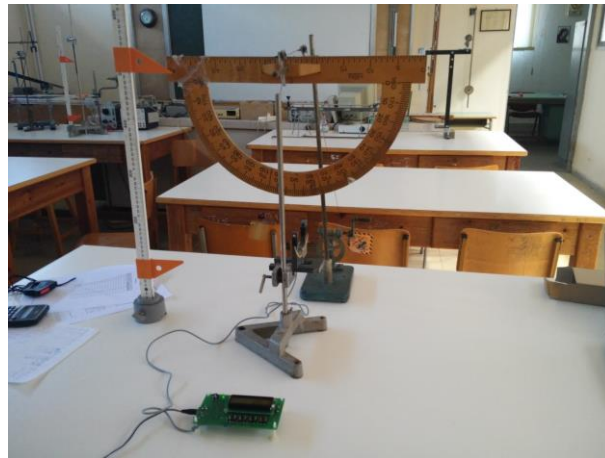


ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
**ΑΥΤΟΝΟΜΗ ΜΕΤΡΗΤΙΚΗ ΣΥΣΚΕΥΗ  
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ**



**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΚΩΤΣΑΓΙΑΝΝΗΣ ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ-ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΗΣ**  
**Α.Μ: 4932**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΚΑΛΑΡΑΚΗΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ**  
**ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ**

**ΠΑΤΡΑ, 2020**





## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε. του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Δυτικής Ελλάδας κατά τη χρονική περίοδο Ιανουαρίου – Φεβρουαρίου 2020.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή, Καλαράκη Αλέξανδρο, Καθηγητή Εφαρμογών, για την καθοδήγηση του στη συγγραφή της πτυχιακής μου εργασίας και τη συνολική συμβολή του στην περάτωση της.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον εξάδελφο μου Δαμιανό Μπόχτη για τις καίριες συμβουλές του, την οικογένειά μου για τη συνεχή στήριξη της και κυρίως την σύζυγο μου, Διονυσία Κλαουδάτου.

Κωτσαγιάννης Ευάγγελος-Αριστοτέλης.

### **Υπεύθυνη Δήλωση Σπουδαστή:**

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος σπουδαστής έχω επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνω υπεύθυνα ότι είμαι συγγραφέας αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, έχω δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μου όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποίησα και έλαβα ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνω επίσης ότι, οποιαδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχω ενσωματώσει στην εργασία μου προερχόμενο από βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχω πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχω αναφέρει ανελλιπώς το όνομα του και την πηγή προέλευσης.

Ο σπουδαστής

Κωτσαγιάννης Ευάγγελος- Αριστοτέλης.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η πτυχιακή αυτή εργασία περιγράφει την κατασκευή και τον προγραμματισμό μίας πειραματικής συσκευής, η οποία κατασκευάστηκε εξολοκλήρου από μεταχειρισμένα υλικά. Σαν κύρια λειτουργία έχει την σειριακή και διαδοχική μέτρηση των τιμών για τον υπολογισμό της περιόδου ενός εκκρεμούς. Οι μετρήσεις αυτές εμφανίζονται στη συσκευή και καταγράφονται άμεσα σε ηλεκτρονικό υπολογιστή. Με την συγκεκριμένη συσκευή υλοποιήθηκε το πείραμα για τον υπολογισμό της περιόδου ενός εκκρεμούς και καταγράφηκαν τα συμπεράσματα.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1:ΜΕΛΕΤΗ ΤΑΛΑΝΤΩΣΗΣ** .....σελ. 3

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2:ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ-ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΕΤΡΗΤΙΚΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ**...σελ.5

2.1 Εισαγωγή.....σελ.5

2.2 Περιγραφή κατασκευής κεντρικής μονάδας .....σελ.5

2.2.1 Μικροϋπολογιστής.....σελ.6

2.2.2 Οθόνη LCD .....σελ.8

2.2.3 Σειριακή επικοινωνία (USB).....σελ.10

2.2.4 Τροφοδοτικό.....σελ.11

2.3 Περιγραφή κατασκευής φωτοπύλης.....σελ.11

2.3.1 Αρχή λειτουργίας .....σελ.11

2.3.2 Υλοποίηση.....σελ.12

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3:FIRMWARE-SOFTWARE**

3.1 Firmware.....σελ.15

3.1.1 Αλγόριθμος.....σελ.15

3.1.2 Υλοποίηση σε κώδικα.....σελ.17

3.1.3 Περιβάλλον υλοποίησης.....σελ.18

3.2 Software .....σελ.19

3.2.1 Υλοποίηση επικοινωνίας με Η/Υ.....σελ.19

3.2.2 Λογισμικό επικοινωνίας .....σελ.20

3.2.3 Παράμετροι επικοινωνίας .....σελ.20

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4:ΕΛΕΓΧΟΣ - ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ**

4.1 Έλεγχος λειτουργίας .....σελ.21

4.1.1 Έλεγχος λειτουργίας Φωτοπύλης.....σελ.21

4.1.2 Έλεγχος λειτουργίας USB σειριακής επικοινωνίας.....σελ.22

4.2 Μετρήσεις .....σελ.22

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5:ΠΕΙΡΑΜΑ-ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ**

5.1 Πειραματική Διαδικασία .....σελ.23

5.2 Μετρήσεις - Αποτελέσματα .....σελ.25

**ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ**.....σελ.29

**ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**.....σελ.30



## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η πτυχιακή εργασία με τίτλο «ΑΥΤΟΝΟΜΗ ΜΕΤΡΗΤΙΚΗ ΣΥΣΚΕΥΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ» αναφέρεται στην εξ' ολοκλήρου κατασκευή μιας μετρητικής συσκευής, η οποία υπολογίζει την περίοδο των ταλαντώσεων ενός απλού εκκρεμούς, λαμβάνοντας υπ' όψιν τους παράγοντες που επηρεάζουν την περίοδο αυτών (μήκος νήματος, πλάτος ταλάντωσης και βάρος του αναρτημένου σώματος). Σκοπός της συγκεκριμένης πτυχιακής είναι να γίνει ο υπολογισμός της περιόδου ενός εκκρεμούς και να εξαχθούν αποτελέσματα αποφεύγοντας τα σφάλματα που προκύπτουν από τις μετρητικές συσκευές του εργαστηρίου (π.χ. χρονόμετρο) καθώς επίσης και αυτά που προκύπτουν από τον ανθρώπινο παράγοντα.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται εν συντομία η θεωρητική προσέγγιση της έννοιας των ταλαντώσεων.

Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφεται αναλυτικά η δομή της κεντρικής μονάδας, τα περιφερειακά συστήματα που την συνοδεύουν, καθώς και η διαδικασία κατασκευής της μετρητικής συσκευής.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα λογισμικά (Firmware, Software) που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη της μετρητικής συσκευής.

Στο τέταρτο κεφάλαιο εξετάζεται αναλυτικά η λειτουργία της μετρητικής συσκευής και παρουσιάζονται οι επαληθεύσεις των μετρήσεων.

Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται η περιγραφή και πραγματοποίηση του πειράματος στο χώρο του εργαστηρίου. Επιπλέον, γίνεται η παρουσίαση και μελέτη των αποτελεσμάτων των μετρήσεων.

Στο τέλος της πτυχιακής εργασίας παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν, διατυπώνονται προτάσεις για περαιτέρω έρευνα και γίνεται αναφορά στις βιβλιογραφικές πηγές.





# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Περιοδικά φαινόμενα ονομάζονται τα φαινόμενα τα οποία επαναλαμβάνονται κατά τον ίδιο τρόπο σε ίσα χρονικά διαστήματα. Περιοδικές κινήσεις ονομάζονται οι κινήσεις που επαναλαμβάνονται σε ίσα χρονικά διαστήματα.

Μεταβολές σε φυσικά φαινόμενα που διεξάγονται ανάμεσα σε δύο ακραία σημεία της τροχιάς και χαρακτηρίζονται από μια κανονική επανάληψη κατά ορισμένα χρονικά διαστήματα ονομάζονται ταλαντώσεις. Η κίνηση της κούνιας, η κίνηση που έχει η χορδή ενός βιολιού ή ενός ελατηρίου μετά από το τέντωμα ή τη συμπίεση του, η εναλλαγή θετικής – αρνητικής τάσης σε μια ηλεκτρική γεννήτρια, είναι μερικά παραδείγματα ταλαντώσεων.

Μεγέθη που χαρακτηρίζουν μία ταλάντωση είναι η περίοδος ( $T$ ), η συχνότητα ( $f$ ) και το πλάτος της ταλάντωσης ( $A$ ).

- Περίοδος ( $T$ ): ονομάζεται ο χρόνος που διαρκεί μία πλήρης ταλάντωση. Μονάδα μέτρησης της περιόδου είναι το 1 s (ένα δευτερόλεπτο).
- Συχνότητα ( $f$ ): είναι το πηλίκο του αριθμού των πλήρων ταλαντώσεων που εκτελεί το σώμα σε χρονικό διάστημα  $\Delta t$  προς το αντίστοιχο χρονικό διάστημα. Μονάδα μέτρησης της συχνότητας είναι το 1 Hz (χερτζ).
- Πλάτος ταλάντωσης ( $A$ ): ορίζεται ως η απόλυτη τιμή της μέγιστης απόστασης του σώματος από τη θέση ισορροπίας.

Οι ταλαντώσεις διακρίνονται σε μηχανικές και ηλεκτρικές. Στη μηχανική ταλάντωση μεταβάλλεται αρμονικά η θέση ενός σώματος γύρω από τη θέση ισορροπίας ενώ στην ηλεκτρική ταλάντωση μεταβάλλεται αρμονικά η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει ένα ηλεκτρικό κύκλωμα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα μηχανικής ταλάντωσης είναι το εκκρεμές.

Ένα απλό εκκρεμές αποτελείται από αβαρές και μη εκτατό νήμα μήκους  $L$ , στηριγμένο στο ένα άκρο του από σημείο εξάρτησης  $P$  και που στο άλλο άκρο στηρίζει σώμα μάζας  $m$ , το οποίο θεωρείται ως υλικό σημείο (Σχήμα 1.1). Εάν η μάζα απομακρυνθεί από τη θέση ισορροπίας (δηλαδή το νήμα σχηματίζει γωνία  $\theta$  με την κατακόρυφο), τότε στη μάζα θα ασκείται μία δύναμη μέτρου που είναι ίση με

$$F = -mg \sin\theta. \quad (1)$$

Ένα οποιοδήποτε σώμα που βρίσκεται αρχικά σε μια θέση ισορροπίας και εκτρέπεται από αυτή, έχει δυο δυνατότητες: είτε να απομακρυνθεί από τη θέση ισορροπίας, είτε να επιστρέψει σε αυτή. Η κίνηση που θα εκτελέσει το σώμα, εξαρτάται από τις δυνάμεις που ασκούνται σε αυτό. Η δύναμη αυτή τείνει να επαναφέρει το εκκρεμές στην κατακόρυφο που είναι και η θέση ισορροπίας και για αυτό λέγεται και δύναμη επαναφοράς. Η δύναμη αυτή εξαρτάται από τον όρο  $\sin\theta$  και άρα διαφέρει από τη δύναμη που απαιτείται για να γίνει αρμονική ταλάντωση  $F = -kx$ .

Για μικρές γωνίες όμως η γωνία  $\theta$  (σε rad) είναι περίπου ίση με το ημίτονο της και άρα μπορούμε να γραφούμε  $\sin\theta = \theta$ . Η δύναμη τότε γίνεται:

$$F = -mg\theta = -mgx/l = -(mg/l)x = -kx \quad (2)$$

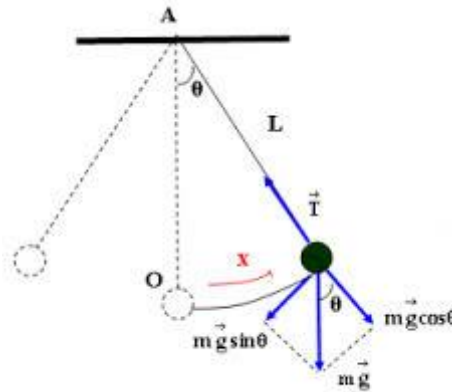
Ο συντελεστής  $k$  ισούται με  $mg/l$  και η Εξίσωση γράφεται

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad (3)$$

Η παραπάνω σχέση ισχύει μόνο για μικρές γωνίες. Η ακριβής λύση για τη περίοδο του εκκρεμούς δίνεται από τη σχέση:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} \left( 1 + \frac{1}{2^2} \sin^2 \frac{\theta_{\max}}{2} + \frac{1}{2^2 \cdot 4^2} \sin^4 \frac{\theta_{\max}}{2} + \dots \right) \quad (4)$$

Η περίοδος υπολογίζεται έτσι με όλο και μεγαλύτερη ακρίβεια, κρατώντας όλο και περισσότερους όρους στο παραπάνω άθροισμα. Είναι επίσης φανερό, ότι για μικρά  $\theta$ , η εξίσωση (4) ταυτίζεται με την εξίσωση (3).



Σχήμα 1.1

[Πηγή: <http://phys-exp.physics.uoi.gr/?p=25>]

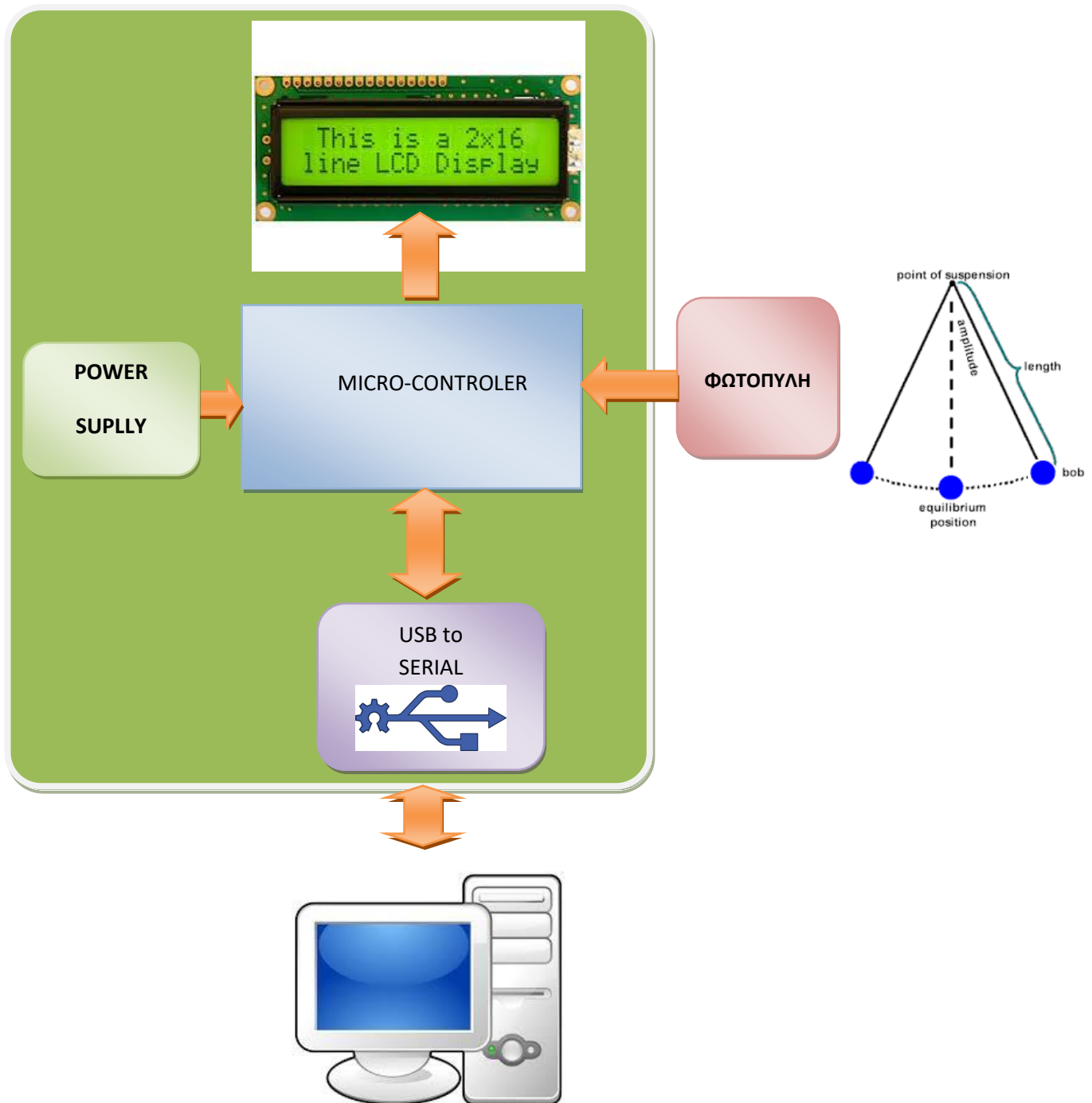
Στην πράξη, δεν είναι δυνατόν να κατασκευάσουμε ένα ιδανικό απλό εκκρεμές. Κανένα νήμα δεν είναι αβαρές και μη εκτατό, ούτε και τα βάρη που έχουν στη διάθεση μας είναι υλικά σημεία, γιατί έχουν μη αμελητέες διαστάσεις. Έτσι, δεν είναι δυνατόν να μετρήσουμε ακριβώς το μήκος  $L$  του εκκρεμούς, το οποίο ορίζεται ως η απόσταση από το σημείο ανάρτησης του νήματος έως το κέντρο βάρους του σώματος που είναι αναρτημένο στο άλλο άκρο του. Για τον ακριβή προσδιορισμό του χρειάζεται πρώτα να βρεθεί το κέντρο βάρους του συστήματος νήμα - μάζα. Για το λόγο αυτό σχηματίζουμε έναν κόμπο στο νήμα κοντά στο σημείο ανάρτησης της μάζας. Εάν  $l$  είναι η απόσταση από το σημείο ανάρτησης του νήματος από τον κόμπο έως το κέντρο βάρους του σώματος, το συνολικό μήκος του εκκρεμούς θα είναι:  $L=l_0+l$ .

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### 2.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί θα περιγραφεί αναλυτικά η δομή της κεντρικής μονάδας, τα περιφερειακά συστήματα που την συνοδεύουν, καθώς και η διαδικασία κατασκευής της μετρητικής συσκευής.

### 2.2 Περιγραφή κατασκευής κεντρικής μονάδας



Σχήμα 1.1

## 2.2.1 Μικροϋπολογιστής

Το κύριο τμήμα κάθε ηλεκτρονικού υπολογιστή βρίσκεται συγκεντρωμένο πάνω σε μια μεγάλη σχετικά τυπωμένη πλακέτα που είναι τοποθετημένη παράλληλα με τη μεγάλη πλευρά της κύριας υπολογιστικής μονάδας. Η πλακέτα αυτή που καλείται μητρική (motherboard) περιέχει τα ψηφιακά κυκλώματα και όλες τις απαραίτητες υποδοχές για διασύνδεση με τις περιφερειακές συσκευές. Αποτελεί επομένως ένα υπολογιστικό σύστημα συγκεντρωμένο σε πολύ μικρό χώρο (μικροϋπολογιστής) και το μόνο που χρειάζεται είναι να διασυνδεθεί με το εξωτερικό περιβάλλον. Το μικροϋπολογιστικό σύστημα επεξεργάζεται τα ψηφιακά δεδομένα που δέχεται από τον εξωτερικό κόσμο στην είσοδο και παρέχει ως έξοδο ψηφιακά δεδομένα που είναι αποτέλεσμα των πράξεων πάνω στα δεδομένα εισόδου. Οι διάφορες λειτουργίες και πράξεις εκτελούνται από τον μικροεπεξεργαστή. Το ποιες εντολές και με ποια σειρά θα εκτελεστούν αποτελεί το πρόγραμμα του μικροϋπολογιστή και είναι καταχωρημένο στη μνήμη (Σχήμα 2.2).

Σε αυτό το σημείο, για την καλύτερη κατανόηση του τρόπου με τον οποίο τα κυκλώματα που αποτελούν το μικροϋπολογιστικό σύστημα επικοινωνούν μεταξύ τους, πρέπει να αναφέρουμε πως τα βασικά μέρη του μικροϋπολογιστή, είναι τα ακόλουθα:

### 1. Μικροεπεξεργαστής ή CPU

- Διαβάζει τις εντολές που έχουν συνταχθεί από τη μνήμη, τις αποκωδικοποιεί και τις εκτελεί.
- Ελέγχει όλο το σύστημα παρέχοντας τα απαραίτητα προς αυτό σήματα. Έτσι μεταφέρει δεδομένα από και προς τη μνήμη καθώς επίσης και από τις μονάδες εισόδου/εξόδου.
- Εκτελεί αριθμητικές και λογικές πράξεις.
- Ανταποκρίνεται σε σήματα διακοπών και ελέγχου.
- Διακλαδώνει την ομαλή ακολουθιακή ροή ενός προγράμματος και ανταποκρίνεται σε διακοπές από εξωτερικά σημεία ή από το πρόγραμμα.

### 2. Μνήμη RAM

- Περιέχει δεδομένα εισόδου ή εξόδου, τις εντολές ενός προγράμματος και άλλες οδηγίες προς τη CPU για τον έλεγχο του υπολογιστή.
- Είναι προσωρινή και τα περιεχόμενα της χάνονται όταν παύσει η τροφοδοσία.
- Το μέγεθος της υπολογίζεται σε bytes, ενώ η οργάνωσή της μπορεί να γίνεται σε bytes ή και σε μεγαλύτερες ποσότητες που καλούνται ψηφιολέξεις και που μπορεί να αποτελούνται από 2, 4 ή και 8 bytes.

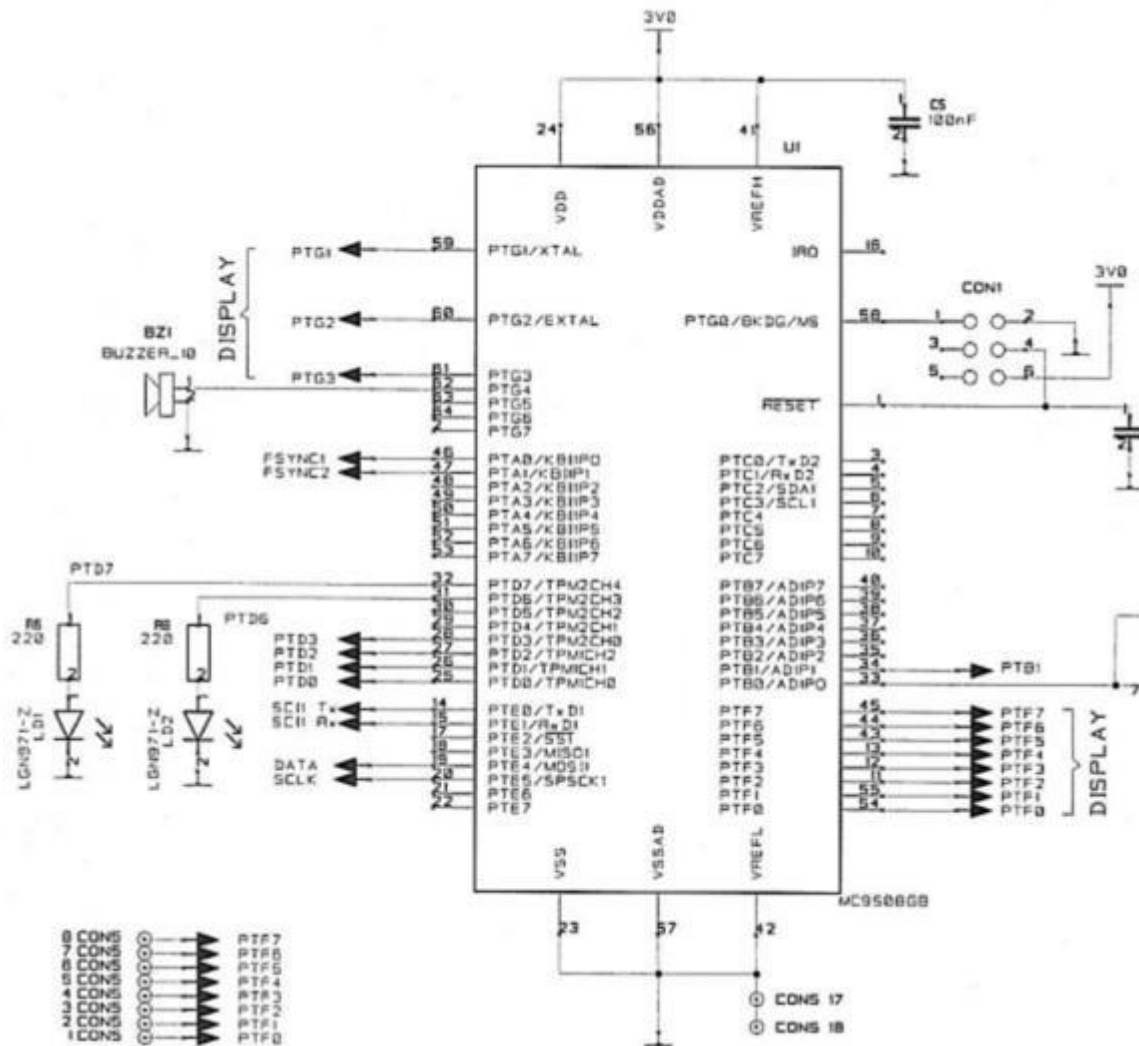
### 3. Μνήμη Flash

- Επιτρέπει τη γενική αποθήκευση και τη μεταφορά των δεδομένων μεταξύ των υπολογιστών και άλλων ψηφιακών συσκευών.
- Είναι αμετάβλητη, δηλαδή δεν απαιτείται καμία δύναμη για να διατηρήσει τις πληροφορίες που αποθηκεύονται στο chip και μπορεί να σβηστεί και να επαναπρογραμματιστεί άπειρες φορές.
- Προσφέρει γρήγορους χρόνους πρόσβασης.

### 4. Κυκλώματα εισόδου / εξόδου δεδομένων (Input/Output, I/O).

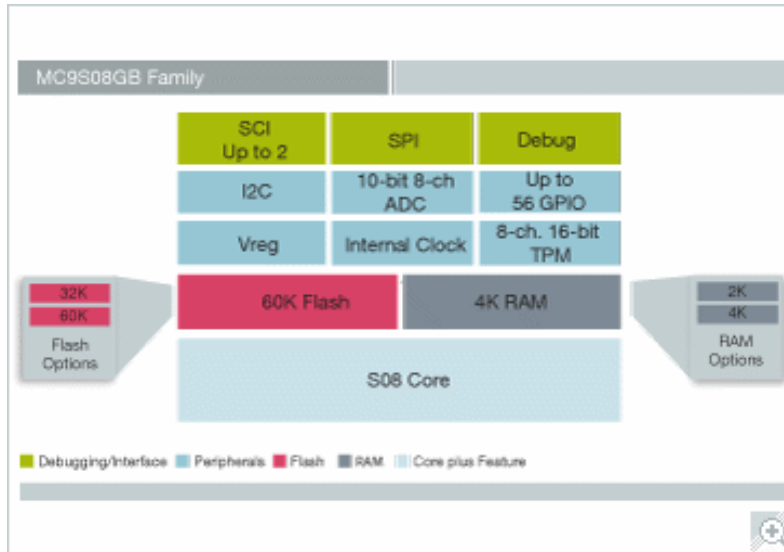
- Αλλάζουν τον τρόπο με τον οποίο διακινούνται τα δεδομένα ανάμεσα στη CPU και τη RAM από τη μια μεριά και στις περιφερειακές συσκευές από την άλλη, είτε μετατρέποντας το ρυθμό μεταφοράς σε bytes/sec, είτε αλλάζοντας το πλήθος των γραμμών μεταφοράς των δεδομένων (κανάλια ή buses).

Μέσα σε έναν μικροϋπολογιστή, οι πληροφορίες διακινούνται μέσα από καλωδιώσεις που ονομάζονται δίαυλοι (buses) και ο καθένας από αυτούς μεταφέρει διαφορετικό είδος πληροφορίας. Έτσι, υπάρχουν τρεις δίαυλοι: ο δίαυλος δεδομένων (data bus) μέσω του οποίου διακινούνται τα δεδομένα που θέλουμε να γράψουμε ή να διαβάσουμε κάθε φορά, ο δίαυλος διευθύνσεων (address bus) μέσω του οποίου διακινείται η διεύθυνση μνήμης την οποία θέλει να προσπελάσει η CPU και ο δίαυλος ελέγχου (control bus) μέσω του οποίου μετακινούνται σήματα με τα οποία η CPU ελέγχει τις ενέργειες των κυκλωμάτων γύρω της και αποφασίζει για τη διακίνηση της πληροφορίας.



Σχήμα 2.2  
[Πηγή: Thyatron S.A.]

Όσον αφορά στην κατασκευή της μετρητικής συσκευής, χρησιμοποιήθηκε ο μικροϋπολογιστής της εταιρείας Freescale και τύπο MC9S08GB60. Ο μικροϋπολογιστής αυτός είναι 8 bit και η ταχύτητα λειτουργίας είναι 40 MHz. Επίσης, έχει μόνιμη μνήμη flash, 60 KB, όπου αποθηκεύεται το πρόγραμμα το οποίο θα εκτελείται και προσωρινή μνήμη RAM, 4 KB. Έχει 64 pins (πόδια), από τα οποία τα 56 είναι Inputs/Outputs (I/O). Η δομή του μικροϋπολογιστή φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί (2.3).



Σχήμα 2.3

[Πηγή: <https://www.nxp.com/products/processors-and-microcontrollers/additional-architectures/8-bit-s08-mcus/8-bit-general-purpose-gb-mcus:S08GB>]

### 2.2.2 Οθόνη LCD

Οι οθόνες υγρών κρυστάλλων βασίζονται στην ανακάλυψη του υγρού κρυστάλλου που έκανε το 1888 ο αυστριακός βοτανολόγος Friedrich Reinitzer. Ωστόσο η πρώτη πειραματική συσκευή ηλεκτρονικής απεικόνιση με τη βοήθεια υγρών κρυστάλλων έγινε από την εταιρία RCA το 1968 (Σχήμα 2.4)

**LCD Displays**

- George H. Heilmeyer invented LCD in 1964
- The heart of all liquid crystal displays (LCD) is the liquid crystal material itself.
- Produces pictures by passing polarized light through liquid crystal material.
- There are three basic types of liquid crystals which are termed
  1. Nematic
  2. Chiral
  3. Smectic

Σχήμα 2.4

[Πηγή: <https://www.slideshare.net/abhishekp1991/pal-17140724>]

Το βασικό δομικό στοιχείο μιας οθόνης υγρών κρυστάλλων είναι ο υγρός κρύσταλλος. Ο κρύσταλλος, όπως και άλλα υλικά στη φύση, δεν μπορεί να χαρακτηριστεί υγρός αλλά ούτε και στερεός διότι βρίσκεται σε μια ενδιάμεση κατάσταση. Από τη μια πλευρά, τα μόριά του μπορούν να κινηθούν ελεύθερα όπως συμβαίνει στα υγρά υλικά, ενώ από την άλλη πλευρά, ο προσανατολισμός του παραμένει ο ίδιος, όπως παρατηρείται στα στερεά. Λόγω της μοριακής τους δομής, οι υγροί κρύσταλλοι έχουν την ιδιότητα να αλλάζουν την πολικότητα του φωτός που περνά από μέσα τους, ανάλογα με την τάση του ηλεκτρικού ρεύματος που εφαρμόζεται σε αυτούς. Συνεπώς, εσωκλείοντας ένα στρώμα υγρών κρυστάλλων μεταξύ δύο φίλτρων οριζόντιας πόλωσης του φωτός, τα οποία είναι προσανατολισμένα ώστε να μην αφήνουν τη διέλευση του, είναι εφικτό να ελεγχθεί η ποσότητα του φωτός που θα περάσει τη διάταξη αυτή ανάλογα με την ηλεκτρική τάση που εφαρμόζεται στο στρώμα των υγρών κρυστάλλων.

Τα πλεονεκτήματα χρήσης οθονών υγρών κρυστάλλων είναι:

1. Η μικρή κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας .
2. Το μικρό βάρος και πολύ μικρός όγκος. Χαρακτηρίζονται κυρίως από το πολύ μικρό τους πάχος.
3. Κατασκευάζονται από οργανικά υλικά φιλικά προς το περιβάλλον.
4. Η μεγάλη διάρκεια ζωής. Οι κατασκευαστές εγγυώνται περί τις 50.000 ώρες καλής λειτουργίας.

Λαμβάνοντας υπ' όψιν τα παραπάνω, για να την απεικόνιση των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε οθόνη υγρών κρυστάλλων (LCD), δυο γραμμών και 16 χαρακτήρων ανά γραμμή (Σχήμα 2.5)

Αναφορικά με την επικοινωνία της οθόνης με τη μονάδα, αυτή γίνεται μέσω των περιφερειακών (INPUT/OUTPUT) του μικροϋπολογιστή. Η οθόνη μας τροφοδοτείται με 5 Volt DC και έχει δυνατότητα ρύθμισης της αντίθεσης, μεταβαλλώντας την τάση στον ανάλογο ακροδέκτη της οθόνης.



Σχήμα 2.5 Οθόνη LCD συσκευής

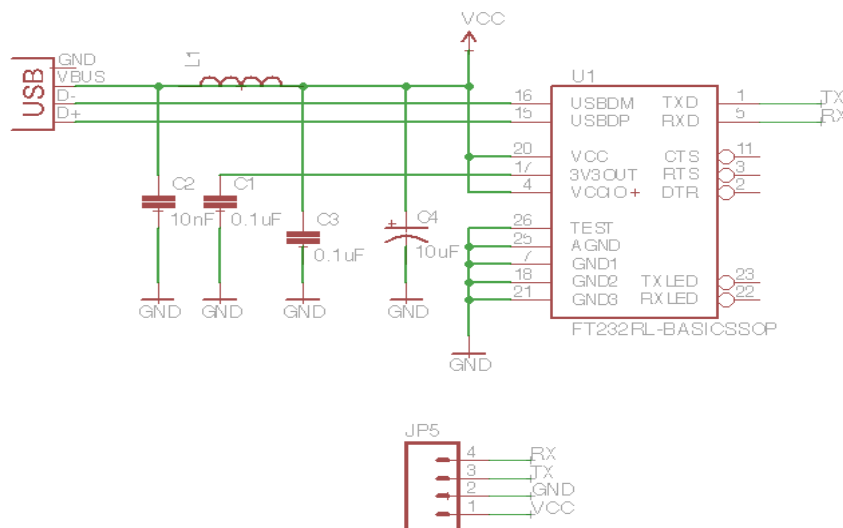


### 2.2.3 Σειριακή επικοινωνία (USB)

Η προδιαγραφή USB 1.0 παρουσιάστηκε τον Νοέμβριο του 1995. Η διασύνδεση USB προωθήθηκε από την Intel (UHCI and open software stack), τη Microsoft (Windows software stack), την Philips (Hub, USB-ήχος) και την US Robotics. Αρχικά, το USB προοριζόταν να αντικαταστήσει το πλήθος θυρών των Η/Υ, καθώς επίσης και να απλοποιήσει τη διαμόρφωση του λογισμικού των συσκευών επικοινωνίας. Η διασύνδεση USB ήταν, επίσης, η κύρια θύρα στον Apple iMac που παρουσιάστηκε στις 6 Μαΐου του 1998, συμπεριλαμβανομένης της θύρας για το νέο πληκτρολόγιο και το ποντίκι. Το πρότυπο USB 1.1 παρουσιάστηκε τον Σεπτέμβριο του 1998 για να αποκαταστήσει τα προβλήματα που εμφανίστηκαν με την προηγούμενη έκδοσή του. Από το 2008 η προδιαγραφή USB βρίσκεται στην έκδοση 2.0 (με τις αναθεωρήσεις).

Η Hewlett Packard, η Intel, η Lucent (τόρα Alcatel-Lucent), η Microsoft, η NEC, και η Philips συνεργάστηκαν από κοινού στην πρωτοβουλία να αναπτυχθεί ένα πρότυπο με υψηλότερο ποσοστό μεταφοράς δεδομένων από την προδιαγραφή 1.1. Η προδιαγραφή USB 2.0 παρουσιάστηκε τον Απρίλιο του 2000 και τυποποιήθηκε από την USB-IF στα τέλη του 2001. Ο εξοπλισμός προσαρμόζεται σε οποιαδήποτε έκδοση των προτύπων (1.0, 1.1, 2.0) και λειτουργεί, επίσης, με τις συσκευές που σχεδιάστηκαν σε οποιαδήποτε προηγούμενη προδιαγραφή (1.0, 1.1, 2.0) (γνωστή και ως οπίσθια συμβατότητα).

Όσον αφορά στη μετρητική συσκευή που κατασκευάστηκε, για την επικοινωνία του συστήματος με τον υπολογιστή αξιοποιήθηκε η θύρα ασύγχρονης σειριακής επικοινωνίας που έχει ενσωματωμένη ο μικροϋπολογιστής (SCD). Η υλοποίηση της διασύνδεσης με τον υπολογιστή, πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του ολοκληρωμένου κυκλώματος FT232RL (Σχήμα 2.6), όπου είναι ένας προσαρμογέας από USB σε RS-232. Για τη σωστή επικοινωνία του μικροϋπολογιστή με τον υπολογιστή, θα πρέπει οι θύρες τους να έχουν ρυθμιστεί με τις ίδιες παραμέτρους. Οι παράμετροι επικοινωνίας είναι η ταχύτητα επικοινωνίας (baud rate), data size, κλπ.



Σχήμα 2.6  
[Πηγή: Thyatron S.A ]

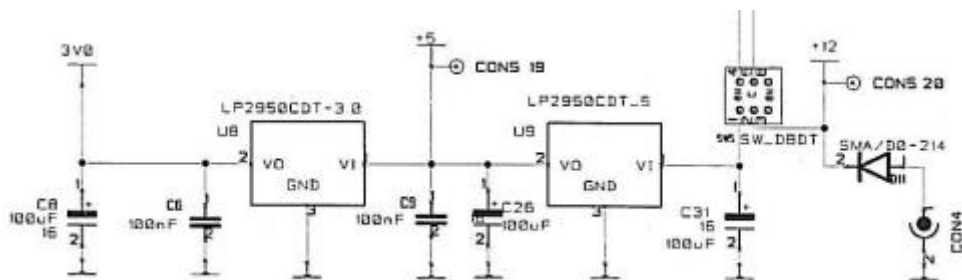
## 2.2.4 Τροφοδοτικό

Το τροφοδοτικό είναι μία ηλεκτρονική συσκευή (εξωτερική ή εσωτερική) που μετατρέπει την τάση του δικτύου (220 ή 110 Volt) στην απαιτούμενη τάση (εναλλασσόμενο ή συνεχές) που είναι κατάλληλο για τη λειτουργία μιας ηλεκτρονικής συσκευής. Για τη λειτουργία των ηλεκτρονικών συσκευών απαιτείται συνεχής τάση. Τα δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας παρέχουν εναλλασσόμενη τάση. Για το λόγο αυτό οι ηλεκτρονικές συσκευές φέρουν ενσωματωμένη μια διάταξη που κάνει τη μετατροπή και λέγεται τροφοδοτικό (*power supply*).

Ένα απλό τροφοδοτικό αποτελείται από τέσσερα τμήματα:

- Μετασχηματιστής: Υποβιβάζει την εναλλασσόμενη τάση, ανάλογα με τη τιμή της dc τάσης που θέλουμε.
- Ανορθωτής: Καταργεί τις αρνητικές ημιπεριόδους της εναλλασσόμενης τάσης.
- Φίλτρο: Εξομαλύνει τις κυματώσεις της ανορθωμένης τάσης.
- Σταθεροποιητής: Διατηρεί τη συνεχή τάση σταθερή.

Για τη λειτουργία των τμημάτων της μονάδας ήταν απαραίτητη η χρήση διαφόρων τάσεων. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα, η χρήση σταθεροποιητών (Σχήμα 2.7) για την υλοποίηση του τροφοδοτικού να κριθεί επίσης απαραίτητη. Πιο συγκεκριμένα, οι τάσεις ήταν 12 VDC, 5VDC και 3.3VDC. Για τον υποβιβασμό της τάσης του δικτύου χρησιμοποιήθηκε τροφοδοτικό με είσοδο 230 V- 50 Hz και έξοδο 12V -150 mA.



Σχήμα 2.7

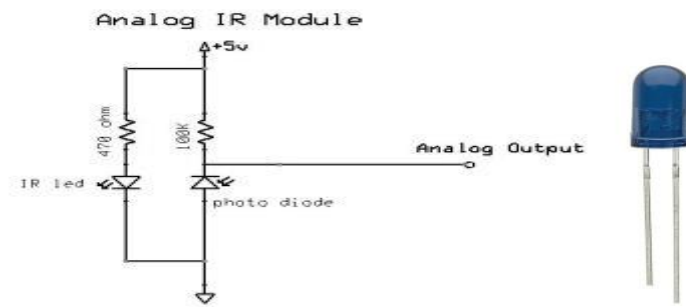
[Πηγή: Thyatron S.A]

## 2.3 Περιγραφή κατασκευής φωτοπύλης

### 2.3.1 Αρχή λειτουργίας

«Φωτοπύλη» είναι μία ηλεκτρονική διάταξη που αντιλαμβάνεται τη διέλευση αντικειμένου από συγκεκριμένο σημείο. Αποτελείται από μία πηγή φωτός και από ένα δέκτη τα οποία βρίσκονται τοποθετημένα έτσι ώστε η πηγή φωτός να φωτίζει το δέκτη. Η διέλευση αντικειμένου ενδιάμεσα από τη φωτεινή πηγή και το δέκτη διακόπτει το φωτισμό του δεκτή με αποτέλεσμα την αλλαγή της κατάστασης του δέκτη.

Κατά τη διαδικασία κατασκευής της μετρητικής κατασκευής, σαν φωτεινή πηγή (Σχήμα 2.9) χρησιμοποιήθηκε μια δίοδος εκπομπής υπερύθρων (infrared LED) και σαν δέκτης ένα φωτοτρανζίστορ σε κατάλληλη συνδεσμολογία (Σχήμα 2.8) και τοπογραφική διάταξη.



Σχήμα 2.8 (α)

(β)

[Πηγή: <https://forelectronics.wordpress.com/2013/05/17/ir-photo-diode-sensor/> ]

### 2.3.2. Υλοποίηση

Η φωτοπύλη (Σχήμα 2.12) κατασκευάστηκε χρησιμοποιώντας μια πλαστική βάση (Σχήμα 2.10) από pvc η οποία διαμορφώθηκε με τη χρήση μηχανής CNC. Τα led τοποθετήθηκαν (Σχήμα 2.11) το ένα απέναντι από το άλλο, πάνω στην πλαστική βάση, αφού πρώτα δημιουργήθηκαν οπές για την τοποθέτησή τους, με το κατάλληλου μεγέθους τρυπάνι.



Σχήμα 2.10 Led υπερέθρων φωτοπύλης



Σχήμα 2.11 Πλάγια όψη φωτοπύλης



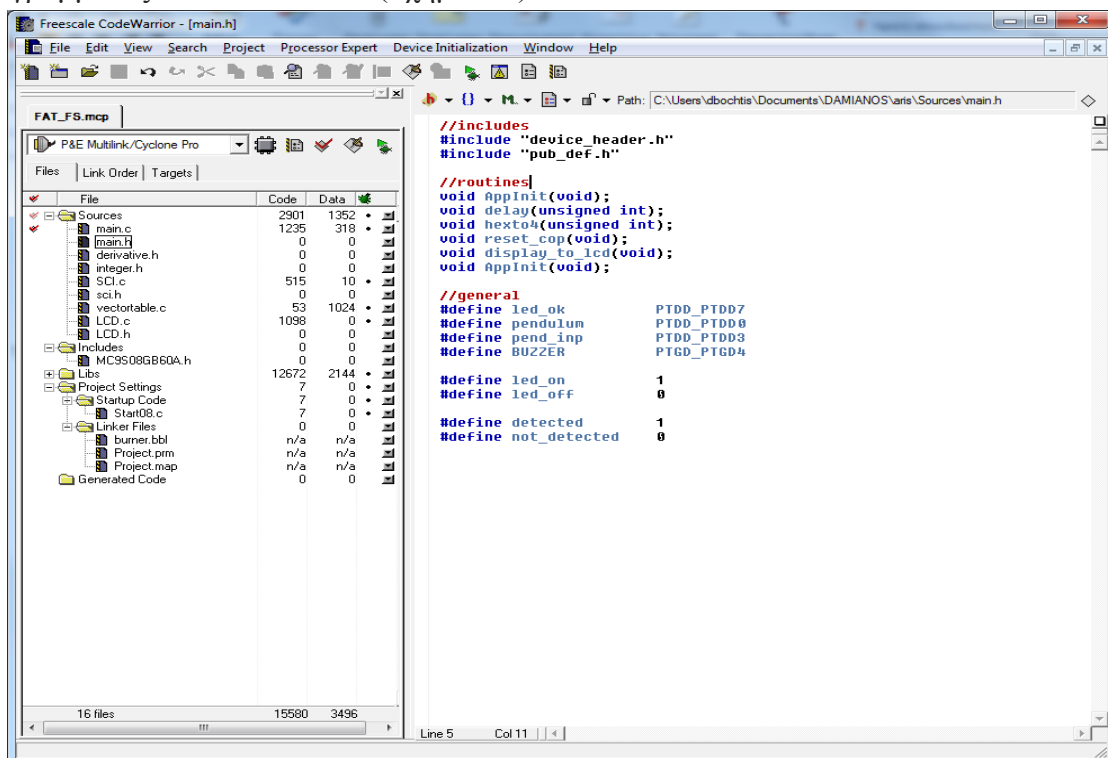
Σχήμα 2.12 Φωτοπύλη με βάση



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

## 3.1 Firmware

Το firmware (υλικολογισμικό) είναι το λογισμικό εκείνο το οποίο είναι υπεύθυνο για την σωστή λειτουργία της συσκευής και εγκαθίσταται στην μνήμη flash του μικροϋπολογιστή. Περιέχει όλες τις βιβλιοθήκες και τις απαραίτητες εντολές για την επικοινωνία του μικροϋπολογιστή με τα περιφερειακά, αλλά και των υπολογισμών της περιόδου του εκκρεμούς. Το λογισμικό αυτό συντάχθηκε σε γλώσσα C με τη βοήθεια του προγράμματος code warrior 6.3 (σχήμα 3.1).



Σχήμα 3.1 Περιβάλλον εργαλείου ανάπτυξης κώδικα

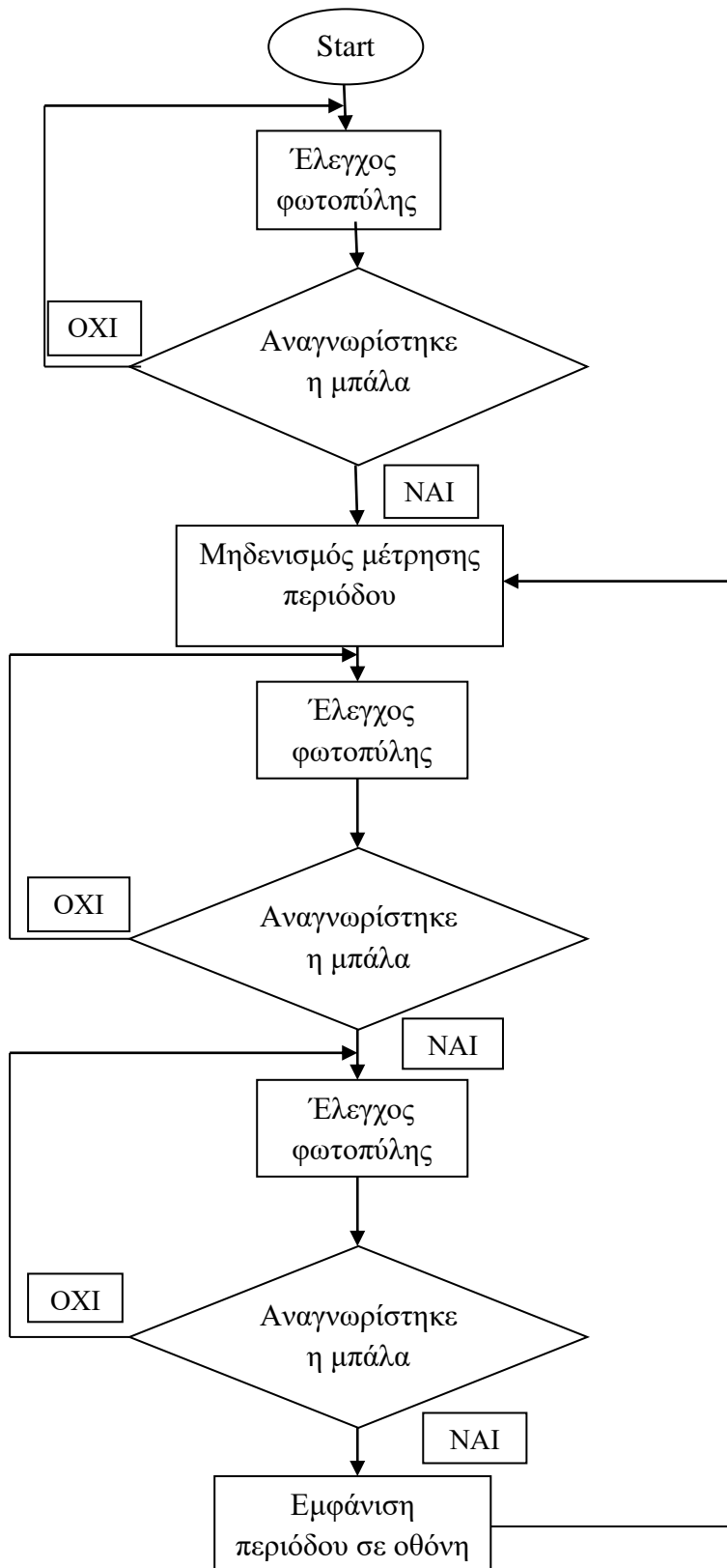
### 3.1.1 Αλγόριθμος

Για την υλοποίηση του προγράμματος πρέπει να συνταχθεί ο αλγόριθμος, στον οποίο θα βασιστεί το πρόγραμμα και θα εκτελεί όλες τις λειτουργίες του συστήματος.

Τα βήματα που υλοποιεί ο αλγόριθμος περιγράφονται παρακάτω:

1. Ξεκινώντας το πείραμα, η φωτοπύλη ελέγχει τη διέλευση του εκκρεμούς.
2. Με το πρώτο πέρασμα, μηδενίζει το χρονόμετρο και συνεχίζει τον έλεγχο.
3. Το πρόγραμμα περιμένει το επόμενο πέρασμα τους εκκρεμούς, ενώ συνεχίζει να ελέγχει.
4. Στο τρίτο πέρασμα του εκκρεμούς, εμφανίζεται στην οθόνη η περίοδος του εκκρεμούς.
5. Αμέσως μετά, μηδενίζεται η μέτρηση και ξεκινά πάλι από την αρχή ο έλεγχος της φωτοπύλης για την επομένη μέτρηση.

Και σχηματικά, τα βήματα περιγράφονται ως εξής: (σχήμα 3.2):



Σχήμα 3.2 Διάγραμμα ροής αλγορίθμου

### 3.1.2 Υλοποίηση σε κώδικα

Η μεταφορά του αλγόριθμου σε κώδικα πραγματοποιείται από τις παρακάτω εντολές:

```
#include <stdio.h>
#include "derivative.h"
#include "main.h"
#include "sci.h"
#include "lcd.h"

unsigned char msec_counter,msg1[9];
unsigned int msec,sec1,msec_temp,sec_temp;
/*-----*/
/* Program Main */
/*-----*/
void main (void) {
start:

    ApplInit(); // Αρχικοποίηση Εφαρμογής
    SCIIInit(); // Αρχικοποίηση σειριακής επικοινωνίας
                (19200,8,N,1)
    LCDInit(); // Αρχικοποίηση οθόνης
    EnableInterrupts; //Ενεργοποίηση Interrupt

    WriteLCDString(1,"Kotsagiannis Ar."); //Απεικόνιση στην πρώτη γραμμή της Οθόνης
    WriteLCDString(2,"Wait Period... "); // Απεικόνιση στην δεύτερη γραμμή της Οθόνης

    /*****/

loop1:

    if (pendulum==not_detected){goto loop1;} // Αναμονή εκκρεμούς αρχικής αναγνώρισης

    msec=0; // Μετά την αναγνώριση μηδενίζει τους μετρητές
            χρόνου
    sec1=0;

    WriteLCDString(1,"Pendulum Active"); //Απεικόνιση στην πρώτη γραμμή της Οθόνης

loop11:
    if (pendulum==detected){goto loop11;} // Αναμονή αρχικής διέλευσης εκκρεμούς

    /*****/
loop2:
    if (pendulum==not_detected){goto loop2;} // Αναμονή εκκρεμούς 1ης αναγνώρισης

    WriteLCDString(1,"Pendulum Active"); //Απεικόνιση στην πρώτη γραμμή της Οθόνης

loop21:
```



```

    reset_cop();
    if (pendulum==detected){goto loop21;} // Αναμονή 1ης διέλευσης εκκρεμούς

/*****/
loop3:
    if (pendulum==not_detected){goto loop3;} // Αναμονή εκκρεμούς 2ης αναγνώρισης
    msec_temp=msec; // Αποθήκευση μετρητών χρόνου
    sec_temp=sec1;

    msec=0; // Μηδενισμός μετρητών χρόνου
    sec1=0;
    display_to_lcd(); //Απεικόνιση αποτελεσμάτων στην Οθόνη & USB

loop31:
    reset_cop();
    if (pendulum==detected){goto loop31;} // Αναμονή 2ης διέλευσης εκκρεμούς

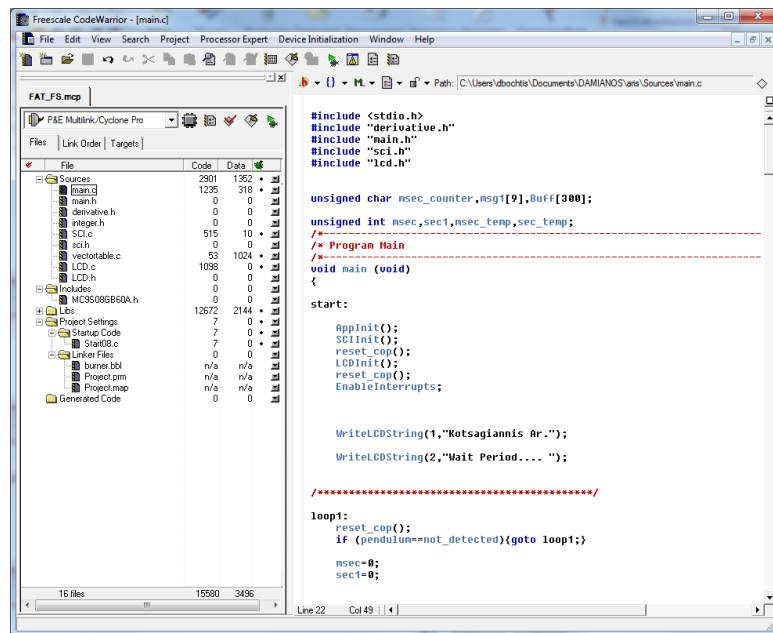
    goto loop2; // επιστροφή στην αναμονή εκκρεμούς 1ης
    αναγνώρισης

```

### 3.1.3 Περιβάλλον υλοποίησης

Το πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε για την εφαρμογή του κώδικα είναι το code warrior στην έκδοση 6.3 (σχήμα 3.3). Το πρόγραμμα αυτό εμπεριέχει:

- Κειμενογράφο στον οποίο γίνεται η σύνταξη του κώδικα .
- Αποσφαλματωτή, ο οποίος προειδοποιεί και ενημερώνει για τυχόν σφάλματα που προκύπτουν στον κώδικα.
- Μεταγλωττιστή (compiler), ο οποίος μεταφράζει τον κώδικα σε κώδικα μηχανής .
- Flash loader, ο οποίος γράφει τη μνήμη flash του μικροϋπολογιστή με το μεταφρασμένο κώδικα.



Σχήμα 3.3 Περιβάλλον εργαλείου ανάπτυξης κώδικα(κύρια ρουτίνα)

## 3.2 Software

Με τον όρο λογισμικό (Software) αναφερόμαστε στο σύνολο των προγραμμάτων ή εφαρμογών που έχουν δημιουργηθεί για χρήση στον Η/Υ, συμπεριλαμβανομένου και αυτών που μπορεί να αναπτύξει μόνος του ο χρήστης. Ένα πρόγραμμα είναι μια αλληλουχία οδηγιών προς τον Η/Υ για την εκτέλεση μιας συγκεκριμένης διαδικασίας. Οι κατηγορίες του λογισμικού έχουν ως εξής:

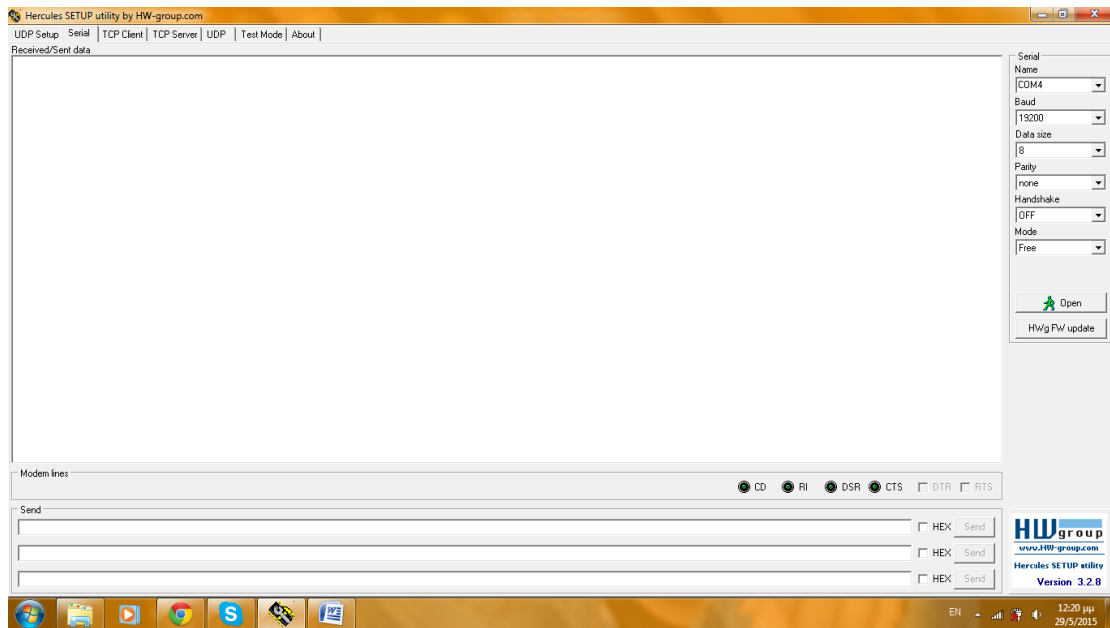
- **Λειτουργικό σύστημα:** Πρόκειται για το λογισμικό που ελέγχει τη λειτουργία του υπολογιστή και τη σωστή κατανομή των πόρων του. Ένα από τα πρώτα δημοφιλή λειτουργικά συστήματα για τους προσωπικούς υπολογιστές ήταν το **MS-DOS** (Disk Operating System), το οποίο βασιζόταν σε κείμενο και συνεπώς δεν ήταν πολύ φιλικό επειδή ο χρήστης έπρεπε να θυμάται και να πληκτρολογεί εντολές. Το λειτουργικό σύστημα **Microsoft Windows** είναι πολύ πιο φιλικό από το DOS. Έχει ένα γραφικό περιβάλλον επικοινωνίας που παρέχει εικόνες (εικονίδια) που αντιπροσωπεύουν εφαρμογές και άλλα διαθέσιμα προγράμματα ενώ ακόμη διαθέτει μενού, κουμπιά εντολών και παράθυρα διαλόγου που προσπελούνται χρησιμοποιώντας το ποντίκι. Στο λειτουργικό σύστημα περιλαμβάνονται, ακόμα, προγράμματα για τον έλεγχο του υλικού (hardware) και των διαδικασιών που εκτελούνται, για την οργάνωση των δεδομένων σε αρχεία, για την ανίχνευση λαθών (debuggers), τη μετάφραση σε γλώσσα μηχανής (assemblers). Παρουσιάζει επίσης ένα προκαθορισμένο περιβάλλον για το χρήστη, το οποίο φορτώνεται αυτόματα όταν ξεκινάει τον υπολογιστή και στη συνέχεια, ελέγχει τη λειτουργία του αλλά και οποιαδήποτε άλλη διαδικασία.
- **Γλώσσες προγραμματισμού:** Είναι το λογισμικό με το οποίο μπορούμε να αναπτύξουμε δικούς μας αλγορίθμους σε εκτελέσιμο κώδικα.
- **Λογισμικό εφαρμογών:** Με τον όρο «εφαρμογή» αναφερόμαστε σε προγράμματα εξειδικευμένα σε διάφορες εργασίες (επεξεργασία κειμένου, βάσεις δεδομένων, στατιστική, μισθοδοσία, γραφικά και σχέδιο, επιστημονικές εφαρμογές, προσομοίωση, επιτήρηση συστημάτων και περιοχών κλπ).
- **Λογισμικό δικτύου:** Ένα λογισμικό που αναπτύσσεται διαρκώς για να διευκολύνει τη διακίνηση αλλά και την επεξεργασία της πληροφορίας στο πλαίσιο δικτυακών συνδέσεων.

### 3.2.1 Υλοποίηση επικοινωνίας με Η/Υ

Η επικοινωνία της μετρητικής συσκευής με τον ηλεκτρονικό υπολογιστή, πραγματοποιήθηκε μέσω της δημιουργίας εικονικής σειριακής θύρας VCP (virtual communication port). Για τη δημιουργία της, εγκαταστάθηκαν οδηγοί (drivers) της εταιρίας FTDI Chips η οποία είναι και η κατασκευάστρια εταιρία του ολοκληρωμένου κυκλώματος (FT232RL) που πραγματοποιεί την προσαρμογή από USB σε σειριακό. Η φυσική σύνδεση του υπολογιστή με τη μετρητική μονάδα πραγματοποιήθηκε μέσω καλωδίωσης USB-A σε USB-B.

### 3.2.2 Λογισμικό επικοινωνίας

Το λογισμικό - πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε για την ανάγνωση των τιμών περιόδου και την εμφάνιση τους είναι το Hercules (σχήμα 3.4). Το λογισμικό αυτό είναι ένα τερματικό που διαβάζει και αποστέλνει πληροφορίες από την εικονική σειριακή θύρα (VCP). Στο λογισμικό αυτό πρέπει να οριστούν οι ρυθμίσεις των παραμέτρων της εικονικής θύρας ώστε να επιτευχθεί σωστά η επικοινωνία με τη μετρητική συσκευή.



Σχήμα 3.4 Λογισμικό επικοινωνίας με την σειριακή θύρα

### 3.2.3 Παράμετροι επικοινωνίας

|           |       |
|-----------|-------|
| Baud rate | 19200 |
| Data size | 8 bit |
| Parity    | None  |
| Stop bit  | 1     |

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### 4.1 Έλεγχος λειτουργίας

Για τον έλεγχο ορθής λειτουργίας της μετρητικής συσκευής πρέπει να πραγματοποιηθούν έλεγχοι που θα πιστοποιούν τη λειτουργικότητα της και συγκριτικές μετρήσεις με όργανο αναφοράς, τον παλμογράφο DSO-X 3024A της εταιρίας AGILENT

#### 4.1.1 Έλεγχος λειτουργίας φωτοπύλης

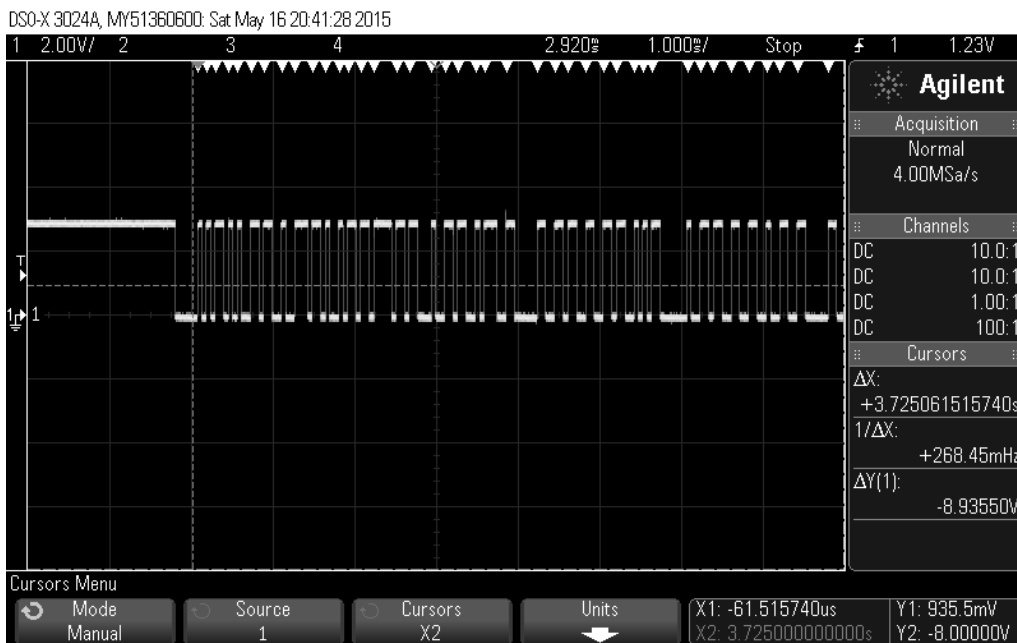
Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται η έξοδος της φωτοπύλης κατά τη διέλευση της μάζας του εκκρεμούς από το σημείο ελέγχου. Όταν η έξοδος βρίσκεται σε λογικό 1 σημαίνει ότι η μάζα διακόπτει τη δέσμη της υπέρυθρης ακτινοβολίας και γίνεται αντιληπτή η διέλευσή της από το δέκτη της φωτοπύλης.



Σχήμα 4.1:Σήμα από την έξοδο της φωτοπύλης.

#### 4.1.2 Έλεγχος λειτουργίας USB σειριακής επικοινωνίας

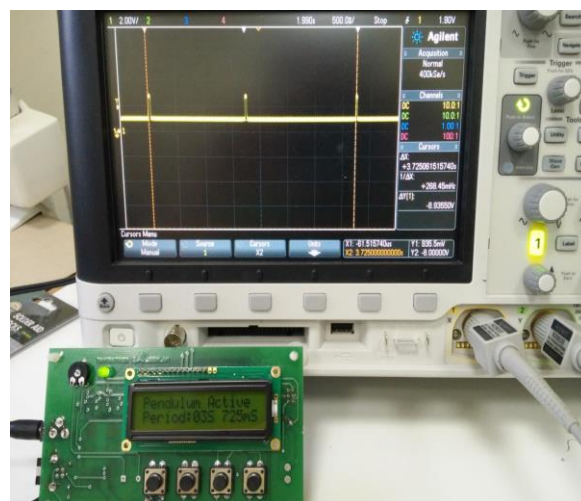
Για τον έλεγχο της επικοινωνίας της μετρητικής μονάδας με τον υπολογιστή καταγράφηκε η αποστολή των χαρακτήρων. Σε αυτούς ελέγχθηκε η ορθότητά τους και η ταχύτητα αποστολής τους (baud rate), (Σχήμα 4.2).



Σχήμα 4.2: Αποστολή χαρακτήρων στον υπολογιστή.

#### 4.2 Συγκριτικές Μετρήσεις

Όσον αφορά στις συγκριτικές μετρήσεις, έγινε ταυτοποίηση της μέτρησης του μετρητικού συστήματος με τη μέτρηση του παλμογράφου. Όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 4.3), η απόκλιση στη μέτρηση είναι πολύ μικρή από την πραγματική και αυτό οφείλεται κυρίως στη διακριτική ικανότητα μέτρησης χρόνου της μετρητικής μας συσκευής που είναι ίσος με 5mSec.



Σχήμα 4.3:

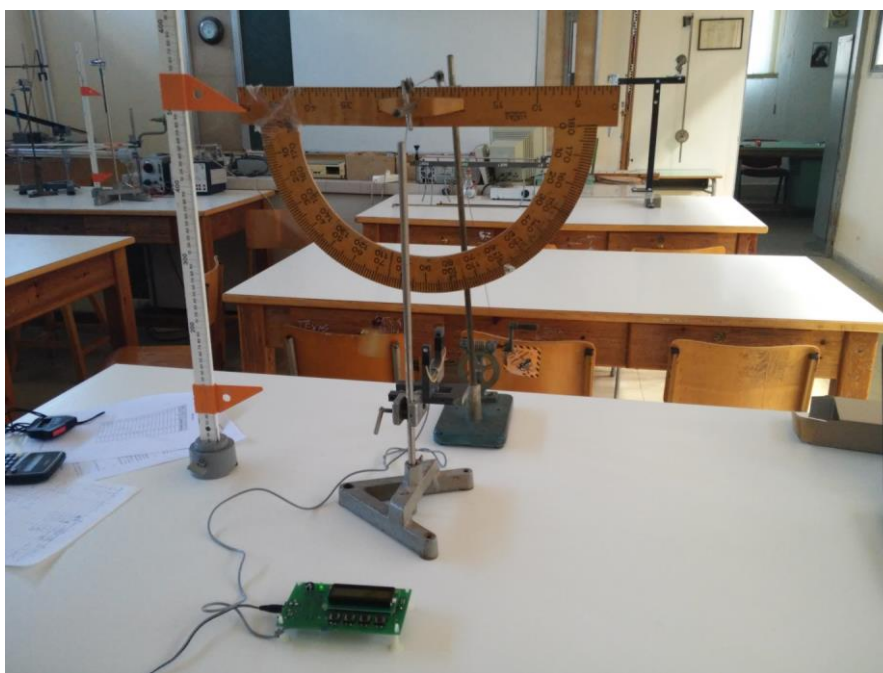
Επιβεβαίωση αποτελέσματος μετρητικής μονάδας με χρήση παλμογράφου

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### 5.1 Πειραματική διαδικασία

Η διάταξη του πειράματος αποτελείται από (Σχήμα 5.1):

- Μία διάταξη νήματος μεταβλητού μήκους συνδεδεμένη με μοιρογνωμόνιο για μέτρηση της γωνίας εκτροπής του εκκρεμούς μάζας 100g.
- Έναν χάρακα με κατάλληλους δείκτες (ακίδες) για τη μέτρηση του μήκους.
- Τη μετρητική συσκευή για τον υπολογισμό της περιόδου των ταλαντώσεων ενός απλού εκκρεμούς.



Σχήμα 5.1: Πειραματική διάταξη

Το μοιρογνωμόνιο στηρίζεται σε μία μεταλλική βάση, πάνω στην οποία είναι συνδεδεμένο και το νήμα με το βαρίδιο μάζας 100g. Μπροστά από αυτήν βρίσκεται μία άλλη μεταλλική βάση, στην οποία έχει τοποθετηθεί η φωτοπύλη έτσι ώστε να μεταβάλλει το ύψος της ανάλογα με το μήκος του νήματος. Η μετρητική συσκευή συνδέεται με τη φωτοπύλη έτσι ώστε να υπολογίζει και να εμφανίζει στην οθόνη της την περίοδο του εκκρεμούς.

Για να εκτελέσουμε την πειραματική διαδικασία ακολουθήσαμε την εξής διαδικασία:

1. Επιλέξαμε ένα τυχαίο σημείο του νήματος και μετρήσαμε το μήκος  $KA$ .
2. Εκτρέψαμε το βαρίδιο κατά  $10^\circ$  από την κατακόρυφο και καταγράψαμε την περίοδο της ταλάντωσης του εκκρεμούς.
3. Επαναλάβαμε τη διαδικασία για άλλες πέντε συνολικά μετρήσεις διατηρώντας σταθερό το πλάτος ταλάντωσης  $\theta=10^\circ$ , αλλάζοντας όμως το μήκος  $KA$  σε καθεμία από τις μετρήσεις.
4. Για το μεγαλύτερο δυνατό μήκος του εκκρεμούς καταγράψαμε την περίοδο για τις παρακάτω γωνίες:  $5^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ, 35^\circ, 40^\circ$ .
5. Καταχωρήσαμε τα δεδομένα μας στον πίνακα.

Για να ελέγξουμε αν οι τιμές της περιόδου είναι λογικές επαναλάβαμε την πειραματική διαδικασία καταργώντας τη μετρητική συσκευή και προσθέτοντας ένα ψηφιακό χρονόμετρο. Τα βήματα αυτής της πειραματικής διαδικασίας περιγράφονται ως εξής(Σχήμα 5.2,Σχήμα 5.3):

1. Επιλέξαμε ένα τυχαίο σημείο του νήματος και μετρήσαμε το μήκος ΚΑ.
2. Εκτρέψαμε το βαρίδιο κατά  $10^\circ$  από την κατακόρυφο και μετρήσαμε το χρόνο  $t$  για πέντε ταλαντώσεις.
3. Επαναλάβαμε τη διαδικασία για άλλες πέντε συνολικά μετρήσεις διατηρώντας σταθερό το πλάτος ταλάντωσης  $\theta=10^\circ$ , αλλάζοντας όμως το μήκος ΚΑ σε καθεμία από τις μετρήσεις.
4. Για το μεγαλύτερο δυνατό μήκος του εκκρεμούς μετρήσαμε το χρόνο για πέντε ταλαντώσεις για τις παρακάτω γωνίες:  $5^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ, 35^\circ, 40^\circ$ .
5. Καταχωρήσαμε τα δεδομένα μας στον πίνακα.



Σχήμα 5.2:Πειραματική διάταξη



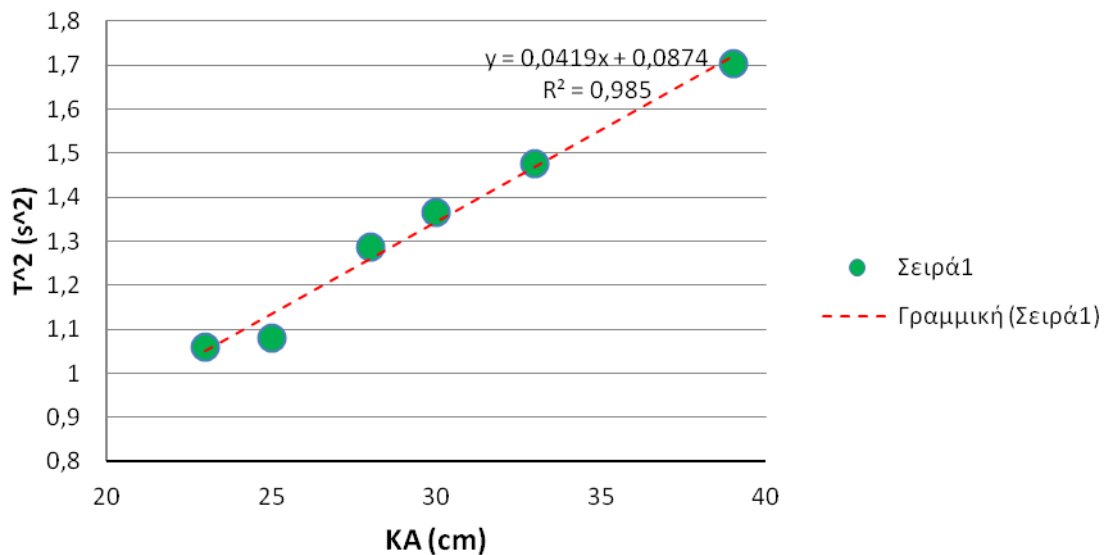
Σχήμα 5.3:Πειραματική διάταξη

## 5.2 Μετρήσεις - Αποτελέσματα

Μετρήσεις κ διάγραμμα μετρητικής συσκευής για σταθερές μοίρες και διαφορετικό μήκος νήματος(Πίνακας 5.1,Γράφημα5.1) .

| $\alpha/\alpha$ | $\theta$ (°) | KA (cm) | T (s) | T <sup>2</sup> (s <sup>2</sup> ) | g (cm/s <sup>2</sup> ) |
|-----------------|--------------|---------|-------|----------------------------------|------------------------|
| 1               | 10           | 23      | 1,030 | 1,0609                           | 855,8805               |
| 2               |              | 25      | 1,040 | 1,0816                           | 912,5004               |
| 3               |              | 28      | 1,135 | 1,288225                         | 858,0766               |
| 4               |              | 30      | 1,168 | 1,364224                         | 868,1511               |
| 5               |              | 33      | 1,215 | 1,476225                         | 882,513                |
| 6               |              | 39      | 1,305 | 1,703025                         | 904,0726               |

Πίνακας 5.1 Αποτελέσματα μετρήσεων πειραματικής διαδικασίας



Γράφημα 5.1 Γραφική παράσταση μετρήσεων



| α/α | Length | T(s)Συσκευής | T(s)Θεωρητικό | Σφάλμα |
|-----|--------|--------------|---------------|--------|
| 1   | 23     | 1,03         | 0,963         | 0,07   |
| 2   | 25     | 1,04         | 1,004         | 0,03   |
| 3   | 28     | 1,135        | 1,062         | 0,06   |
| 4   | 30     | 1,168        | 1,100         | 0,06   |
| 5   | 33     | 1,215        | 1,153         | 0,05   |
| 6   | 39     | 1,305        | 1,254         | 0,04   |

Πίνακας 5.2 Σύγκριση τιμών συσκευής και χρονομέτρου

Καμία μέτρηση φυσικού μεγέθους δεν είναι απόλυτα ακριβής. Το αριθμητικό αποτέλεσμα κάθε μέτρησης είναι πάντοτε μια προσέγγιση. Η διαφορά (απόκλιση) του αριθμητικού αποτελέσματος μίας μέτρησης από την πραγματική τιμή που έχει το μέγεθος ονομάζεται αβεβαιότητα (ή σφάλμα). Τα σφάλματα διακρίνονται σε συστηματικά και τυχαία. Τα συστηματικά σφάλματα οφείλονται σε μόνιμη αιτία και επηρεάζουν το αποτέλεσμα της μέτρησης πάντοτε κατά τον ίδιο τρόπο. Συνήθως οφείλονται σε ατέλειες ή βλάβες των οργάνων μέτρησης. Τα τυχαία σφάλματα προέρχονται όχι από μόνιμη αιτία και επηρεάζουν το αποτέλεσμα ακανόνιστα (τυχαία). Αυτά οφείλονται είτε στην περιορισμένη ακρίβεια των οργάνων μέτρησης είτε στην αστάθεια των εξωτερικών συνθηκών που μπορούν να επηρεάσουν το πείραμα είτε στον παρατηρητή. Στα τυχαία σφάλματα περιλαμβάνονται και τα ακούσια λάθη παρατήρησης και γραφής. Τα τελευταία μπορούν να εξαλειφθούν, αν είμαστε προσεκτικοί.

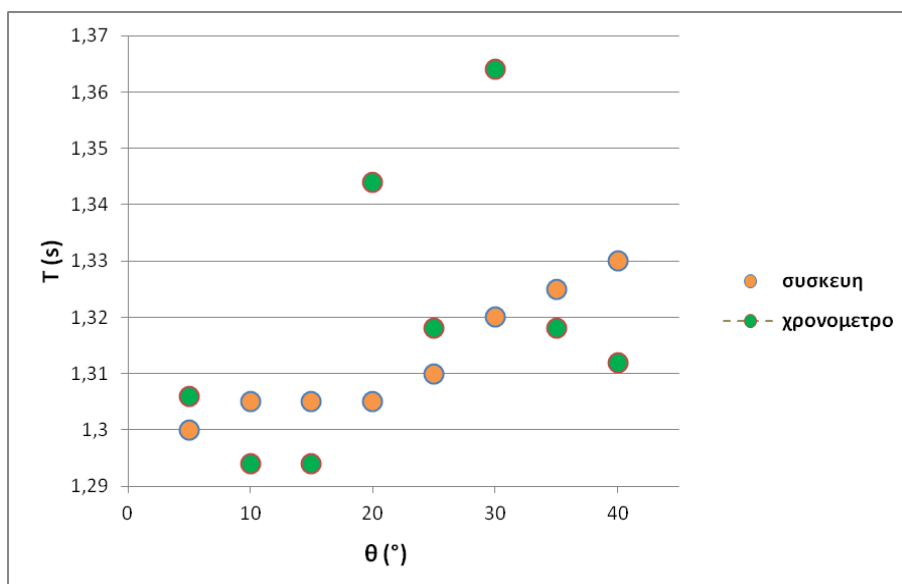
Στον πίνακα χχ στην τελευταία στήλη του, είναι το σφάλμα μέτρησης μεταξύ θεωρητικής τιμής και μετρούμενης, παρατηρείται μια σταθερή απόκλιση μεταξύ τους. Άρα το σφάλμα αυτό έχει τη μορφή συστηματικού σφάλματος. Οι παράγοντες οι οποίοι μπορούν να επηρεάσουν το σφάλμα αυτό είναι οι εξής(Πίνακας 5.2):

- Η μέτρηση στο μήκος του νήματος. Στη πρώτη μέτρηση το μήκος θεωρείται ίσο με 23cm. Η μέτρηση του μήκους όμως εμπεριέχει σφάλμα και η ακριβής απόσταση μπορεί να βρίσκεται κάτω από 23cm ή πάνω από 23cm χωρίς να γνωρίζουμε αν είναι 23,1, ή 23,2, ή 23,3 κτλ. Γι αυτό είναι πιο σωστό να γράφουμε ότι το  $l=23 \pm 5\text{mm}$ .
- Σφάλμα στη μέτρηση της μετρητικής συσκευής. Η μετρητική συσκευή έχει ανάλυση 5 mSec. Αυτό μπορεί να εισάγει σφάλμα λόγω ανάλυσης. Επίσης η συσκευή μπορεί να εμπεριέχει σφάλμα λόγω κακής βαθμονόμησης, την πιθανότητα αυτή όμως την εξαλείψαμε σε σημαντικό βαθμό με τη συγκριτική μέτρηση με το παλμογράφο (Σχήμα 4.3).

Μετρήσεις και διάγραμμα συσκευής για διαφορετικές τιμές μοιρών και σταθερό μήκος νήματος (Πίνακας 5.3, Γράφημα 5.2).

| $\alpha/\alpha$ | $\theta$ (°) | ΚΑ (cm) | Συσκευή<br>T (s) |
|-----------------|--------------|---------|------------------|
| 1               | 5            | 39      | 1,3              |
| 2               | 10           |         | 1,305            |
| 3               | 15           |         | 1,305            |
| 4               | 20           |         | 1,305            |
| 5               | 25           |         | 1,31             |
| 6               | 30           |         | 1,32             |
| 7               | 35           |         | 1,325            |
| 8               | 40           |         | 1,33             |

Πίνακας 5.3 Μετρήσεις περιόδου για διαφορετική γωνία



Γράφημα 5.2 Γραφική παράσταση μετρήσεων συσκευής συγκριτικά με χρονόμετρο



## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ- ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ

Με τις μετρήσεις που έγιναν επιβεβαιώθηκε η εξάρτηση της περιόδου του εκκρεμούς από το μήκος του νήματος. Για μικρές γωνίες η περίοδος βρέθηκε να είναι ανάλογη της τετραγωνικής ρίζας του μήκους του εκκρεμούς σε συμφωνία με τη θεωρία. Οι αποκλίσεις από τις θεωρητικές τιμές ήταν μικρότερες του 10% κάτι που είναι αρκετά ικανοποιητικό. Στην προσέγγιση των μικρών γωνιών η περίοδος είναι ανεξάρτητη του πλάτους. Για μεγαλύτερα πλάτη ταλάντωσης, από τις μετρήσεις προέκυψε ότι η περίοδος αυξάνεται με τη γωνία. Η συσκευή μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο εργαστήριο της Φυσικής, διότι λειτουργεί σωστά σύμφωνα με τα πειράματα που πραγματοποιήσαμε. Επίσης θα μπορούσε να έχει χρήση στο εργαστήριο των ΣΑΕ για την μελέτη διαφόρων συστημάτων αυτόματου ελέγχου.

Η συσκευή μπορεί να έχει αρκετές χρήσεις, σε διάφορα πειράματα, είτε λειτουργώντας με την φωτοπύλη, είτε προσθέτοντας κάποιους αισθητήρες. Παραδείγματος χάρι, θα μπορούσαμε να μετρήσουμε με την φωτοπύλη τις στροφές ενός δίσκου ο οποίος περιστρέφεται από έναν ηλεκτροκινητήρα. Και με την βοήθεια ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή να βλέπουμε τις στροφές ανά τον χρόνο ή ακόμα ρυθμίζοντας τις στροφές του δίσκου, πραγματοποιώντας έτσι μια μελέτη αυτομάτου ελέγχου. Εφόσον η συσκευή διαθέτει μικροϋπολογιστή, ο μικροϋπολογιστής εμπεριέχει Α/Δ converter όπου μετατρέπει τα αναλογικά σήματα σε ψηφιακά. Έτσι με την χρήση κατάλληλου υλικολογισμικού (firmware), μπορεί να αναγνώσει αναλογικά σήματα και να τα μετατρέψει στις μονάδες μέτρησης τους. Έτσι με την βοήθεια και των κατάλληλων αισθητήρων θα μπορούσαμε να πάρουμε μετρήσεις θερμοκρασίας, υγρασίας, ρεύματος, πίεσης, στρέψης, κλπ.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Σημειώσεις εργαστηρίου Φυσικής, Μηχανολόγων Μηχανικών, Αλέξανδρος Καλαράκης
2. Σημειώσεις εργαστηρίου Προγραμματισμού Η/Υ, Μηχανολόγων Μηχανικών, Γεωργία Τσώλου
3. Φυσική για επιστήμονες και μηχανικούς: μηχανική, ταλαντώσεις και μηχανικά κύματα, θερμοδυναμική, σχετικότητα, Raymond A. Serway, John W. Jewett, 8η Αμερικανική/2012, Εκδόσεις: ΚΛΕΙΔΑΡΙΘΜΟΣ ΕΠΕ
4. Πανεπιστημιακή φυσική με σύγχρονη φυσική, Α Τόμος, Young H., Freedman R., 2η ελληνική έκδ./2009, Εκδόσεις: ΠΑΠΑΖΗΣΗ.
5. [http://www.ipet.gr/digitech2/index.php?option=com\\_content&task=view&id=94&Itemid=61](http://www.ipet.gr/digitech2/index.php?option=com_content&task=view&id=94&Itemid=61) (13/2/2020)
6. <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A4%CF%81%CE%BF%CF%86%CE%BF%CE%B4%CE%BF%CF%84%CE%B9%CE%BA%CF%8C>(13/2/2020)