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**

О Т Ч Е Т

по лабораторной работе № 2

Название: Обработка внешних прерываний микроконтроллерах AVR.

Дисциплина: Микропроцессорные системы.

Студент ИУ6-62Б _____ С.В. Астахов, Д.И. Вариханов
(Группа) (Подпись, дата) (И.О. Фамилия)

Преподаватель _____ _____
(Подпись, дата) (И.О. Фамилия)

Москва, 2022

Вариант 1.

Цели работы:

- изучение системы прерываний микроконтроллеров AVR;
- освоение системы команд микроконтроллеров AVR;
- ознакомление с работой стека при вызове подпрограмм и обработчиков прерываний;
- программирование внешних прерываний.

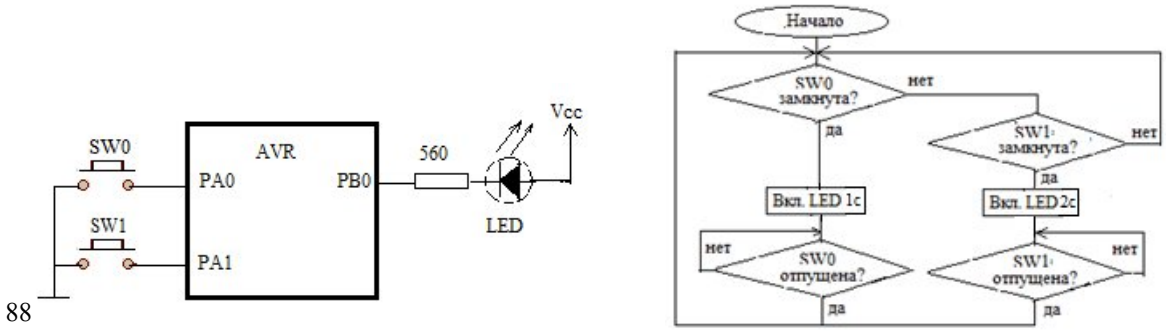
Ход работы.

Задание 1.

Убедившись в правильности работы программы восстановить параметры подпрограмм задержки и заново откомпилировать программу.

Загрузить программу в память микроконтроллера и проверить её работу на плате.

Схема контроллера и схема алгоритма приведены на рисунке 1.



а) б)

Рисунок 1 - контроллер (а) и схема алгоритма работы (б)

Исходный код программы:

```
.include "m8515def.inc"          ;файл определений для ATmega8515
.def temp = r16                        ;временный регистр
.equ led = 0                     ;0-й бит порта PB
.equ sw0 = 0                     ;0-й бит порта PA
.equ sw1 = 1                     ;1-й бит порта PA

.org $000
        rjmp INIT                ;обработка сброса
;***Инициализация МК***
INIT:           ldi temp,$5F             ;установка
        out SPL,temp            ; указателя стека
        ldi temp,$02            ; на последнюю
        out SPH,temp            ; ячейку ОЗУ
        ser temp                        ;инициализация выводов
        out DDRB,temp           ; порта PB на вывод
        out PORTB,temp          ;погасить LED
        clr temp                ;инициализация
        out DDRA,temp           ; порта PA на ввод
```

```
        ldi temp,0b00000011 ;включение 'подтягивающих'
        out PORTA,temp              ; резисторов порта PA

test_sw0:       sbic PINA,sw0 ;проверка состояния
rjmp test_sw1           ; кнопки sw0
cbi PORTB, led
rcall delay1
sbi PORTB,led

wait_0:         sbis PINA,sw0
rjmp wait_0

test_sw1: sbic PINA, sw1 ;проверка состояния
        rjmp test_sw0           ; кнопки sw1
cbi PORTB,led
rcall delay2
sbi PORTB,led

wait_1:         sbis PINA,sw1
rjmp wait_1
        rjmp test_sw0

delay1:                         ; подпрограмма 1 с
ldi r17, 55
d1: ldi r18,95
d2: ldi r19, 255
d3: dec r19
brne d3
dec r18
brne d2
dec r17
brne d1 ; подпрограмма 1 с
ret

delay2:                         ; подпрограмма 2 с
        rcall delay1
        rcall delay1
         ret
```

Расчёт задержки delay1:

T1 = 255*(1+2) = 765 циклов

T2 = 95*(765+1+2) = 72960 циклов

T3 = 55*(72960 +1+2) = 4012965 циклов

T = 4012965 : 4 Мгц = 4012965 * 0,25 мкс = 1003241,25 мкс = = ~1 с.

На рисунках 2 и 3 показано время до входа в цикл задержки и после исполнения цикла задержки.

Рисунок 2 – время до цикла задержки

Рисунок 3 – время после цикла задержки

Практическое время задержки delay1 T = 4419154.25 - 3415913.00 мкс = 1003241.25 мкс = ~1 с. Время задержки было рассчитано верно.

Работа стека в ходе выполнения программы показана на рисунках 4-6.

Stack Pointer: 0x025F – адрес вершины стека.

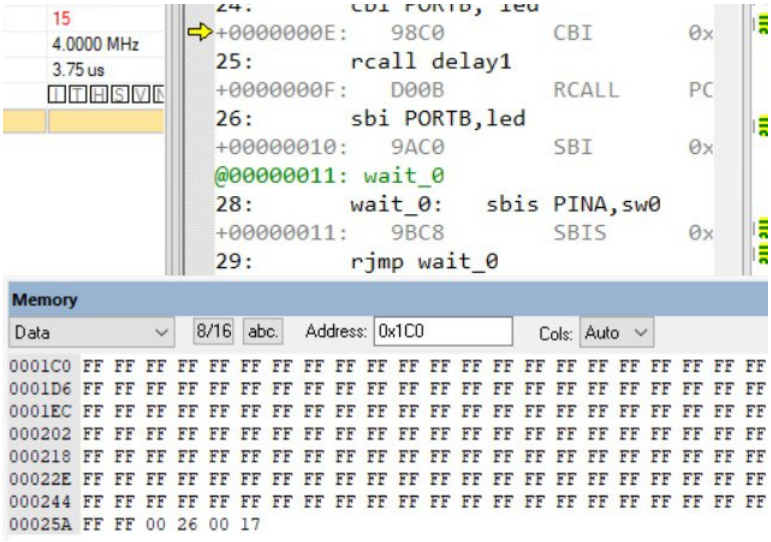


Рисунок 4 – состояние стека до передачи управления

Stack Pointer: 0x025D – в стек записался адрес возврата (адрес команды «sbi PORTB, led», идущей после вызова подрограммы «rcall delay1»), стек вырос в область младших адресов.

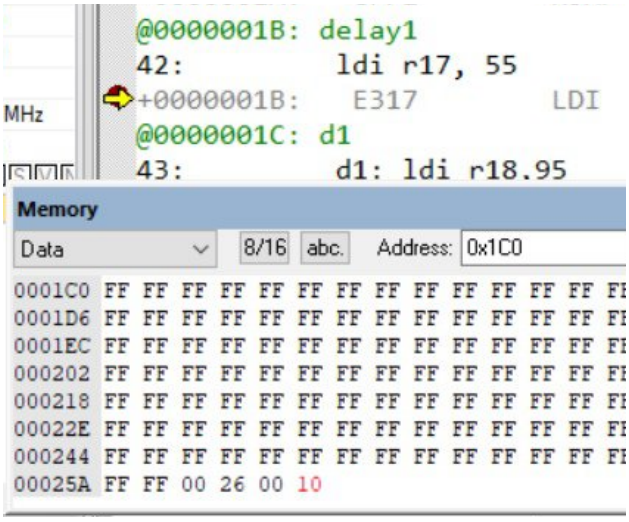


Рисунок 5 – стек после передачи управления

Stack Pointer: 0x025F – произошел возврат управления, вершина стека сместилась к старшим адресам, адрес возврата в стеке может быть перезаписан.

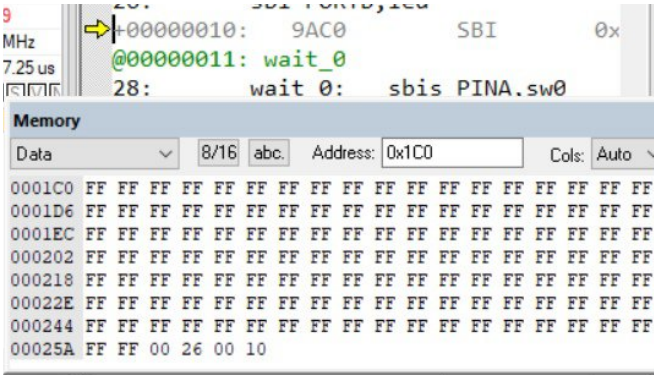


Рисунок 6 – стек после возврата управления

Как видно, при передаче управления адрес возврата записывает в стек, а указатель стека перемещается в область младших адресов. При возврате из подпрограммы указатель стека смещается в область старших адресов, позволяя перезаписывать ненужные теперь значения.

Задание 2.

Внести изменения и дополнения, касающиеся обработки прерываний, в исходный текст программы. На этапе инициализации указываются область стека для сохранения адресов возврата, при необходимости адреса векторов прерываний и сами векторы, маска прерываний, общее разрешение прерываний. Завершить инициализацию переводом процессора в фоновый режим ожидания.

Схема контроллера и схемы алгоритмов приведены на рисунках 7 и 8.

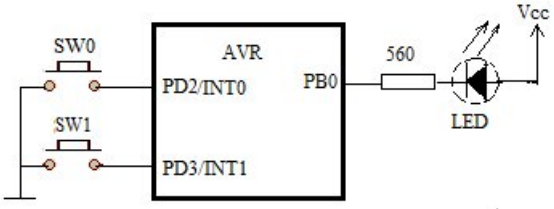


Рисунок 7 - контроллер с двумя прерываниями

Рисунок 8 - схемы алгоритмов основной программы (а) и прерываний (б, в)

Исходный код программы:

```
;Соединения на плате STK500: SW0-PD2, SW1-PD3, LED0-PB0
;*****************************************************************
.include "m8515def.inc"          ;файл определений для ATmega8515
.def temp = r16                  ;временный регистр
```

```
.equ led = 0                    ;0-о бит порта PB
.equ sw0 = 2                    ;2-й бит порта PD
.equ sw1 = 3                    ;3-й бит порта PD
.org $000
        ;***Таблица векторов прерываний, начиная с адреса $000***
        rjmp INIT                       ;обработка сброса
        rjmp led_on1            ;на обработку запроса INT0
rjmp led_on2            ;на обработку запроса INT1

;***Инициализация SP, портов, регистра маски***
INIT:       ldi temp,$5F        ;установка
            out SPL,temp        ; указателя стека
            ldi temp,$02        ; на последнюю
            out SPH,temp        ; ячейку ОЗУ
            ser temp                    ;инициализация выводов
            out DDRB,temp               ; порта PB на вывод
            out PORTB,temp              ;погасить СД
            clr temp                    ;инициализация
            out DDRD,temp               ; порта PD на ввод
            ldi temp,0b00001100 ;включение 'подтягивающих'
            out PORTD,temp              ; резисторов порта PD
            ldi temp,((1<<INT0)|(1<<INT1));разрешение прерываний
            out GICR,temp               ; в 6,7 битах регистра маски GICR
            ldi temp,0          ;обработка прерываний
            out MCUCR,temp              ; по низкому уровню
            sei                         ;глобальное разрешение прерываний
loop:       nop                         ;режим ожиданий
        rjmp loop

led_on1:
cbi PORTB,led
rcall delay1
sbi PORTB,led

wait_0:     sbis pind,sw0
rjmp wait_0
reti

led_on2:
cbi PORTB,led
rcall delay2
sbi PORTB,led

wait_1:     sbis pind,sw1
rjmp wait_1
reti
delay1:
;для подпрограммы задержки 1 с
        ldi r17, 55
        d1: ldi r18,95
        d2: ldi r19, 1;255
        d3: dec r19
        brne d3
```

```
        dec r18
        brne d2
        dec r17
        brne d1 ; подпрограмма 1 с
        ret
delay2:             ;подпрограмма задержки 2 с
       rcall delay1
       rcall delay1
ret
```

Циклы задержки аналогичны циклам задержки из задания 1. Работа стека показана на рисунка 9-14.

Stack Pointer: 0x025F – адрес вершины стека.

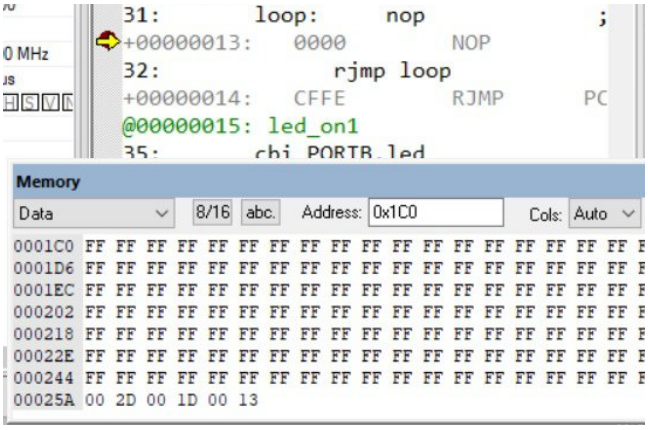


Рисунок 9 – содержимое стека до вызова прерывания

Stack Pointer: 0x025D – при вызове прерывания в стек записывается адрес возврата (в данном случае, адрес команды «rjmp loop», которая должна была быть исполнена следующей, если бы не произошло прерывания). Стек растет в область младших адресов.

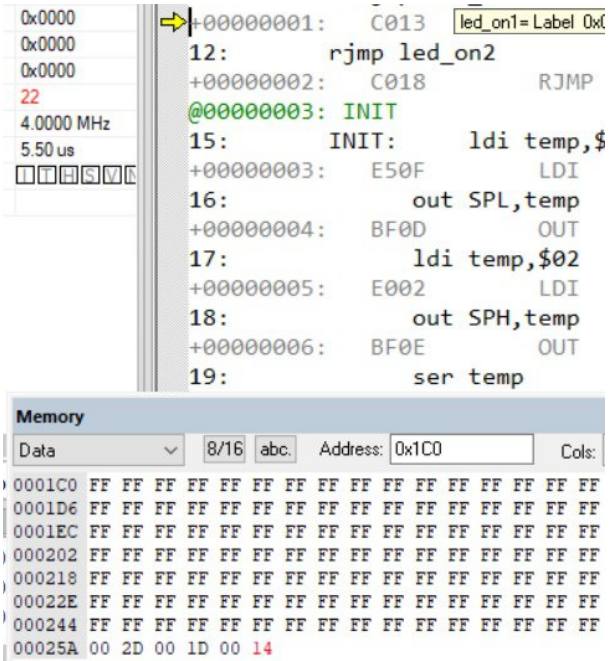


Рисунок 10 – содержимое стека после вызова прерывания

Stack Pointer: 0x025D – состояние стека аналогично предыдущему пункту, скриншот приведен для демонстрации адресов команд в обработчике прерываний.

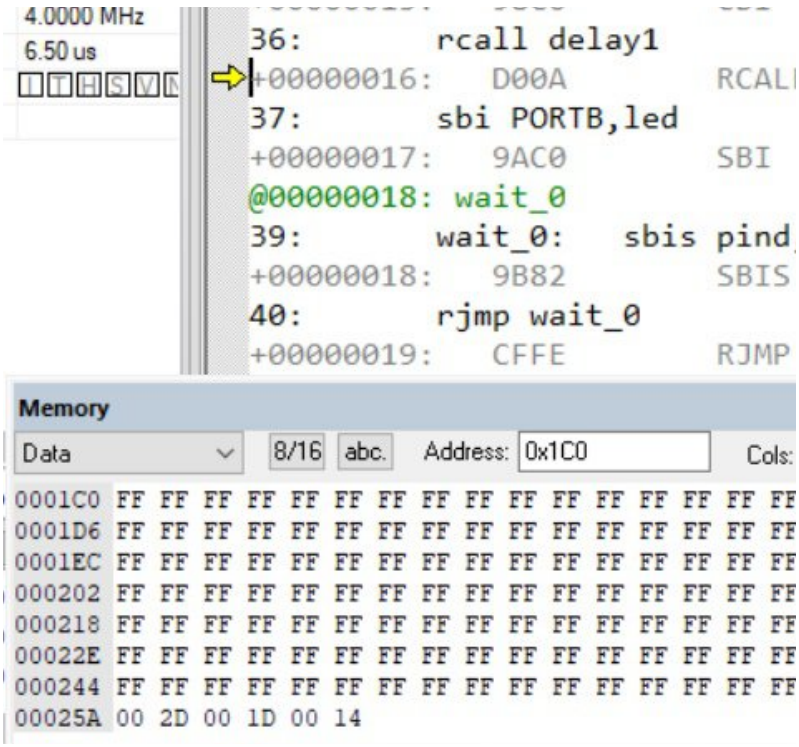


Рисунок 11 – содержимое стека после вызова прерывания, до вызова подпрограммы

Stack Pointer: 0x025B – В стек записался адрес возврата (адрес команды «rcall delay1» + 1) , стек вырос в область младших адресов.

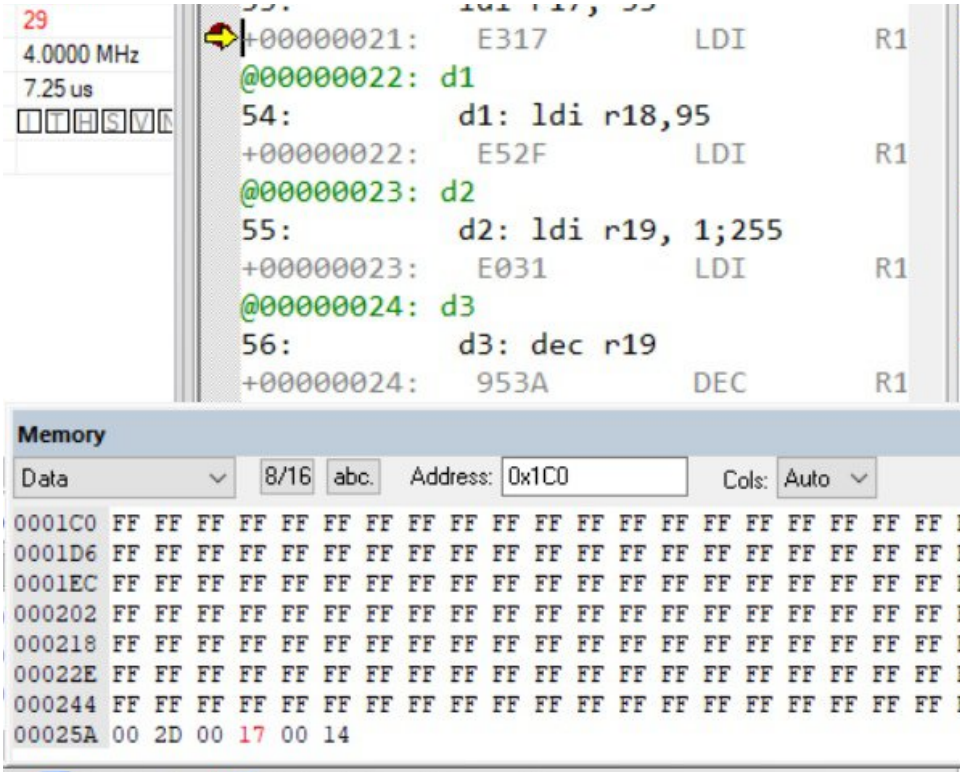


Рисунок 12 – содержимое стека после вызова прерывания и подпрограммы

Stack Pointer: 0x025D – после возврата управления вершина стека сместилась к старшим адресам.

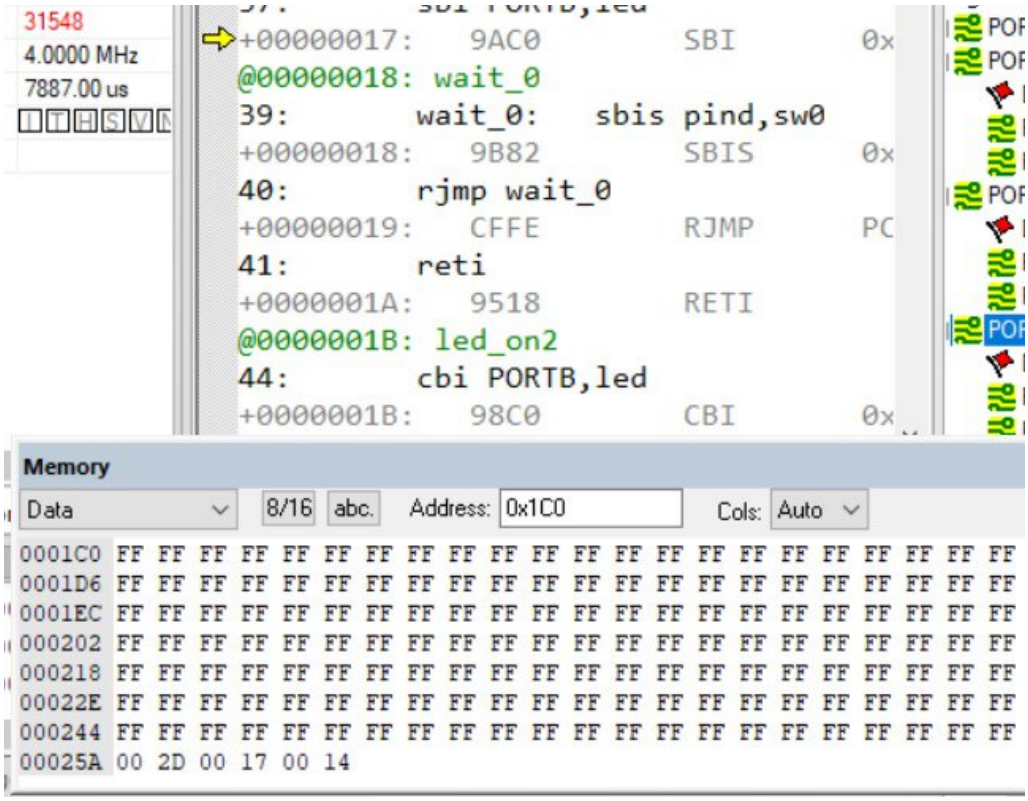


Рисунок 13 – содержимое стека после возврата из подпрограммы

Stack Pointer: 0x025F - после еще одного возврата управления вершина стека снова сместилась к старшим адресам.

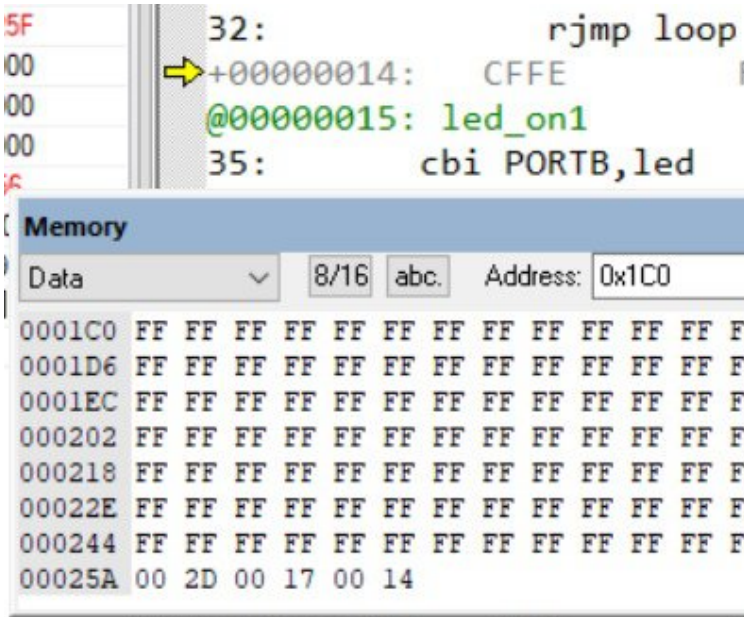


Рисунок 14 – содержимое стека после возврата из подпрограммы и обработчика прерываний

Стек работает аналогично заданию 1, но теперь передачи управления две – при вызове прерывания и при обычном вызове подпрограммы.

Задание 3.

Схема алгоритма представлена на рисунке 15.

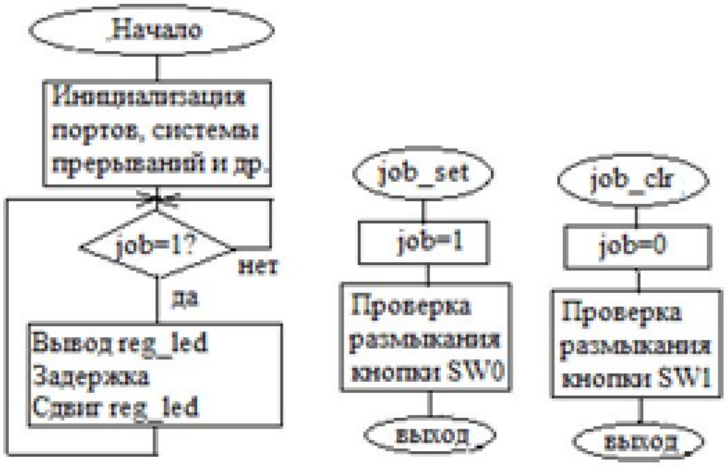


Рисунок 15 – схема алгоритма

Подготовить программу, соответствующую заданному алгоритму работы. При инициализации помимо общих директив установить исходный управляющий код в регистре индикации, нулевой разряд которого инициирует зажигание светодиода, настроить на вывод порт микроконтроллера и указатель стека.

В цикле алгоритма на каждой итерации выполнять вывод в порт микроконтроллера управляющего слова, временную задержку, затем циклический сдвиг влево управляющего слова.

Исходный код программы:

```
.include "m8515def.inc"
.def job = r21
.def temp = r16
.def reg_led = r20
.equ sw3 = 3
.equ sw0 = 0
.org $000

rjmp INIT
.org $002
rjmp job_set
.org $00D
rjmp job_clr

INIT: ldi temp,$5F
out SPL,temp
ldi temp,$02
out SPH,temp

ser temp
out DDRB,temp
out PORTB,temp
```

```
clr temp
out DDRD,temp
ldi temp,0b00001000
out PORTD,temp
ldi temp,0b00000001
out PORTE,temp
ldi temp,((1<<INT2)|(1<<INT1))
out GICR,temp ;
ldi temp,0b00000011
out MCUCR,temp
ldi temp,0b00000001
out EMCUCR,temp
ldi reg_led, 0xFE
ldi temp, 0xFF
ldi job, 0x00
sec
sei

loop: sbrs job,0
rjmp loop
out PORTB,reg_led
rcall delay
rol reg_led
rjmp LOOP
end: rjmp loop

job_set: ldi job,1
wait_0: sbis pind,sw3
rjmp wait_0
reti

job_clr: clr job
wait_1: sbis pine,sw0
rjmp wait_1
reti

delay:
ldi r17, 215
d1: ldi r18,255
d2: ldi r19, 4
d3: dec r19
brne d3
dec r18
brne d2
dec r17
brne d1
ret
```

Задание 4.

Объединить запросы прерываний от двух кнопок. При нажатии кнопки SW0 включается светодиод на 1 с, кнопки SW1 - на 2 с. Схема проекта представлена на рисунке 16.

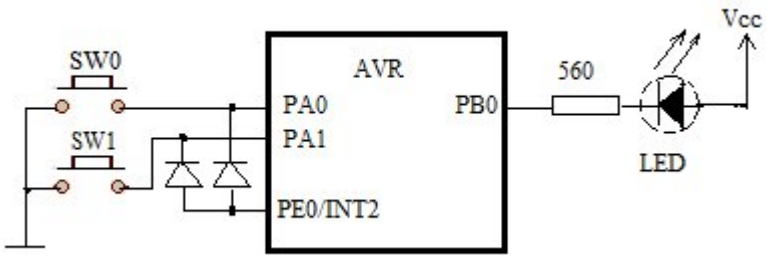


Рисунок 16 – схема проекта

Схема алгоритма представлена на рисунке 17.

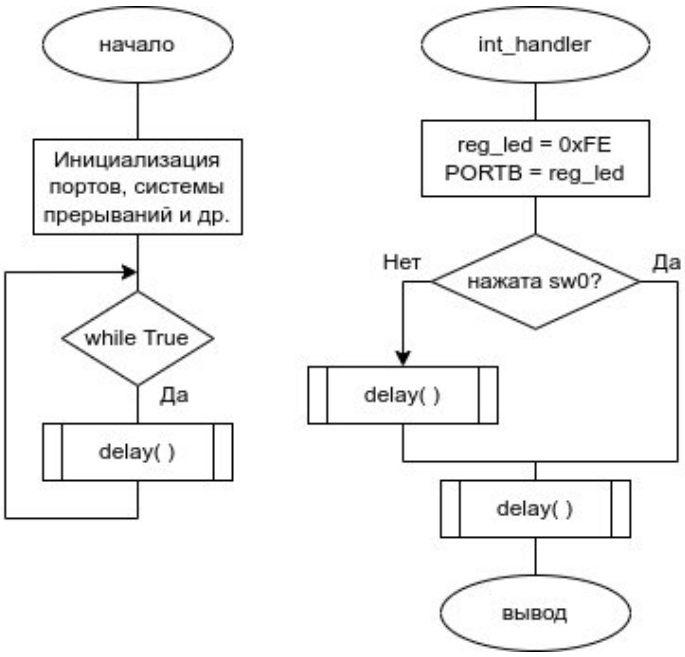


Рисунок 17 – схема алгоритма

Составить программу согласно описанному алгоритму работы. Отладить работу программы в пошаговом режиме в среде AVR Studio.

Исходный код программы:

```
.include "m8515def.inc"
.def job = r21
.def temp = r16
.def reg_led = r20

.equ sw0 = 0
.equ sw1 = 1
```

```
.org $000
rjmp INIT
.org $00D
rjmp int_handler

INIT: ldi temp,$5F
out SPL,temp
ldi temp,$02
out SPH,temp

ser temp
out DDRB,temp
out PORTB,temp
clr temp
out DDRA,temp
ldi temp,0b00000011 ;подтягивающие
out PORTA,temp
ldi temp,0b00000001
out PORTE,temp
ldi temp,(1<<INT2)
out GICR,temp ;
;ldi temp,0b00000011 ;LH
;out MCUCR,temp
ldi temp,0b00000000
out EMCUCR,temp
ldi reg_led, 0b11111111
ldi temp, 0xFF
ldi job, 0x00
sec
sei


loop:
rcall delay
rjmp loop

int_handler:
ldi reg_led, 0xFE
out portb, reg_led
sbic pina, sw0
rcall delay
rcall delay


ldi reg_led, 0xFF
out portb, reg_led
reti

delay:
ldi r17, 235
d1: ldi r18,255
d2: ldi r19, 30
d3: dec r19
brne d3
```

dec r18
brne d2
dec r17
brne d1
ret

Собрать схему для моделирования в среде ISIS Proteus (рисунок 18).

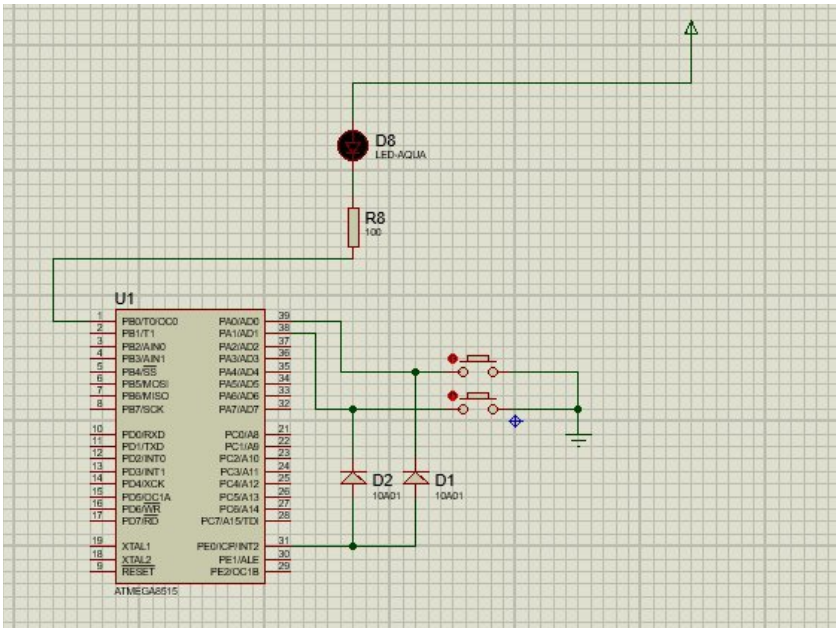


Рисунок 18 – схема в Proteus

Проверка работы программы посредством симуляции в Proteus показала, что программа работает корректно.

Задание 5.

Собрать схему на плате STK500. Загрузить программу в память микроконтроллера и проверить работу программы на макете.

Вывод: в ходе выполнения лабораторной работы была изучена система прерываний в микроконтроллерах AVR, работа стека при вызове подпрограмм и прерываний, получены навыки программирования внешних прерываний. Также, был получен опыт объединения сигналов прерываний с последующим распознаванием источника прерываний.