegaAVR, имеющие следующие характеристики:
   - FLASH до 256 Кбайт;
   - RAM до 16 Кбайт;
   - ROM до 4 Кбайт;
   - число пинов ввода-вывода 23–86;
   - расширенная система команд (ассемблер и C) и периферии.
3. XMEGA AVR, имеющие следующие характеристики:
   - FLASH до 384 Кбайт;
   - RAM до 32 Кбайт;
   - ROM до 4 Кбайт;
   - четырехканальный контроллер DMA (для быстрой работы с памятью и вводом/выводом).

Выберем подсемейство MegaAVR, так как оно имеет больше пинов и объем памяти, чем TinyAVR, а также поддерживает C. [2]

В подсемействе MegaAVR семейства AVR был выбран МК – ATmega8515, обладающий всем необходимым функционалом для реализации проекта:

- интерфейс SPI для программирования МК;
- интерфейс UART для обмена данными;
- 512 байт ОЗУ;
- 1 8-разрядный счетчик;
- 8 Кбайт FLASH памяти;
- 3 внешних источника прерываний;

– частота работы до 16 МГц;

В разрабатываемом устройстве используется микроконтроллер в прямоугольном пластиковом корпусе с 40 выводами (40-pin PDIP). Конфигурация выводов микроконтроллера показана на рисунке 2.

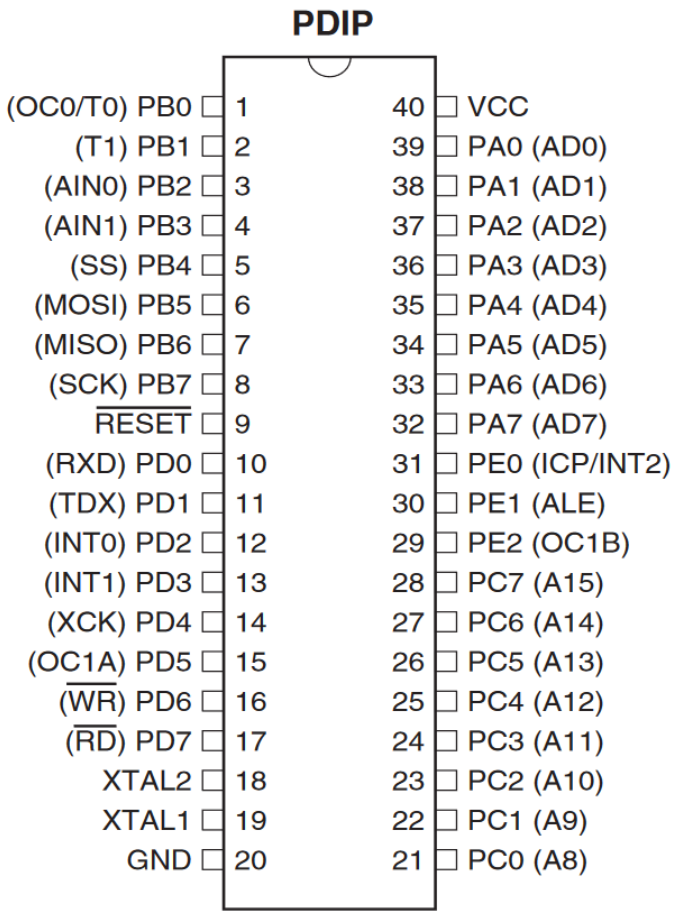


Рисунок 2 – Конфигурация выводов Atmega8515

Для подачи питания и связи с внешними цепями микросхема МК имеет 40 контактов, в том числе 32 контакта, которые могут быть сконфигурированы для реализации конкретных задач и требований разработчика.

ATmega8515 — это 8-разрядный КМОП-микроконтроллер с низким энергопотреблением, основанный на улучшенной RISC-архитектуре AVR. Выполняя мощные инструкции за один такт, ATmega8515 достигает пропускной способности, приближающейся к 1 MIPS на МГц, что позволяет разработчику системы оптимизировать энергопотребление в зависимости от скорости обработки.

Структурная схема микроконтроллера представлена на рисунке 3.

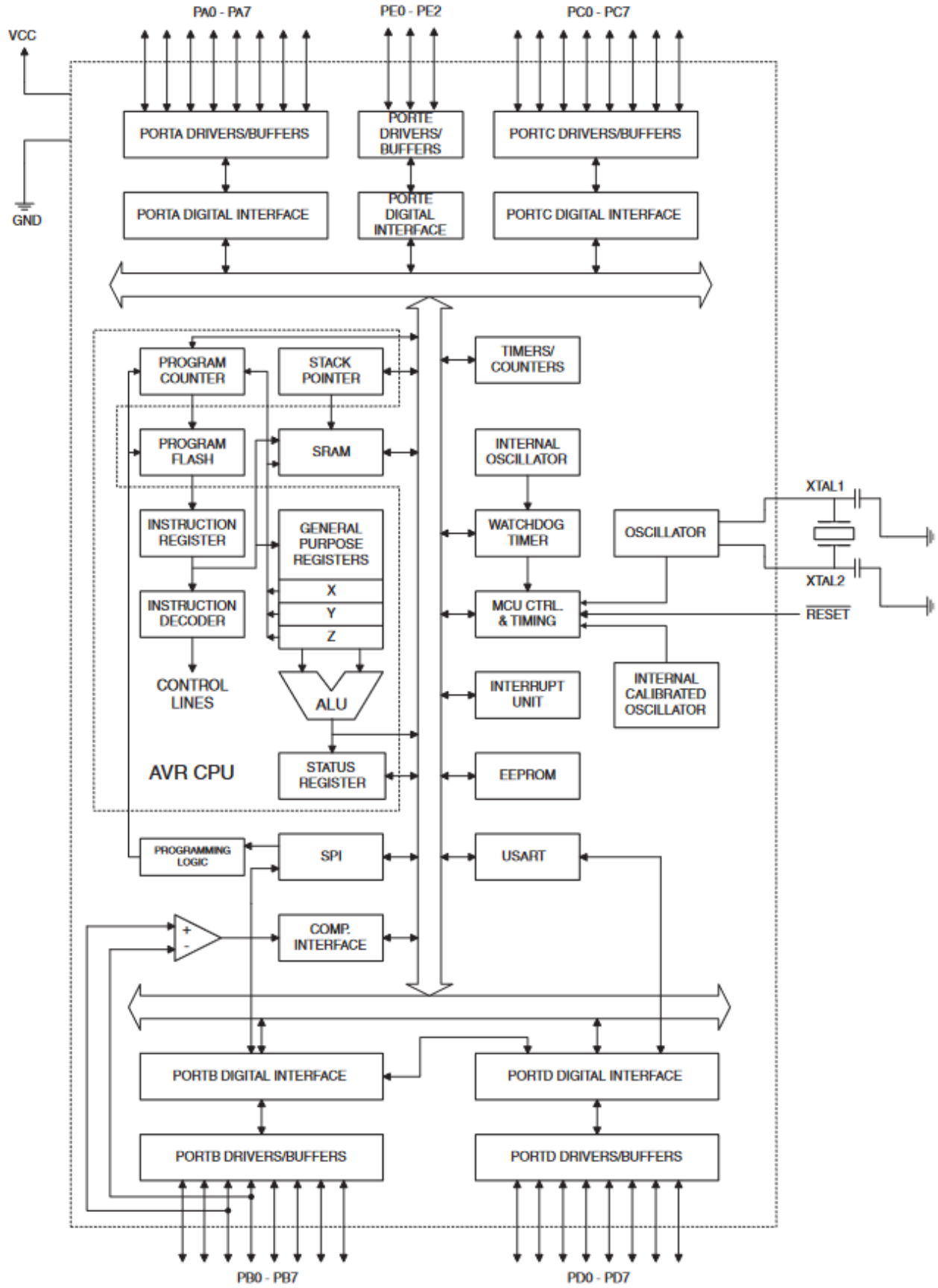


Рисунок 3 – Структурная схема ATmega8515

Ядро AVR сочетает в себе богатый набор инструкций с 32 рабочими регистрами общего назначения. Все 32 регистра напрямую подключены к арифметико-логическому устройству (АЛУ), что позволяет получить доступ к двум независимым регистрам в одной инструкции, выполняемой за один такт. Полученная в результате архитектура более эффективна в коде, обеспечивая при этом пропускную способность в десять раз выше, чем у обычных микроконтроллеров CISC.

ATmega8515 обеспечивает следующие функции: 8 КБ внутрисистемной программируемой флэш-памяти с возможностью чтения во время записи, 512 байт EEPROM, 512 байт SRAM, интерфейс внешней памяти, 35 линий ввода-вывода общего назначения, 32 рабочих регистра общего назначения, два гибких таймера/счетчика с режимами сравнения, внутренними и внешними прерываниями, последовательный программируемый USART, программируемый сторожевой таймер с внутренним генератором, последовательный порт SPI и три программно выбираемых режима энергосбережения. [3]

1.2.1.1 Используемые элементы

Для функционирования электронного калькулятора в МК ATmega8515 задействованы не все элементы его архитектуры. Выделим и опишем те, что используются во время функционирования схемы.

Порты A, B, C, D – назначения каждого из них описано в разделе 1.2.1.2.

Указатель стека – используется для работы со стеком, при вызове подпрограмм. В коде они присутствуют.

SRAM – статическая память МК, где хранятся объявленные переменные.

Регистры общего назначения – предназначены для хранения операндов арифметико-логических операций, а также адресов или отдельных компонентов адресов ячеек памяти.

АЛУ – блок процессора, который под управлением устройства управления служит для выполнения арифметических и логических преобразований над данными.

SREG – регистр состояния, содержит набор флагов, показывающих текущее состояние работы микроконтроллера.

SPI – интерфейс для связи МК с другими внешними устройствами. В проекте используется только для прошивки МК.

Программный счетчик – используется для указания следующей команды выполняемой программы.

Память Flash – память МК, в котором хранится загруженная в него программа.

Регистры команды – содержит исполняемую в текущий момент (или следующий) команду, то есть команду, адресуемую счетчиком команд.

Декодер – блок, выделяющий код операции и операнды команды, а затем вызывающий микропрограмму, которая исполняет данную команду.

Сигналы управления – синхронизируют обработку данных.

Логика программирования – устанавливает логику того, как программа будет вшита в МК.

Управление синхронизацией и сбросом (MCU CTRL. & Timing) – в этом блоке обрабатываются тактовые сигналы и принимается сигнал сброса.

UART – через этот интерфейс из МК передается информация в ПЭВМ. В регистр UART информация попадает через порт PD1 (TxD).

Генератор – генератор тактовых импульсов. Необходим для синхронизации работы МК. [1]

1.2.1.2 Распределение портов

МК ATmega8515 содержит пять портов – A, B, C, D и E. Опишем назначение тех, что используются в данной системе для её функционирования.

Порт A:

PA0..PA1 – вывод информации на линии данных дисплея.

Порт B:

PB5 – MOSI (SPI Master Output/Slave Input);

PB6 – MISO (SPI Master Input/Slave Output);

PB7 – SCK (SPI Serial Clock).

Порт C:

PC0…PC3 – подключены на вывод к строкам клавиатуры для установки сигнала проверки строки;

PC4 – RS – выбор регистра: 0 – команды, 1 – данные;

PC5 – RW – выбор операции: 1 – чтение, 0 – запись;

PC6 – E – разрешение на выполнение операции, по заднему фронту на этом выводе происходит запись в дисплей.

Порт D:

PD0 – RXD, Receive Data (Data input pin for USART) – вход приемника;

PD1 – TXD, Transmit Data (Data output pin for USART) – выход передатчика;

PD2…PD6 – подключены на ввод к столбцам клавиатуры для считывания зажатой кнопки.

1.2.1.3 Организация памяти

Структура памяти МК ATmega8515 приведена на рисунке 4.

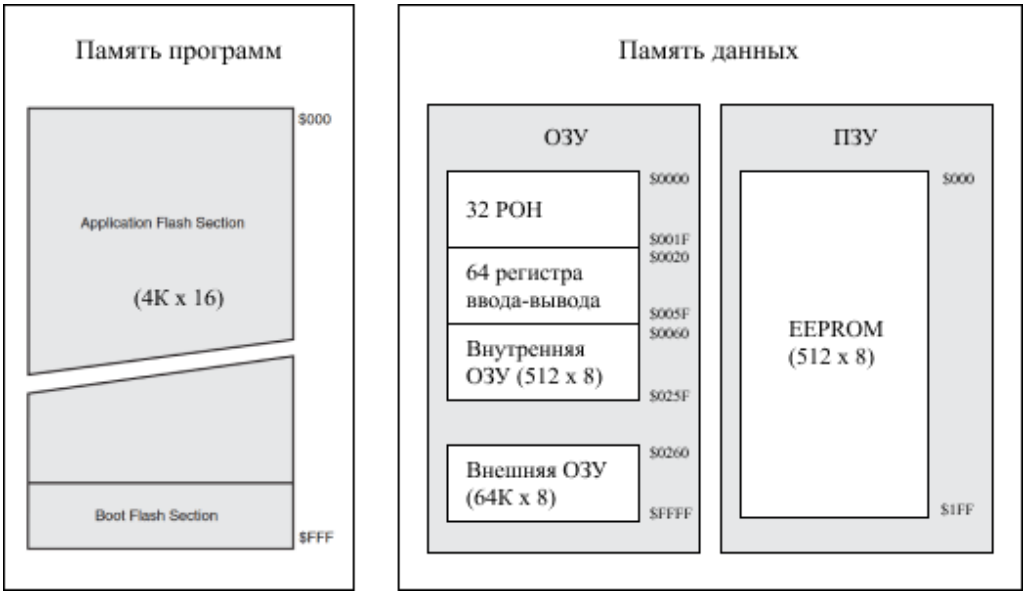


Рисунок 4 – Структура памяти

Память программ предназначена для хранения последовательности команд, управляющих функционированием микроконтроллера, и имеет 16-ти битную организацию.

Все AVR имеют Flash-память программ, которая может быть различного размера - от 1 до 256 КБайт. В МК Atmega8515 объем Flash-памяти программ 4Кх16 (длина команды 16 разрядов, следовательно каждая команда находится в одной ячейке памяти). Информацию в flash-память можно мгновенно стереть и записать. Заносится с помощью программатора.

Память построена на принципе электрической перепрограммируемости, т. е. допускает многократное стирание и запись информации.

Память данных разделена на три части:

1) регистровая память: 32 регистра общего назначения (РОН) и служебные регистры ввода/вывода;

   Структура 32 регистров общего назначения представлена на рисунке 5.

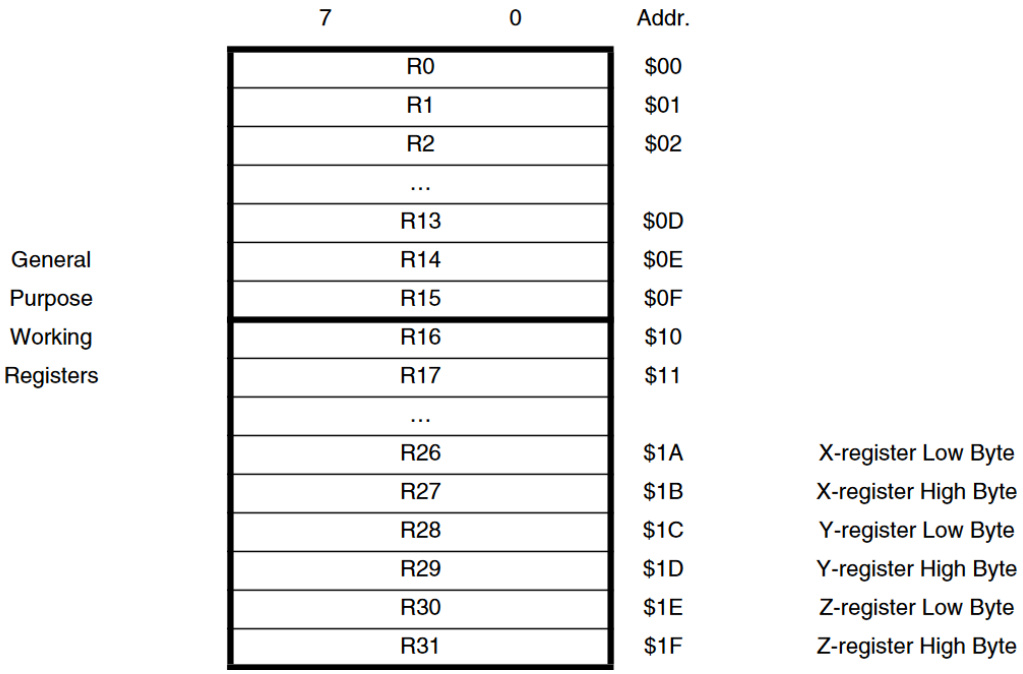


Рисунок 5 – Структура регистров общего назначения

2) оперативная память (ОЗУ или RAM) – МК ATmega8515 имеет объем внутреннего SRAM 512 байт (с адреса $0060 до $025F). Число циклов чтения и записи в RAM не ограничено, но при отключении питания вся информация теряется. Для МК ATmega8515 возможна организация подключения внешнего статического ОЗУ объемом до 64К;
3) энергозависимая память (ЭСППЗУ или EEPROM) – эта память доступна МК в ходе выполнения, для хранения промежуточных результатов. В МК ATmega8515 ее объем 512 байт. Также в неё могут быть загружены данные через программатор. [3]

1.2.2 Клавиатура

Клавиатура состоит из 23 клавиш: 10 клавиш с цифрами («0»..«9»), клавиша «.», 7 клавиш с операторами («+», «-», «*», «.», «%», «div», «mod»), а также клавиша включения-выключения («ON/OFF»), очищения дисплей («AC») и передачи результата в компьютер («UART»).

Клавиатура – матричная , то есть каждая кнопка, при нажатии на нее, замыкает контакты между конкретным столбцом и конкретным рядом, создавая цепь, которую можно программно обнаружить. Для реализации 23 клавиш потребуется 10 ножек контроллера (4 строки и 6 столбцов).

1.2.3 Передача данных в ПЭВМ

Передача данных в ПЭВМ происходит через драйвер MAX232. MAX232 – интегральная схема, преобразующая сигналы последовательного порта RS-232 в цифровые сигналы.

RS-232 – стандарт физического уровня для синхронного и асинхронного интерфейса (USART и UART). Обеспечивает передачу данных и некоторых специальных сигналов между терминалом и устройством приема. Сигнал, поступающий от интерфейса RS-232, через преобразователь передается из выхода TxD микроконтроллера.

К внешнему устройству MAX232 подключен через разъем DB-9. На схеме условное обозначение – XS1.

Внутреннее изображение MAX232 показано на рисунке 6.

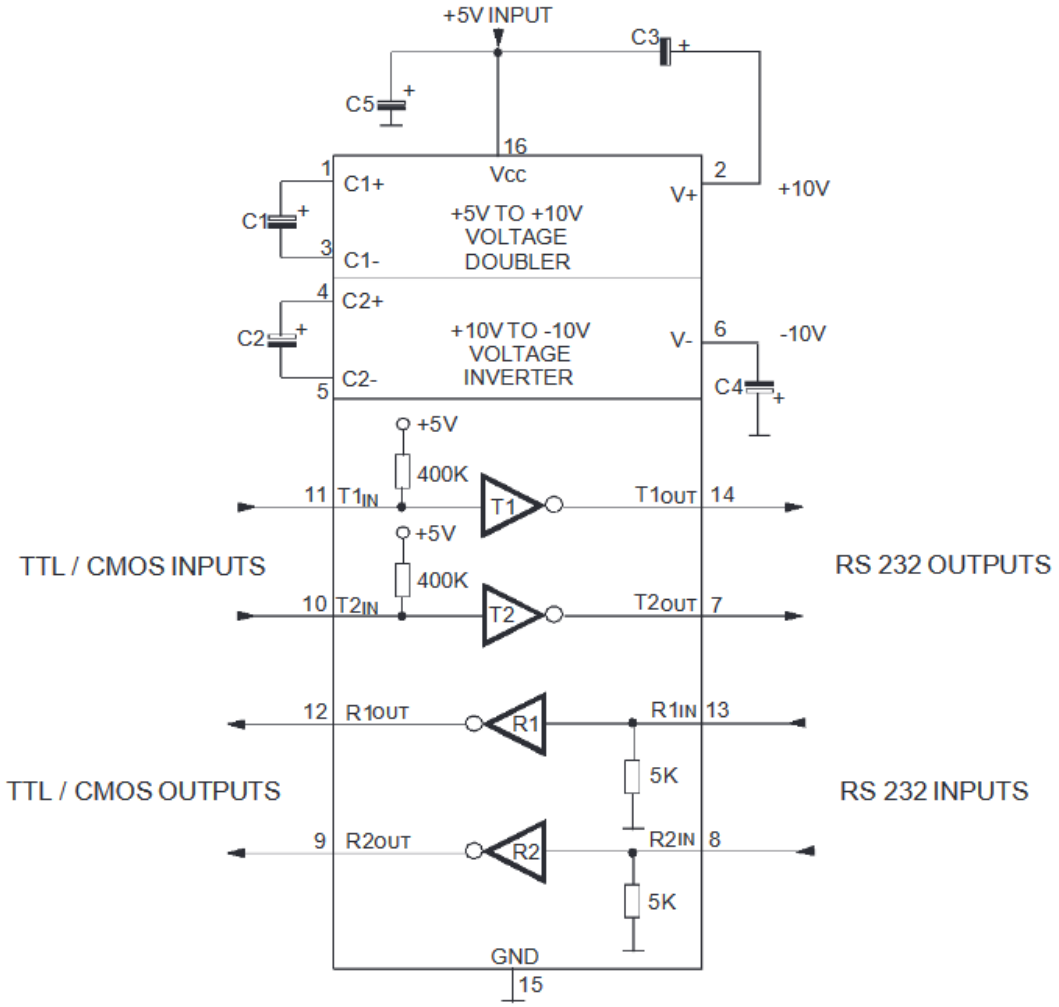


Рисунок 6 – Преобразователь MAX232

Микросхема-драйвер фирмы Maxim серии MAX232 используется в качестве преобразователя уровней напряжения при связи устройства с ПЭВМ. Она содержит преобразователь напряжения +5В в напряжение +10В, инвертор, преобразующий напряжение +10В в напряжение -10В, и преобразователь уровней сигналов последовательного интерфейса. [4]

1.2.4 Настройка канала передачи

UART (универсальный асинхронный приёмопередатчик) – одна из старейших и самых распространенных на сегодняшний день технологий передачи данных. Слово «асинхронный» означает, что интерфейс не использует линию для синхросигнала, приемник и передатчик заранее настраиваются на одну частоту.

Для корректной работы необходимо настроить регистры управления UCSRA, UCSRB и UCSRC.

UCR (UCSRB) – регистр управления. Биты регистра UCSRB показаны в таблице 2. Во время работы системы, для управления передачей информации, будет использоваться бит TXEN.

TXEN – разрешение передачи. Если разряд сбросится во время передачи, выключение передатчика произойдет только после завершения передачи.

Таблица 2 – Биты регистра UCSRB

Номер	7	6	5	4	3	2	1	0
Название	RXCIE	TXCIE	UDRIE	RXEN	TXEN	CHR9	RXB8	TXB8

USR (UCSRA) – регистр состояния. Биты регистра UCSRA показаны в таблице 3. Во время работы системы используются биты TXC и UDRE.

TXC – флаг завершения передачи. Устанавливается в 1 при завершении передачи.

UDRE – флаг опустошения регистра данных. Устанавливается в 1 при пустом буфере передатчика. Используется при выводе данных из МК. Когда USRE = 1, то есть регистр UDR пуст, в него можно загружать новые данные для передачи.

Таблица 3 – Биты регистра UCRSA

Номер	7	6	5	4	3	2	1	0
Название	RXC	TXC	UDRE	FE	OR	-	-	-

UCSRC. Биты регистра UCSRC показаны в таблице 4.

Таблица 4 – Биты регистра UCSRC

Номер	7	6	5	4	3	2	1	0
Название	RXCIE	TXCIE	UDRIE	RXEN	TXEN	UCSZ	RXB8	TXB8
Доступ	R	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R	R/W

Во время работы системы будут использоваться только биты URSEL, UCSZ0 и UCSZ1.

URSEL – регистры UCSRC и UBRRH находятся в одном адресном пространстве, и чтобы понять, куда записывать данные используется бит URSEL. При URSEL равным 1 в UCSRC, при 0 в UBRRH.

UCSZ0 и UCSZ1 – формат посылки. Каждый из них принимает значение 1 – для 8 битной посылки данных. [1]

Настройка скорости обмена USART вычисляется по формуле:

$$UBBR = XTAL/(16 * baudrate - 1)$$

где XTAL – частота работы МК (1 МГц), baudrate – требуемая скорость передачи (2400 бод).

$$UBBR = (1\,000\,000)/(16 * 2400 - 1) = 25.$$

1.2.5 Дисплей

Среди множества различных LCD дисплеев наиболее распространенными являются текстовые дисплеи на основе контроллера hd44780, которые стали стандартом на символьные ЖКИ.

Контроллер LCD hd44780 имеет встроенный знакосинтезатор: для вывода символа необходимо записать его код в соответствующую область (DDRAM) памяти контроллера. Также есть возможность загружать в память знакосинтезатора (CGRAM) произвольные символы. Контроллер обладает параллельным интерфейсом, имеет 4 или 8 линии данных, три управляющих линии.

ЖК-дисплей 16x2 означает, что есть две строки, в каждой строке которых может отображаться 16 символов, и каждый символ занимает пространство матрицы 5X7 на ЖК-дисплее.

14 контактов можно разделить на пять категорий: контакты питания, контрастный контакт, контакты управления и контакты данных. 14-пиновый интерфейс дисплеев на HD44780 представлен в таблице 5. [5]

Таблица 5 – Выводы дисплея HD44780

Номер пина	Название	Функция
1	VSS	Земля, общий провод, GND
2	VCC	Напряжение питания (+5 V)
3	Vo	Настройка контрастности
4	R/S	Выбор регистра
5	R/W	Чтение/запись
6	(Enable)	Строб по спаду
7	Bit 0	младший для 8-битного интерфейса
8	Bit 1	
9	Bit 2	
10	Bit 3	
11	Bit 4	младший для 4-битного интерфейса
12	Bit 5	
13	Bit 6	
14	Bit 7	старший для 8-(4-)битного интерфейса

1.2.6 Генератор тактовых импульсов и сброс

Для работы МК необходим тактовый генератор. Внутри МК есть собственный, но для надежности подключим внешний резонатор. Он подключается к внутреннему через входы XTAL1 и XTAL2. Частота резонатора равна 1 МГц для соответствующей тактовой частоты МК.

В AVR есть внутренняя схема сброса, и сигнал RESET изнутри уже подтянут резистором 10кОм к Vcc. Чтобы сброс мог происходить вручную, подключим выход RESET к питанию, через резистор в 10кОм. При включении схемы напряжение на RESET равняется логической единице – МК запускается.

1.2.7 Построение функциональной схемы

На основе всех вышеописанных сведений была спроектирована функциональная схема разрабатываемой системы, показанная на рисунке 7 и в приложении Б [6-8].

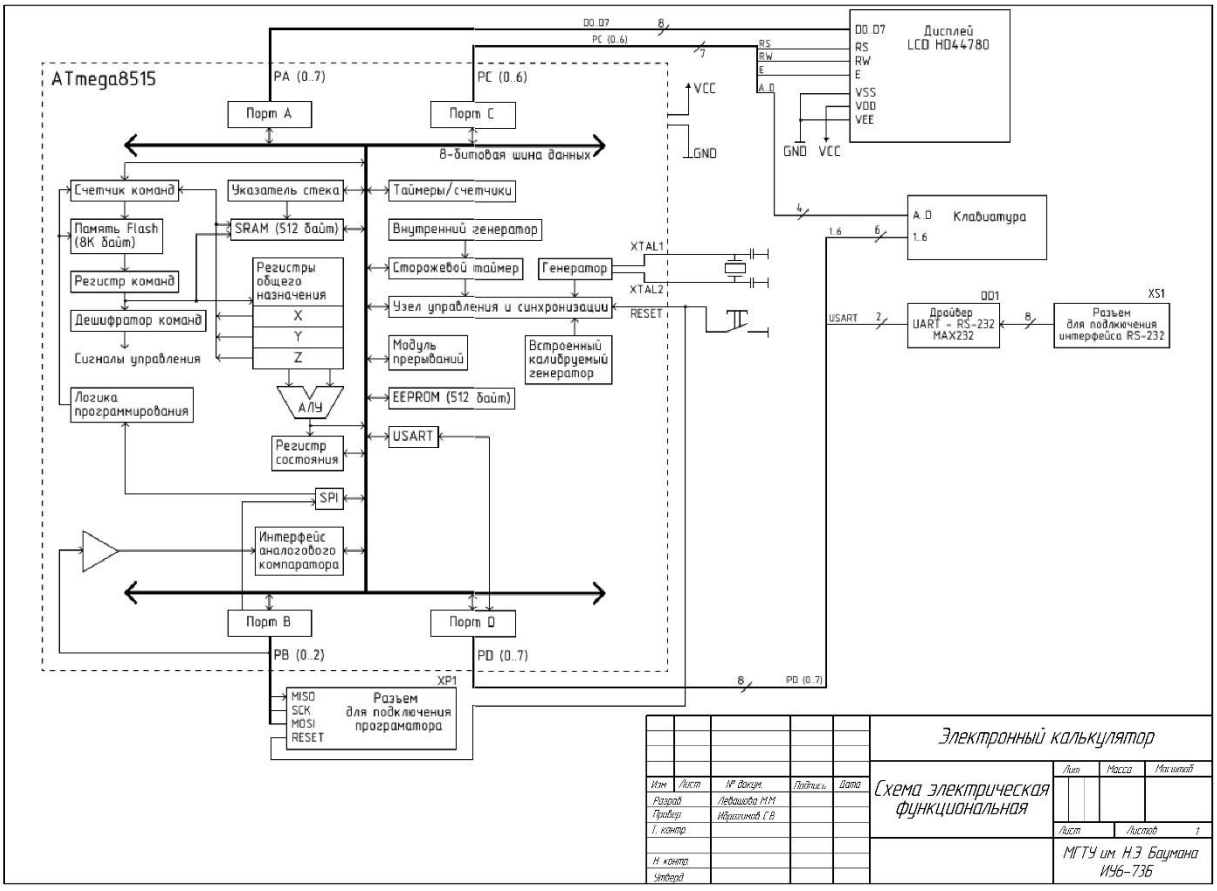


Рисунок 7 – Функциональная схема

1.3 Проектирование принципиальной схемы

1.3.1 Разъем программатора

Для программирования МК используется программатор, для его подключения необходим специальный разъем. Будет использован разъем IDC-06MS.

Расположение выводов вилки представлено на рисунке 8, выводы разъема описаны в табоице 6. Подключение программатора осуществляется при помощи интерфейса SPI, под что на МК ATmega8515 задействован порт PB. На принципиальной схеме, которая показана в разделе 1.3.5, условное обозначение – XP1.

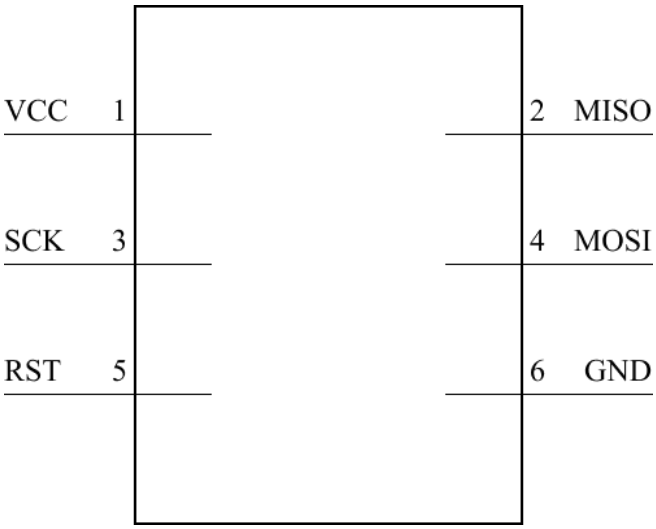


Рисунок 8 – Расположение выводов IDC-06MS

Таблица 6 – Выводы IDC-06MS

Номер вывода	Название	Функция
1	VCC	Питание.
2	MISO	Передача данных от микроконтроллера в программатор.
3	SCK	Тактовый сигнал.
4	MOSI	Передача данных от программатора в микроконтроллер.
5	RST	Сигналом на RESET программатор вводит контроллер в режим программирования.
6	GND	Земля.

1.3.2 Подключение цепи питания

Для питания основных функциональных блоков разрабатываемого устройства необходимы различные напряжения: 5В и 12В. Поэтому в разрабатываемой схеме был использован стабилизатор напряжения LM7805, который преобразует входные 12 В в 5 В, а также двухконтактная розетка DS-201 для подачи 12 В.

LM7805 – стабилизатор напряжения с интегральной схемой с фиксированным напряжением. У стабилизатора 3 вывода, на первый вывод подается входное напряжение (+12В), второй вывод – это земля, а третий вывод — это выходное напряжение (+5В).

1.3.3 Расчет потребляемой мощности

Для определения потребляемой мощности МК воспользуемся формулой:

$$P_{\text{МК}} = I * U$$

Где, I – ток потребления МК равный 10 мА (взято из даташита), U – напряжение питания равное 5В. Рассчитаем потребляемую мощность МК:

$$P\_\text{МК} = 0{,}01\text{А} * 5\text{В} = 0{,}05\ \text{Вт}$$

Также в схеме присутствуют резисторы. Мощность для резисторов рассчитывается по формуле:

$$\text{P} = I^2 * R$$

где R – сопротивление резистора;

I – ток, проходящий через резистор.

Далее рассчитаем суммарную потребляемую мощность остальных устройств разрабатываемой системы (таблица 7).

Таблица 7 – Потребляемая мощность

Микросхема	Ток потребления, мА	Потребляемая мощность, мВт	Количество устройств	Суммарная потребляемая мощность
MAX232	8	40	1	40

Продолжение таблицы 7

HD44780	1	5	1	5
LM7805	5	25	1	25
R1, R2 (10к)	-	1,25	2	2,5

1.3.4 Построение принципиальной схемы

На основе всех вышеописанных сведений была спроектирована принципиальная схема разрабатываемой системы, показанная на рисунке 9 и в приложении Б [6-8].

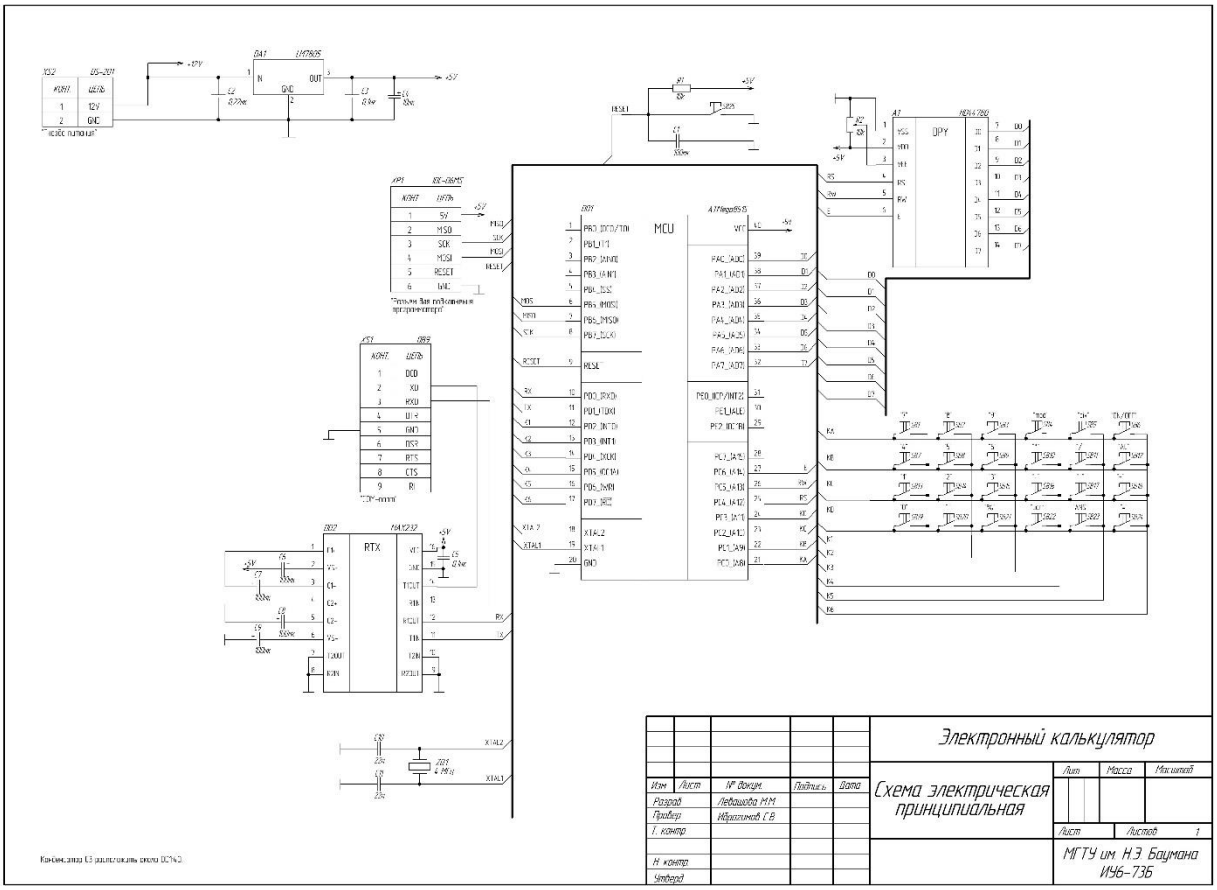


Рисунок 9 – Принципиальная схема

1.4 Алгоритмы работы системы

1.4.1 Main и подпрограмма вычислений

Работа начинается с функции main, из которой вызывается функция инициализации калькулятора. Эта функция в свою очередь вызывает функции инициализации дисплея, клавиатуры и модуля передачи UART и запускает работу калькулятора. Схема алгоритма главной функции и функции инициализации калькулятора показана на рисунке 10.

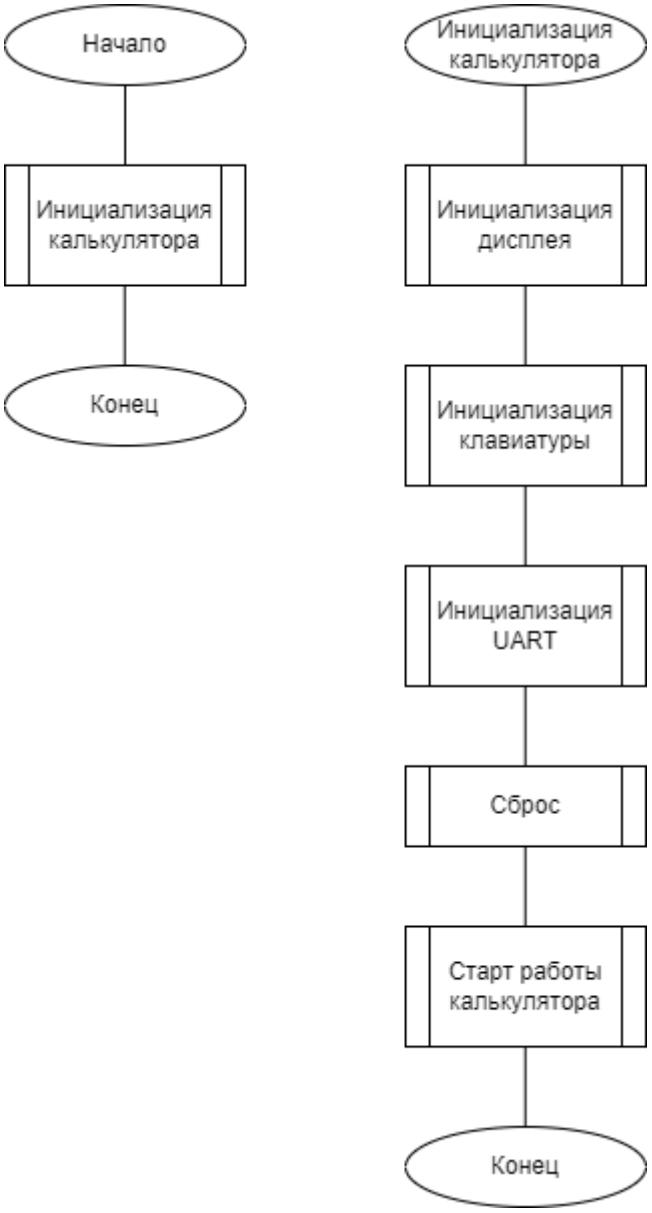


Рисунок 10 – Схема алгоритма

Для представления выполнения ввода и вычисления выражения используется конечный автомат. Конечный автомат можно представить в виде графа, вершины которого являются состояниями, а ребра — переходы между ними. Описание состояний автомата представлено на рисунке 11 и в таблице 8. Каждое ребро имеет метку, информирующую о том, когда должен произойти переход. Например, на рисунке видно, что автомат сменит состояние «start_disp» на состояние «a_input» при условии ввода цифры. Схема алгоритма подпрограммы вычислений представлена на рисунке 12.

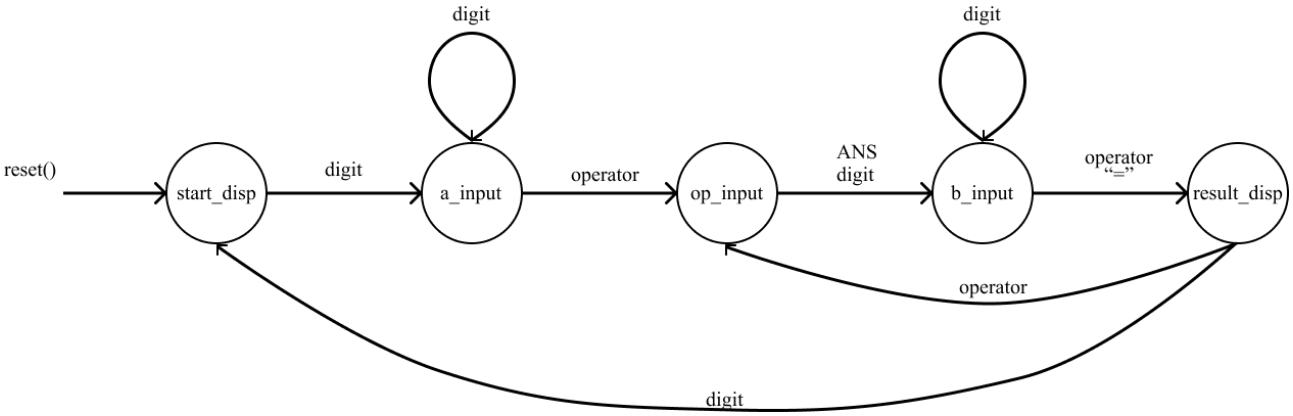


Рисунок 11 – Описание состояний автомата

Таблица 8 – Состояния автомата

Номер состояния	Обозначение	Описание
0	start_disp	Начало работы. На дисплее ничего нет.
1	a_input	Ввод первого числа.
2	op_input	Ввод оператора.
3	b_input	Ввод второго числа.
4	result_disp	Отображение результата вычисления.

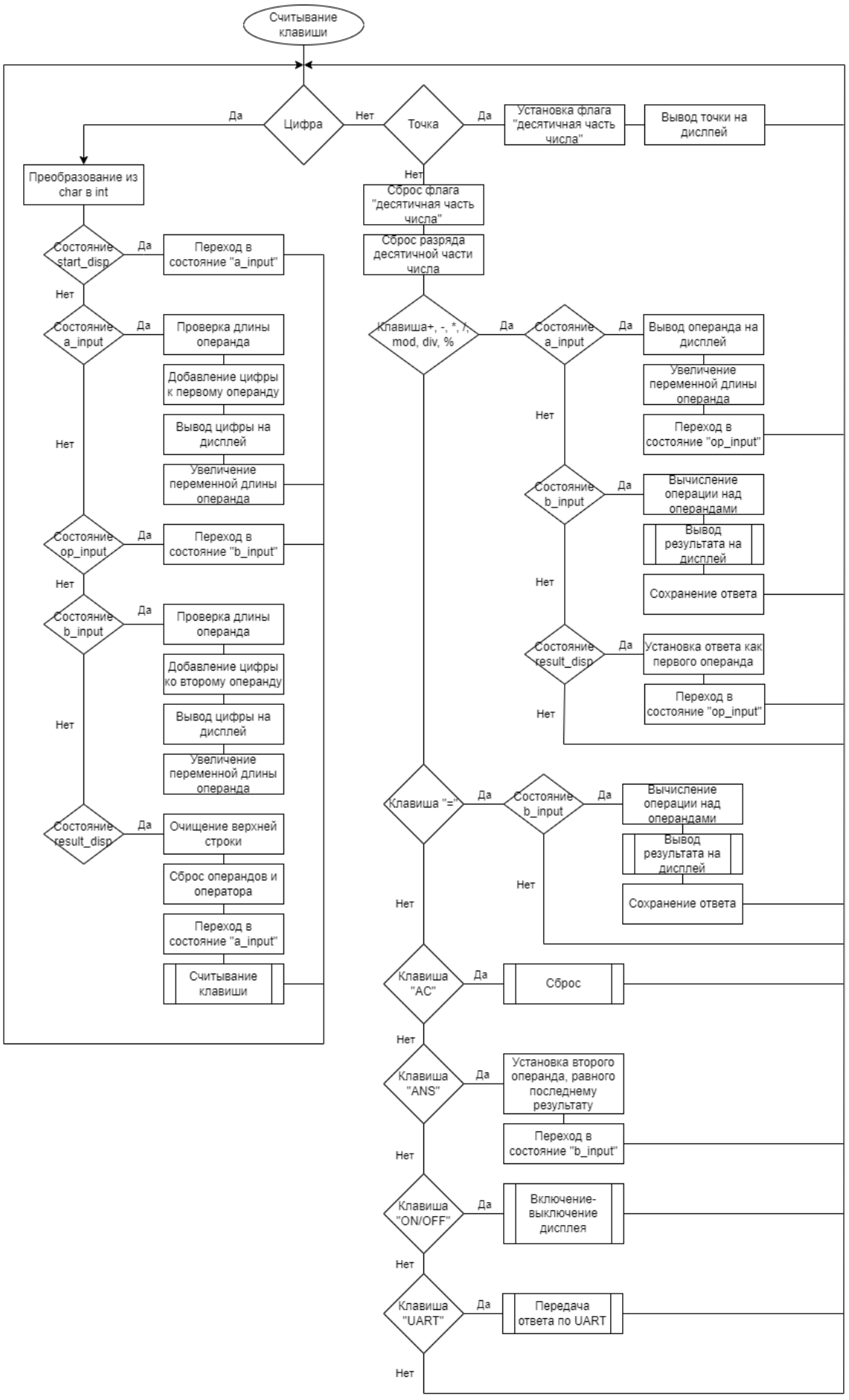


Рисунок 12 – Схема алгоритма подпрограммы вычислений

1.4.2 Используемые при работе подпрограммы

Программа состоит из 4 подпрограмм в соответствии с функциональными блоками:

1. Главная подпрограмма;
2. Подпрограмма калькулятора;
3. Подпрограмма дисплея;
4. Подпрограмма клавиатуры.

Главная подпрограмма и подпрограмма калькулятора описаны выше.

Описание функций подпрограммы дисплея представлено в таблице 9.

Таблица 9 – Функции подпрограммы дисплея

Имя функции	Действия
init_display	Инициализация дисплея
send_command	Запись байта (символа) команды в lcd контроллер
send_data	Запись байта (символа) данных в lcd контроллер
trigger	Генерирование строба на линии E. По этому стробу производится запись команды/данных или чтение.
send_string	Вывод строки
move_to	Изменение текущей позиции курсора
clear	Очищение дисплея
disp_on_off	Включение-выключение дисплея

В подпрограмме клавиатуры две функции: инициализации и сканирования клавиши. В подпрограмме UART так же две функции: инициализации и передачи данных в ПЭВМ.

2 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Для реализации работы модели перекрестка была написана программа на языке Си, после загруженная в МК. Симуляция проводилась в программе Proteus 8.

2.1 Отладка и тестирование системы

Программа была отлажена с использованием программы Proteus 8. Это многофункциональная программа для автоматизированного проектирования электронных схем.

При написании кода были использованы следующие библиотеки:

- avr/io.h – в этом файле находятся определения констант, имен регистров и прочего для выполнения базового ввода-вывода;
- util/delay.h – это библиотека, позволяющая вызывать задержки (delay). При вызове _delay_ms в качестве параметра передается время в миллисекундах. В программе используется после чтения данных, перед их выводом, чтобы МК успел обработать полученную информацию;
- stdbool.h;
- string.h;
- stdlib.h.

По итогу отладки и тестирования, результатом стала функционирующая модель системы перекрестка, работающая в соответствии с ТЗ. Симуляция системы описана в разделе 2.2.

2.2 Симуляция работы системы

Данный проект был промоделирован в Proteus. Были протестированы следующие программные модули:

- ввод данных с клавиатуры;
- вычисление математических операций;
- отображение информации на дисплее;
- передача данных в ПЭВМ.

Для моделирования передачи данных в ПЭВМ используется инструмент системы – Virtual Terminal. Он позволяет эмулировать простейший терминал, который даёт возможность передавать данные по порту TxD через интерфейс UART.

На рисунке 13 изображена упрощенная принципиальная схема устройства в симуляторе Proteus.

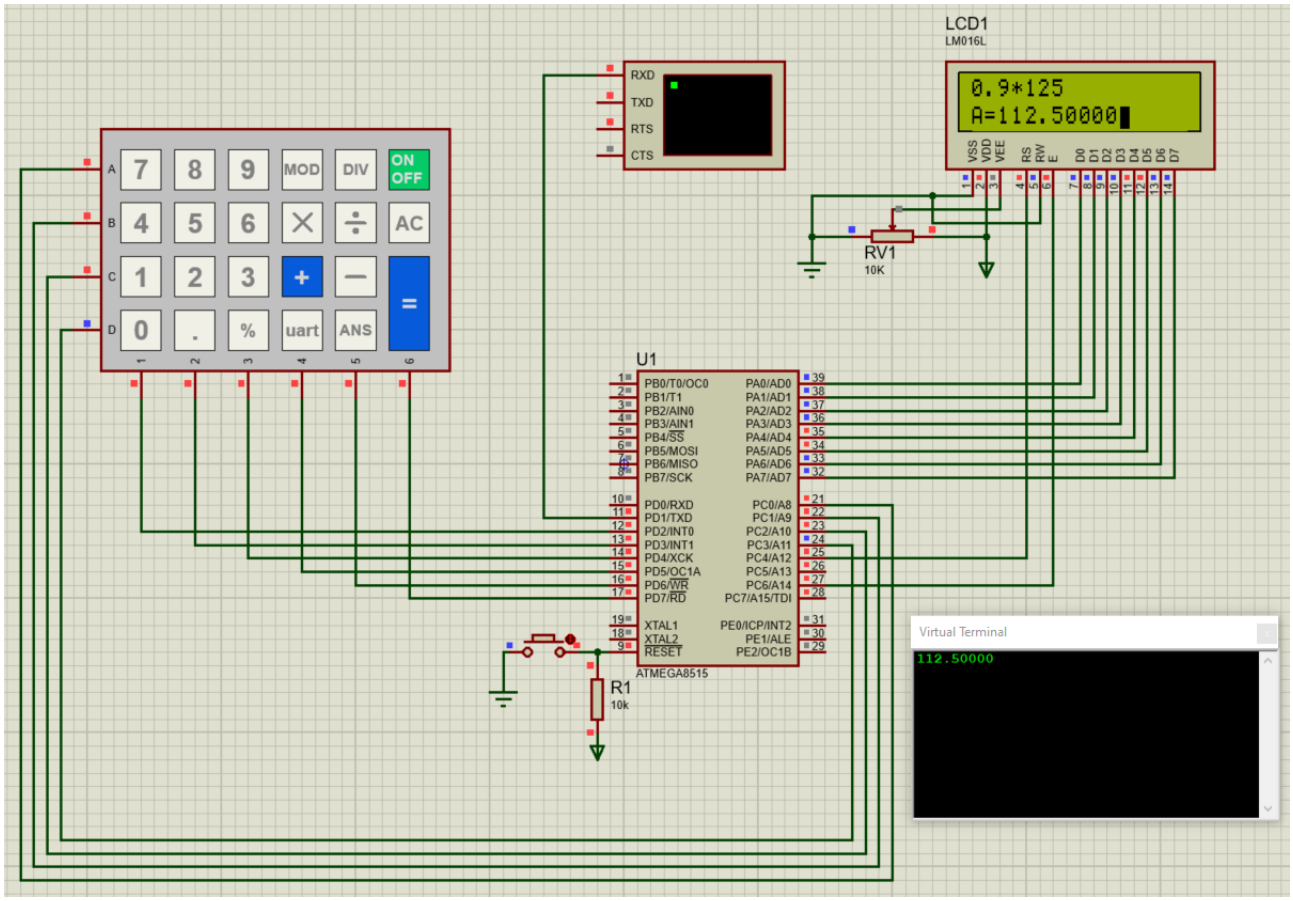


Рисунок 13 – Схема устройства в симуляторе Proteus

2.3 Программирование микроконтроллера

Программирование МК через канал SPI происходит через программатор и одноименный разъем, о котором было рассказано в разделе 1.3.1.

Прошивка проходит по интерфейсу SPI, для работы программатора нужно 4 контакта и питание (достаточно только земли, чтобы уравнять потенциалы земель программатора и устройства):

– MISO – Master-Input/Slave-Output – данные, идущие от контроллера;

- MOSI – Master-Output/Slave-Input – данные, идущие в контроллер;
- SCK – тактовые импульсы интерфейса SPI;
- RESET – сигналом на RESET программатор вводит контроллер в режим программирования;
- GND – земля;
- VCC – питание.

Взаимодействие устройств по интерфейсу SPI требует установки одного из устройств в режим ведущего, а остальных – в режим ведомого. При этом ведущее устройство отвечает за выбор ведомого и инициализацию передачи.

При программировании AVR программатор всегда функционирует как ведущее устройство, а микроконтроллер как ведомое. SPI является синхронным интерфейсом: все операции синхронизированы фронтами тактового сигнала (SCK), который вырабатывается ведущим устройством.

Передача по SPI осуществляется в полнодуплексном режиме, по одному биту за такт в каждую сторону. По возрастающему фронту сигнала SCK ведомое устройство считывает очередной бит с линии MOSI, а по спадающему – выдает следующий бит на линию MISO.

В МК передается бинарный файл с расширением “.hex” с скомпилированной программой.

Для работы с модулем SPI используются три регистра:

- SPDR (SPI Data Register) – регистр данных. В этот регистр заносится байт для последующей его передачи и из него же считывается пришедший байт информации;
- SPSR (SPI Status Register) – статусный регистр. Предназначен для контроля состояния SPI модуля, содержит дополнительный бит управления скоростью обмена;
- SPCR (SPI Control Register) – управляющий регистр. С помощью данного регистра устанавливается конфигурация модуля SPI.

Программирование микроконтроллера по SPI осуществляется путем посылки 4-байтовых команд на вывод MOSI МК, в который один или два байта

определяют тип операции, остальные – адрес, записываемый байт, установочные биты и биты защиты, пустой байт. При выполнении операции чтения считываемый байт снимается через вывод MISO. Так же можно запрограммировать память данных EEPROM. В каждой команде указывается адрес записываемой ячейки и записываемое значение.

Форматы байтов команд для программирования микроконтроллера ATmega8515 представлены на рисунке 14.

Table 94. Serial Programming Instruction Set

Instruction	Instruction Format				Operation
	Byte 1	Byte 2	Byte 3	Byte4	
Programming Enable	1010 1100	0101 0011	xxxx xxxx	xxxx xxxx	Enable Serial Programming after RESET goes low.
Chip Erase	1010 1100	100x xxxx	xxxx xxxx	xxxx xxxx	Chip Erase EEPROM and Flash.
Read Program memory	0010 H000	0000 aaaa	bbbb bbbb	oooo oooo	Read **H** (high or low) data **o** from Program memory at word address **a**:**b**.
Load Program memory Page	0100 H000	0000 xxxx	xxxb bbbb	iiii iiii	Write **H** (high or low) data **i** to Program memory page at word address **b**. Data low byte must be loaded before Data high byte is applied within the same address.
Write Program memory Page	0100 1100	0000 aaaa	bbbx xxxx	xxxx xxxx	Write Program memory Page at address **a**:**b**.
Read EEPROM Memory	1010 0000	00xx xxxa	bbbb bbbb	oooo oooo	Read data **o** from EEPROM memory at address **a**:**b**.
Write EEPROM Memory	1100 0000	00xx xxxa	bbbb bbbb	iiii iiii	Write data **i** to EEPROM memory at address **a**:**b**.
Read Lock bits	0101 1000	0000 0000	xxxx xxxx	xxoo oooo	Read Lock bits. "0" = programmed, "1" = unprogrammed. See Table 81 on page 179 for details.
Write Lock bits	1010 1100	111x xxxx	xxxx xxxx	11ii iiii	Write Lock bits. Set bits = "0" to program Lock bits. See Table 81 on page 179 for details.
Read Signature Byte	0011 0000	00xx xxxx	xxxx xxbb	oooo oooo	Read Signature Byte **o** at address **b**.
Write Fuse bits	1010 1100	1010 0000	xxxx xxxx	iiii iiii	Set bits = "0" to program, "1" to unprogram. See Table 84 on page 181 for details.
Write Fuse High Bits	1010 1100	1010 1000	xxxx xxxx	iiii iiii	Set bits = "0" to program, "1" to unprogram. See Table 83 on page 180 for details.
Read Fuse bits	0101 0000	0000 0000	xxxx xxxx	oooo oooo	Read Fuse bits. "0" = programmed, "1" = unprogrammed. See Table 84 on page 181 for details.
Read Fuse High Bits	0101 1000	0000 1000	xxxx xxxx	oooo oooo	Read Fuse high bits. "0" = programmed, "1" = unprogrammed. See Table 83 on page 180 for details.
Read Calibration Byte	0011 1000	00xx xxxx	0000 00bb	oooo oooo	Read Calibration Byte

Note: **a** = address high bits
b = address low bits
H = 0 - Low byte, 1 - High Byte
o = data out
i = data in
x = don't care

Рисунок 14 – Набор инструкций последовательного программирования через SPI

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения курсовой работы был спроектировано и реализован электронный на основе микроконтроллера Atmega8515. Устройство позволяет выполнять базовые арифметические операции (сложение, вычитание, умножение, деление), операции для нахождения целой части от деления и остатка от деления, вычисление процента от числа.

В результате проектирования были разработаны принципиальная и функциональная электрические схемы для аппаратной части устройства. Также были разработаны коды модулей для программы на языке Си.

Разработанное устройство удовлетворяет требованиям, предъявленным в задании на курсовую работу, и может использоваться для произведения вычислений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Хартов, В.Я. Микропроцессорные системы: учеб. пособие для студ. учреждений высш. проф. образования, Академия, М., 2014. – 368с.

2. Хартов, В.Я. Микроконтроллеры AVR. Практикум для начинающих: 2-е издание, Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. – 278с.

3. ATmega8515 Datasheet [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://static.chipdip.ru/lib/059/DOC000059786.pdf (дата обращения: 10.12.2022)

4. Документация на драйвер MAX232 [Электронный ресурс]. – URL: https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/397176/MAXIM/MAX232.html (дата обращения 10.12.2022).

5. HD44780U Datasheet [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.sparkfun.com/datasheets/LCD/HD44780.pdf (дата обращения: 10.12.2022)

6. ГОСТ 2.702-2011 Правила выполнения электрических схем

7. ГОСТ 2.710-81 Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах

8. ГОСТ 2.721-74 Обозначения условные графические в схемах. Обозначения общего применения

9. ГОСТ 2.102-68 ЕСКД. Виды и комплектность конструкторских документов

10. ГОСТ 2.105-95 ЕСКД. Текстовые документы

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Текст программы

Main.c

```
# define F_CPU 1000000UL
#include "calculator.h"

int main(void){

    init_calculator();

      return 0;
}
```

Calculator.h

```
#ifndef CALCULATOR_H

      #define CALCULATOR_H

      #include <stdbool.h>

      void init_calculator(void);
      void run(void);
      void reset(void);
      double calculate(float, char, float);
      void show_result(void);
      void decide(unsigned char, bool*, int*);
      void send_digit(unsigned char);
      void uart(void);
      float add_digit(float, unsigned char, bool*, int*);

#endif
```

Calculator.c

```
#include <stdlib.h>
#include <util/delay.h>

#include "calculator.h"
#include "keyboard.h"
#include "lcd.h"
#include "uart.h"

enum exp_states
{
    start_disp,           //0 Displaying banner.
      a_input,            //1 Input first operand, a.
      op_input,           //2 Middle Operator pressed, op.
      b_input,            //3 Input second operand, b.
      result_disp, //4 Result displayed
};

float r, a, b;                                          //   a   and   b   are
operands, r is the result.
float ans;                                              // for "ANS" operator
int count;                                              // Number of characters
displaying on first line.
```

```
enum exp_states state;                                  //  Calculator  and  Monitor
state.
unsigned char op;                                       //  Operator:  [/,  *,  +,  -,
...].

static char line[] = "                ";     // Single line, 16 characters long.
static char buffer[16];
static char overflow[] = "   Overflow   ";

////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
//////

void init_calculator() {
    _delay_ms(500);

    init_display();
    init_keyboard();
      UsartInit();

    reset();
    run();
}

void reset() {
    clear();
    move_to(0, 0);
    r = a = b = op = count = 0;
      state = start_disp;
}

void run() {
      bool *is_dec_p;
      bool is_decimal = 0;
      is_dec_p = &is_decimal;

      int *paw_p;
      int paw = 1;
      paw_p = &paw;

    while (1) {
        decide(scan_key(), is_dec_p, paw_p);
    }
}

void send_digit(unsigned char digit) {
    send_data(digit + '0');
}

double calculate(float m, char operator, float n) {
    switch (operator) {
    case '+':
        return r = m + n;
    case '-':
        return r = m - n;
    case '*':
        return r = m * n;
    case '/':
        return r = m / n;
    case 'p'://%
        return r = m * n / 100;
    case 'm'://mod
        return r = (int)m % (int)n;
```

```
    case 'v'://div
        return r = (int)m / (int)n;

    }
    return r = m;
}

void show_result() {
    move_to(0, 1);              //bottom line start
    send_string("A=");

      char* data = buffer;
    if (r <= 999999999999)
        dtostrf(r, 9, 5, buffer);      //float -> char* (r -> buffer)
    else
             data = overflow;
    send_string(data);

    state = result_disp;
}

void uart() {
      char uart_ans[64];
      dtostrf(ans, 9, 5, uart_ans);   //float -> char* (ans -> uart_ans)
      Transmit(uart_ans);
}

void decide(unsigned char key, bool* is_dec_p, int* paw_p) {

      // Check if it is a digit.
    if (key >= '0' && key <= '9')
    {
             unsigned char digit = key - '0'; // '2' --> 2

        switch (state) {

        case start_disp:
            if (digit) {
                state = a_input;
            }

        case a_input:
            if (count == 14) return;                // You cannot fillup the screen with
a single operand.

                  if (*is_dec_p == 0) {
             a = a * 10 + digit;                    // append to a
                  }

                  if (*is_dec_p == 1) {

                        int d = 1;
                        for (int i=0; i<*paw_p; i++) {
                              d = d * 10;
                        }

                        a = (a * d + digit) / d;

                        *paw_p = *paw_p + 1;
                  }

            send_data(key);
```

```
        count++;
        break;

    case op_input:
        if (digit) {
                    state = b_input;
              }

    case b_input:
              if (*is_dec_p == 0) {
     b = b * 10 + digit;                    // append to b
              }

              if (*is_dec_p == 1) {
                    int d = 1;
                    for (int i=0; i<*paw_p; i++) {
                          d = d * 10;
                    }

                    b = (b * d + digit) / d;

                    *paw_p = *paw_p + 1;
              }

        send_data(key);
        count++;
        break;

    case result_disp:
        if (digit) {
            line[0] = ' ';
            line[1] = ' ';

            move_to(0, 0);                          // top string
            send_string(line);                      // Clear 1st line.

            move_to(0, 0);
            a = b = op = count = 0;
            state = a_input;

            decide(key, is_dec_p, paw_p);       // Recursively capture digit.
            return;
        }
        break;

    }
}

  else if (key == '.') {
        *is_dec_p = 1;
        send_data(key);
  }

  else {

        *is_dec_p = 0;
        *paw_p = 1;

    switch (key) {
    case '/':
    case '*':
    case '+':
```

```
case '-':
case 'p':
case 'm':
     case 'v':
    switch (state) {

    case op_input:
        move_to(0,0);          // Modify the operand displayed.

    case a_input:
        send_data(key);
        count++;
        state = op_input;
        break;

    case b_input:
        calculate(a, op, b);
        show_result();
                  ans = calculate(a, op, b);

    case result_disp:
        move_to(0, 0);
        line[0] = 'A';         // 'A' represents current result.
        line[1] = key;         // Operator of the operation.
        send_string(line);

        move_to(2,0);
        count = 2;
        a = r;                        // Put result into a.
        b = 0;                        // Clear b.
        state = op_input;

        break;
    }

    op = key;

    break;

case '=':
    if(state == b_input){
        calculate(a, op, b);
        show_result();
                  ans = calculate(a, op, b);
    }
    break;

case 'C': // "C" button.
           reset();
    break;

case 'A': // "ANS" button.
           send_data('A');
           b = ans;
           state = b_input;
    break;

     case 'O':// "ON/OFF" button.
           disp_on_off();
           break;

     case 'u':// "uart" button.
```

```
                    uart();
                    break;
        }
    }
}
```

Lcd.h

```
#ifndef LCD_H

	#define LCD_H

	void init_display(void);

	void send_command(unsigned char);
	void send_data(unsigned char);
	void send_string(const char*);

	void clear(void);
	void disp_on_off(void);

	void move_to(unsigned char, unsigned char);
	void trigger(void);


#endif
```

Lcd.c

```
#include <avr/io.h>
#include <util/delay.h>
#include <stdbool.h>

#include "lcd.h"

bool on_flag;

void init_display(){
    DDRC |= (1<<PC4)|(1<<PC6);  // PC 4 is output for RS, 6 is output for Enable.
    DDRA = 0xFF;                        // PA 0-7 is 8 bit data output bus.

	PORTC &=~(1<<PC6); // Reset PC6 (E).

	_delay_ms(15);

	send_command(0x38); // 2 line mode.
	_delay_ms(5);
	send_command(0x38); // 2 line mode.
	_delay_ms(100);
	send_command(0x38); // 2 line mode.

	send_command(0x0F);// LCD ON, cursor ON
	_delay_ms(10);
	send_command(0x01); // Clear display screen
	_delay_ms(10);
	send_command(0x81);
	_delay_ms(10);

	PORTC |= (1<<PC6); // Set PC6 (E).

	on_flag = 1;
}
```

```
void send_command(unsigned char command){
    PORTA = command;
    trigger();
      _delay_us( 40 );
}

void send_data(unsigned char data){
    PORTA = data;
    trigger();
      _delay_us( 40 );
}

void trigger(){
    PORTC |= (1<<PC6); // Set PC6 (E).
    _delay_us(1);
    PORTC &=~(1<<PC6); // Reset PC6 (E).
      _delay_us(1);
}

//
void send_string(const char *str){
    while(*str) send_data(*str++); // Send characters one by one.
}

void move_to(unsigned char x, unsigned char y){
      unsigned char address = x;
      if ( y ) {
      address += 0x40;
      }
      PORTC &=~(1<<PC4); // Reset PC4 (RS).
    send_command(1<<7 | address);
      PORTC |=(1<<PC4); // Set PC4 (RS).
}

void clear(){
      PORTC &=~(1<<PC4); // Reset PC4 (RS).
    send_command(0x01);
      PORTC |=(1<<PC4); // Set PC4 (RS).
}

void disp_on_off(){
      if (on_flag == 1) {
            PORTC &=~(1<<PC4); // Reset PC4 (RS).
            send_command(0x08);
            PORTC |=(1<<PC4); // Set PC4 (RS).
            on_flag = 0;
      }
      else {
            PORTC &=~(1<<PC4); // Reset PC4 (RS).

            send_command(0x0F);// LCD ON, cursor ON
            _delay_ms(10);
            send_command(0x01); // Clear display screen
            _delay_ms(10);
            send_command(0x81);
            _delay_ms(10);

            PORTC |=(1<<PC4); // Set PC4 (RS).
            on_flag = 1;
      }
}
```

Keyboard.h

```
#ifndef KEYBOARD_H

	#define KEYBOARD_H

	void init_keyboard(void);
	unsigned char scan_key(void);

#endif
```

Keyboard.c

```
#include <avr/io.h>
#include <util/delay.h>

#include "keyboard.h"

unsigned char keys[4][6] = {
    {'7', '8', '9', 'm', 'v', 'O'},
    {'4', '5', '6', '*', '/', 'C'},
    {'1', '2', '3', '+', '-', '='},
    {'0', '.', 'p', 'u', 'A', '='}
};

void init_keyboard() {
    DDRC |= 0x0F; // PB 0-3 output for rows.
    DDRD &= 0x03; // PC 2-7 input for columns.
}

unsigned char scan_key() {
    while (1) {
        PORTD |= 0xFC;

             for(int i = 0;i<4;i++){
            PORTC = ~(1 << i);
            for(int j = 2;j < 8;j++){
                if(bit_is_clear(PIND, j)){
                    while(bit_is_clear(PIND, j)) _delay_ms(50);
                    return keys[i][j-2];
                }
            }
        }

    }
}
```

Uart.h

```
#ifndef UART_H

  #define UART_H

  void UsartInit(void);
  void Transmit(char* data);

#endif
```

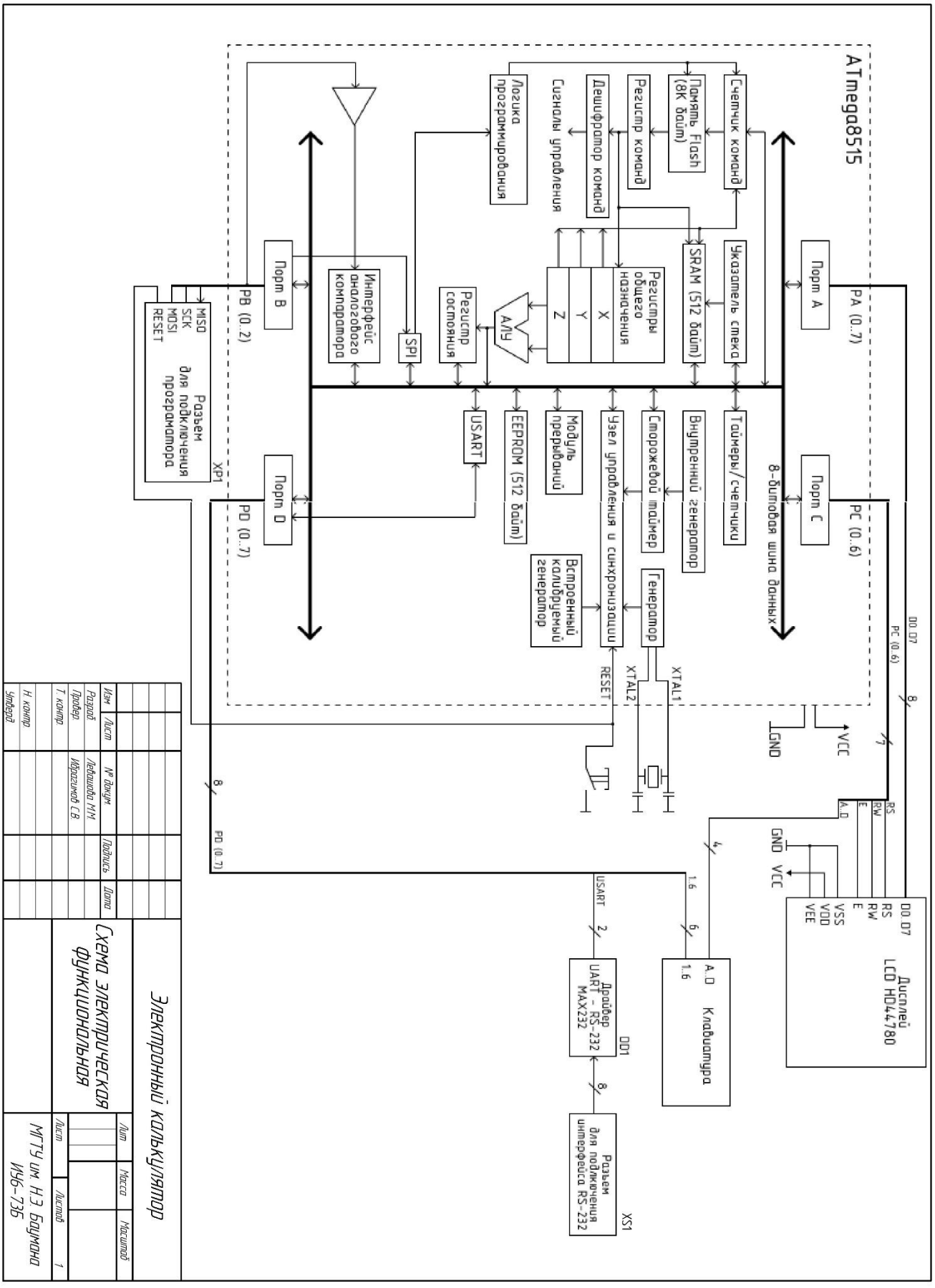
Uart.c

```
#include <avr/io.h>
#include <util/delay.h>
#include <string.h>

#include "uart.h"

void UsartInit()
{
	UBRRL=25;                                              //1 000 000 / (2400 * 16) - 1
= 25
	UCSRB=(1<<TXEN);
	UCSRC=(1<<URSEL)|(1<<UCSZ0|(1<<UCSZ1));
}

void Transmit(char* data)
{
	for (int i=0; i<strlen(data); i++)
    {
	  while(!(UCSRA&(1<<UDRE))) {}    // wait ready of port
	UDR = data[i];
	}
}
```

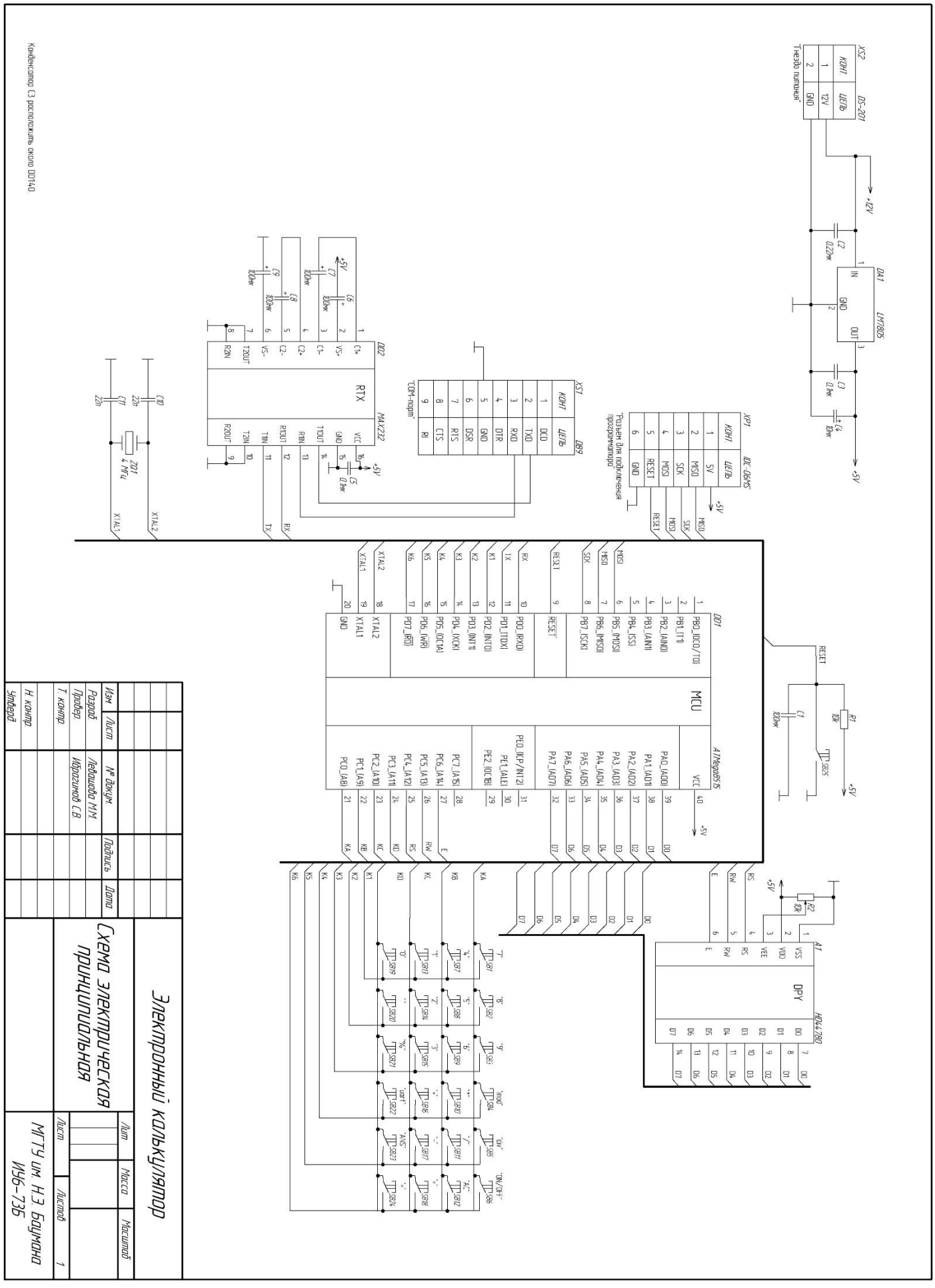
ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Графическая часть

Электрическая схема функциональная



Электрическая схема принципиальная



ПРИЛОЖЕНИЕ В

Перечень элементов

Поз. обознач.	Наименование	Кол.	Примечание
	Устройства		
A1	HD44780	1	
	Конденсаторы		
C1, C6–C9	K50-35 100мк	5	
C2	K10-19 0.22мк	1	
C3, C5	K10-17A 0.1мк	2	
C4	K50-35 10мк	1	
C10, C11	K10-17 22п	2	
	Схемы интегральные, микросборки		
DD1	ATMega8515	1	
DD2	MAX232	1	
DA1	LM7805	1	
	Резисторы		
R1–R8	CF-100 10кОм	8	
	Выключатели кнопочные		
SB1–SB25	TC-0121	25	
	Соединения контактные		
XP1	IDC-06MS	1	
XS1	DB9	1	
XS2	DS-201	1	
	Фильтр кварцевый		
ZQ1	HC-49S 4МГц	1	

Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Электронный калькулятор		
Разраб.		Левашова М.М.			Перечень элементов	Лит.	Лист 1 / Листов 1
Провер.		Ибрагимов С.В.				МГТУ им. Н.Э. Баумана ИУ6-73Б	
Н. контр.							
Утверд.							

Копировал

Формат А4