



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΙΚΡΟΫΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ ΚΑΙ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ  
ΑΚΑΔ. ΕΤΟΣ 2021-2022

ΑΘΗΝΑ 10 Ιανουαρίου 2022

## 5η ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ

### ΓΙΑ ΤΟ ΜΑΘΗΜΑ "Εργαστήριο Μικροϋπολογιστών"

#### 4η Εργ. Άσκ. στον Μικροελεγκτή AVR

#### Γεννήτρια παραγωγής μιας μεταβαλλόμενης ηλεκτρικής τάσης

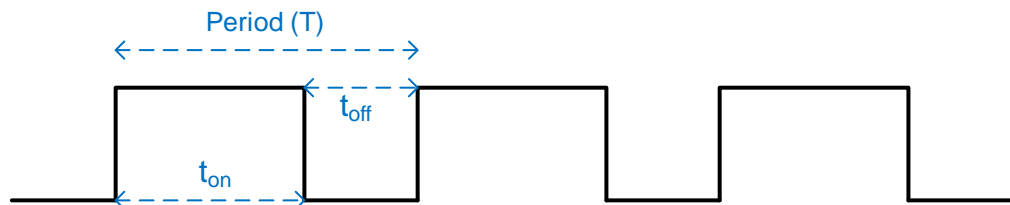
(υλοποίηση στο εκπαιδευτικό σύστημα easyAVR6)

**Εξέταση – Επίδειξη: Τετάρτη 19/01/2022.**

**Προθεσμία για παράδοση Έκθεσης: Κυριακή 23/01/2022 (23:59)**

#### Διαμόρφωση εύρους παλμών (Pulse Width Modulation)

Μία PWM (Pulse Width Modulation) κυματομορφή είναι μία τετραγωνική περιοδική κυματομορφή η οποία έχει δύο τμήματα. Το τμήμα ON στο οποίο η κυματομορφή μία μέγιστη τιμή και το τμήμα OFF στο οποίο έχει μία ελάχιστη τιμή. Η περίοδος της κυματομορφής είναι σταθερή ενώ οι χρόνοι  $t_{on}$  και  $t_{off}$  μεταβάλλονται.

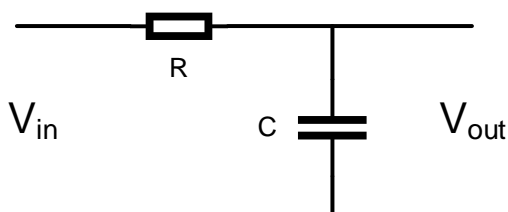


Ο βαθμός χρησιμοποίησης (Duty Cycle) συμβολίζεται με DC και ορίζεται σύμφωνα με τον τύπο:

$$DC = \frac{t_{on}}{T}$$

Μία PWM κυματομορφή ηλεκτρικής τάσης, με μεταβαλλόμενο Duty Cycle, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πηγή τροφοδοσίας ενός ηλεκτρικού φορτίου, με στόχο τη ρύθμιση της απορροφούμενης ισχύος. Αν π.χ. το ηλεκτρικό φορτίο είναι ένας λαμπτήρας τότε μεταβάλλοντας το Duty Cycle, μπορεί να γίνει έλεγχος της φωτεινότητας του.

Μια μεταβαλλόμενη ηλεκτρική τάση χαμηλής ισχύος, μπορεί να παραχθεί εάν μία PWM κυματομορφή τάσης, με μεταβαλλόμενο Duty Cycle, συνδεθεί στην είσοδο ενός βαθυπερατού φίλτρου, όπως αυτό που φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Στην έξοδο του φίλτρου παράγεται μία συνεχόμενη τάση με τιμή ίση με τη μέση τιμή της PWM κυματομορφής εισόδου και υπολογίζεται σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο:

$$V_{out}=V_{in}\cdot DC$$

## Διαμόρφωση εύρους παλμών με τον ATmega16

Ο ATmega16 διαθέτει τρεις μετρητές (Timer/Counters) οι οποίοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή PWM κυματομορφών τάσης, με μεταβαλλόμενο Duty Cycle. Από αυτούς ο Timer/Counter0 και ο Timer/Counter2 είναι 8-bit, ενώ ο Timer/Counter1 μπορεί να ρυθμιστεί ως 8-bit ή ως 16-bit. Επιπλέον ο Timer/Counter1 έχει δύο εξόδους. Οι Timer/Counter0 και Timer/Counter1 έχουν σύγχρονη λειτουργία ενώ ο Timer/Counter2 ασύγχρονη.

Οι τρεις Timer/Counters έχουν παρόμοιο τρόπο λειτουργίας PWM. Εδώ θα εξεταστεί ένας τρόπος λειτουργίας με τον οποίο παράγεται μια PWM κυματομορφή τάσης υψηλής συχνότητας. Στη λειτουργία αυτή (Fast PWM Mode) ο TCNTn αυξάνεται ξεκινώντας από την τιμή BOTTOM και όταν φτάσει την τιμή MAX τότε παίρνει ξανά την τιμή BOTTOM και η διαδικασία επαναλαμβάνεται.

Στη μη ανάστροφη λειτουργία, όταν ο TCNTn, καθώς αυξάνεται, παίρνει τιμή ίση με την τιμή του καταχωρητή OCRn τότε μηδενίζεται η σημαία OCn και προκαλείται η αντίστοιχη διακοπή (εφόσον

είναι ενεργοποιημένη από το bit OCIE<sub>n</sub> του καταχωρητή TIMSK). Στη συνέχεια όταν ο TCNT<sub>n</sub>, καθώς συνεχίζει να αυξάνεται, παίρνει τιμή ίση με την τιμή MAX τότε τοποθετείται η σημαία OC<sub>n</sub>, ο TCNT<sub>n</sub> παίρνει την τιμή BOTTOM, τοποθετείται η σημαία υπερχείλισης TOV<sub>n</sub> και προκαλείται η αντίστοιχη διακοπή (εφόσον είναι ενεργοποιημένη από το bit TOIE<sub>n</sub> του καταχωρητή TIMSK).

Στη ανάστροφη λειτουργία εκτελείται ακριβώς η ίδια διαδικασία όπως στη μη αναστροφή λειτουργία με τη διαφορά ότι τοποθετείται η σημαία OC<sub>n</sub> όταν ο TCNT<sub>n</sub> πάρει τιμή ίση με την τιμή του καταχωρητή OCR<sub>n</sub> και μηδενίζεται η σημαία OC<sub>n</sub> όταν ο TCNT<sub>n</sub> πάρει τιμή ίση με την τιμή MAX.

Η κατάσταση της σημαίας OC<sub>n</sub> μπορεί να εμφανιστεί ως κυματομορφή στον αντίστοιχο ακροδέκτη της κατάλληλης πόρτας εισόδου/εξόδου, εφόσον αυτός ο ακροδέκτης έχει αρχικοποιηθεί ως έξοδος.

Η κυματομορφή εξόδου θα είναι παλμοί με σταθερή συχνότητα ( $f_{PWM}$ ) η τιμή της οποίας εξαρτάται από τη συχνότητα του ρολογιού του συστήματος ( $f_{clk}$ ) και την αρχικοποίηση του prescaler όπως προκύπτει από τον παρακάτω τύπο:

$$f_{PWM} = \frac{f_{clk}}{N \cdot (1 + TOP)}$$

Η μεταβλητή N αντιπροσωπεύει την τιμή του prescaler (1, 8, 64, 256 ή 1024).

Το Duty Cycle ρυθμίζεται, μέσω του καταχωρητή OCR<sub>n</sub>, από μία ελάχιστη τιμή (σχεδόν μηδέν) έως το 1. Οι ακραίες τιμές για τον καταχωρητή OCR<sub>n</sub> είναι η BOTTOM, όπου η έξοδος θα είναι ένας εξαιρετικά μικρός παλμός στην αρχή κάθε περιόδου και η MAX όπου η έξοδος θα είναι σταθερά υψηλή στη μη αναστροφή λειτουργία ή σταθερά χαμηλή στην αναστροφή λειτουργία,

Στη συνέχεια παρουσιάζεται ένα παράδειγμα, σε γλώσσα προγραμματισμού C, παραγωγής παλμών PWM στους ακροδέκτες PB3, PD5 και PD7 για το εκπαιδευτικό σύστημα easyAVR6. Η ρουτίνα PWM\_init() αρχικοποιεί κατάλληλα τους χρονιστές TMR0, TMR1A και TMR2 για να λειτουργούν σε Fast PWM Mode, με μη αναστροφή λειτουργία και με τιμή 8 για τον prescaler. Τον TMR1A τον αρχικοποιεί σε λειτουργία 8-bit. Ο TMR1B δεν χρησιμοποιείται. Σε καθένα από τους ακροδέκτες PB3, PD5 και PD7 είναι συνδεδεμένο ένα LED. Η ρουτίνα main () αυξομειώνει συνεχώς το Duty Cycle των PWM κυματομορφών αυξομειώνοντας αντίστοιχα την φωτεινότητα των LED που είναι συνδεδεμένα τους ακροδέκτες PB3, PD5 και PD7.

```

#define F_CPU 8000000UL

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

//OC0 is connected to pin PB3
//OC1A is connected to pin PD5
//OC2 is connected to pin PD7

void PWM_init()
{
    //set TMR0 in fast PWM mode with non-inverted output, prescale=8
    TCCR0 = (1<<WGM00) | (1<<WGM01) | (1<<COM01) | (1<<CS01);
    DDRB|=(1<<PB3); //set PB3 pin as output

    //set TMR1A in fast PWM 8 bit mode with non-inverted output
    //prescale=8
    TCCR1A = (1<<WGM10) | (1<<COM1A1);
    TCCR1B = (1<<WGM12) | (1<<CS11);
    DDRD|=(1<<PD5); //set PD5 pin as output

    //set TMR2 in fast PWM mode with non-inverted output, prescale=8
    TCCR2 = (1<<WGM20) | (1<<WGM21) | (1<<COM21) | (1<<CS21);
    DDRD|=(1<<PD7); //set PD7 pin as output
}

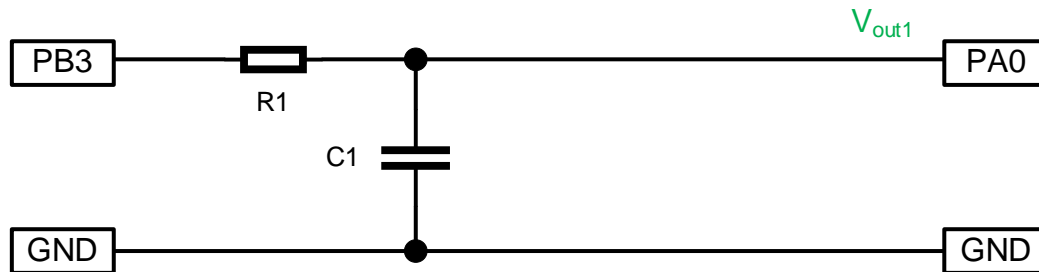
int main ()
{
    unsigned char duty;

    PWM_init();
    while (1)
    {
        for(duty=0; duty<255; duty++)
        {
            OCR0=duty; //increase the LED1 light intensity
            OCR1A=duty; //increase the LED2 light intensity
            OCR2=duty; //increase the LED3 light intensity
            _delay_ms(8);
        }
        for(duty=255; duty>1; duty--)
        {
            OCR0=duty; //decrease the LED1 light intensity
            OCR1A=duty; //increase the LED2 light intensity
            OCR2=duty; //increase the LED3 light intensity
            _delay_ms(8);
        }
    }
}

```

## Γεννήτρια παραγωγής συνεχής τάσης

Σύμφωνα με την ανάλυση που προηγήθηκε θα χρησιμοποιηθεί ένα RC φίλτρο για να παραχθεί μια συνεχής τάση, με τιμή ανάλογη με την PWM κυματομορφή που παράγεται από Timer/Counter1 όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα, η συνεχής τάση ( $V_{out1}$ ), που αντιστοιχεί στη μέση τιμή της κυματομορφής που παράγεται από τον ακροδέκτη PB3, οδηγείται στην είσοδο PA0 του ενσωματωμένου ADC μετατροπέα, έτσι ώστε να είναι δυνατή η μέτρηση και καταγραφή της.

## Τα ζητούμενα της 4ης εργαστηριακής άσκησης

Να δημιουργηθεί κατάλληλος κώδικας σε γλώσσα C έτσι ώστε να αρχικοποιεί τον Timer/Counter0 για να παράγει μια PWM κυματομορφή με συχνότητα 4KHz.

Κάνοντας χρήση του κώδικα που έχετε δημιουργήσει σε προηγούμενες ασκήσεις να χρησιμοποιηθεί το πληκτρολόγιο ως εξής: Κάθε φορά που θα πιέζεται το πλήκτρο 1 θα αυξάνεται κατά 1 το Duty Cycle της κυματομορφής στον ακροδέκτη PB3. Κάθε φορά που θα πιέζεται το πλήκτρο 2 θα μειώνεται κατά 1 το Duty Cycle της ίδιας κυματομορφής. Το Duty Cycle θα παίρνει τιμές από 0 έως 255.

Επίσης ο κώδικας θα αρχικοποιεί τον ενσωματωμένο ADC μετατροπέα για να διαβάσει την τιμή της τάσης στον ακροδέκτη PA0 και να την απεικονίζει στην LCD οθόνη με ακρίβεια δύο δεκαδικών ψηφίων, στη μορφή που φαίνεται στο παρακάτω σχήμα .

|   |   |   |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|---|---|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| V | o | 1 |   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| x | . | x | x |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

**Παρατήρηση1:** Στο απομακρυσμένο έλεγχο της κάρτας easyAVR6 δεν μπορεί να παρατηρηθεί η αυξομείωση της φωτεινότητας των LED. Ωστόσο, η μεταβολή της φωτεινότητας στο LED που είναι συνδεδεμένο στον ακροδέκτη PB3 μπορεί να γίνει έμμεσα, μέσω του ADC μετατροπέα και της LCD οθόνης, παρατηρώντας την μέση τάση που παράγεται από την PWM κυματομορφή του ακροδέκτη PB3.

**Παρατήρηση2:** Στην κάρτα easyAVR6 η LDC οθόνη χρησιμοποιεί τους ακροδέκτες PD5 και PD7 για την επικοινωνία της με το μικροεπεξεργαστή. Οπότε όταν χρησιμοποιείται η LDC οθόνη, τότε δεν είναι δυνατό να παραχθούν ταυτόχρονα PWM κυματομορφές σε αυτούς τους ακροδέκτες.