



1^η ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ - Τρίτη 14 Μαΐου 2019

Για το μάθημα "Συστήματα Μικροϋπολογιστών"

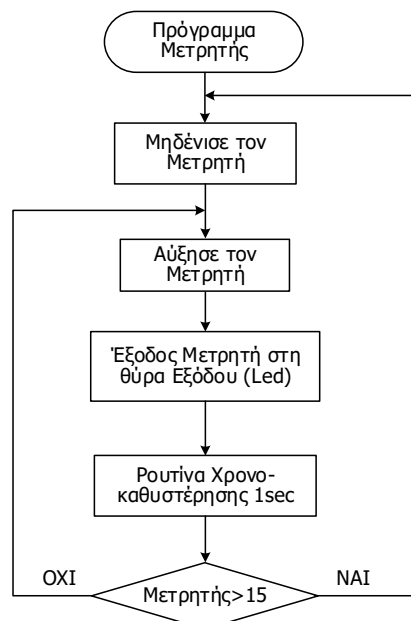
Εξοικείωση με την εκπαιδευτική πλακέτα easyAVR6.

Εργ. Ασκ. με απλά παραδείγματα προγραμματισμού (σε assembly και C)
στον Μικροελεγκτή AVR - Χρήση χρονοκαθυστερήσεων και υπορουτινών.

Χρονοκαθυστερήσεις

Μια χρήσιμη εφαρμογή στα συστήματα μικροελεγκτών είναι η λειτουργία και η ανταπόκρισή τους σε εξωτερικές συνθήκες σε τακτά χρονικά διαστήματα. Για το σκοπό αυτό είναι πολύ χρήσιμη η ανάπτυξη σχετικού λογισμικού (υπορουτίνες) που να δημιουργεί ακριβείς και συγκεκριμένες χρονοκαθυστερήσεις και να χρησιμοποιείται από οποιαδήποτε χρονικά εξαρτώμενη εφαρμογή. Βοήθεια για την ανάπτυξη αυτού του κώδικα δίνουν τα τεχνικά χαρακτηριστικά του εκάστοτε μικροελεγκτή και συγκεκριμένα η περίοδος ρολογιού και οι κύκλοι εκτέλεσης κάθε εντολής, από τα οποία προκύπτει ο χρόνος εκτέλεσης κάθε εντολής. Η δημιουργία κώδικα χρονοκαθυστέρησης συνήθως επιτυγχάνεται με τη διαδοχική εκτέλεση μιας σειράς εντολών που δεν παράγουν κανένα χρήσιμο αποτέλεσμα (συνηθίζεται η εντολή `nop`). Το μέγεθος της σειράς μαζί με κατάλληλους πολλαπλασιαστικούς βρόχους δημιουργούν την επιθυμητή χρονοκαθυστέρηση. Η τεχνική αυτή φαίνεται στην παρακάτω υπορουτίνα `wait_usec`, που για τον μικροελεγκτή AVR ATmega16 και την αναπτυξιακή πλακέτα EasyAVR6 (συχνότητα ρολογιού 8MHz, περίοδος ρολογιού 0.125μsec), είναι μια χρονοκαθυστέρηση τόσων msec, όση η δυαδική τιμή του καταχωρητή `r25:r24` κατά την κλήση. Επίσης παρακάτω δίνεται η ρουτίνα `wait_msec` που αξιοποιεί την προηγούμενη και αυτή προκαλεί χρονοκαθυστέρηση τόσων msec, όση η τιμή του καταχωρητή `r25:r24`. Οι ρουτίνες αυτές αξιοποιούνται στο επόμενο παράδειγμα

Παράδειγμα 1.1 Να προγραμματίσετε και να επιδείξετε στο εκπαιδευτικό σύστημα easyAVR6 χρονόμετρο δευτερολέπτων που απεικονίζει το χρόνο σε δυαδική μορφή πάνω στα LED PA3-PA0. Το χρονόμετρο όταν φτάνει στην τιμή 15_{10} , στο επόμενο βήμα ξαναρχίζει από την αρχή. Όλο το πρόγραμμα σας δίνετε και το ζητούμενο είναι να περάσει από το AVRStudio αρχικά για προσομοίωση και στη συνέχεια την παραγωγή του εκτελέσιμου κώδικα που πρέπει να κατέβει στην πλακέτα για την επίδειξη της ορθής λειτουργίας στο πραγματικό σύστημα. Ακολουθούν τα αναγκαία προγράμματα και οι ρουτίνες assembly:



Σχήμα 1.1 Πρόγραμμα μετρητής modulo 15.

```
.include "m16def.inc"

reset: ldi r24, low(RAMEND)      ; initialize stack pointer
      out SPL, r24
      ldi r24, high(RAMEND)
      out SPH, r24
      ser r24                   ; initialize PORTA for output
      out DDRA, r24
      clr r26                   ; clear time counter

main:  out PORTA, r26
      ldi r24, low(1000)        ; load r25:r24 with 1000
      ldi r25, high(1000)      ; delay 1 second
      rcall wait_msec
      inc r26                   ; increment time counter, one second passed
      cpi r26, 16               ; compare time counter with 16
      brlo main                 ; if lower goto main, else clear time counter
      clr r26                   ; and then goto main
      rjmp main

wait_msec:
      push r24                  ; 2 κύκλοι (0.250 msec)
      push r25                  ; 2 κύκλοι
      ldi r24, low(998)         ; φόρτωσε τον καταχ. r25:r24 με 998 (1 κύκλος - 0.125 msec)
      ldi r25, high(998)       ; 1 κύκλος (0.125 msec)
      rcall wait_usec          ; 3 κύκλοι (0.375 msec), προκαλεί συνολικά καθυστέρηση 998.375 msec
      pop r25                   ; 2 κύκλοι (0.250 msec)
      pop r24                   ; 2 κύκλοι
      sbiw r24, 1               ; 2 κύκλοι
      brne wait_msec           ; 1 ή 2 κύκλοι (0.125 ή 0.250 msec)
      ret                      ; 4 κύκλοι (0.500 msec)

wait_usec:
      sbiw r24, 1               ; 2 κύκλοι (0.250 msec)
      nop                       ; 1 κύκλος (0.125 msec)
      nop                       ; 1 κύκλος (0.125 msec)
      nop                       ; 1 κύκλος (0.125 msec)
      nop                       ; 1 κύκλος (0.125 msec)
      brne wait_usec           ; 1 ή 2 κύκλοι (0.125 ή 0.250 msec)
      ret                      ; 4 κύκλοι (0.500 msec)
```

Ρουτίνα: wait_msec

Προκαλεί καθυστέρηση τόσων msec, όση η τιμή του καταχωρητή r25:r24

Είσοδος: Ο χρόνος (1 - 65535 μs) μέσω του καταχωρητή r25:r24

Καταχωρητές: r25:r24

Από τα σχόλια φαίνεται ότι ο παραπάνω κώδικας, όταν εκτελείται ο επαναληπτικός βρόχος, απαιτεί 8 κύκλους ρολογιού ή 1msec. Άρα, όσες φορές εκτελεστεί ο βρόχος, τόσα msec καθυστέρησης απαιτούνται. Η μικροδιαφορές που προκύπτουν από την μια φορά που θα εκτελεστεί η έξοδος από το βρόχο και η εντολή επιστροφής (ret), μπορούν αν απαιτηθεί να συνυπολογιστούν στον κώδικα που καλεί την υπορουτίνα wait_usec. (αναλυτικά, η υπορουτίνα wait_usec με είσοδο r25:r24=n καθυστερεί $n-1+0.875+0.500=n+0.375$ msec).

Ρουτίνα: wait_msec

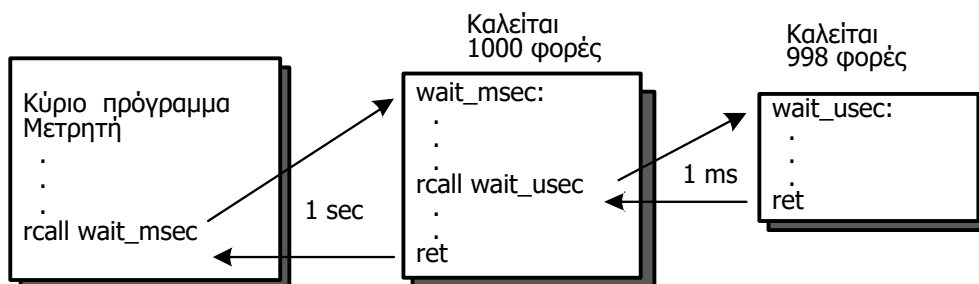
Προκαλεί καθυστέρηση τόσων msec, όση η τιμή του καταχωρητή r25:r24

Είσοδος: Ο χρόνος (1 - 65535 ms) μέσω του καταχωρητή r25:r24

Καταχωρητές: r25:r24

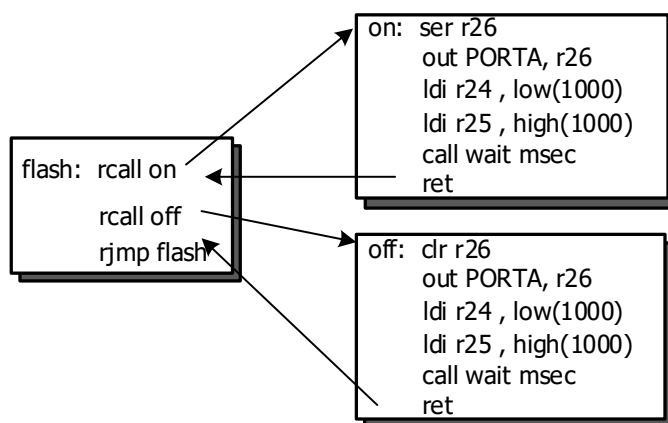
Καλούμενες υπορουτίνες: wait_usec

Η υπορουτίνα για τον μικροελεγκτή AVR ATmega16 και την αναπτυξιακή πλακέτα EasyAVR6 είναι μια χρονοκαθυστέρηση τόσων msec, όση η δυαδική τιμή που περιέχεται στο ζευγάρι καταχωρητών r25:r24 κατά την κλήση και βασίζεται στην προηγούμενη (wait_usec). Από τα σχόλια φαίνεται ότι η παραπάνω υπορουτίνα wait_msec, όταν εκτελείται ο επαναληπτικός βρόχος, απαιτεί 17 κύκλους ρολογιού ή 2.125μsec και μαζί με τη χρονοκαθυστέρηση της υπορουτίνας wait_usec, που με είσοδο 998 είναι 998.375μsec, συνολικά 1000.5μsec ή 1.0005msec.



Σχήμα 1.2 Κλήσεις υπορουτινών στο πρόγραμμα του μετρητή modulo 15.

Παράδειγμα 1.2 Δίνεται ένα παράδειγμα προγράμματος που αναβοσβήνει συνεχώς τα LEDs εξόδου του συστήματος easyAVR6. Το κύριο πρόγραμμα έχει μόνο 3 βασικές εντολές: μια που καλεί την ρουτίνα ON, μια που καλεί την ρουτίνα OFF και μια που ξαναγυρνά στην αρχή. Το Σχήμα 1.3 δείχνει πως χρησιμοποιεί υπορουτίνες για να αναβοσβήνει τα LEDs της θύρας PORTA.



Σχήμα 1.3 Πρόγραμμα που αναβοσβήνει τα LEDs.

Στη συνέχεια παρουσιάζουμε αναλυτικά την εφαρμογή.

Πίνακας 1.2 Πρόγραμμα σε assembly που αναβοσβήνει συνεχώς τα LEDs

reset:	ldi r24, low(RAMEND) out SPL, r24 ldi r24, high(RAMEND) out SPH, r24	; αρχικοποίηση stack pointer
	ser r26 out DDRA, r26	; αρχικοποίηση της PORTA ; για έξοδο
flash:	rcall on nop nop	; Άναψε τα LEDs ; Να αντικατασταθούν κατάλληλα οι 2 εντολές nop ; για προσθήκη καθυστέρησης 200 ms

rcall off	; Σβήσε τα LEDs
nop	; Να αντικατασταθούν κατάλληλα οι 2 εντολές nop
nop	; για προσθήκη καθυστέρησης 200 ms
rjmp flash	; Επανάλαβε

; Υπορουτίνα για να ανάβουν τα LEDs

on:	ser r26	; θέσε τη θύρα εξόδου των LED
	out PORTA , r26	
	ret	; Γύρισε στο κύριο πρόγραμμα

; Υπορουτίνα για να σβήνουν τα LEDs

off:	clr r26	; μηδένισε τη θύρα εξόδου των LED
	out PORTA , r26	
	ret	; Γύρισε στο κύριο πρόγραμμα

Παράδειγμα 1.3 Δίνεται ένα παράδειγμα προγράμματος σε C που υλοποιεί βασικές λειτουργίες I/O στο σύστημα easyAVR6. Το πρόγραμμα υλοποιεί πρόσθεση 4 δεκαεξαδικών ψηφίων. Χρησιμοποιεί τις θύρες PORTA και **PORTD** ως θύρες εισόδου, απομονώνοντας ως δεκαεξαδικά ψηφία πρόσθεσης τα bit **PA7-PA4**, **PA3-PA0** της θύρας **PORTA** και τα bit **PD7-PD4**, **PD3-PD0** της θύρας **PORTD** και απεικονίζει το αποτέλεσμα της πρόσθεσης στα LEDs της θύρας **PORTB**.

Πίνακας 1.3 Πρόγραμμα σε C που προσθέτει 2 δεκαεξαδικά ψηφία

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

char x, y, z, k;

int main(void)
{
    DDRB=0xFF;           // Αρχικοποίηση PORTB ως output
    DDRD=0x00;           // Αρχικοποίηση PORTD ως input
    DDRA=0x00;           // Αρχικοποίηση PORTA ως input

    while(1)
    {
        x = PIND & 0x0F;    // Απομόνωση PD3-PD0

        y = PIND & 0xF0;    // Απομόνωση PD7-PD4
        y = y >> 4;         // Μεταφορά ψηφίου στην ορθή του αξία

        z = PINA & 0x0F;    // Απομόνωση PA3-PA0

        k = PINA & 0xF0;    // Απομόνωση PA7-PA4
        k = k >> 4;         // Μεταφορά ψηφίου στην ορθή του αξία

        PORTB = (x+y+z+k);  // Υπολογισμός αθροίσματος και έξοδος στην PORTB
    }

    return 0;
}
```

Παράδειγμα 1.4 Δίνεται ένα παράδειγμα προγράμματος C για το σύστημα easyAVR6 το οποίο αρχικά έχει αναμμένο το led0 που είναι συνδεδεμένο στο bit0 της θύρας εξόδου PORTB και στη συνέχεια σε κάθε επαναφορά του διακόπτη (Push-button) SW0 όπου είναι συνδεδεμένα στα αντίστοιχα bit της θύρας εισόδου PORTC να ολισθαίνει κυκλικά το αναμμένο led της θύρας εξόδου PORTD κατά μια θέση αριστερά, λαμβάνοντας υπόψη και την πιθανότητα υπερχείλισης.

Πίνακας 1.4 Πρόγραμμα σε C που περιστρέφει ένα αναμμένο led

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

char x;

int main(void)
{
    DDRB=0xFF;          // Αρχικοποίηση PORTB ως output
    DDRA=0x00;          // Αρχικοποίηση PORTA ως input

    x = 1;               // Αρχικοποίηση μεταβλητής για αρχικά αναμμένο led

    while(1)
    {
        if ((PINA & 0x01) == 1){          // Έλεγχος πατήματος push-button SW0

            while ((PINA & 0x01) == 1);    // Έλεγχος επαναφοράς push-button SW0

            if (x==128)                    // Έλεγχος υπερχείλισης
                x = 1;
            else
                x = x<<1;                  // Ολίσθηση αριστερά

        }

        PORTB = x;                        // Έξοδος σε PORTB
    }
    return 0;
}
```



2^η ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ - Τρίτη 21 Μαΐου 2019

Για το μάθημα "Συστήματα Μικροϋπολογιστών"

(Τα θέματα αυτά θα αποτελέσουν την 4^η Ομάδα Ασκήσεων. Τα ίδια θέματα ισχύουν για όσους σπουδαστές δεν θα κάνουν το εργαστήριο και δεν είχαν παραδώσει πέρυσι της ασκήσεις.)

Τα ζητούμενα της 2^{ης} Εργαστηριακής Άσκησης

Ζήτημα 2.1 Να προγραμματίσετε σε **assembly** και να επιδείξετε στο εκπαιδευτικό σύστημα easyAVR6 πρόγραμμα που να απεικονίζει ένα αναμμένο led που να αντιστοιχεί στα bit της θύρας **PB0-PB7**. Το αναμμένο led να κινείται συνεχώς ξεκινώντας από τα LSB προς τα MSB και αντίστροφα όταν φτάνει στο άλλο άκρο. Κάθε φορά το led να μένει αναμμένο για ~0.5 sec. Η κίνηση του αναμμένου led να ελέγχεται από το **push button PA0**. Όταν αυτό είναι πατημένο η κίνηση να σταματάει, ενώ διαφορετικά να συνεχίζεται.

Ζήτημα 2.2 Να υλοποιηθούν σε ένα σύστημα Μικροελεγκτή AVR οι λογικές συναρτήσεις:

$$F0 = (ABC + C'D)'$$

$$F1 = (A+B) \cdot (C+D)$$

Οι τιμές των $F0$ - $F1$ να εμφανιστούν αντίστοιχα στα δύο LSB της θύρας εξόδου **PORTB (0-1)**. Οι μεταβλητές εισόδου (A, B, C, D) υποθέτουμε ότι αντιστοιχούν στα 4 bit της θύρας εισόδου **PORTA (0-3)**, με το A στο LSB. Το πρόγραμμα να δοθεί σε **assembly** και σε **C**.

Ζήτημα 2.3 Να γραφτεί πρόγραμμα σε **C** για το σύστημα easyAVR6 το οποίο αρχικά να ανάβει το led0 που είναι συνδεδεμένο στο bit0 της θύρας εξόδου **PORTA**. Στην συνέχεια με το πάτημα των διακοπών (Push-buttons) **SW0-3** που υποθέτουμε ότι είναι συνδεδεμένα στα αντίστοιχα bit της θύρας εισόδου **PORTC** να συμβαίνουν τα εξής:

- SW0 ολίσθηση-περιστροφή του led μια θέση **αριστερά** (κυκλικά).
- SW1 ολίσθηση-περιστροφή του led μια θέση **δεξιά** (κυκλικά).
- SW2 μετακίνηση του αναμμένου led στην θέση **MSB** (led7).
- SW3 μετακίνηση του αναμμένου led στην **αρχική** του θέση (**LSB**-led0).

Όλες οι αλλαγές να γίνονται αφήνοντας (επανερχόμενα) τα Push-buttons SW_x (bitx **PORTC**).