



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΚΡΗΤΗΣ

Εργαστηριακή Άσκηση 1<sup>η</sup>  
Εξοικείωση με την οικογένεια μικροελεγκτών  
Atmel AVR

Σωτήριος Μιχαήλ  
2015030140

**ΕΝΣΩΜΑΤΩΜΕΝΑ  
ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ  
ΜΙΚΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΤΩΝ**

Σκοπός του εργαστηρίου είναι η εξοικείωση με το περιβάλλον ανάπτυξης για μικροελεγκτή AVR, με τη δημιουργία ενός απλού προγράμματος χρονιστή σε AVR Assembly. Θεωρούμε πως το ρολόι του μικροελεγκτή είναι στα 10MHz. Ο χρόνος μέτρησης που θέλουμε από το χρονιστή είναι το 1 ms. Και στις δύο υλοποιήσεις, η έξοδος είναι ένα LED στη θύρα A, PIN 0, το οποίο ενεργοποιείται μετά από το πέρασ του ενός millisecond.

Η πλατφόρμα υλοποίησης είναι ο μικροελεγκτής 8-bit ATMEL ATmega16.

## 1. Υλοποίηση χρονιστή με βρόχο χρονικής καθυστέρησης

Η πρώτη υλοποίηση του χρονιστή γίνεται με δύο βρόχους επαναλήψεων. Αυτή η υλοποίηση βασίζεται στη γνώση πως οι εντολές που χρησιμοποιούνται (LDI, OUT, NOP και DEC) χρειάζονται ένα κύκλο του ρολογιού, με εξαίρεση την εντολή BRNE, η οποία χρειάζεται δύο κύκλους εάν οδηγήσει σε διακλάδωση και ένα κύκλο εάν όχι.

Καθώς ο μικροελεγκτής είναι χρονισμένος στα 10MHz, ο ένας κύκλος του ρολογιού θα είναι 0,1μs. Επομένως, για να επιτύχουμε την επιθυμητή χρονική καθυστέρηση, χρειαζόμαστε μία επαναληπτική διαδικασία η οποία χρειάζεται 10000 κύκλους ρολογιού.

Ο μικροελεγκτής είναι 8-bit, επομένως χρειαζόμαστε ένα διπλό βρόχο χρονικής καθυστέρησης. Ο εσωτερικός βρόχος θα επαναληφθεί 8 φορές, και ο εσωτερικός 250. Ο εσωτερικός βρόχος περιέχει και δύο εντολές NOP, η οποίες ενώ κοστίζουν 2 κύκλους συνολικά, δεν έχουν κάποιο αποτέλεσμα.

```

LDI    R16,8
AGAIN: LDI    R17,250
HERE:  NOP
      NOP
      DEC    R17
      BRNE   HERE
      DEC    R16
      BRNE   AGAIN

```

Ο εσωτερικός βρόχος χρειάζεται (5 κύκλους x 250 φορές) – 1 κύκλο = 1249 κύκλους ρολογιού. Ο ένας κύκλος αφαιρείται για τη μία φορά που η εντολή BRNE δεν οδηγεί σε διακλάδωση (fall through).

Ο εξωτερικός βρόχος έχει ένα overhead (4 κύκλους x 8 φορές) – 1 κύκλο = 31 κύκλους ρολογιού. Συνολικά, οι δύο βρόχοι καθυστέρησης χρειάζονται (8 x 1249) + 31 = 10023 κύκλους. Ο χρόνος που αντιστοιχεί σε αυτούς τους κύκλους είναι 0.1μs x 10023 = 1.0023ms, το οποίο είναι αρκετά κοντά στην επιθυμητή τιμή.

Με το πέρασ της χρονικής καθυστέρησης, το LED εξόδου ανάβει, όπως φαίνεται και στις παρακάτω εικόνες από την προσομοίωση του Atmel Studio 7.

Disassembly	Processor Status	timer_delay.asm
Name	Value	
Program Counter	0x00000111	
Stack Pointer	0x0700	
X Register	0x0000	
Y Register	0x0000	
Z Register	0x0000	
Status Register	I T H S V N Z C	
Cycle Counter	10289	
Frequency	10.000 MHz	
Stop Watch	1.03 ms	

Εικόνα 1: Χρονόμετρο προσομοιωτή

Name	Address	Value	Bits
I/O PINA	0x39	0x00	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
I/O DDRA	0x3A	0x01	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
I/O PORTA	0x3B	0x00	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

Εικόνα 2: Registers εξόδου LED

## 2. Υλοποίηση χρονιστή με timer0 overflow interrupt

Για την υλοποίηση ενός χρονιστή με έναν από τους υπάρχοντες χρονιστές του AVR, σε αυτή τη περίπτωση χρησιμοποιούμε τον timer0 των 8 bit, μπορούμε να εκμεταλλευτούμε το γεγονός πως ο χρονιστής προκαλεί ένα interrupt σε περίπτωση υπερχείλισης του. Το πλεονέκτημα χρονιστών με interrupt είναι πως μπορούμε να συνεχίσουμε να χρησιμοποιούμε τον μικροελεγκτή για οποιαδήποτε διεργασία καθώς ο χρονιστής μετρά παράλληλα, σε αντίθεση με τη προηγούμενη περίπτωση, κατά την οποία καμία διεργασία δε λάμβανε χώρα πέρα από την ίδια τη χρονομέτρηση.

Σε περίπτωση υπερχείλισης, ο timer0 θα ενεργοποιήσει το bit TOV0. Για να ενεργοποιηθεί αυτή η λειτουργία, πρέπει να θέσουμε τη τιμή '1' στο bit TOIE0 (Time Overflow Interrupt Enable 0) στον καταχωρητή TIMSK, καθώς και να ενεργοποιήσουμε τα interrupts στον μικροελεγκτή με την εντολή SEI, η οποία θέτει το bit I σε '1'.

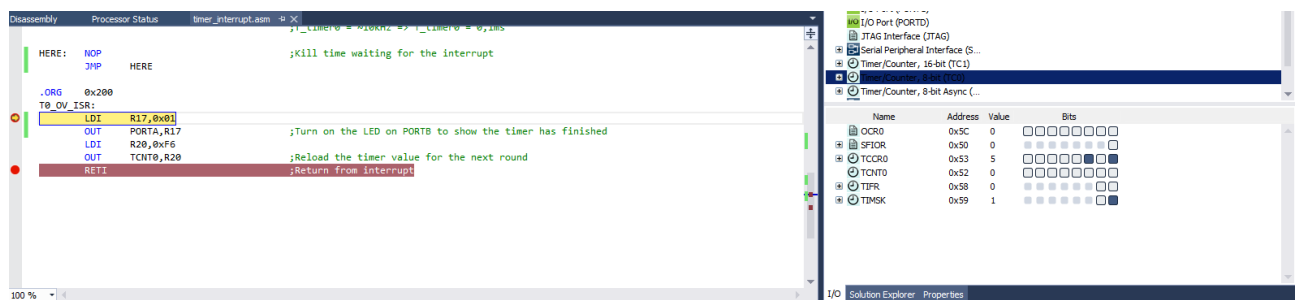
Έτσι ώστε να έχουμε τον επιθυμητό χρόνο από τον χρονιστή, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τους clock prescalers που διατίθενται για τον κάθε εσωτερικό χρονιστή του AVR, οι οποίοι διαιρούν τη συχνότητα του ρολογιού σε  $f_{CLK\_I/O}/8$ ,  $f_{CLK\_I/O}/64$ ,  $f_{CLK\_I/O}/256$  ή  $f_{CLK\_I/O}/1024$ .

Σε αυτή την εφαρμογή θα χρησιμοποιήσουμε τον prescaler  $f_{CLK\_I/O}/1024$ , και για να τον επιλέξουμε θέτουμε τα bits CS02..0 σε '101' στον καταχωρητή TCCR0. Έτσι, η συχνότητα του χρονιστή γίνεται  $f_{TIMER0} = f_{CLK\_I/O}/1024 = \sim 10\text{kHz}$ , άρα η περίοδος/κύκλος του χρονιστή θα είναι  $T_{TIMER0} = 0,1\text{ms}$ . Ο ζητούμενος χρόνος είναι 1 ms, επομένως χρειαζόμαστε ο χρονιστής να εκτελέσει  $1/0,1 = 10$  κύκλους για να φτάσει στη τιμή υπερχείλισης, η οποία για ένα καταχωρητή 8 bit είναι το 256. Επομένως, στο καταχωρητή TCNT0, θα φορτώσουμε τη τιμή  $256 - 10 = 246$ .

Όπως φαίνεται και στη προσομοίωση με το Atmel Studio 7, έχουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Disassembly	Processor Status	timer_interrupt.asm
Name	Value	
Program Counter	0x00000203	
Stack Pointer	0x045D	
X Register	0x0000	
Y Register	0x0000	
Z Register	0x0000	
Status Register	I T H S V N Z C	
Cycle Counter	10255	
Frequency	10.000 MHz	
Stop Watch	1,025.50 $\mu\text{s}$	

Εικόνα 3: Χρονόμετρο προσομοιωτή



**Εικόνα 4:** Η τιμή στον καταχωρητή TCNT0 έχει υπερχειλίσει και έχει κάνει “roll over” στο 0, και επομένως εκτελείται ο interrupt handler για το timer0 overflow, ο οποίος, σύμφωνα με το εγχειρίδιο του ATmega16, πρέπει να βρίσκεται στη θέση 0x12.

Name	Address	Value	Bits
PINA	0x39	0x01	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
DDRA	0x3A	0x01	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
PORTA	0x3B	0x01	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

**Εικόνα 5:** Έξοδος LED