ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
Δ.Π.Μ.Σ
Προηγμένα Συστήματα Παραγωγής, Αυτοματισμού και Ρομποτικής

Όργανο μέτρησης οπτικής ισχύος για Laser και Led.

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



Φοιτητής ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΣΕΡΑΦΕΙΜΙΔΗΣ mth72

Επιβλέπων ΕΥΣΤΡΑΤΙΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΥ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

Ηράκλειο Δεκέμβριος 2022

HELLENIC MEDITERRANEAN UNIVERSITY

Interdepartmental Graduate Program
Advanced Production Systems, Automation and Robotics

Optical power measuring instrument for Laser and Led.

DIPLOMA THESIS



Student GEORGE SERAFIMIDIS mth72
Supervisor EFSTRATIOS GEORGIOU PROFFESOR

Heraklion December 2022

Copyright ©
2022

Σεραφειμίδης Γεώργιος 2022
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.All rights reserved.
Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το πρόγραμμα δεν υποδηλώνει απαραιτήτως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του τμήματος.
Υπεύθυνη Δήλωση : Βεβαιώνω ότι είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην διπλωματική εργασία. Επίσης έχω αναφέρει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επίσης βεβαιώνω ότι αυτή η πτυχιακή εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά ειδικά για τις απαιτήσεις του προγράμματος σπουδών του Δ.Π.Μ.Σ **Προηγμένα Συστήματα Παραγωγής, Αυτοματισμού και Ρομποτικής** του ΕΛ.ΜΕ.ΠΑ.

Ευχαριστίες
Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο ΔΠΜΣ **Προηγμένα Συστήματα Παραγωγής, Αυτοματισμού και Ρομποτικής** του Ελληνικού Μεσογειακού Πανεπιστημίου.
Για την εκπόνηση της εργασίας αυτής θα ήθελα να ευχαριστήσω τούς καθηγητές του τμήματος.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω στον επιβλέποντα καθηγητή, κ. Ευστράτιο Γεωργίου, για την ευκαιρία που μου έδωσε, με την ανάθεση της εργασίας, να έρθω σε επαφή με πρότυπες εφαρμογές και κατασκευές σε σχέση οπτοηλεκτρονική και Laser , καθώς επίσης για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, και για την υπομονή και καθοδήγηση καθ' όλη την διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας αυτής.
Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια και τους φίλους μου για την υποστήριξη τους σε όλη την διάρκεια των σπουδών μου.

Περίληψη

Σκοπός της εργασίας είναι η παρουσίαση ενός οργάνου μετρήσεως οπτικής ισχύος κυρίως για πηγές laser και για κάποιες κατηγορίες πηγών led.

Η μέθοδος που χρησιμοποιείται είναι διαφορετική από τις ήδη υπάρχουσες για τη μέτρηση ισχύος λέιζερ. Η μέτρηση γίνεται μέσω της παρακολούθησης της αύξησης θερμοκρασίας σε μία διάταξη στην οποία προσπίπτει το λέιζερ και ταυτόχρονα στη θέρμανση πανομοιότυπης διάταξης με θέρμανση της μέσο αντίστασης. Έτσι όταν έχουμε ισορροπία σε θερμοκρασία των δύο διατάξεων μπορούμε να υπολογίσουμε την ισχύ της δέσμης laser από την ισχύ που παρέχουμε στη δεύτερη διάταξη για τη θέρμανση της.

Με τη χρησιμοποίηση αυτής της διάταξης μπορούμε να μετρήσουμε την ισχύ διαφόρων πηγών laser τροποποιώντας την κατασκευαστική δομή των αισθητηρίων και χωρίς να χρειάζεται βαθμονόμηση για να εξάγουμε αποτελέσματα για την ισχύ των λέιζερ που θέλουμε να μετρήσουμε.

Μπορούμε ακόμα να μετρήσουμε και την ισχύ πηγής φωτός led αρκεί να είναι η δέσμη συγκεντρωμένη μέσω φακού για να προσπίπτει πάνω στην επιφάνεια του αισθητήρα.

Abstract

The purpose of the work is the presentation of an optical power measuring instrument mainly for LASER and for some LED categories.

The method used is different from those already existing for laser power measurement. The measurement is made by monitoring the temperature rise in a device upon which the laser is incident and simultaneously creating an equal temperature rise on heating an identical device so when we have equation in temperature of the two devices we can calculate the power of the laser beam from the power we provide to the second device for its heating.

By using this device we can measure the power of various laser sources by modifying the structure of the sensors without needing calibration to extract results for the power of the lasers we want to measure.

We can still measure the power of LED light sources as long as the beam is focused through a lens to impinge on the surface of the sensor.

Περιεχόμενα

Περίληψη v
Abstract vi

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - Εισαγωγή Αντικείμενο.

1 Εισαγωγή……..…σελ 5
1.1 Δομή και διάρθρωση της εργασίας……..…σελ 5
1.2 Αντικείμενο διπλωματικής εργασίας…….σελ 6
1.3 Μεθοδολογία ……..σελ 10

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – Μετρητικά συστήματα Laser .....σελ 10

2.1 Μέθοδοι μέτρησης ισχύος laser.....σελ 10
2.1.1 Νέες μέθοδοι μέτρησης ισχύος laser……..…….. σελ 11-15
2.2 Ασφαλής χρήση και μέτρα ασφαλείας .... σελ 19
2.2.1 Κίνδυνοι και βλάβες ανά κατηγορία laser …… … σελ 20
2.2.2 Επιπτώσεις στον ανθρώπινο οργανισμό & προστασία..... ...σελ 23

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 Υλικά-κατασκευή διάταξης μέτρησης .... σελ 26

3.1 Περιγραφή στοιχείων του κυκλώματος.....σελ 26
3.1.1 Περιγραφή & Προδιαγραφές ελεγκτή .....σελ 27
3.1.3 Περιγραφή-χαρακτηριστικά αισθητηρίων ……....σελ 28
3.2 Σχεδιασμός & τροφοδοσία του συστήματος.....σελ 29

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – Πειραματική διαδικασία……..... σελ 34

4.1 Περιγραφή της μεθόδου .....σελ 34
4.2 Πειραματική διαδικασία..... σελ 37
4.3 Αποτελέσματα μετρήσεων……σελ 38

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 Μέτρηση πηγής LED..…….…….....……σελ 40

5.1 Μέτρηση πηγής LED ……..……..σελ 40
5.2 Συμπεράσματα μέτρησης πηγής led..... σελ 41

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. Γενικά συμπεράσματα μελλοντικές βελτιώσεις……....σελ 41

6.1 Γενικά συμπεράσματα ……σελ 41
6.1.1 Βελτιώσεις για μέτρηση LASER……σελ 42
6.1.2 Βελτιώσεις για μέτρηση πηγής LED……σελ 42

Βιβλιογραφία……σελ 43-44

Παραρτήματα

Παράρτημα 1 Α και Β Κώδικας για μέτρηση θερμοκρασίας από Arduino (ds18b20)

……σελ 45-47

Παράρτημα 2 PWM Κώδικας για Arduino ……...σελ 48

Παράρτημα 3 Έλεγχος θερμοκρασίας και θέρμανσης μέσο Arduino. σελ 49-51

Παράρτημα 4 Μέτρηση τάσης dc με Arduino ……σελ 52-53

Παράρτημα 5 Μέτρηση τάσης ρεύματος με Arduino και

Adafruit INA219 Current & Voltage Sensor ……. σελ 54-55

Λίστα πινάκων.

Πίνακας 1 Ισχύς εξόδου…….σελ 15

Πίνακας 2 Απορρόφηση από αισθητήρα…….σελ16

Πίνακας 3 Επίδραση ακτινοβολίας…….σελ 22

Πίνακας 4 Κατηγορίες προστασίας γυαλιών……σελ 24

Πίνακας 5 Αποτελέσματα μετρήσεων……σελ 33

Πίνακας 6 αποτελέσματα γραφικά……..σελ 33

Λίστα εικόνων

Εικόνα 1 Εικόνα εξωφύλου.

Εικόνα 2 Μετρητής ισχύος φωτοδιόδου……..σελ 5

Εικόνα 3 Πυροηλεκτρικός μετρητής……..σελ 9

Εικόνα 4 Κίνδυνος…… σελ 18

Εικόνα 5 Ζητήματα ασφαλείας……...σελ 23

Εικόνα 6 Πλακέτα Arduino με οθόνη……σελ 26

Εικόνα 7 Εργαστηριακά τροφοδοτικά……...σελ 26

Εικόνα 8 DS18b20 pinout……...σελ 27

Εικόνα 9 Συσκεύη με 2 διατάξεις……...σελ 29

Εικόνα 10 Συνδεσμολογία 18b20 ……σελ 30

Εικόνα 11 Συσκεύη μετρήσεων……...σελ 31

Εικόνα 12 Τσιπ led 2835 smd……σελ 35

Εικόνα 13 Φακός εστίασης δέσμης……σελ 35

1.Εισαγωγή

1.1 Δομή και Διάρθρωση της εργασίας

Η συγκεκριμένη εργασία αναπτύσσεται σε έξι κεφάλαια

• Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται η εισαγωγή στο αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας, παρουσιάζεται ο σκοπός της εργασίας και η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε για να επιτευχθεί και η δομή της εργασίας.

• Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι υπάρχουσες τεχνολογίες και διατάξεις συστημάτων μέτρησης ισχύος laser

• Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η κατασκευή της διάταξης με όλα τα επιμέρους μέρη που την αποτελούν.

• Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η μέτρηση ισχύος μιας πηγής laser και σύγκριση της μέτρησης με άλλες μετρητικές διατάξεις ισχύος laser.

• Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η μέτρηση ισχύος μιας πηγής φωτός led.

• Στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα και οι μελλοντικές επεκτάσεις και τροποποιήσεις της διάταξης.

Τέλος παρατίθεται η βιβλιογραφία.

1.2 Αντικείμενο διπλωματικής εργασίας

Η μέτρηση οπτικής ισχύος είναι ένας τομέας της επιστήμης και της τεχνολογίας που παρά την μεγάλη σημασία του και τις ευρύτατες εφαρμογές του στηρίζεται για την επίτευξη του στόχου του σε μεθοδολογίες που θα μπορούσαν να χαρακτηρισθούν ως έμμεσες ή και ημι- εμπειρικές. Τα κύρια προβλήματα οφείλονται στην φύση των ανιχνευτών ισχύος ακτινοβολίας και στην εφαρμοζόμενη γενική τακτική της έμμεσης μετατροπής του οπτικού σήματος σε μετρήσιμο ηλεκτρικό (ρεύμα ή τάση ή αγωγιμότητα). Οι κοινότεροι οπτικοί ανιχνευτές ισχύος βασίζονται στην ηλεκτρική μέτρηση της επαγόμενης θερμοκρασιακής ανόδου στο υλικό του αισθητήρα και την ημι-εμπειρική ή υπολογιστική αντιστοίχισή της με οπτική ισχύ. Άλλη κατηγορία ανιχνευτών οπτικής ισχύος βασίζεται στην μεταβολή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (photo-conductive) ή στο παραγόμενο ηλεκτρικό ρεύμα λόγω διαχωρισμού φορέων p-n στην περιοχή διεπαφής ημιαγωγών διαφορετικού τύπου (photovoltaic). Όμως και αυτή η κατηγορία ανιχνευτών “ενεργειακού διακένου” παρουσιάζει μεγάλα προβλήματα βαθμονόμησης ισχύος, που ανάγονται στην αβεβαιότητα της φωτο-ηλεκτρικής απόδοσης και στην έντονη εξάρτησή της από το μήκος κύματος.

Σκοπός της παρούσας εργασίας υπήρξε η υλοποίηση μιας νέας ιδέας για την ακριβή, επαναλήψιμη, ελέγξιμη και εύκολα βαθμονομήσιμη μέτρηση οπτικής ισχύος και η ανάπτυξη - παρουσίαση ενός αντίστοιχου οργάνου μετρήσεως. Η μέθοδος στοχεύει επί του παρόντος να γίνει εφαρμόσιμη κυρίως για πηγές laser αλλά επίσης και για μεγάλες κατηγορίες πηγών led, και πιο συγκεκριμένα για πηγές ικανοποιητικής οπτικής κατευθυντικότητας.

Η μέθοδος που αναπτύσσεται εδώ διαφέρει από τις ήδη υπάρχουσες για την μέτρηση οπτικής ισχύος, κατά το ότι βασίζεται μεν στα θερμικά αποτελέσματα της οπτικής ισχύος που προσπίπτει στον ανιχνευτή (δηλ. αύξηση της θερμοκρασίας), πλην όμως η εξαγωγή της τιμής ισχύος δεν γίνεται με την απ’ ευθείας μέτρηση αυτών των αποτελεσμάτων ή από ανάλογο υπολογισμό-μοντελοποίηση. Αντ’ αυτού, η τιμή της προσπίπτουσας οπτικής ισχύος εξάγεται με σύγκριση και εξισορρόπηση των θερμικών αποτελεσμάτων

της με αυτά που προκαλούνται σε πανομοιότυπη διάταξη λόγω θέρμανσης από ενσωματωμένη ωμική αντίσταση με ρυθμιζόμενη και ελεγχόμενη τροφοδοσία μέσω μικρο-επεξεργαστή. Όταν επιτευχθεί εξισορρόπηση των θερμικών αποτελεσμάτων, η ισχύς της οπτικής δέσμης υπολογίζεται απλά από την ηλεκτρική ισχύ τροφοδοσίας της αντίστασης, η οποία αποτελεί ένα εύκολα μετρήσιμο. ελέγξιμο και αξιόπιστο μέγεθος.

Με κατάλληλα διαμορφωμένους αισθητήρες, η χρήση αυτής της μεθόδου επιτρέπει την μέτρηση ισχύος δέσμης laser από λίγα mW εως δεκάδες W, χωρίς να είναι απαραίτητη κάποια ειδική βαθμονόμηση πλην της βασικής εκτίμησης της οπτικής απορρόφησης της επιφάνειας του αισθητήρα. Εφ΄όσον μάλιστα η επιφάνεια αυτή παραμείνει σε καλή κατάσταση χωρίς ρύπους ή αποχρωματισμούς, δεν θα απαιτηθεί στην συνέχεια καμμία νέα περιοδική επανα-βαθμονόμηση του αισθητήρα, όπως συμβαίνει σε άλλες κατηγορίες ανιχνευτών για τις περισσότερες καθιερωμένες μεθοδολογίες μέτρησης οπτικής ισχύος.

Με την ίδια μέθοδο μπορεί επίσης να μετρηθεί και η ισχύς πηγών φωτός led αρκεί η δέσμη να συγκεντρωθεί μέσω φακού ώστε το ίχνος της να εμπίπτει μέσα στην επιφάνεια του αισθητήρα.

Συγκρινόμενη με άλλες μεθόδους, η συγκριτική μέθοδος «μέτρησης οπτικής ισχύος με εξισορρόπηση» εμφανίζει σημαντικά πλεονεκτήματα, όπως απλή και ελέγξιμη αρχή λειτουργίας, ανεξαρτησία από το μήκος κύματος της ακτινοβολίας, πολύ χαμηλό κόστος ανιχνευτή (κεφαλής) και απλό-φθηνό ηλεκτρονικό σύστημα, δυνατότητα άμεσης ή και αυτόματης αντιστάθμισης σφαλμάτων και επανα-βαθμονόμησης, καθώς και περαιτέρω δυνατότητα απλής μέτρησης της οπτικής ενέργειας (δοσιμετρίας).

1.3 Μεθοδολογία

Η μέτρηση πραγματοποιείται μέσω μιας συσκευής η οποία έχει δύο πανομοιότυπες κατασκευαστικά συσκευές. Στη μία διάταξη στοχεύουμε τη δέσμη laser και παρακολουθούμε την αύξηση της θερμοκρασίας της. Ταυτόχρονα θερμαίνουμε τη δεύτερη πανομοιότυπη διάταξη μέσω ενσωματωμένης αντίστασης. Έτσι μετά από κατάλληλο χρόνο που χρειάζεται για να επέλθει ισορροπία μεταξύ απορροφημένης ενέργειας στην πρώτη διάταξη και απωλειών στο περιβάλλον άρα και σταθεροποίηση της θερμοκρασίας, υπολογίζουμε την ισχύ της δέσμης laser από την παρεχόμενη ηλεκτρική ισχύ για τη θέρμανση της δεύτερης συσκευής. Τέλος μέσω της μέτρησης της καταναλισκόμενης ισχύς στη δεύτερη διάταξη για να έχουμε την ίδια θερμοκρασία με την πρώτη διάταξη υπολογίζουμε την ισχύ της ακτίνας laser που προσπίπτει στην πρώτη διάταξη.

Βεβαίως λαμβάνουμε υπόψη μας την οπτική απορροφητικότητα της πρώτης συσκευής στη συγκεκριμένη ακτινοβολία laser και τις τυχόν θερμικές απώλειες από τη θέρμανση της αντίστασης στην δεύτερη συσκευή.

Με τη συσκευή αυτή δεν χρειάζεται βαθμονόμηση για να μετρηθεί η ισχύς του λέιζερ αφού μέσω της παρακολούθησης της θερμοκρασίας των δύο πανομοιότυπων διατάξεων που έχουν την ίδια συμπεριφορά ως προς την απορρόφηση και εκπομπή θερμότητας προς το περιβάλλον μπορούμε και μετράμε την πραγματική ισχύ της συσκευής laser κάθε φορά.

Κεφάλαιο 2 . Μετρητικά συστήματα ισχύος Laser

2.1 Μέθοδοι μέτρησης ισχύος laser.

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΤΡΗΣΗ ΙΣΧΥΟΣ LASER

Οι τρεις πιο συνηθισμένοι ανιχνευτές που χρησιμοποιούνται για μετρήσεις οπτικής ισχύος ή λέιζερ είναι οι φωτοδίοδοι, οι θερμοστοιχεία και οι πυροηλεκτρικοί.

Φωτοδιοδοι.

Με τις φωτοδιόδους μπορούμε να μετρήσουμε από picowatt έως εκατοντάδες milliwatt. Κάθε τύπος, είτε είναι πυρίτιο, γερμάνιο, είτε InGaAs, έχει πολύ ξεχωριστό φασματικό εύρος και φασματική απόκριση (δηλαδή δεν είναι φασματικά επίπεδα). Το ανώτατο όριο ισχύος που μπορούν να χειριστούν συνδέεται με τον «κορεσμός φωτορεύματος». Μόλις επιτευχθεί ο κορεσμός, η έξοδος ρεύματος δεν είναι πλέον ανάλογη με την ένταση του λέιζερ (ή του φωτός).

Θερμοστοιχεία.

Τα θερμοστοιχεία είναι ευρυζωνικοί, θερμικοί ανιχνευτές που αποτελούν τη βάση για τη μέτρηση λέιζερ μέσης έως υψηλής ισχύος. Το εύρος ισχύος είναι τυπικά από μερικά χιλιοστά βάτ έως πολλά κιλοβάτ. Παρέχουν επίσης ένα πολύ υψηλό όριο ζημιάς της τάξης των δεκάδων kW/cm2 και έχουν μεγάλες απορροφητικές επιφάνειες από 10 mm έως 100 mm διάμετρο. Καθώς αυτοί οι ανιχνευτές ανταποκρίνονται σε όλες τις πηγές ακτινοβολίας (οπτικής ή θερμότητας), η πραγματοποίηση μετρήσεων στην περιοχή mW μπορεί να είναι μια πρόκληση λόγω της θερμικής μετατόπισης DC.

Πυροηλεκτρικοί ανιχνευτές

Οι πυροηλεκτρικοί ανιχνευτές,παρέχουν σταθερές μετρήσεις ισχύος από μερικές nanowatt σε αρκετές εκατοντάδες milliwatts (συνήθως 50 MW/cm2 μέγιστη μέση ισχύ). Η φασματική τους απόκριση είναι αρκετά επίπεδη (± 2%) από 0,25 έως 10,6 μm.

Μετρητής θερμικής ισχύος.

Σε έναν μετρητή ισχύος λέιζερ που βασίζεται σε θερμικό ανιχνευτή, το λέιζερ ή η οπτική ισχύς μετατρέπεται σε θερμότητα. Αποτελεσματικά, η δέσμη λέιζερ αλληλεπιδρά με ένα στοιχείο απορρόφησης, όπως ένα μαύρο μπλοκ από ανοδιωμένο αλουμίνιο. Η προσπίπτουσα αύξηση θερμοκρασίας στο εξάρτημα απορρόφησης μετράται σε μια καθορισμένη χρονική περίοδο και είναι ανάλογη με την ισχύ εξόδου του λέιζερ.

Εύρος μετρήσεων.

Ενώ ο μετρητής θερμικής ισχύος είναι για μέση ισχύ λέιζερ από 10 milliwatts (mW) έως κιλοβάτ (kW), κανένας μετρητής δεν μπορεί να καλύψει αυτό το εύρος. Το εύρος επομένως χωρίζεται σε διακριτούς τομείς ανάλογα με την απαιτούμενη ευαισθησία. Π.χ. 0~100mW; 0~20 watt; 0~100 watt; 0~200 watt; 0~500 Watt & 0~1000 Watt. Κάθε μέτρηση της σειράς έχει τις δικές της προκλήσεις.

Σε μέτρηση χαμηλής ισχύος (mW), ακόμα και το άγγιγμα του εξαρτήματος απορρόφησης επηρεάζει την ένδειξη.

Απαιτείται κάποια μορφή ψύξης για μετρήσεις άνω των 10 watt.

Σε μέτρηση υψηλής ισχύος (kW), η επαναφορά του μετρητή στη θερμοκρασία περιβάλλοντος μεταξύ των μετρήσεων μπορεί να απαιτήσει σημαντικά μέτρα ψύξης αέρα ή νερού προκειμένου να μειωθεί ο χρόνος του κύκλου δοκιμής.

Ο μετρητής ισχύος της φωτοδιόδου



Εικόνα 1 μετρητής ισχύος φωτοδιόδων

Ο μετρητής ισχύος φωτοδιόδου είναι πολύ πιο ευαίσθητος και αποκρίνεται καλύτερα σε σύγκριση με τον μετρητή θερμικής ισχύος. Ωστόσο, είναι επίσης πολύ λιγότερο ανθεκτικός.

Το συστατικό απορρόφησης βασίζεται συνήθως σε πυρίτιο (Si), γερμάνιο (Ge) ή αρσενίδιο του γαλλίου ινδίου (InGaAs) ανάλογα με την επιθυμητή περιοχή μήκους κύματος. Αυτό σημαίνει ότι η ευαισθησία της φωτοδιόδου εξαρτάται από το μήκος κύματος που μετράται και απαιτείται κάποια μορφή προσαρμογής αντιστάθμισης για να αντισταθμιστούν διαφορετικές ευαισθησίες σε διαφορετικά μήκη κύματος. Ο μετρητής ισχύος φωτοδιόδου προορίζεται για μετρήσεις χαμηλής και πολύ χαμηλής ισχύος στην περιοχή 100 picowatt (pW) έως 20 watt, αν και είναι δυνατή η αύξηση αυτού του εύρους μέσω της χρήσης εξασθενητή.

Εύρος μηκών κύματος

Ο μετρητής ισχύος φωτοδιόδου μπορεί να καλύψει μήκη κύματος από 200 nm έως 5,5 μm, με ποικίλες ευαισθησίες σε διαφορετικά μήκη κύματος. Ο κατασκευαστής θα περιλαμβάνει κανονικά έναν πίνακα βαθμονόμησης για συγκεκριμένα μήκη κύματος.

Ταχύτητα μέτρησης.

Αυτός ο τύπος μετρητή έχει συνήθως αργό κύκλο μέτρησης. Αποτελείται από τον καθορισμένο χρόνο έκθεσης και την επακόλουθη ψύξη σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.

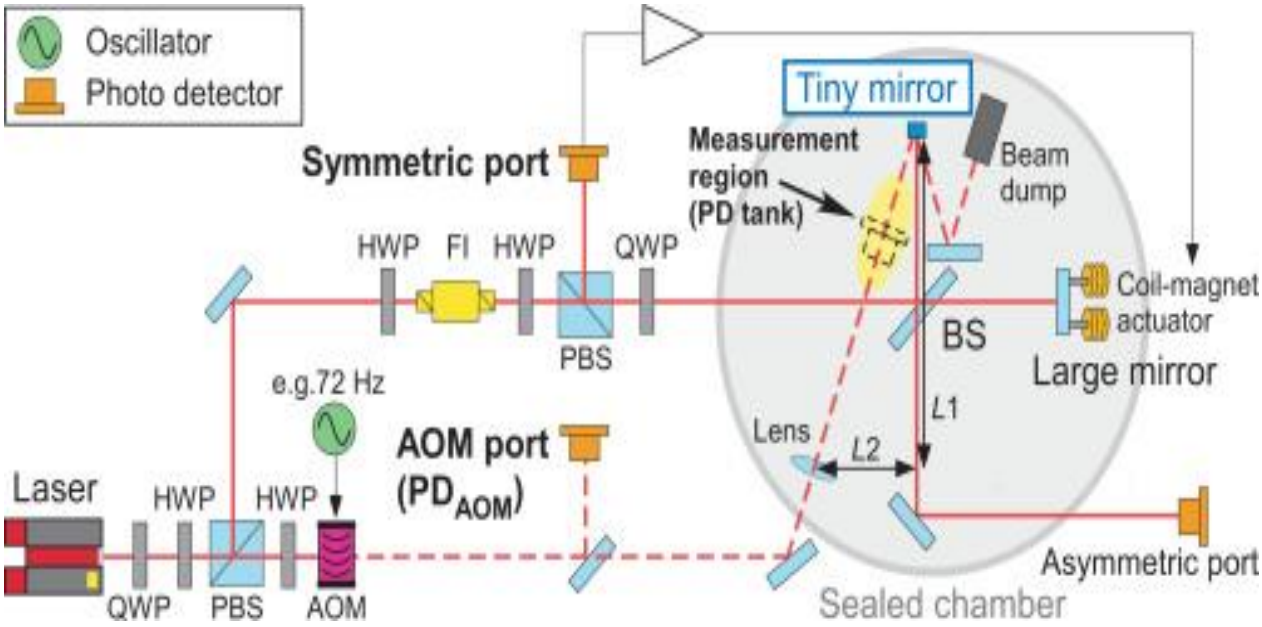


Εικόνα 1 πυροηλεκτρικός μετρητής

Οι μετρητές πυροηλεκτρικής ισχύος είναι σχετικά γρήγοροι, αλλά δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μέτρηση της συνεχούς ισχύος λέιζερ απευθείας, καθώς αυτός ο τύπος ανταποκρίνεται μόνο σε αλλαγές στην προσπίπτουσα ενέργεια. Αυτές είναι η προτιμώμενη επιλογή για τη μέτρηση της εξόδου παλμικών λέιζερ με ρυθμούς επανάληψης έως και αρκετές εκατοντάδες kHz.

2.1.1 Νέες μέθοδοι μέτρησης ισχύος laser.

A: Ακριβής μέτρηση ισχύος λέιζερ με χρήση οπτομηχανικού συστήματος

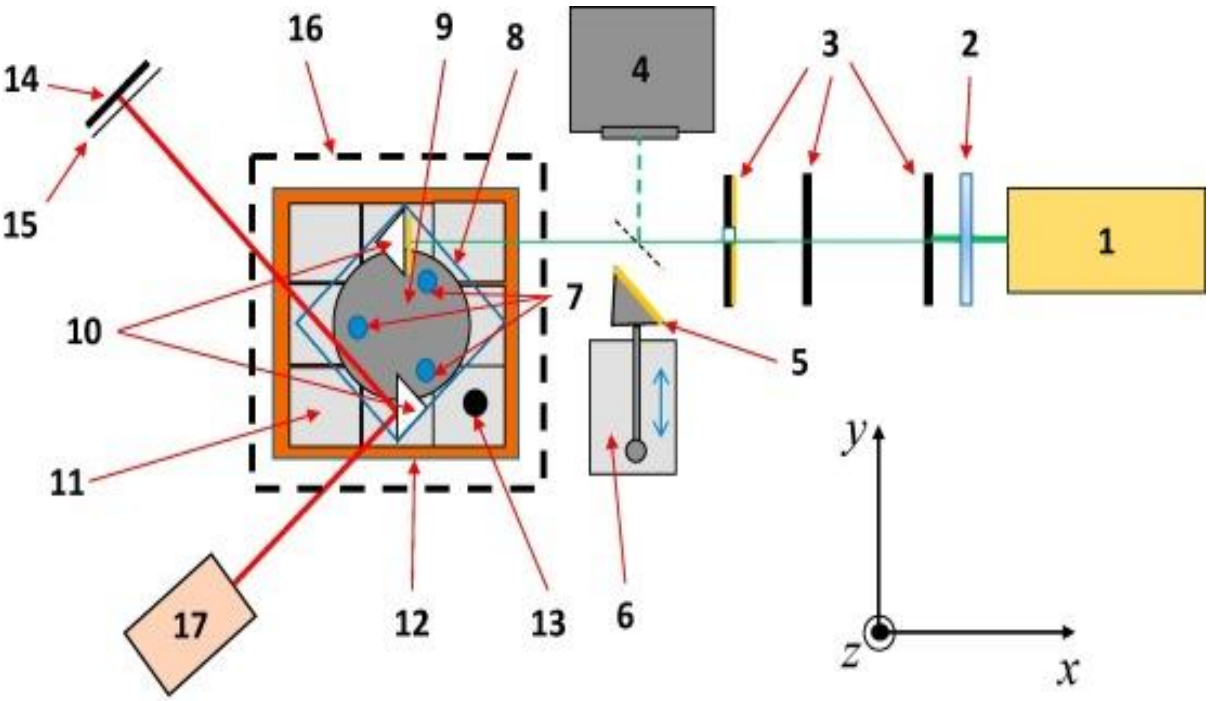


Μια νέα μέθοδος για την ακριβή μέτρηση της ισχύος λέιζερ χρησιμοποιώντας ένα οπτομηχανικό σύστημα. Με τη μέτρηση μιας μετατόπισης καθρέφτη που προκαλείται από την ανάκλαση μιας δέσμης λέιζερ διαμόρφωσης κατά πλάτος, ο αριθμός των φωτονίων στο προσπίπτον λέιζερ συνεχούς κύματος μπορεί να μετρηθεί με ακρίβεια. Έχει αποδειχθεί αυτή η αρχή μέσω ενός πρωτότυπου πειράματος που χρησιμοποιεί έναν αναρτημένο καθρέφτη 25 mg ως μηχανικό ταλαντωτή σε συνδυασμό με την πίεση ακτινοβολίας και ένα συμβολόμετρο Michelson ως αισθητήρα μετατόπισης. Μια μέτρηση της ισχύος λέιζερ με αβεβαιότητα μικρότερη από ένα τοις εκατό (1σ) είναι εφικτή.

Οι μετρητές οπτικής ισχύος που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της ισχύος λέιζερ είναι από τα βασικά εργαλεία για πειράματα οπτικής στις μέρες μας. Η απόλυτη τιμή της ισχύος του λέιζερ αρχικά μετρήθηκε χρησιμοποιώντας φωτοσωλήνες που βασίζονται στο

φωτοηλεκτρικό φαινόμενο . Στη συνέχεια, χρησιμοποιήθηκαν θερμιδόμετρα για τον προσδιορισμό της ισχύος λέιζερ (ακόμη και για τα μέιζερ) μετρώντας μια αύξηση θερμοκρασίας που αντιστοιχεί στην απορροφούμενη ενέργεια λέιζερ]. Οι ημιαγωγοί και οι αισθητήρες θερμοσυλλέκτη, που βασίζονται σε μετατροπές της ακτινοβολίας σε ηλεκτρικό ρεύμα και της θερμικής κλίσης σε ηλεκτρικό ρεύμα, αντίστοιχα, εφαρμόζονται για μετρήσεις οπτικής ισχύος, αλλά απαιτούν βαθμονόμηση που αναφέρεται σε ένα πρωτεύον πρότυπο. Τα θερμιδόμετρα συνεχίζουν να αναπτύσσονται και έχουν καθορίσει τα κύρια πρότυπα ισχύος και ενέργειας λέιζερ με ιχνηλασιμότητα στις μονάδες SI για σχεδόν μισό αιώνα. Το τρέχον πρωτεύον πρότυπο βασίζεται σε μια οικογένεια θερμιδομέτρων ισοπεριβόλης . Αυτά τα πρότυπα έχουν αβεβαιότητα 0,25 % με 1σ (είναι πιθανότητα 68 % ότι η πραγματική τιμή περιλαμβάνεται στην αβεβαιότητά του), σε μήκη κύματος ευρείας ζώνης (193 nm – 10,6 μm)

Β: Μετρητής οπτικής ισχύος με χρήση μετρητή πίεσης ακτινοβολίας



Ο μετρητής οπτικής ισχύος μέσω μέτρησης πίεσης ακτινοβολίας που βασίζεται σε ένα διαμαγνητικό ελατήριο εκμεταλλεύεται τη διαμαγνητική ιδιότητα του πυρολυτικού άνθρακα για να κατασκευαστεί ένα στοιχειώδες αιωρούμενο σύστημα. Είναι ισοδύναμο με ένα στρεπτικό σύστημα αποσβεστήρα μάζας ελατηρίου που αποτελείται από έναν μικρό δίσκο πυρολυτικού άνθρακα που αιωρείται πάνω από μια διάταξη μόνιμου μαγνήτη. Υπάρχουν διάφοροι πιθανοί τρόποι μέτρησης. Μια οπτική ανίχνευση που αποτελείται από μια δίοδο λέιζερ, έναν καθρέφτη και έναν ανιχνευτή ευαίσθητης θέσης (PSD) επιτρέπει τη μέτρηση της γωνιακής παραμόρφωσης ανάλογη με την τάση που παρέχεται από το PSD. Αφού καθοριστούν οι παράμετροι του ανυψωμένου συστήματος ανάλογα με τα γεωμετρικά και φυσικά χαρακτηριστικά του, ανεξάρτητα από οποιαδήποτε

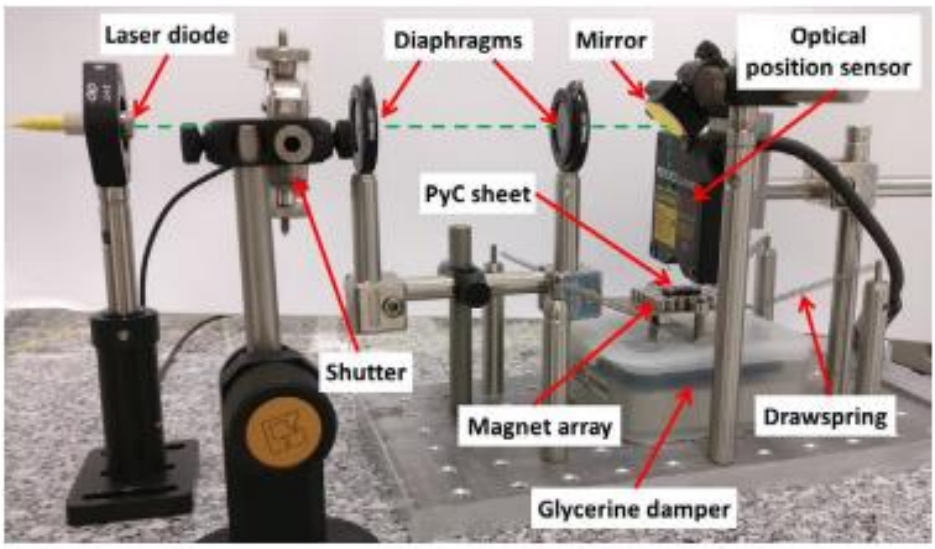
οπτική ισχύ, μπορούμε να συναγάγουμε την τιμή της οπτικής ισχύος που θα μετρηθεί από τη μέτρηση του πρώτου μέγιστου το πλάτος της τάσης εξόδου.

Τα λέιζερ υψηλής ισχύος (λίγων κιλοβάτ) χρησιμοποιούνται σε ένα ευρύ φάσμα βιομηχανικών διαδικασιών παραγωγής που κυμαίνονται από συγκόλληση, κοπή, σήμανση και κατασκευή πρόσθετων κατασκευών από διάφορα υλικά, συμπεριλαμβανομένων των μετάλλων. Το λέιζερ είναι ένα εργαλείο εργασίας με μεγάλη διάρκεια ζωής, μπορεί να συμπεριληφθεί σε συστήματα παρακολούθησης και ελέγχου που βασίζονται σε έξυπνες τεχνικές ανίχνευσης και επιτρέπει την παραγωγή μηδενικών σφαλμάτων. Αυτό καθιστά απαραίτητη τη βελτίωση της μέτρησης υψηλής οπτικής ισχύος. Ταυτόχρονα, ενδιάμεσες οπτικές ισχύς (από λίγα milliwatts έως λίγα watt) χρησιμοποιούνται σε διαφορετικούς τομείς όπως οι τηλεπικοινωνίες, η ευθυγράμμιση, οι εκπομπές λέιζερ, η μικρολιθογραφία και οι πηγές ενέργειας.

Πρόσφατα έχουν αναφερθεί μετρήσεις ισχύος λέιζερ με χρήση πίεσης ακτινοβολίας . Συγκεκριμένα, οι Williams et al. έχουν αναπτύξει μια φορητή, υψηλής ακρίβειας, μη απορροφητική μέτρηση ισχύος λέιζερ σε επίπεδα κιλοβάτ.

Η εργασία που παρουσιάζεται στη συνέχεια είναι μια προκαταρκτική μελέτη ενός μετρητή ισχύος λέιζερ που βασίζεται στην αιώρηση πυρολυτικού άνθρακα για την ανίχνευση της ροπής δύναμης που παρέχεται από την πίεση ακτινοβολίας μιας δέσμης λέιζερ. Το εύρος οπτικής ισχύος που μελετήθηκε είναι από 100 mW έως 1 W. Χρησιμοποιούμε τον ισχυρό διαμαγνητισμό του πυρολυτικού άνθρακα (PyC) για να πραγματοποιήσουμε 6D-σταθεροποίηση ενός δίσκου PyC που αιωρείται σε θερμοκρασία περιβάλλοντος πάνω από μια συστοιχία μαγνητών.

Γ: ΜΕΘΟΔΟΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ



Η διάταξη χρησιμοποιεί ένα κομμάτι πυρολυτικού άνθρακα (PyC) για τη μέτρηση της ισχύος λέιζερ στην περιοχή από μερικά milliwatts έως μερικά watt. Η μέτρηση της ισχύς laser υπολογίζετε μέσο της δύναμης μαγνητικής απώθησης που ενεργεί μεταξύ ενός τεμαχίου PyC που τοποθετείται σε μια βάση ζύγισης και σε μια μαγνητική επαγωγή που δημιουργείται από μια συστοιχία μαγνητών σε μια σταθερή θέση πάνω από το φύλλο PyC. Αυτό περιλαμβάνει μια δύναμη απώθησης στο κομμάτι PyC που εκφράζεται σε όρους μάζας από την ένδειξη ισορροπίας. Οι ποσότητες που επηρεάζουν τα αποτελέσματα των μετρήσεων έχουν προσδιοριστεί. Δίνεται ένα παράδειγμα μετρολογικού χαρακτηρισμού ως προς την ακρίβεια, τη γραμμικότητα και την ευαισθησία. Η σχετική αβεβαιότητα της μέτρησης της οπτικής ισχύος για την πρώτη πειραματική εγκατάσταση είναι περίπου 1%. Η εξάρτηση από το μήκος κύματος και την πυκνότητα ισχύος από την απόκριση ισχύος αυτής της συσκευής έχει αποδειχθεί. Αυτή η συσκευή που βασίζεται σε PyC που παρουσιάζεται εδώ σε διαμόρφωση ζύγισης και η άλλη που μελετήθηκε προηγουμένως στη διαμόρφωση αιώρησης προσφέρουν μια νέα τεχνική για τη μέτρηση της οπτικής ισχύος.

2.2 Ασφαλή χρήση και μέτρα ασφαλείας

Οι κίνδυνοι από τα laser μπορούν να χωριστούν γενικά σε δύο κατηγορίες: σε αυτούς που προέρχονται από την ακτινοβολία και σε αυτούς που δεν προέρχονται από αυτή, όπως είναι οι ηλεκτρικοί και οι χημικοί κίνδυνοι. Μόλυνση της “ατμόσφαιρας” του χώρου από:

a. Προϊόντα του συστήματος αερίων του laser (ενεργό αέριο, σύστημα ψύξης, παράγωγα κ.ά.) Κίνδυνοι σε χώρους λειτουργίας laser

b. Κίνδυνοι από τους κρυογονικούς ψύκτες των διατάξεων laser (υγρό άζωτο, υγρό ήλιο, τα οποία είτε είναι εκρηκτικά είτε προκαλούν δύσπνοια)

c. Κίνδυνοι πυρκαϊάς (σύστημα πυκνωτών, έκρηξη εύφλεκτων αερίων ή διαλυτών, στατικός ηλεκτρισμός σε πλαστικούς σωλήνες, συστήματα οπτικής άντλησης, κ.λ.π.), Και φυσικά…

d. Κίνδυνοι από άμεση ή έμμεση έκθεση στη δέσμη laser.



Εικόνα 2 κίνδυνος

2.2.1 Κίνδυνοι και βλάβες ανά κατηγορία laser

Οφθαλμοί και δέρμα οι πύλες εισόδου της ακτινοβολίας στο σώμα

Θέματα ασφάλειας από την ακτινοβολία laser

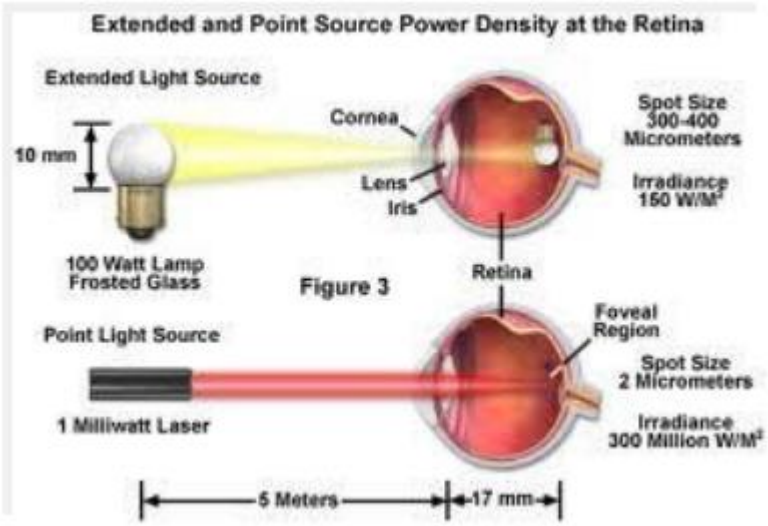
- κίνδυνοι στα μάτια.

Θέματα ασφάλειας απ την ακτινοβολία laser

- κίνδυνοι στο δέρμα

Το μάτι είναι το πιο ευαίσθητο όργανο του ανθρώπου στο φως. Όπως ακριβώς ένας μεγεθυντικός φακός μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να συγκεντρωθεί το φως του ήλιου και να καεί ένα κομμάτι από χαρτί ή ξύλο, έτσι και οι φακοί στο ανθρώπινο μάτι συγκεντρώνουν τη δέσμη του laser σε μία μικροσκοπική κηλίδα που μπορεί να κάψει τον αμφιβληστροειδή χιτώνα του ματιού. Μια δέσμη με μικρή απόκλιση καθώς μπαίνει στο μάτι μπορεί να εστιαστεί σε μια κηλίδα διαμέτρου

10-20μm.



Λόγω διατήρησης της ενέργειας, η πυκνότητα ενέργειας (που ορίζεται ως η ενέργεια ανά μονάδα επιφάνειας) ή αντίστοιχα η πυκνότητα ισχύος της δέσμης του laser αυξάνεται όσο το μέγεθος της κηλίδας μειώνεται, όταν παρεμβάλλονται οπτικά μέσα εστίασης της δέσμης.

Έτσι, μια δέσμη με μικρή απόκλιση καθώς μπαίνει στο μάτι μπορεί να εστιαστεί σε μια κηλίδα διαμέτρου 10-20μm. Αυτό σημαίνει ότι η ενέργεια της δέσμης μπορεί να μεγαλώσει μέχρι και 100.000 φορές. Π.χ., εάν η πυκνότητα ισχύος της δέσμης όταν εισέρχεται στο μάτι είναι 1mW/cm2

, η εστιασμένη ακτινοβολία στον αμφιβληστροειδή χιτώνα θα είναι 100W/cm2.

Παράγοντες επικινδυνότητας.

1 Το μέγεθος της κόρης του ματιού (pupil)- Η σμίκρυνση της διαμέτρου της κόρης

του ματιού μειώνει το ποσό της συνολικής ενέργειας που μεταφέρεται στην επιφάνεια του αμφιβληστροειδή. Το μέγεθος της κόρης κυμαίνεται - σε διάμετρο - από 2mm σε έντονο φωτισμό, μέχρι τα 8mm σε σκοτάδι.

2 Ο βαθμός του χρωματισμού- Περισσότερος χρωματισμός (μεγαλύτερη συγκέντρωση μελανίνης) οδηγεί σε μεγαλύτερη απορρόφηση θερμότητας.

3 Το μέγεθος της αμφιβληστροειδικής εικόνας- Όσο μεγαλύτερο το μέγεθος, τόσο μεγαλύτερη και η βλάβη, γιατί πρέπει να επιτευχθεί θερμοκρασιακή ισορροπία ώστε να προκληθεί βλάβη. Ο ρυθμός ανάπτυξης της ισορροπίας καθορίζεται από το μέγεθος της εικόνας.

4 Η διάρκεια του παλμού- Όσο μικρότερος ο χρόνος (ns σε σχέση με ms), τόσο μεγαλύτερη η πιθανότητα για τραυματισμό.

5 Ο ρυθμός επαναληπτικότητας των παλμών- Όσο γρηγορότερος ο ρυθμός, τόσο μικρότερη η πιθανότητα για απώλεια της θερμότητας και θερμική αποκατάσταση των ιστών.

6 Μήκος κύματος- Καθορίζει το που εναποτίθεται η ενέργεια και σε τι ποσοστό διαπερνάει τα οπτικά μέσα.

Οι κατοπτρικές ανακλάσεις από κατοπτρικές επιφάνειες μπορεί να είναι σχεδόν τόσο επιζήμιες, όσο η έκθεση σε απευθείας δέσμη, ιδιαίτερα αν η επιφάνεια είναι επίπεδη.

Για τον καθορισμό των μέτρων ελέγχου που πρέπει να εφαρμοστούν πρέπει να συνυπολογίζει ο Φυσικός, ο υπεύθυνος για την ασφάλεια από τα laser, όχι μόνον την τάξη και την περιοχή εφαρμογής του laser αλλά και κάποια επιπλέον στοιχεία, όπως π.χ.:

a. το πλήθος και την τάξη ενός εκάστου laser

b. την τοποθεσία του laser στο περιβάλλον εργασίας

c. την παρουσία απληροφόρητου, μη ειδικευμένου προσωπικού

d. τη μονιμότητα ή όχι της πορείας διάδοσης της δέσμης laser

e. την παρουσία αντικειμένων που συμπεριφέρονται είτε ως κατοπτρικές

ή ως διάχυτα ανακλαστικές επιφάνειες στην πορεία της δέσμης

f. τη χρήση οπτικών διατάξεων όπως είναι οι φακοί, τα μικροσκόπια και άλλα

Τα μέτρα ελέγχου διακρίνονται σε δύο τύπους:

- διοικητικός έλεγχος (κυρίως διαδικασίες),

- ηλεκτρομηχανολογικός έλεγχος (π.χ. διαφράγματα για διακοπή της δέσμης).

Ταξινόμηση διατάξεων Laser

Κλάσεις	Θέματα Ασφάλειας
Κλάση 1	Ασφαλές
Κλάση 1M	Ασφαλές όταν δεν χρησιμοποιούνται οπτικά όργανα
Κλάση 2	Ορατά lasers - Ασφαλή για τυχαία έκθεση (< 25 ms)
Κλάση 2M	Ορατά lasers - Ασφαλή για τυχαία έκθεση (< 25 ms) χωρίς τη χρήση οπτικών οργάνων
Κλάση 3R	Μη ασφαλή - Χαμηλό ρίσκο
Κλάση 3B	Επικίνδυνα - Η έκθεση μέσω διάχυτης ανάκλασης είναι ασφαλής
Κλάση 4	Επικίνδυνα – Η έκθεση μέσω διάχυτης ανάκλασης είναι επίσης επικίνδυνη – Κίνδυνος πυρκαγιάς

5. ΑΣΦΑΛΕΙΑ LASER: ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΠΗΓΩΝ LASER

Με σκοπό να εξασφαλιστεί μια κοινή βάση για τις απαιτήσεις και τα πρότυπα ασφαλείας στα βιοϊατρικά laser, έχει γίνει προσπάθεια ώστε όλα τα laser (ιατρικά, βιομηχανικά κ.ά) να μπορούν να ταξινομηθούν σε κάποια ορισμένη κατηγορία ή κλάση ή τάξη. Για να

ταξινομηθεί ένα laser πρέπει να είναι γνωστά το μήκος κύματος στο οποίο εκπέμπει, η ισχύς του και η διάρκεια της έκθεσης στην ακτινοβολία. Σημασία έχει το μέγιστο επίπεδο ακτινοβολίας που μπορεί να εκπέμψει το laser κατά τη διάρκεια χρήσης του κάτω από την πλήρη ικανότητά του και σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή μετά την κατασκευή του. Κάθε τάξη έχει ένα σύνολο από μέτρα ασφαλούς χρήσης, τα οποία οι κατασκευαστές και οι χρήστες πρέπει να τηρούν αυστηρά. Σε κάθε laser ή αντίστοιχο σύστημα πρέπει να επισυνάπτονται σχετικές ετικέτες που αναφέρουν την τάξη και κάποια στοιχεία επικινδυνότητας για τη συγκεκριμένη συσκευή. Η κατανόηση της διαδικασίας ταξινόμησης των laser αποτελεί αναγκαία προϋπόθεση σχετικά με την ασφάλειά τους. Αυτές οι τάξεις αναφέρονται στα διάφορα πρότυπα ασφαλείας των διαφόρων χωρών (π.χ. τα πρότυπα ANSI Z136.1, το IEC κ.ά.). Η ταξινόμηση των βιομηχανικών laser παρέχεται επίσης από τον κατασκευαστή. Παρακάτω αναλύουμε εκτενέστερα την κάθε μία απο τις τάξεις στις οποίες ταξινομούνται σήμερα οι πηγές των laser.

(α) Τάξη I Η τάξη I περιλαμβάνει συσκευές που δεν εκπέμπουν επιζήμια για τους οφθαλμούς επίπεδα ακτινοβολίας και, επομένως, τα laser που ανήκουν σε αυτήν εξαιρούνται πρακτικά από μέτρα ασφαλείας. Παρόλα αυτά, καλό είναι η άσκοπη έκθεση σε αυτά να αποφεύγεται, αν και σε γενικές γραμμές είναι ασφαλή κάτω από λογική και προβλέψιμη χρήση. Το μέγιστο επιτρεπόμενο όριο έκθεσης σε δέσμη της τάξης αυτής είναι 0,98mW. Εφαρμογές στις οποίες χρησιμοποιούνται τα laser της τάξης αυτής είναι τα compact disc (CD) player, οι εκτυπωτές laser και τα CD ROM players.

(β) Τάξη II Τα laser της δεύτερης τάξης εκπέμπουν ακτινοβολία στην ορατή περιοχή και έχουν τη δυνατότητα να δημιουργήσουν βλάβη στα μάτια μέσα από χρόνια έκθεση. Γενικά, το ανθρώπινο μάτι ανοιγοκλείνει μέσα σε 0,25s όταν εκτεθεί σε τέτοιου είδους laser. Αυτή η αντίδραση παρέχει ικανοποιητική προστασία. Ωστόσο, είναι δυνατό, να ξεπεραστεί αυτό το ανοιγοκλείσιμοτων βλεφάρων και να κοιτάξει κανείς την ακτινοβολία από το laser για χρονικό διάστημα αρκετό να προκαλέσει βλάβη στο μάτι. Η μέγιστη εξερχόμενη ισχύς είναι 1mW και το μήκος κύματος 400- 700nm. Εφαρμογές που συναντά κανείς τέτοια laser είναι σε ευθυγραμμίσεις και στους σαρωτές των ταμείων των υπερκαταστημάτων, ενώ αντιπροσωπευτικό είναι το laser He-Ne που χρησιμοποιείτε σχεδόν παντού. Δεν απαιτούνται ιδιαίτερες προφυλάξεις για τυχαία έκθεση, εκτός από την οφειλόμενη προσοχή στη σκόπευση της δέσμης και στο να μην τη δει κανείς απευθείας.

(γ) Τάξη IIα (δεν χρησιμοποιείται από το πρότυπο ANSI Z136) Τa laser αυτής της τάξης προορίζονται για ειδικούς σκοπούς και δεν κρίνετε σκόπιμη η παρατεταμένη επαφή με τα μάτια. Η ισχύς τους είναι μικρότερη από 1mW. Προκαλούν βλάβη σε επαφή με τα μάτια για 1s και οι περισσότεροι αναγνώστες bar-code ανήκουν σε αυτή την κατηγορία.

(δ) Τάξη IIIα Στην τάξη αυτή, τα laser είναι γενικά ακίνδυνα όταν τα κοιτάξουμε στιγμιαία με γυμνό μάτι, αλλά θέτουν μεγάλο κίνδυνο για τα μάτια όταν κοιταχθούν μέσα από οπτικά όργανα όπως μικροσκόπια και κυάλια. Ισχύουν περίπου τα ίδια με τα της τάξης II αλλά τα laser της τάξης IIIα είναι συνεχούς λειτουργίας, έχουν μέγιστη ισχύ εξόδου 5mW και ακτινοβόληση μικρότερη από 19 25Wm-2, ενώ εκπέμπουν και αυτά στο ορατό. Πάνω από τα 4μm συμπεριφέρονται όπως η τάξη I και χρησιμοποιούνται κυρίως σε χειρουργικές διατάξεις και σε στυλοδείκτες (pointer pens).

(ε) Τάξη IIIβ Η ακτινοβολία των laser της τάξης IIIβ μπορεί να προκαλέσει τραυματισμό σε απευθείας επαφή με το ανθρώπινο μάτι ή από κατοπτρική ανάκλαση. Αντίθετα, η επαφή με διάχυτα ανακλώμενη σε αντικείμενα ακτινοβολία είναι γενικά ασφαλής, υπό την προϋπόθεση η απόσταση του ματιού από την ανακλώμενη επιφάνεια να είναι μεγαλύτερη από 13cm και η διάρκεια της έκθεσης να είνα μικρότερη από 10s. Τα laser αυτά δίνουν ισχύ 0.5W και μπορεί να εκπέμπουν στο ορατό ή στο μηορατό (μήκη κύματος μεγαλύτερα από 315 nm). Παράδειγμα αποτελούν τα laser He-Ne που χρησιμοποιούνται σε ορισμένα ερευνητικά εργαστήρια, καθώς και ορισμένα laser ημιαγωγών για εφαρμογές στη φυσιοθεραπεία.

(στ) Τάξη IV Η τάξη αυτή συμπεριλαμβάνει όλα τα laser με ισχύ πάνω από 500mW σε συνεχή λειτουργία. Θέτουν κινδύνους για τραυματισμούς στα μάτια και στο δέρμα καθώς και κίνδυνο ανάφλεξης εύφλεκτων υλικών. Το κοίταγμα της δέσμης, ακόμη και ύστερα από διάχυτη ανάκλαση, μπορεί να προκαλέσει τραυματισμό στα μάτια και στο δέρμα. Όλα τα μέτρα ασφαλείας για αυτήν την τάξη πρέπει να τηρούνται πολύ αυστηρά.

(ζ) Τάξη 1M (IEC μόνο) Στην τάξη αυτή ανήκουν προϊόντα laser τα οποία είναι ασφαλή για το γυμνό μάτι χωρίς προσθήκη οπτικών στοιχείων. Μία ετικέτα πάνω τους θα έλεγε χαρακτηριστικά: ‘‘μην κοιτάζετε απευθείας μέσα από μεγενθυντικούς φακούς ή μικροσκόπια’’ για μια αποκλίνουσα δέσμη και ‘‘μην κοιτάζετε απευθείας μέσα από κυάλια ή μικροσκόπια’’ για ευθυγραμμισμένη δέσμη. Εκπέμπουν σε μήκος κύματος 302nm-4μm.

(η) Τάξη 2M (IEC μόνο) Η τάξη αυτή περιορίζεται σε laser με μήκος κύματος 302nm - 4μm τα οποία είναι ασφαλή στην επαφή με το γυμνό μάτι για 0,25s. Δεν είναι ασφαλή κάτω από ορισμένες συνθήκες όρασης με οπτικά βοηθήματα. Όπως είπαμε παραπάνω, κάθε laser, ανάλογα με την τάξη που ανήκει, πρέπει να σημαίνεται με κατάλληλες ενδείξεις και να συνοδεύεται, αν χρειάζεται, από ένα διάφραγμα ή εξασθενητή δέσμης που θα εξασφαλίζει επίπεδα εξόδου σύμφωνα με τα MPE. Συνήθως κάθε συσκευή φέρει πάνω της μια ετικέτα στην οποία έχουν καταγραφεί από τον κατασκευαστή κάποια χαρακτηριστικά στοιχεία. Αν το μέγεθος της συσκευής δεν βοηθάει στην τοποθέτηση της ετικέτας, αυτή συμπεριλαμβάνεται στη συσκευασία. Το χρώμα τους είναι μαύρο πάνω σε κίτρινο φόντο. Για τις τάξεις I και 1M αναφέρονται η ακτινοβολία που εκπέμπεται και πληροφορίες για τα πρότυπα. Στις τάξεις από II και πάνω αναφέρονται η μέγιστη ισχύς εξόδου, η διάρκεια του παλμού και το εκπεμπόμενο μήκος κύματος. Το άνοιγμα του laser αναφέρεται στις τάξεις IIIβ και IV.

Τα χαρακτηριστικά μιας συσκευής laser όπως η ισχύς εξόδου, η διάμετρος της δέσμης, το μήκος του παλμού, το μήκος κύματος, η κατανομή της δέσμης, η απόκλιση της ακτίνας και η διάρκεια έκθεσης καθορίζουν την επικινδυνότητα για πρόκληση βλαβών στους χρήστες. Η δυνατότητα πρόκλησης βλαβών κατά τη χρήση ενός laser καθορίζεται από την ταξινόμηση της 21 συσκευής στις κατηγορίες – τάξεις I έως IV και, επομένως, τα μέτρα ελέγχου καθορίζονται από την τάξη του laser. Όποιος χρησιμοποιεί τα laser θα πρέπει να ακολουθεί τις κατευθυντήριες οδηγίες στον τομέα της ασφάλειας έτσι ώστε να προστατέψει τόσο τον εαυτό του αλλά και τους άλλους που βρίσκονται στην περιοχή. Τόσο οι επιτηρητές οι επιφορτισμένοι με τα θέματα ασφαλείας όσο και οι χειριστές - χρήστες των διατάξεων laser πρέπει να είναι πάρα πολύ καλά προετοιμασμένοι όταν είναι να δουλέψουν με laser ιδιαίτερα με διατάξεις τάξης II, III και IV.

2.2.2 Επιπτώσεις στον ανθρώπινο οργανισμό & προστασία

Πίνακας 1 επίδραση ακτινοβολίας

Φασματική περιοχή ακτινοβολίας	**Φωτοβιολογική δράση Οφθαλμός**	**Φωτοβιολογική δράση Δέρμα**
Υπεριώδες C (200 nm - 280 nm)	Φωτο-κερατίτιδα	Ερύθημα (sunburn) Καρκίνος δέρματος Επιταχυνόμενη γήρανση του δέρματος
Υπεριώδες B (280 nm - 315 nm)	Φωτο-κερατίτιδα	Αυξημένο «μαύρισμα»
Υπεριώδες A (315 nm - 400 nm)	Φωτοχημικός καταρράκτης	Μαύρισμα Έγκαυμα δέρματος
Ορατό (400 nm - 780 nm)	Φωτοχημική και θερμική βλάβη του αμφιβληστροειδο	Μαύρισμα Αντιδράσεις φωτοευαισθησίας Έγκαυμα δέρματος
Υπέρυθρο A (780 nm - 1400 nm)	Καταρράκτης και έγκαυμα αμφιβληστροειδούς	Έγκαυμα δέρματος
Υπέρυθρο B (1,4μm – 3,0 μm)	Έγκαυμα κερατοειδούς, αναλαμπές υδατοειδούς, καταράκτης	Έγκαυμα δέρματος
Υπέρυθρο C (3,0 μm - 1000 μm)	Έγκαυμα κερατοειδούς (αποκλειστικά)	Έγκαυμα δέρματος

Μέτρα προστασίας από έκθεση σε δέσμη laser.

• Ασφάλεια – κλειδώματα –μηχανισμοί ασφαλείας για την αποτροπή μη εξουσιοδοτημένης πρόσβασης

• Μέθοδοι ασφαλούς απορρόφησης (π.χ. αυτόματα ρολά για την προστασία των οφθαλμών των χρηστών από την ανακλώμενη δέσμη laser).

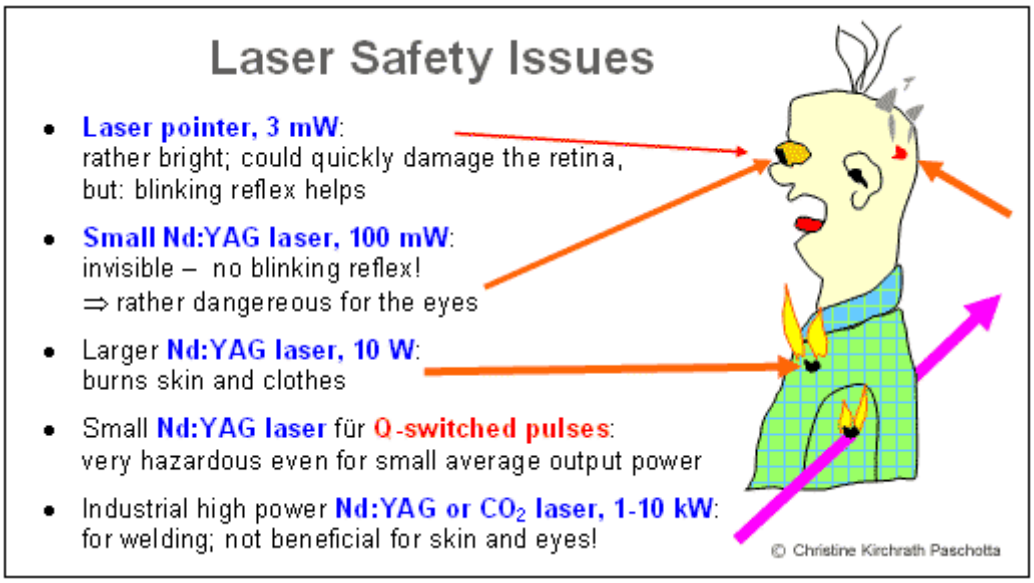
• Κλείδωμα με κλειδί για την αποφυγή μη εξουσιοδοτημένης ενεργοποίησης του laser.

• Απομάκρυνση ανακλαστικών επιφανειών από το δωμάτιο.

• Καλύμματα παραθύρων (εάν είναι απαραίτητο) για την απορρόφηση της δέσμης laser.

• Κλείστρα (Shutters) στις εξόδους της δέσμης

• Χαμηλής ανακλαστικότητας επίστρωση στους τοίχους.



Εικόνα 3 Ζητήματα ασφαλείας

Μέτρα Ατομικής Προστασίας

• Προστατευτικά ματιών, μάσκες, γάντια.

Τα γυαλιά προστασίας από ακτινοβολία laser σχεδιάζονται έτσι ώστε να προστατεύουν τα μάτια από την ακτινοβολία Laser , μειώνοντας την εντός του ορίου του MPE για έκθεση σε οφθαλμούς. Αλλά επιτρέποντας ταυτόχρονα να μεταδίδεται αρκετό φως του περιβάλλοντος ώστε να μην δημιουργείται κίνδυνος για την ασφάλεια.

Η ικανότητα των γυαλιών αυτών να φιλτράρουν τη δέσμη laser εκφράζεται σε

όρους οπτικής πυκνότητας (OD). Το OD ποικίλει για τους διάφορους τύπους λέιζερ και

δεν βασίζεται μόνο στο είδος του laser αλλά και στην χρήση και στην εφαρμογή.

Πίνακας 2 κατηγορίες προστασίας γυαλιών

Laser safety distance	Level of protection	Danger distance
200m	OD 0 / no protection	2000 m
	OD 1	200 m
	OD 2	20 m
	OD 3	2 m
	OD 4	20 cm
	OD 5	2 cm
	OD 6	2 mm
	OD 7	0,2 mm

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – Υλικό μέρος διάταξης μέτρησης

3.1 Περιγραφή στοιχείων του κυκλώματος

Για μη ανακλαστικές επιφάνειες, σχεδόν η συνολική ποσότητα ενέργειας μιας δέσμης λέιζερ που προσπίπτει στην επιφάνεια, μετατρέπεται σε θερμότητα.

Χρησιμοποιούμε αυτή τη θεωρία για να μετρήσουμε τη ισχύ ενός λέιζερ που προσπίπτει σε μια όσο το δυνατόν πιο απορροφητική επιφάνεια.

Θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε καλύτερες επιφάνειες για τη συσκευή, όπως την παρακάτω που κατασκεύασαν Ερευνητές από το Πολυτεχνικό Ινστιτούτο Rensselaer (RPI) .

Δημιούργησαν ένα υλικό που ουσιαστικά δεν αντανακλά φως -- ή το απορροφά σαν μαύρη τρύπα. Έχουν κατασκευάσει αυτό το νέο υλικό στοιβάζοντας στρώματα «νανοράβδων πυριτίου». Και έφτασαν σε δείκτη διάθλασης 1,05”.

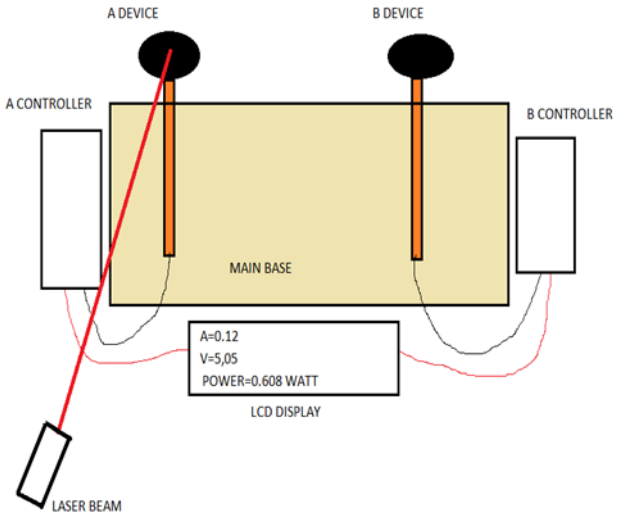
Η συσκευή που κατασκευάσαμε αποτελείται από δύο πανομοιότυπα μέρη (τα οποία ονομάζουμε δέκτη και

θερμαινόμενη συσκευή) και επιλέγουμε τυχαία μία από τις δυο συσκευές για τον δέκτη

της δέσμης λέιζερ.

Κάθε συσκευή περιλαμβάνει μια αντίσταση, ένα θερμοστοιχείο για τη μέτρηση της

θερμοκρασίας και ανταλλάξιμα μέρη για τον έλεγχο της ροής των απωλειών της



θερμότητας σε κάθε συσκευή.

Χρησιμοποιήσαμε πλακέτα ελέγχου για τη μέτρηση της θερμοκρασίας και τη θέρμανση

Των συσκευών.

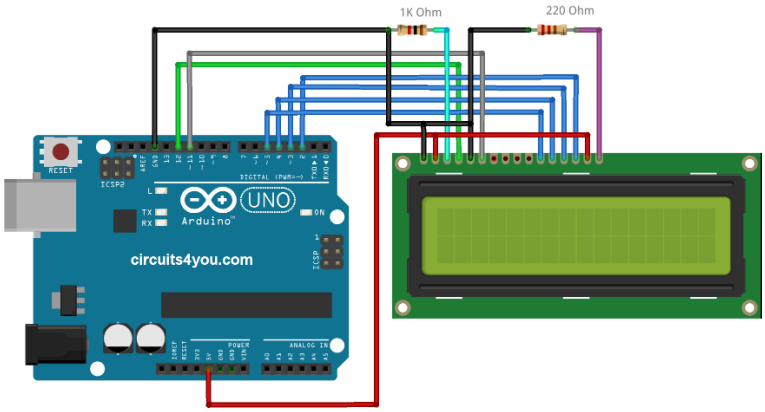
3.1.1 Περιγραφή & Προδιαγραφές ελεγκτή

Χρησιμοποιήσαμε δύο ελεγκτές arduino uno ο ένας για τη μέτρηση της

θερμοκρασίας στην πρώτη διάταξη και ο δεύτερος για την μέτρηση της

θερμοκρασίας στη δεύτερη διάταξη και την τροφοδότηση της Αντίστασης της

έτσι ώστε να εξισωθούν οι θερμοκρασίες στα δύο διατάξεων.



Εικόνα 4 Πλακέτα Arduino με οθόνη

3.1.2 Τροφοδοσία ελεγκτών και αντίστασης.



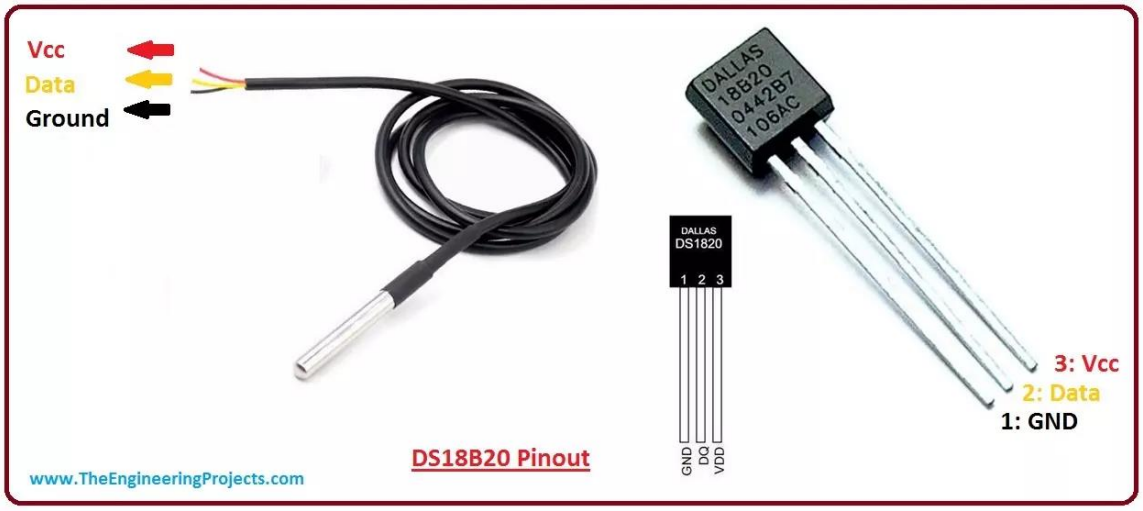
Εικόνα 5 εργαστηριακά τροφοδοτικά

Για την τροφοδοσία των arduino και τις αντίστοιχες ασκήσεις θέρμανσης χρησιμοποιήσαμε δύο εργαστηριακά τροφοδοτικά peaktech 6225 A όπως φαίνονται στη φωτογραφία.

3.1.3 Περιγραφή και Χαρακτηρίστηκα του αισθητήρα θερμοκρασίας.

Αισθητήρας DS18B20.

Ο αισθητήρας DS18B20 επικοινωνεί μέσω ενός διαύλου 1-Wire που εξ ορισμού απαιτεί μόνο μία γραμμή δεδομένων (και γείωση) για επικοινωνία με έναν κεντρικό μικροεπεξεργαστή. Επιπλέον, ο DS18B20 μπορεί να αντλεί ισχύ απευθείας από τη γραμμή δεδομένων , εξαλείφοντας την ανάγκη για εξωτερική παροχή ρεύματος.



Εικόνα 6 ds18b20 Pinout

Technical data

Power supply: 3V (min) – 5.5V (max)
Supported Bus Voltage Levels: 3-5.5V
Max current during conversion: 1.5mA
Max current during standby: 1μATemperature measuring range -55 to +125°C with ± 0.5°C accuracy (from -10°C to +85°C)
Max. sampling rate: 1.33Hz (once every 750 milliseconds)

Sensor (without sleeve):
Body size: 4.58mm x 4.58mm x 3.86mm
3 pins with 1,27mm (0.05″) spacing

3.2 Σχεδιασμός του συστήματος

Όπως φαίνεται και στη φωτογραφία της συσκευής έχουμε κατασκευάσει δύο όμοιες διατάξεις κάθε διάταξη αποτελείται από ένα κύλινδρο με μία οπή και στην μπροστά μεριά υπάρχει τοποθετημένο ένα στρογγυλό φύλλο από ανοδιωμένο αλουμίνιο εσωτερικά της διάταξης και μέσω θερμοαγώγιμης πάστας είναι τοποθετημένη μία αντίσταση και το αισθητήριο μέτρησης θερμοκρασίας.

Και οι δύο διατάξεις έχουν προσεκτικά κατασκευαστεί έτσι ώστε να έχουν την ίδια θερμοχωρητικότητα.



Εικόνα 7 Συσκευή με 2 διατάξεις

Κεφάλαιο 4 - Πειραματική διαδικασία

4.1 Περιγραφή της μεθόδου.

Κατασκευάσαμε το όργανο που φαίνεται στο σχήμα 1.

Υπάρχει μια βάση, και δύο πανομοιότυπες συσκευές που τοποθετούνται κάθετα στη βάση της κατασκευής με ασφάλεια.

Κάθε συσκευή (A και B) αποτελείται από ένα μικρό περίβλημα για την αντίσταση και το θερμοστοιχείο και στο εξωτερικό μέρος υπάρχει μια μαύρη ματ απορροφητική επιφάνεια από ανοδιομένο αλουμίνιο . Τροφοδοτούμε τους ελεγκτές με συνεχή τάση 12V.
Επιλέγουμε ακριβείς αντιστάσεις και θερμοστοιχεία μετά από πολλά πειράματα και συγκρίσεις με σκοπό να είναι όσο το δυνατόν όμοιοι μεταξύ τους με την ίδια τιμή και συμπεριφορά.

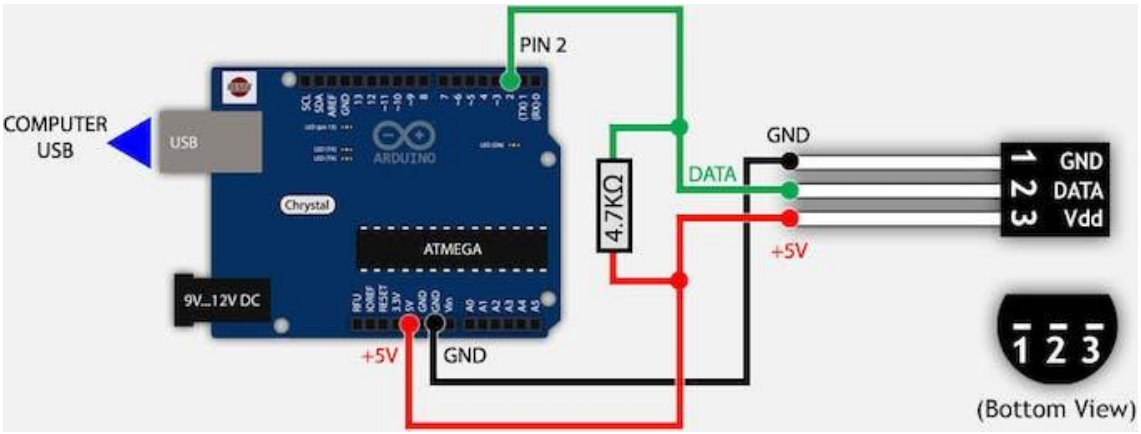
Επιλέγουμε τυχαία μια συσκευή και κατευθύνουμε τη δέσμη λέιζερ στην εξωτερική μαύρη ανοδιομένη επιφάνεια.

Λαμβάνουμε όλα τα μέτρα προστασίας για τη δέσμη laser που χρησιμοποιούμε.

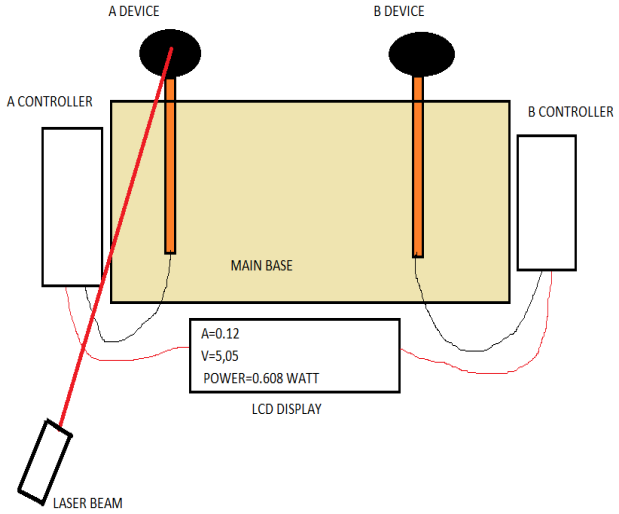
Προσέχουμε ώστε η δέσμη να προσπίπτει σταθερά ολόκληρη εντός της ανοδιωμένης επιφάνειας αλουμίνιου.

Οι πλακέτες Arduino είναι προγραμματισμένες να συγκρίνουν τη θερμοκρασία των δύο συσκευών και να τροφοδοτούν την αντίσταση της δεύτερης συσκευής ώστε να επιτυγχάνεται η ίδια θερμοκρασία και στις δύο συσκευές.

Καθώς η θερμοκρασία αρχίζει να σταθεροποιείται, περιμένουμε την ισορροπία των δύο θερμοκρασιών και μετά μετράμε την ισχύ που τροφοδοτούμε τη δεύτερη συσκευή (φαίνεται στην οθόνη LCD). Αυτή η ισχύς είναι ίδια με την ισχύ της δέσμης λέιζερ που θέλουμε να μετρήσουμε.



Εικόνα 8 Συνδέσεις ds 18b20



Εικόνα 9 Η συσκευή μέτρησης γραφικά

4.2 Πειραματική διαδικασία.

Παρατηρούμε μέσω της σύνδεσης με τον ελεγκτή arduino την σταδιακή αύξηση της θερμοκρασίας. Εμείς ταυτόχρονα μπορούμε να αυξήσουμε τη θερμοκρασία στη δεύτερη διάταξη μέσω της παροχής ρεύματος στην αντίσταση της έτσι ώστε να ακολουθούμε την αύξηση της θερμοκρασίας τις πρώτης διατάξης. Μετά από κατάλληλο χρόνο που θα αρχίσει να σταθεροποιείται η θερμοκρασία στην πρώτη διάταξη δηλαδή απώλειες θα αρχίσουν να πλησιάζουν με την ισχύ που προσπίπτει στην ανοδιωμένη επιφάνεια τότε προσαρμόζουμε και εμείς την ισχύ για να σταθεροποιηθεί και στη δεύτερη διάταξη.

Η ισχύς αυτή που τροφοδοτεί τη δεύτερη διάταξη ισούται με την ισχύ της δέσμης laser που προσπίπτει στην επιφάνεια της πρώτης διατάξης.

Ο χρόνος που μεσολαβεί μέχρι την σταθεροποίηση της θερμοκρασίας είναι αρκετός και για τη σταθεροποίηση της ισχύς της δέσμης laser που μειώνεται από την αρχική της εκπομπή.

Η διαδικασία μπορεί να επαναληφθεί αντιστρέφοντας τα μέρη της διάταξης και χρησιμοποιώντας σαν δέκτη τη διάταξη που χρησιμοποιήσαμε για σύγκριση. Με τα δεύτερα αποτελέσματα ελαχιστοποιούμε τις διαφορές που μπορεί να έχουμε λόγο διαφορών στην κατασκευή ή στις προδιαγραφές των αντιστάσεων η των αισθητηρίων θερμοκρασίας.

Για την εκτέλεση του πειράματος χρησιμοποιήσαμε τέσσερα λέιζερ γνωστής ισχύος και δύο άγνωστης ισχύος.

Μετρήσαμε πρώτα κάθε λέιζερ με δύο εργαστηριακά όργανα. Για την τροφοδοσία του laser χρησιμοποιήσαμε σταθεροποιημένο τροφοδοτικό με σταθερή εξόδου τάσης και ρεύματος..

Στη συνέχεια τοποθετήσαμε τη συσκευή μέτρησης μέσα στην αίθουσα εργαστηρίου οπτοηλεκτρονικής, με κλειστά παράθυρα και κλιματισμό , και μέσα σε ένα μεγάλο κουτί ανοιχτό στο πάνω μέρος, για να αποφύγουμε τα ρεύματα αέρα.

Τοποθετήσαμε κάθε λέιζερ σε τρίποδη βάση με δυνατότητα μικρορυθμίσεων 3 αξόνων και στοχεύσαμε σε μία από τις δύο πανομοιότυπες συσκευές.

Ενεργοποιήσαμε ταυτόχρονα τις πλακέτες ελέγχου με τροφοδοσία 12 volt και την τάση τροφοδοσίας λέιζερ με την ίδια σταθεροποιημένη παροχή ρεύματος που χρησιμοποιούσαμε στις μετρήσεις με τα εργαστηριακά όργανα μέτρησης.

Ο χρόνος που απαιτείται για τη σταθεροποίηση ήταν λιγότερο από 12 λεπτά.

μετά περιμέναμε τουλάχιστον 10 λεπτά για να επανέρθει στα αρχικά επίπεδα η θερμοκρασία από τα όργανα μέτρησης και επαναλάβαμε το πείραμα αφού ανταλλάξαμε τις συσκευές.

4.3 Αποτελέσματα μετρήσεων.

Μετά από πολλά τεστ μέτρησης που κάναμε με τη συσκευή με διαφορετικά λέιζερ με γνωστή και άγνωστη ισχύ και επίσης συγκρίνοντας με άλλες μετρήσεις μετρητών ισχύος λέιζερ δείχνουμε τα αποτελέσματα στο γράφημα .

Τα λέιζερ που χρησιμοποιήσαμε ήταν γνωστής ισχύος λέιζερ 20mW, 100mW, 2W και 4W και με άγνωστη ισχύ (A1 και B1).

Στην πρώτη στήλη βρίσκεται η ονομαστική τιμή του λέιζερ(αν είναι γνωστή).

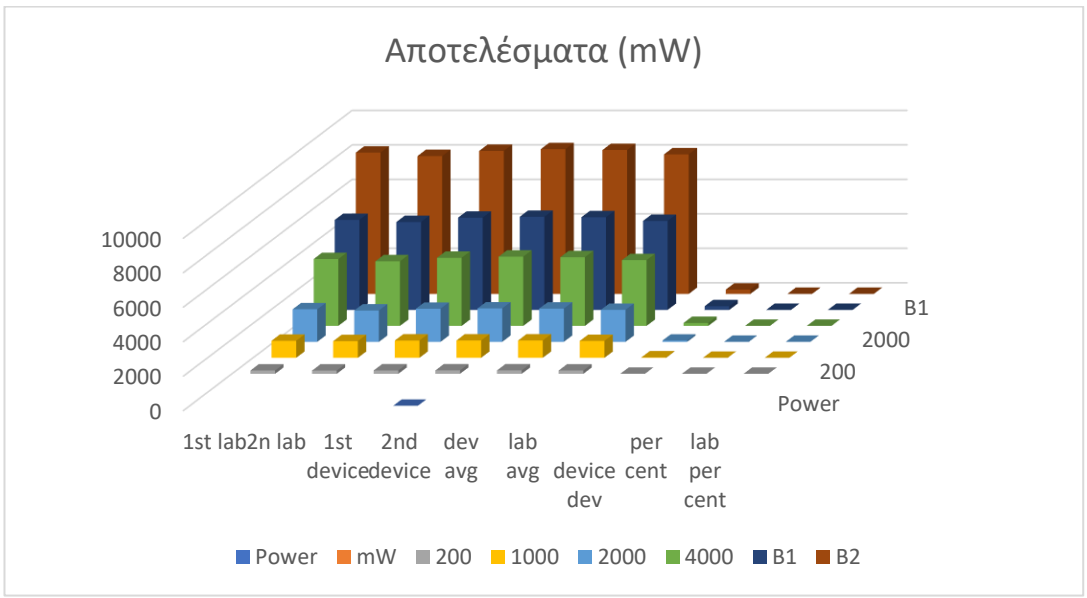
Στη συνέχεια οι μετρήσεις από τα δύο εργαστηριακά όργανα και οι δύο μετρήσεις με εναλλαγή των συσκευών.και μετά ο μέσος όρος των δύο εργαστηριακών συσκευών και των δύο μετρήσεων μας.

Στην επόμενη στήλη είναι το ένα τοις εκατό διαφορά των μετρήσεών μας από τον μέσο όρο του εργαστηρίου και στην τελευταία η επι τοις εκατό διαφορά μεταξύ των δύο εργαστηριακών μετρήσεων.

Πίνακας 3 αποτελέσματα μετρήσεων

known	1st lab	2n lab	1st device	2nd device	dev avg	lab avg	device dev	per cent	lab per cer
Power				measurement					
mW									
200	195	191	198	199	198,5	193	5,5	2,770781	2,051282
1000	990	970	1005	1008	1006,5	980	26,5	2,632886	2,020202
2000	1890	1820	1920	1940	1930	1855	75	3,88601	3,703704
4000	3880	3750	3950	4020	3985	3815	170	4,265997	3,350515
B1	5220	5100	5350	5400	5375	5160	215	4	2,298851
B2	8200	8000	8300	8400	8350	8100	250	2,994012	2,439024

Πίνακας 4 αποτελέσματα γραφικά



Κεφάλαιο 5. Μέτρηση πηγής LED

5.1 Μέτρηση πηγής led.

Για τη μέτρηση πηγής led χρησιμοποιήσαμε ένα chip 2835 smd led



Εικόνα 10 τσιπ led 2835 smd



Εικόνα 11 Φακός εστίασης δέσμης

Χρησιμοποιήσαμε φακό για εστίαση της δέσμης φωτός από το led ώστε να προσπίπτει πάνω στην ανοδιομένη επιφάνεια του αισθητήρα για να μην υπάρχουν απώλειες.

5.2 Συμπεράσματα μέτρησης πηγής LED.

Για τη μέτρηση της πηγής φωτός led παρατηρήσαμε ότι η διαδικασία είναι δυσκολότερη λόγω ότι το φως δεν συγκεντρώνεται εύκολα και είναι απαραίτητη η χρήση φακών. Επίσης όταν υπάρχουν πολλά smd και η επιφάνεια του led είναι μεγάλη είναι δύσκολη η συγκέντρωση χωρίς απώλειες του φωτός σε μικρό σημείο για να προσπίπτει πάνω στην ανοδιομένη επιφάνεια που έρχεται σε επαφή με τον αισθητήρα.

Η μέτρηση του led οπτικής ισχύος 0,5 watt μας έδωσε αποτελέσματα 0,47 watt που είναι ικανοποιητική τιμή για τη συσκευή μέτρησης του πειράματος μας.

Κεφάλαιο 6 – Γενικά συμπεράσματα μελλοντικές βελτιώσεις.

6.1 Γενικά συμπεράσματα.

Παρατηρούμε ότι η συσκευή μέτρα ικανοποιητικά και σε σύγκριση με εργαστηριακές συσκευές του εμπορίου. Η κατασκευή της διάταξης είναι πολύ οικονομική και τα υλικά της κατασκευής προσιτά. Με τις κατάλληλες τροποποιήσεις στο μέγεθος των

αισθητήρων της διάταξης και στις επιφάνειες απωλειών μπορούν να μετρηθούν και πολύ μεγαλύτερες ισχύς laser.

Υπάρχουν πολλά περιθώρια για βελτίωση στην κατασκευή κυρίως με τη χρήση πιο αξιόπιστων αισθητήρων μέτρησης θερμοκρασίας και πιο αξιόπιστων αντιστάσεων για τη θέρμανση της διάταξης. Επίσης η όλη διαδικασία μπορεί να γίνει αυτόματη με κατάλληλο προγραμματισμό έτσι ώστε αναλόγως την αύξηση της θερμοκρασίας στην πρώτη διάταξη που προσπίπτει η δέσμη αυτόματα να αναπροσαρμόζεται η ισχύς στη δεύτερη διάταξη για τη θέρμανση της. Αυτό προϋποθέτει να γίνουν πολλά πειράματα ώστε να βρεθούν οι κατάλληλοι χρόνοι μέχρι τη σταθεροποίηση των θερμοκρασιών και τη μέτρηση της ισχύος. Επίσης θα πρέπει να συνυπολογιστούν οι απώλειες λόγω αντιστάσεων στις καλωδιώσεις και λόγω μη επαρκής απορρόφησης της ακτινοβολίας από την επιφάνεια της διάταξης.

6.1.1 Βελτιώσεις για μέτρηση laser.

Η συσκευή θα μπορούσε να διαμορφωθεί έτσι ώστε να περικλείει την Πηγή εκπομπής laser και να μην υπάρχει δυνατότητα διαφυγής της δέσμης. Έτσι η απορρόφηση θα ήταν μέγιστη και αυτό είναι εφικτό κυρίως για μικρές πηγές laser. Ακόμα θα μπορεί να γίνει βαθμονόμηση με άγνωστες πηγές laser έτσι ώστε από την αρχική θερμοκρασία μέχρι την τελική σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα να έχουμε γρηγορότερη μέτρηση της ισχύος της πηγής laser.

6.1.2 Βελτιώσεις για μέτρηση πηγής led

Παρόμοιες μετατροπές στη διάταξη μπορούν να γίνουν και για τη μέτρηση πηγών φωτισμού led έτσι ώστε η διάταξη να εμποδίζει τη διαφυγή φωτός π.χ. από λάμπα εκτός της συσκευής .Για μικρές ισχύς θα μπορούσε να λειτουργεί η διάταξη ως έχει με θέρμανση στο δεύτερο μέρος της διάταξης και σύγκριση της θερμοκρασίας ενώ για μεγαλύτερη ισχύ θα μπορούσε να βαθμονομηθεί και να δίνει άμεσα αποτελέσματα της ισχύος.

Βιβλιογραφία.

[1] Elizabeth L Tanzi & Jeffrey S. Dover & Leah K. Spring,(2022), “Lasers, Lights, and Energy Devices” Elsevier (2-12-2022).

[2] Περσεφόνης, Πέτρος(2001), Laser Φυσική και τεχνολογία, Εκδόσεις: Παπασωτηρίου

[3] Ανδριτσάκης, Αντώνης(2000) , Laser και οπτοηλεκτρονικές διατάξεις,εκδόσεις Λύχνος

[4] Mann, Malcolm & Taylore-Knowles, Steve,(2014), Richard Šrobár Littera

[5] Axel Donges , Reinhard Noll ” Laser measurement technology “2002, Springer Berlin, Heidelberg

[6] Charles Dumas (2022) How to measure laser power accurately in 7 simple steps.Διαθέσιμο στο https://www.gentec-eo.com/blog/how-to-measure-laser-power.

[7] Gareth Lewis (2021) “What Is A Laser Power Meter” Διαθέσιμο από

https://laseruser.com/what-is-a-laser-power-meter/

[8] Ασφάλεια κατά την χρήση των λέιζερ.διδάκτωρ Σπυράτου Ελίνα (2018) Ε.Μ.Πολυτεχνείο.

Μάθημα ΑΚΤΙΝΕΣ LASER ΣΤΗΝ ΟΔΟΝΤΙΑΤΡΙΚΗ» διαθέσιμο στο:

https://eclass.uoa.gr/modules/document/file.php/DENT466/%CE%91%CF%83%CF%86%CE%AC%CE%BB%CE%B5%CE%B9%CE%B1%20%CE%B1%CF%80%CF%8C%20%CF%84%CE%B7%20%CE%B4%CE%AD%CF%83%CE%BC%CE%B7%20laser.pdf

[9]. Κουρκουτάς Βασίλης, Κουταλώνης Μάνθος, Λιβιτσάνος Χρήστος, Μανδρίδης Δημήτρης, Μπέϊκος Μιχάλης,Ορφανουδάκης Θάνος, Τσαρούχας Διονύσης, Φραγκάκης Ιωάννης και Μακροπούλου Μυρσίνη, (2003-2004) “ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΚΑΤΑ ΤΙΣ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ LASER”, Εργασία στα πλαίσια του μαθήματος «Εφαρμογές των laser στη Βιοϊατρική και το Περιβάλλον», ΣΕΜΦΕ -ΕΜΠ.

[10]. Sliney D, Wolbarsht W.(1981) Safety with Lasers and Other Optical Sources. Plenum Press, New York.

[11]. "Laser safety.(2010) " Wikipedia, The Free Encyclopedia. Wikimedia Foundation, Inc.

[12] G. Carruth-A.McKenzie(1994) Ιατρικά lasers: Επιστήμη και κλινική εφαρμογή

, Εκδόσεις Συμμετρία.

[13] David J Goldberg, (2000) “Laser and Lights Volume 2”, Εκδόσεις

Gaspar Z ,Vincuillo C ,Eliot T.

[14] Ιστοσελίδα Copyright © 2022 DroneBot Workshop.ΚώδικαςArduino.

Διαθέσιμο στο https://dronebotworkshop.com/dc-volt-current/

[15] https://www.twi-global.com/ “how to measure laser beam.” Διαθέσιμο στο https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/faq-how-to-measure-laser-power-beam-focus-position-and-travel-speed#:~:text=Laser%20power%20can%20be%20measured,power%20using%20a%20timed%20exposure

[16] Kazuhiro Agatsuma, Daniel Friedrich, Stefan Ballmer, Giulia DeSalvo, Shihori Sakata, Erina Nishida, and Seiji Kawamura(2017) .Paper .Precise measurement of laser power using an optomechanical system.Διαθέσιμο από https://opg.optica.org/oe/fulltext.cfm?uri=oe-22-2-2013&id=277757

[17] P Pinot and Z Silvestri (2017) Paper .Measurement Science and Technology, Διαθέσιμο από

https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6501/aa902d/meta
Lasers: The Power and Precision of Light 1st Edition

[18] Jean-Claude Diels , Ladan Arissian (2012) “Lasers: The Power and Precision of Light “, Wiley-VCH

Παράρτημα 1

Α Κώδικας για μέτρηση θερμοκρασίας από Arduino (ds18b20)

```
/*********************************************************************
// First we include the libraries
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
/*********************************************************************
// Data wire is plugged into pin 2 on the Arduino
#define ONE_WIRE_BUS 2
/*********************************************************************
// Setup a oneWire instance to communicate with any OneWire devices
// (not just Maxim/Dallas temperature ICs)
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
/*********************************************************************
// Pass our oneWire reference to Dallas Temperature.
DallasTemperature sensors(&oneWire);
/*********************************************************************
void setup(void)
{
 // start serial port
 Serial.begin(9600);
 Serial.println("Dallas Temperature IC Control Library Demo");
 // Start up the library
 sensors.begin();
}
void loop(void)
{
 // call sensors.requestTemperatures() to issue a global temperature
 // request to all devices on the bus
/*********************************************************************
 Serial.print(" Requesting temperatures...");
 sensors.requestTemperatures(); // Send the command to get temperatu
re readings
 Serial.println("DONE");
/*********************************************************************
 Serial.print("Temperature is: ");
 Serial.print(sensors.getTempCByIndex(0)); // Why "byIndex"?
   // You can have more than one DS18B20 on the same bus.
```

```
   // 0 refers to the first IC on the wire
   delay(1000);
```

Β Κώδικας για μέτρηση θερμοκρασίας από Arduino (ds18b20),

```
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>

// Data wire is plugged into digital pin 2 on the Arduino
#define ONE_WIRE_BUS 2

// Setup a oneWire instance to communicate with any OneWire device
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);

// Pass oneWire reference to DallasTemperature library
DallasTemperature sensors(&oneWire);

void setup(void)
{
  sensors.begin();     // Start up the library
  Serial.begin(9600);
}

void loop(void)
{
  // Send the command to get temperatures
  sensors.requestTemperatures();

  //print the temperature in Celsius
  Serial.print("Temperature: ");
  Serial.print(sensors.getTempCByIndex(0));
  Serial.print((char)176);//shows degrees character
  Serial.print("C  |  ");

  //print the temperature in Fahrenheit
  Serial.print((sensors.getTempCByIndex(0) * 9.0) / 5.0 + 32.0);
```

```
  Serial.print((char)176);//shows degrees character
  Serial.println("F");

  delay(500);
}
```

.

Παράρτημα 2

PWM Κώδικας για Arduino

```
//Initializing LED Pin
int led_pin = 6;
void setup() {
  //Declaring LED pin as output
  pinMode(led_pin, OUTPUT);
}
void loop() {
  //Fading the LED
  for(int i=0; i<255; i++){
    analogWrite(led_pin, i);
    delay(5);
  }
  for(int i=255; i>0; i--){
    analogWrite(led_pin, i);
    delay(5);
  }
}
```

Παράρτημα 3

Έλεγχος θερμοκρασίας και θέρμανσης μέσο Arduino.

```
unsigned int ADCValue;
double temp_pv, temp_sv;
double timer1_counter; //for timer
boolean stringComplete = false;  // whether the string is complete
boolean start = false;  //start controling temperature
String mySt = "";
int delay_output;
boolean relay_on, relay_on_off;
const byte relay = 2; //relay output on Pin 2
void setup() {
pinMode(relay,OUTPUT);
analogReference(EXTERNAL);
Serial.begin(9600);
//--------------------------timer setup
noInterrupts();           // disable all interrupts
TCCR1A = 0;
TCCR1B = 0;
timer1_counter = 59286;   // preload timer 65536-16MHz/256/2Hz (3428
6 for 0.5sec) (59286 for 0.1sec)
TCNT1 = timer1_counter;   // preload timer
TCCR1B |= (1 << CS12);    // 256 prescaler
TIMSK1 |= (1 << TOIE1);   // enable timer overflow interrupt
interrupts();             // enable all interrupts
//--------------------------timer setup
}
void loop() {
if (stringComplete) {
// clear the string when COM receiving is completed
mySt = "";  //mySt is blank until '\n' is received
stringComplete = false;
}
//receive command from Visual Studio
if (mySt.substring(0,10) == "temp_start"){
start = true;
}
if (mySt.substring(0,9) == "temp_stop"){
start = false;
```

```
}
if (mySt.substring(0,8) == "temp_set"){
temp_sv = mySt.substring(8,mySt.length()).toFloat();  //get string a
fter temp_set
}
if(start) //start controlling temperature - "start" command from Vis
ual Studio
{
if (temp_pv < temp_sv - 2.0)  //on heating
{
relay_on = true;
}
if (temp_pv > temp_sv + 2.0) //off heating
{
digitalWrite(relay,0);
relay_on = false;
}
if (relay_on) relay_on_sequence();  //on heating by sequence on_off
}
else  //stop controlling temperature - "stop" command from Visual St
udio
{
digitalWrite(relay,0);
}
}
ISR(TIMER1_OVF_vect)        // interrupt service routine - tick ever
y 0.1sec
{
TCNT1 = timer1_counter;   // set timer
ADCValue = analogRead(0);
temp_pv = 0.00007*ADCValue*ADCValue-0.1849*ADCValue+103.02+2.3;

//Serial.print(ADCValue); //un-comment for calibration
//Serial.print("---");    //un-comment for calibration
Serial.println(temp_pv);
}
void serialEvent() {
while (Serial.available()) {
// get the new byte:
char inChar = (char)Serial.read();
// add it to the inputString:
if (inChar != '\n') {
mySt += inChar;
}
// if the incoming character is a newline, set a flag
// so the main loop can do something about it:
if (inChar == '\n') {
stringComplete = true;
}
}
}
void relay_on_sequence()
{
if (relay_on_off)
```

```
{
digitalWrite(relay,1);
delay_output++;
if (delay_output >= 30000) relay_on_off = false;
}
else
{
digitalWrite(relay,0);
delay_output++;
if (delay_output >= 30000) relay_on_off = true;
}
if (delay_output >= 30000) delay_output = 0;
}
```

Παράρτημα 4

Μέτρηση τάσης dc με Arduino

c-voltage-demo.ino

C++

```
/*
  Arduino DC Voltage Demo 1
  dc-voltage-demo.ino
  Use Arduino A/D converter to measure voltage
  Use external voltage divider with 30k & 7.5k resistors
  Results displayed on Serial Monitor

  DroneBot Workshop 2021
  https://dronebotworkshop.com
*/

// Define analog input
#define ANALOG_IN_PIN A0

// Floats for ADC voltage & Input voltage
float adc_voltage = 0.0;
float in_voltage = 0.0;

// Floats for resistor values in divider (in ohms)
float R1 = 30000.0;
float R2 = 7500.0;

// Float for Reference Voltage
float ref_voltage = 5.0;

// Integer for ADC value
int adc_value = 0;

void setup(){
   // Setup Serial Monitor
   Serial.begin(9600);
   Serial.println("DC Voltage Test");
}

void loop(){
   // Read the Analog Input
   adc_value = analogRead(ANALOG_IN_PIN);

   // Determine voltage at ADC input
   adc_voltage  = (adc_value * ref_voltage) / 1024.0;

```

```
42  // Calculate voltage at divider input
43  in_voltage = adc_voltage / (R2/(R1+R2));
44
45  // Print results to Serial Monitor to 2 decimal places
46 Serial.print("Input Voltage = ");
47  Serial.println(in_voltage, 2);
48
49 // Short delay
50 delay(500);
51}
```

Παράρτημα 5

Μέτρηση τάσης ρεύματος με Arduino και

Adafruit INA219 Current & Voltage Sensor

dafruit INA219
C++

```
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_INA219.h>

Adafruit_INA219 ina219;


void setup(void)
{
 Serial.begin(115200);
 while (!Serial) {
    // will pause Zero, Leonardo, etc until serial console opens
    delay(1);
 }

 uint32_t currentFrequency;

 Serial.println("Hello!");

 // Initialize the INA219.
 // By default the initialization will use the largest range (32V, 2A).  However
 // you can call a setCalibration function to change this range (see comments).
 if (! ina219.begin()) {
  Serial.println("Failed to find INA219 chip");
  while (1) { delay(10); }
 }
 // To use a slightly lower 32V, 1A range (higher precision on amps):
 //ina219.setCalibration_32V_1A();
 // Or to use a lower 16V, 400mA range (higher precision on volts and amps):
 //ina219.setCalibration_16V_400mA();

```

```
 Serial.println("Measuring voltage and current with INA219 ...");
}

void loop(void)
{
 float shuntvoltage = 0;
 float busvoltage = 0;
 float current_mA = 0;
 float loadvoltage = 0;
 float power_mW = 0;

 shuntvoltage = ina219.getShuntVoltage_mV();
 busvoltage = ina219.getBusVoltage_V();
 current_mA = ina219.getCurrent_mA();
 power_mW = ina219.getPower_mW();
 loadvoltage = busvoltage + (shuntvoltage / 1000);

 Serial.print("Bus Voltage:   "); Serial.print(busvoltage); Serial.println(" V");
 Serial.print("Shunt Voltage: "); Serial.print(shuntvoltage); Serial.println(" mV");
 Serial.print("Load Voltage:  "); Serial.print(loadvoltage); Serial.println(" V");
 Serial.print("Current:       "); Serial.print(current_mA); Serial.println(" mA");
 Serial.print("Power:         "); Serial.print(power_mW); Serial.println(" mW");
 Serial.println("");

 delay(2000);
}
```