Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών

1η Σειρά Ασκήσεων

Μάθημα: Εργαστήριο Μικροϋπολογιστών - Ομάδα 30

Εξάμηνο: 7ο

Ονοματεπώνυμα: Αλεξοπούλου Γεωργία (ΑΜ: 03120164), Γκενάκου Ζωή (ΑΜ: 03120015)

Ζήτημα 1.1:

Α) Να υλοποιηθεί κώδικας assembly, για τον μικροελεγκτή ATmega328, στη μορφή που εμφανίζεται παρακάτω, ο οποίος να παράγει ρυθμιζόμενες χρονικές καθυστερήσεις με απόλυτη ακρίβεια.

…
rcall wait_x_msec
…
wait_x_msec:
….
ret

```
.include "m328PBdef.inc"

.equ FOSC_MHZ=16  ;MHz
.equ DEL_mS=100   ;mS
.equ F1=FOSC_MHZ*DEL_mS

 reset:
    ldi r24,low(RAMEND)
    out SPL,r24
```

```
    ldi r24,high(RAMEND)
    out SPH,r24

    ser r24
    out DDRD,r24
    out PORTD,r24

    clr r26

main:
    ldi r24, low(F1-2)
    ldi r25, high(F1-2)
    rcall wait_x_msec
    inc r26
    out PORTD,r26
    rjmp main


wait_x_msec:
    ldi     r23, 249        ; (1 cycle)
    nop

delay_one:
    dec r23           ; 1 cycle
    nop
    brne delay_one          ; 1 or 2 cycles
    ;total group delay 996 cycles

    ldi     r23, 249        ; (1 cycle)

delay_two:
    dec r23           ; 1 cycle
    nop
    brne delay_two          ; 1 or 2 cycles
    ;total group delay 996 cycles

    ldi     r23, 249        ; (1 cycle)


delay_three:
    ldi     r23, 249        ; (1 cycle)
loop:
    dec r23           ; 1 cycle
```

```
nop                     ; 1 cycle
brne loop          ; 1 or 2 cycles

sbiw r24 ,1             ; 2 cycles
brne delay_three        ; 1 or 2 cycles

ret                     ;4 cycles
```

Για την υλοποίηση του ζητήματος θα χρησιμοποιήσουμε ως βάση την υπορουτίνα delay_mS που έχει δοθεί ως παράδειγμα στο εργαστήριο.
Για να επιτευχθεί απόλυτη ακρίβεια στην υπορουτίνα καθυστέρησης, θα πρέπει οι κύκλοι που θα μεσολαβούν για μια καθυστέρηση (πχ 100ms) να προκύπτουν ως εξής:

- Η συχνότητα του μικροεπεξεργαστή είναι 16MHz, δηλαδή 16000000 κύκλοι ανα second.
  Επομένως 1 κύκλος κάνει $\frac{1}{16*10^6} s = 0.0625\ \mu s$ και 1ms = 16000 κύκλοι
  Επομένως μια καθυστέρηση 100ms προκύπτει από την εκτέλεση 1600000 κύκλων

Δηλαδή στόχος μας για να επιτύχουμε απόλυτη ακρίβεια στην χρονική καθυστέρηση, μεταξύ της εντολής rcall wait_x_msec και της επόμενης εντολής πρέπει να διαμεσολαβούν 1600000 κύκλοι.

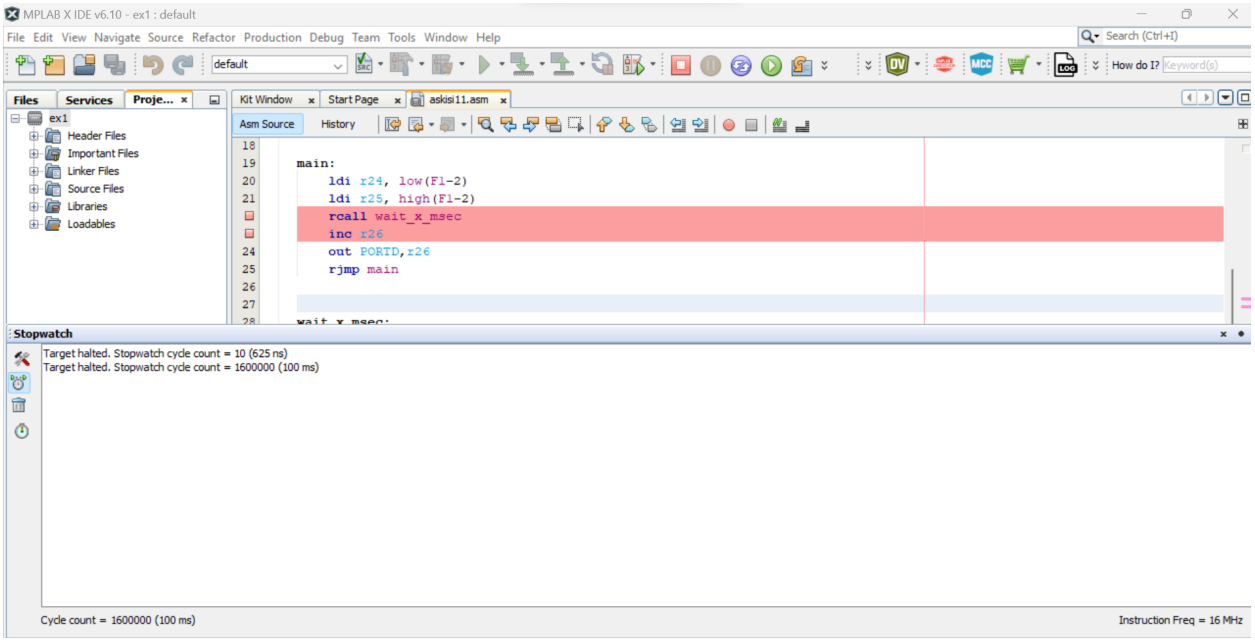
Στο παράδειγμα του εργαστηρίου διαμεσολαβούσαν μεταξύ των εντολών rcall delay_mS και της επόμενης εντολής 1600006 κύκλοι. Για να γλιτώσουμε μερικούς κύκλους, σπάμε την ήδη υπάρχουσα λούπα σε 3 μικρότερες προκειμένου μετά το ret της υπορουτίνας να έχουν μεσολαβήσει 1600000 ακριβώς κύκλοι.

Άρα με αυτή την υλοποίηση προκύπτουν:

3 cycles (rcall) + 2 cycles (ldi + nop) + 996 (delay_one) + 996 (delay_two) + 1000*1997 + 999 + 4 = 1600000 κύκλοι ακριβώς.

Τρέχοντας το παραπάνω πρόγραμμα στον Simulator του MPLABX, και τοποθετώντας δύο breakpoints στις εντολές rcall wait_x_msec και inc r26, μπορούμε να υπολογίσουμε τον χρόνο και τους κύκλους που μεσολαβούν μεταξύ των δύο εντολών με το εργαλείο Stopwatch.

Όπως βλέπουμε παρακάτω καταφέραμε με απόλυτη ακρίβεια να εισάγουμε χρονοκαθυστέρηση 100ms.



Ζήτημα 1.2:

Να υλοποιηθεί κώδικας assembly, για τον μικροελεγκτή ATmega328, για τον υπολογισμό των λογικών συναρτήσεων:
F0 = (A’ · B’ · C' + D)’
F1= (A’+C) · (B’+D’)
Ο υπολογισμός των συναρτήσεων να εισαχθεί σε ένα loop, το όποιο θα εκτελεστεί 5 φορές. Σε κάθε κύκλο η μεταβλητή A θα αυξάνεται κατά 0x01, η μεταβλητή B θα αυξάνεται κατά 0x02, η μεταβλητή C θα αυξάνεται κατά 0x04 και η μεταβλητή D θα αυξάνεται κατά 0x05.
Οι μεταβλητές A, B, C, D είναι μεγέθους ενός byte και έχουν αρχικές τιμές A=0x45, B=0x23, C=0x21 και D=0x01.

Υπολογισμοί για ζήτημα 1.2:

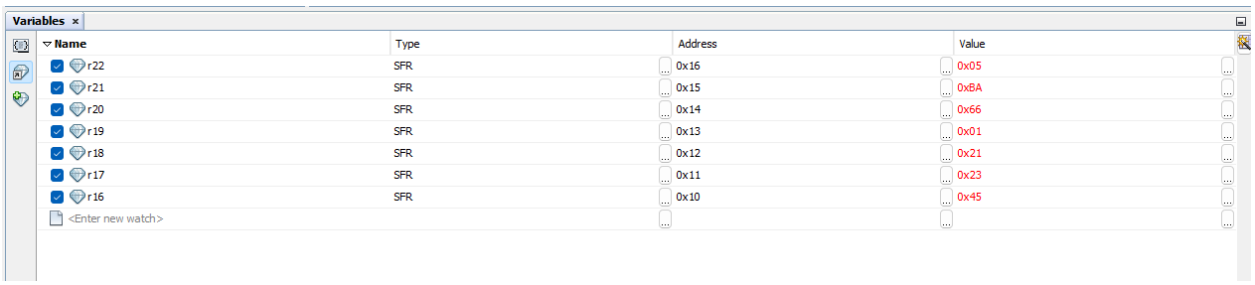
A	B	C	D	F0	F1
0x45	0x23	0x21	0x01	0x66	0xBA
0x46	0x25	0x25	0x06	0x61	0xB9
0x47	0x27	0x29	0x0B	0x64	0xB8
0x48	0x29	0x2D	0x10	0x6D	0xBF
0x49	0x2B	0x31	0x15	0x6A	0xB6

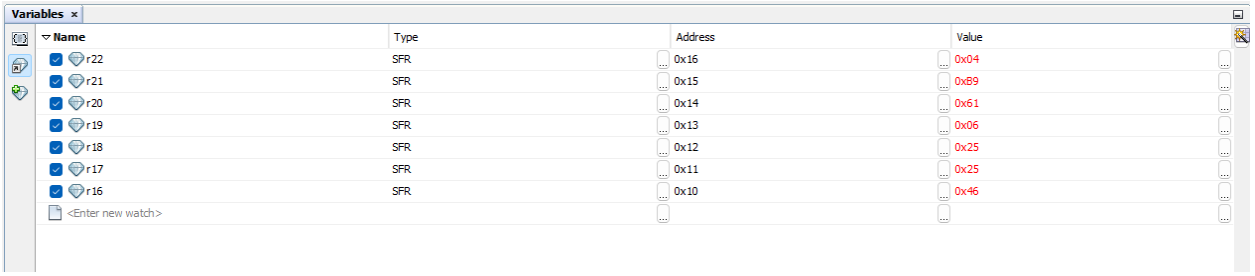
```
.include "m328PBdef.inc"
.equ FOSC_MHZ=16  ;MHz
.equ DEL_mS=100   ;mS
.equ F2=FOSC_MHZ*DEL_mS

.def A = r16  ; Variable A
.def B = r17  ; Variable B
.def C = r18  ; Variable C
.def D = r19  ; Variable D
.def F0 = r20 ; Result for F0
.def F1 = r21 ; Result for F1
.def i = r22   ; Loop counter


reset:
    ldi r24,LOW(RAMEND)     ; Initialize stack pointer
    out SPL,r24
    ldi r24,HIGH(RAMEND)
    out SPH,r24

    ldi A, 0x45             ; Initialize variables
    nop
    ldi B, 0x23
    nop
    ldi C, 0x21
    nop
    ldi D, 0x01
    nop
    ldi i, 0x05

main:
    clr F0
    clr F1

    rcall F_0
    rcall F_1

    ldi r24, low(F2)
    ldi r25, high(F2)
    rcall delay_mS

    ; Increment variables
```

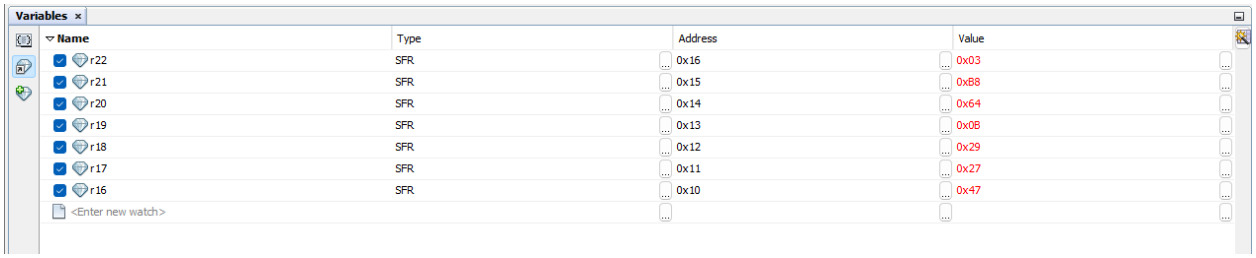
```
    ldi r23, 0x01    ; Increment value for A
    add A, r23
    ldi r23, 0x02    ; Increment value for B
    add B, r23
    ldi r23, 0x04    ; Increment value for C
    add C, r23
    ldi r23, 0x05    ; Increment value for D
    add D, r23

    ; Decrement counter and check if the loop should continue
    dec i
    brne main
    breq end


F_0:
    mov r23, A
    com r23     ;A'
    mov r26, B
    com r26     ;B'
    and r23, r26    ;A'*B' in r23
    mov r27, C
    com r27     ;C'
    and r23, r27    ;A'*B'*C' in r23
    or r23, D         ;A'*B'*C'+D in r23
    com r23     ;(A'*B'*C'+D)'
    mov F0, r23       ;to F0
    ret

F_1:
   clr r23
   clr r26
   mov r23, A
   com r23      ;A'
   or r23, C          ;A'+C sto r23
   mov r26, B
   com r26      ;B'
   mov r28, D
   com r28      ;D'
   or r26, r28        ;B'+D' sto r26
   mov F1, r23        ;A'+C sto F1
   and F1, r26        ;(A'+C)*(B'+D')
   ret
```

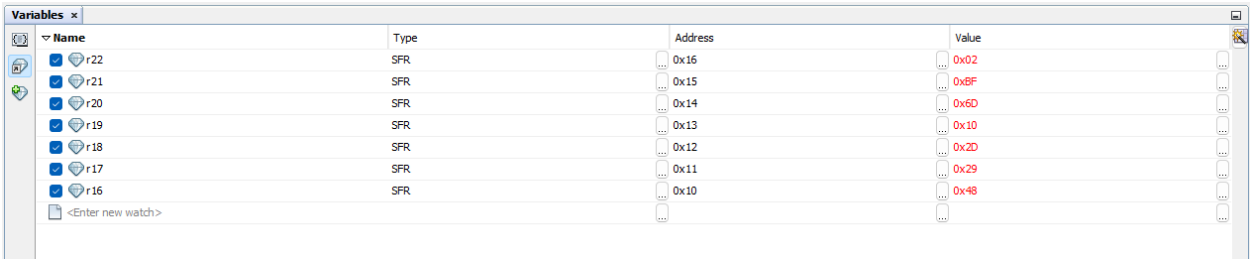
```
delay_mS:

    ;total group delay 996 cycles
delay_inner:
    ldi     r23, 249        ; (1 cycle)
loop_inn:
    dec r23             ; 1 cycle
    nop                     ; 1 cycle
    brne loop_inn       ; 1 or 2 cycles

    sbiw r24 ,1             ; 2 cycles
    brne delay_inner        ; 1 or 2 cycles

    ret                     ;4 cycles

end:
```

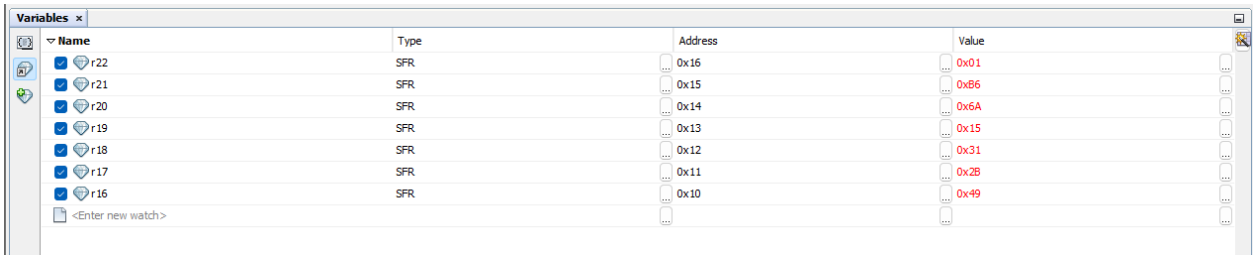
Η λειτουργία του κώδικα είναι σχετικά απλή και επεξηγείται στα σχόλια. Για να επιβεβαιώσουμε την ορθή λειτουργία του προγράμματος τοποθετούμε breakpoint μετά την κλήση των υπορουτινών F_0 και F_1 και ελέγχουμε τα αποτελέσματα σε κάθε επανάληψη. Τα αποτελέσματα παρατίθονται στις επόμενες εικόνες:











Ζήτημα 1.3:

Να υλοποιηθεί κώδικας assembly, για τον μικροελεγκτή ATmega328, ο οποίος να ελέγχει ένα αυτοματισμό βαγονέτου που κινείται συνεχώς, αρχικά από δεξιά προς τα αριστερά και στη συνέχεια αντίστροφα.
Το βαγονέτο να προσομοιώνεται με ένα bit της θύρας εξόδου PORTD που κινείται συνεχώς από το LSb προς το MSb και αντίστροφα.

- Η κίνησή του βαγονέτου κατά μία θέση, θα γίνεται κάθε 1,5 sec περίπου
- Η κατεύθυνση της κίνησης να αποθηκεύεται στο T flag του SREG.
- Το βαγονέτο, κάθε φορά που αλλάζει κατεύθυνση, θα κάνει μία πρόσθετη στάση 2 sec περίπου δηλ. θα παραμένει στα άκρα 3,5 sec περίπου.
- Για τη δημιουργία των χρονικών καθυστερήσεων να χρησιμοποιηθεί ο κώδικας που υλοποιήθηκε στο ζήτημα 1.1

```
.include "m328PBdef.inc"

.equ FOSC_MHZ = 16
.equ inner_delay = 1500     ; Inner loop delay
.equ outer_delay = 2000     ; Outer loop delay
.equ F1 = FOSC_MHZ * inner_delay
.equ F2 = FOSC_MHZ * outer_delay

.def temp = r16             ; Temporary register
.def leds = r17             ; LEDs state register

ldi r24, low(RAMEND)        ; Initialize stack pointer
out SPL, r24
ldi r24, high(RAMEND)
out SPH, r24

start:
ldi leds, 0x01              ; Initialize LED state

ser temp
out DDRD, temp              ; Set PORTD as output

ldi r24, low(F1-2)          ; Load F1 delay
ldi r25, high(F1-2)

left:
out PORTD, leds           ; Output LED state to PORTD
clt                 ; Clear the T flag (left direction)
ldi r24, low(F1-2)          ; Load F1 delay
ldi r25, high(F1-2)
rcall wait_x_msec           ; Call delay subroutine
lsl leds            ; Left shift LEDs state
rcall test_direction1       ; Call direction test subroutine
brts right          ; If T flag is set, go right
rjmp left           ; Otherwise, continue left

right:
out PORTD, leds           ; Output LED state to PORTD
set                 ; Set the T flag (right direction)
```

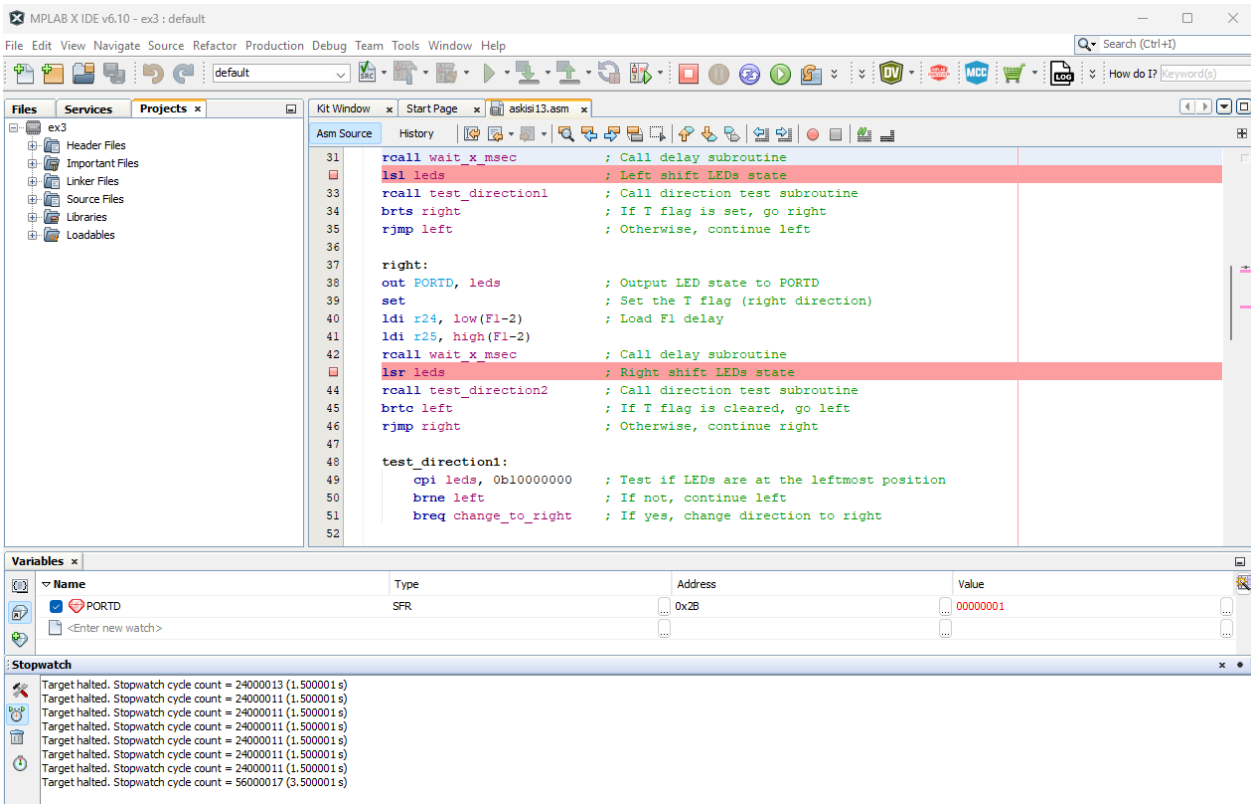
```
ldi r24, low(F1-2)          ; Load F1 delay
ldi r25, high(F1-2)
rcall wait_x_msec           ; Call delay subroutine
lsr leds             ; Right shift LEDs state
rcall test_direction2       ; Call direction test subroutine
brtc left            ; If T flag is cleared, go left
rjmp right           ; Otherwise, continue right

test_direction1:
    cpi leds, 0b10000000    ; Test if LEDs are at the leftmost
position
    brne left               ; If not, continue left
    breq change_to_right    ; If yes, change direction to right

test_direction2:
    cpi leds, 0b00000001    ; Test if LEDs are at the rightmost
position
    brne right              ; If not, continue right
    breq change_to_left     ; If yes, change direction to left

change_to_right:
    set                   ; Set the T flag for right direction
    ldi r24, low(F2-2)      ; Load F2 delay
    ldi r25, high(F2-2)
    rcall wait_x_msec       ; Call delay subroutine
    rjmp right

change_to_left:
    clt                   ; Clear the T flag for left direction
    ldi r24, low(F2-2)      ; Load F2 delay
    ldi r25, high(F2-2)
    rcall wait_x_msec       ; Call delay subroutine
    rjmp left

wait_x_msec:
    ldi r23, 249
    nop

delay_one:
```

```
    dec r23
    nop
    brne delay_one

    ldi r23, 249

delay_two:
    dec r23
    nop
    brne delay_two

    ldi r23, 249

delay_three:
    ldi r23, 249
loop:
    dec r23
    nop
    brne loop

    sbiw r24, 1
    brne delay_three

    ret
```

Η λειτουργία του κώδικα εξηγείται στα σχόλια. Η κατεύθυνση του βαγονέτου καθορίζεται από την κατάσταση του T flag του SREG. Εκτελώντας το πρόγραμμα στον Simulator του MPLABX μπορούμε να επιβεβαιώσουμε την λειτουργία του προγράμματος. Επιπλέον μπορούμε να εξετάσουμε και τις χρονικές καθυστερήσεις που εισάγουμε.

Χρησιμοποιούμε πάλι το εργαλείο Stopwatch και βάζουμε breakpoints πριν τις εντολές lsl και lsr όπου τα LED μετακινούνται.

Μπορούμε να δούμε ότι οι πρώτες 7 χρονοκαθυστερήσεις που αντιστοιχούν στις 7 πρώτες μετακινήσεις του βαγονέτου είανι 1.5s, ενώ στην πρώτη αλλαγή κατεύθυνσης έχουμε καθυστέρηση 3.5s, ακριβώς όπως μας ζητείται.


MPLAB X IDE v6.10 - ex3 : default
File Edit View Navigate Source Refactor Production Debug Team Tools Window Help
Search (Ctrl+I)
default
How do I?
Files Services Projects
ex3
Header Files
Important Files
Linker Files
Source Files
Libraries
Loadables
Kit Window Start Page askisi13.asm
Asm Source History
31 rcall wait_x_msec ; Call delay subroutine
lsl leds ; Left shift LEDs state
33 rcall test_direction1 ; Call direction test subroutine
34 brts right ; If T flag is set, go right
35 rjmp left ; Otherwise, continue left
36
37 right:
38 out PORTD, leds ; Output LED state to PORTD
39 set ; Set the T flag (right direction)
40 ldi r24, low(F1-2) ; Load F1 delay
41 ldi r25, high(F1-2)
42 rcall wait_x_msec ; Call delay subroutine
lsr leds ; Right shift LEDs state
44 rcall test_direction2 ; Call direction test subroutine
45 brtc left ; If T flag is cleared, go left
46 rjmp right ; Otherwise, continue right
47
48 test_direction1:
49 cpi leds, 0b10000000 ; Test if LEDs are at the leftmost position
50 brne left ; If not, continue left
51 breq change_to_right ; If yes, change direction to right
52
Variables
Name Type Address Value
PORTD SFR 0x2B 00000001
<Enter new watch>
Stopwatch
Target halted. Stopwatch cycle count = 24000013 (1.500001 s)
Target halted. Stopwatch cycle count = 24000011 (1.500001 s)
Target halted. Stopwatch cycle count = 24000011 (1.500001 s)
Target halted. Stopwatch cycle count = 24000011 (1.500001 s)
Target halted. Stopwatch cycle count = 24000011 (1.500001 s)
Target halted. Stopwatch cycle count = 24000011 (1.500001 s)
Target halted. Stopwatch cycle count = 24000011 (1.500001 s)
Target halted. Stopwatch cycle count = 56000017 (3.500001 s)