ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΙΚΡΟΫΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ ΚΑΙ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΑΚΑΔ. ΕΤΟΣ 2024-2025

ΑΘΗΝΑ 10 Οκτωβρίου 2024

2η ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ
ΓΙΑ ΤΟ ΜΑΘΗΜΑ "Εργαστήριο Μικροϋπολογιστών"

ΟΜΑΔΑ 23

Συνεργάτες

Νικόλαος Αναγνώστου
03121818

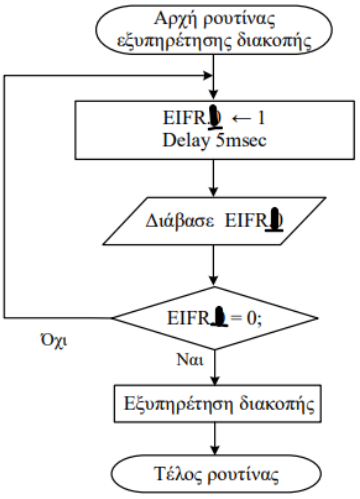
Νικόλαος Λάππας
03121098

Ζήτημα 2.1

Α) Στο συγκεκριμένο ερώτημα καλούμαστε να φτιάξουμε ένα πρόγραμμα σε avr assembly στο οποίο να απαριθμούμε το πλήθος των διακοπών INT1 από 0 έως 63. Για τον σκοπό αυτό έχουμε χρησιμοποιήσει έναν μετρητή, τον counter = r16, τον οποίο αρχικοποιούμε στην τιμή μηδέν, και μέχρι να ξεπεράσει το 63 τυπώνουμε τον αριθμό των διακοπών (PD3) που έχουν προκύψει στα led PC5-PC0. Έχουμε ενσωματώσει στον κώδικα την απόρριψη των διακοπών όσο είναι πατημένο το button PD5 (στον κώδικα με κόκκινο χρώμα). Ο κώδικας που ακολουθεί δεν περιέχει το τμήμα κώδικα που δίνει η εκφώνηση.

```
.include "m328pbdef.inc"
.equ FOSC_MHZ = 16              ; Microcontroller operating frequency in MHz
.equ DEL_mS = 500               ; Delay in mS (valid number from 1 to 4095)
.equ DEL_NU = FOSC_MHZ * DEL_mS ; delay_mS routine: (1000*DEL_NU+6) cycles
.equ delay_for_int1 = FOSC_MHZ * 5 ; 5msec
.def counter = r16              ; counter for external interrupts

.org 0x0
rjmp reset

.org 0x4
rjmp isr1

reset:
  ; stack initialisation
  ldi r24,LOW(RAMEND)
  out SPL,r24
  ldi r24,HIGH(RAMEND)
  out SPH,r24
  clr r24

  ; PORTs initialisation
  ser r26
  out DDRB, r26          ; init PORTB as output

  ser r26
  out DDRC, r26          ; init PORTC as output

  clr r26
  out DDRD, r26          ; init PORTB as input

  ;Interrupt on rising edge of INT1 pin
  ldi r24, (1 << ISC11) | (1 << ISC10)
  sts EICRA, r24

  ;Enable the INT1 interrupt
  ldi r24, (1 << INT1)
```

```
   out EIMSK, r24

   sei                          ; Enable general flag of interrupts
   clr r24

   ldi counter, 0               ; initialize counter for interrupts

;External interrupt 1 service routine
isr1:
   push r23
   push r24
   push r25
   push r26

   in r25, SREG
   push r25                     ; save r23, r24, r25, r26, SREG to stack
   ; ------------------------------------------------------------
   ; get rid of bounce phenomenon (B)
   clear_flag:
         ldi r24, (1 << INTF1)
         out EIFR, r24          ; Clear external interrupt 0 flag

         ldi r24, low(delay_for_int1)
         ldi r25, high(delay_for_int1); set delay (number of cycles)
         rcall delay_mS         ; delay 5msec

         ; check if EIFR.1 1st bit is zero
         ; if yes, then skip the next operation (jmp or rjmp)
         ; and continue with the interruption routine
         sbic EIFR, 1
         jmp clear_flag         ; 3 cycles
         ;rjmp clear_flag       ; 2 cycles
   ;------------------------------------------------------------
   in r26, PIND                 ; Read the state of PORTD
   sbrs r26, 5                  ; Skip the next instruction if PD5 is set
   rjmp dont_count              ; Jump to 'dont_count'

   inc counter                  ; Increase counter
   cpi counter, 64              ; If counter > 63, reset
   breq reset

dont_count:
   out PORTC, counter           ; if counter <= 63, print the answer

   ; Retrieve r23, r24, r25, r26, SREG from stack
   pop r25
   out SREG, r25
   pop r26
   pop r25
```



```
pop r24
pop r23
reti                    ; Return from interrupt
```

Β) Για το ερώτημα αυτό προσαρμόσαμε τον παραπάνω κώδικα έτσι ώστε να αποφεύγεται το φαινόμενο του σπινθηρισμού. Συγκεκριμένα, θέλουμε να αποτρέψουμε την καταμέτρηση συνεχόμενων διακοπών PD3 εάν αυτές προέκυψαν σε χρόνο μικρότερο του 5 msec. Για τον σκοπό αυτό ακολουθούμε το δοσμένο λογικό διάγραμμα (κατάλληλα προσαρμοσμένο ώστε να ανταποκρίνεται στην διακοπή INT1), κώδικας ο οποίος φαίνεται με bold γραμματοσειρά παραπάνω. Ορίσαμε μέσω της .equ την μεταβλητή **delay_for_int1** να περιέχει τον χρόνο που θέλουμε (5 msec) και στην συνέχεια γράψαμε την ρουτίνα **clear_flag,** η οποία πρακτικά μηδενίζει το EIFR.1 (external interrupt flag register of INT1), δημιουργεί καθυστέρηση 5msec, και εξετάζει αν σε αυτόν τον χρόνο έχει γίνει ξανά set το EIFR.1. Αν ναι τότε επαναλαμβάνει την ίδια διαδικασία αγνοώντας την νέα αυτή διακοπή, και αν όχι, τότε προχωράει με την ρουτίνα εξυπηρέτησης της διακοπής.

Ζήτημα 2.2

Στο 2.2 Α) ζητήθηκε η υλοποίηση ενός απλού μετρητή από το 0 μέχρι το 31 ,με ενδιάμεση καθυστέρηση 2000ms (η οποία επιτεύχθηκε με ακρίβεια λόγω του δικού μας χρονομετρητή από την 1η σειρά που είχε και έχει απόλυτη ακρίβεια).Το πρόγραμμα αυτό είναι τόσο απλό που δεν κρίνεται ότι θέλει άλλη εξήγηση.

Στο 2.2 Β) ζητείται να έχουμε ρυθμίσει σωστά το πρόγραμμα μας ώστε να αντιδρά σε interrupts INT0 και όταν το κάνει να μετρά πόσα κουμπιά είναι πατημένα από τα PB3-PB0 και να ανάβει τόσα ακριβώς σε πλήθος στα PC0-PC3 ξεκινώντας από το PC0.Όταν η διακοπή ολοκληρώνεται και επιστρέφουμε στο μετρητή ,εκείνος έπρεπε να συνεχίζει.

Η διαδικασία στιγματίζεται από το ότι 1) στην αρχή κάναμε push το sreg (και στο τέλος κανουμε pop 2)χρησιμοποιούμε τη final για να υπολογίσουμε πόσα και ποια λαμπάκια θα πρέπει να ανοίξουν κάθε φορά και 3) εφευρέθηκε ένας αυτόματος μηχανισμός στον οποίο καθορίζεται σταδιακά το final,και αυτός είναι ο εξής: ”δες το πρώτο bit του critical και μετά κάντο λογικό or με το final,αν το bit ήταν 1 τότε μεταπήδησε στον έλεγχο για το v+1οστο bit της final(δηλαδη στον έλεγχο για το αν το v+1οστο bit της portc πρέπει να γίνει 0)” και αύξησε το counter που μετράει μέχρι 4 φορές, αν το bit είναι 0 τότε συνέχισε τον έλεγχο για το αν το v-οστο bit του final πρέπει να είναι μηδέν και αύξησε το counter κατά ένα.”

Αυτή η διαδικασία παρομοιάστηκε στον κώδικα με brain και για το όλο σκεπτικό χρησιμοποιήθηκε ένας καταχωρητής που ονομάστηκε neuron ,ονομασία που ακολουθεί αυτή την προσομοίωση .

Ακολουθεί ο κώδικας για την όλη υλοποίηση (με κόκκινα όσα είναι (σημαντικά^Β_ερώτημα)):

```
.include "m328pbdef.inc"
.equ M = 16 ; Mhz
.equ req = 2000 ;requested msec
.def counter = r17
.def critical = r31
.def neuron = r30
.def final = r29
.def counter1 = r28


  .org 0x0
  rjmp reset
  .org 0x2
  rjmp handler_INT0

  reset:
  ;stack initialisation
  ldi r24,LOW(RAMEND)
  out SPL,r24
  ldi r24,HIGH(RAMEND)
```

```
out SPH,r24


clr r24
clr r25


;setting PORTC as input
ser r16
out DDRC,r16
clr r16
;PINB as inputs
out DDRB,r16
out DDRD,r16



ldi r16,0
STS EICRA,r16
ldi r16,1
out EIMSK,r16
clr r16

;timer initialisation
ldi r24,LOW(req)
ldi r25,HIGH(req)

sei
loop:

clr counter

main:

out PORTC,counter
rcall wait_x_msec
inc counter
cpi counter,32
brne main
rjmp loop


handler_INT0:
IN R1,SREG
PUSH R1
rcall handler_0_brain
andi final,0x0F
out PORTC,final
POP R1
```

```
OUT SREG,R1
reti


handler_0_brain: ;preparing registers for the initialisation
in critical,PINB
com critical
andi critical,0x0F
clr final
clr counter1 ;will count up to four times
rcall first_bit_setup
ret


first_bit_setup:
mov neuron,critical
andi neuron,0x01
or final,neuron
inc counter1
cpi counter1,4
breq log_out
cpi neuron,0x01
breq second_bit_setup
lsr critical
rjmp first_bit_setup


second_bit_setup:
mov neuron,critical
andi neuron,0x02
or final,neuron
inc counter1
cpi counter1,4
breq log_out
cpi neuron,0x02
breq third_bit_setup
lsr critical
rjmp second_bit_setup



third_bit_setup:
mov neuron,critical
andi neuron,0x04
or final,neuron
inc counter1
cpi counter1,4
breq log_out
cpi neuron,0x04
```

```
breq fourth_bit_setup
lsr critical
rjmp third_bit_setup


fourth_bit_setup:
mov neuron,critical
andi neuron,0x08
or final,neuron
out PORTC,final
log_out:
ret
```

Ζήτημα 2.3 – assembly

Σε αυτή την άσκηση προσομοιάζεται το άναμμα και το σβήσιμο ενός φωτιστικού σώματος κάνοντας χρήση της διακοπής INT1 (PD3).Έπρεπε σε κάθε πάτημα του PD3 να ανάβει το PB0 για 5 δεύτερα αλλά με την exception ότι αν τυχών η διακοπή INT1 ενεργοποιούταν την στιγμή που είτε το PB0 μόνο ήταν αναμμένο ,είτε τα 6 led PB5-PB0 ήταν αναμμένα η χρονομέτρηση έπρεπε να ξαναρχίζει με το εξής τρόπο: να ανάψουν όλα τα led PB5-PB0 για μισό δεύτερο και κατόπιν να ανάβει μόνο το PB0 για 4,5 δεύτερα και μετά να σβήνει και να τελειώνει η διακοπή. Αν ενδιάμεσα επαναληφθεί διακοπή να γίνεται η ίδια διακοπή.

Να σημειωθεί πως για να λειτουργήσει κάτι τέτοιο σωστά σε assembly έπρεπε με κάποιο τρόπο να επιβληθεί στο πρόγραμμα να «ξεχνάει» τις προηγούμενες διακοπές…Αυτό έγινε κάνοντας σε κάθε διακοπή pop r1 δύο φορές ώστε η στοίβα να μην δείχνει στην πραγματική διεύθυνση επιστροφής και κατόπιν με rcall της handler της INT1 και αμέσως κάτω από αυτό rjmp στην main μία ατέρμονη loop που περιμένει τις διακοπές.

Ο κώδικας :

```
.include "m328pbdef.inc"
.equ req = 5000
.def epoptis = r23


.org 0x0
rjmp reset
.org 0x4
pop r1
pop r1
rcall handler_INT1
rjmp main

reset:
ldi r16,LOW(RAMEND)
```

```
out SPL,r16
ldi r16,HIGH(RAMEND)
out SPH,r16

;interrupt enable
ldi r16,0x08
STS EICRA,r16
ldi r16,0x02
out EIMSK,r16
clr r16

out DDRD,r16
ser r16
out DDRB,r16
main:
clr epoptis
sei ;enabling interrupts
out PORTB,epoptis
rjmp main


handler_INT1:
sei
cpi epoptis,1
breq exception
cpi epoptis,63
breq exception
 ldi r24,LOW(5000)
ldi r25,HIGH(5000)
rjmp normal_function

exception:

ldi r24,LOW(500)
ldi r25,HIGH(500)

ldi epoptis,63
out PORTB,epoptis
rcall wait_x_msec

ldi r24,LOW(4500)
ldi r25,HIGH(4500)

rjmp normal_function



normal_function:
ldi epoptis,1
```

```
   out PORTB,epoptis
   rcall wait_x_msec
   ret

   ;loop
wait_x_msec:
ldi r26,LOW(15984);1 cycle
ldi r27,HIGH(15984);1 cycle
helper:
   sbiw r26,4 ;2 cycles
   brne helper ;2 cycles or 1 cycle for the last iteration
;15984 -> helper consumes 15983 cycles
;so after helper we consume totally 15985 cycles

sbiw r24,1 ;2 cycle
breq last_msec ;1 cycle but if last msec 2 cycles

;for all msec except from the last -> 15985 + 2 + 1 = 15988 cycles

nop
nop
nop
nop
nop
nop
nop
nop
nop
nop ;10 cycles

;extra 10 cycles -> 15998

brne wait_x_msec ;2 cycles total 16000 cycles with this operation

last_msec:
;in the last iteration (last msec) we have 15989 cycles
nop
nop
nop
nop

;extra 4 cycles -> 15993 cycles
ret ;4 cycles
```

;with ret and rcall we calculated exactly 16000 cycles again

;so in both cases we end up having 16000 cycles -> 1 msec * (desired time)

Ζήτημα 2.3 – c

Η συγκεκριμένη άσκηση προσομοιάζει το άναμμα και το σβήσιμο ενός φωτιστικού σώματος κάνοντας χρήση της διακοπής INT1 (PD3). Συγκεκριμένα, έχουμε έναν μετρητή που κάθε φορά που ενεργοποιείται μια διακοπή τον αρχικοποιούμε στην τιμή μηδέν εντός της ρουτίνας εξυπηρέτησης της διακοπής καθώς, επίσης, θέτουμε στην τιμή 1 ένα flag που μας δείχνει ότι έχει προκύψει μια διακοπή. Αφού ενεργοποιήσουμε τις διακοπές στην κατερχόμενη ακμή του ρολογιού και ενεργοποιήσουμε τις πύλες εισόδου-εξόδου, μπαίνουμε μέσα σε ένα while(1) loop στο οποίο εξετάζουμε αν έχει προκύψει διακοπή (interrupt_flag = 1), και αν ναι τότε ανάβουμε για 5 δευτερόλεπτα το led PB0. Αν μέσα στον χρόνο αυτό έχει ενεργοποιηθεί ξανά η διακοπή, τότε και μόνο τότε εισερχόμαστε στο κομμάτι του κώδικα που παρατίθεται με bold, όπου ανάβουμε τα led PB0-PB5 για 0.5 δευτερόλεπτα και αφήνουμε ανοιχτό μετά το PB0 μόνο για ακόμα 4.5 δευτερόλεπτα.

Κάτι σημαντικό που παρατηρήσαμε είναι ότι το #define που φαίνεται με κόκκινο χρώμα για την F_CPU πρέπει να ορίζεται πιο πάνω από τα #include (ειδικά το #include <util/delay.h>) επειδή η συνάρτηση _delay_ms() χρησιμοποιεί την συχνότητα του επεξεργαστή που της ορίζουμε κάθε φορά και εμείς θέλουμε να χρησιμοποιεί την συχνότητα του μικροεπεξεργαστή ATmega328PB που είναι 16MHz.

```
#define F_CPU 16000000UL        // needs to be here before #include <util/delay.h>

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

volatile uint8_t interrupt_flag = 0;// indicates interrupt occurence
volatile uint16_t counter = 0;     // counter for timing

// External INT1 interrupt routine (PD3)
ISR(INT1_vect)
{
  interrupt_flag = 1;          // interrupt occurs, open led PB0
  counter = 0;                // reset counter

  EIFR = (1 << INTF1);         // Clear the flag of interrupt INTF1
}

int main(void)
{
  // Interrupt on falling edge of INT1 pin
  EICRA = (1 << ISC11) | (0 << ISC10);
  // Enable the INT1 interrupt mask (PD3)
  EIMSK = (1 << INT1);   // Mask for external interrupt INT1

  sei();              // Enable global interrupts
```

```
  DDRB = 0xFF;          // Initialize PORTB as output

  // remember to check if the following are necessary
  DDRD &= ~(1 << PD3);    // Initialize PD3 as input
  PORTD |= (1 << PD3);    // Initialize pull-up resistor of PD3

  while (1)
  {
    if(interrupt_flag)
    {
      interrupt_flag = 0;

      while(counter < 5000)    // till 5 seconds pass
      {
        PORTB = 0x01;       // open led PB0
        _delay_ms(1);       // delay 1 msec
        counter++;

        // if interrupt flag is set again
        if(interrupt_flag)
        {
          interrupt_flag = 0;
          counter = 500;   // reset the timer of 5 seconds
          /*counter=500 and not 0 because we have a delay of 0.5 seconds
           so we need to adjust the counter as if it counted these seconds too*/
          PORTB = 0x3F;    // open PB5-PB0
          _delay_ms(500);  // delay 0.5 sec
          PORTB = 0x01;    // open only PB0
        }
      }
      // Turn off PB0 LED of PORTB after 5sec
      PORTB = 0x00;
    }
  }
  return 0;
}
```