

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ & ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ



Πανεπιστήμιο
Ιωαννίνων

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

**«Αξιολόγηση απόδοσης φωτοβολταϊκών στοιχείων εσωτερικών
χώρων»**



Πάνος Πέτρος

ΑΜ: 15013 εξάμηνο : 14

Email: panos.petros1@gmail.com

Εποπτεύων καθηγητής

Δουμένης Γρηγόριος

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ & ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ



Πανεπιστήμιο
Ιωαννίνων

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

**«Αξιολόγηση απόδοσης φωτοβολταϊκών στοιχείων εσωτερικών
χώρων»**

Πάνος Πέτρος

ΑΜ: 15013 εξάμηνο : 14

Email: panos.petros1@gmail.com

Εποπτεύων καθηγητής

Δουμένης Γρηγόριος

Εγκρίθηκε από τριμελή εξεταστική επιτροπή

Άρτα, 7 Μαΐου 2021

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

1. Επιβλέπων καθηγητής

Δουμένης Γρηγόριος

2. Μέλος επιτροπής

Βαρτζιώτης Φώτης (Επικ. Καθηγητής)

3. Μέλος επιτροπής

Γιαννακέας Νικόλαος (Επικ. Καθηγητής)

Ο Προϊστάμενος του Τμήματος

Γλαβάς Ευριπίδης (Καθηγητής)

©Πάνος Πέτρος, 2021.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Δήλωση μη λογοκλοπής

Δηλώνω υπεύθυνα και γνωρίζοντας τις κυρώσεις του Ν. 2121/1993 περί Πνευματικής Ιδιοκτησίας, ότι η παρούσα πτυχιακή εργασία είναι εξ ολοκλήρου αποτέλεσμα δικής μου ερευνητικής εργασίας, δεν αποτελεί προϊόν αντιγραφής ούτε προέρχεται από ανάθεση σε τρίτους. Όλες οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν (κάθε είδους, μορφής και προέλευσης) για τη συγγραφή της περιλαμβάνονται στη βιβλιογραφία.

Πάνος Πέτρος

Υπογραφή

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες και την ευγνωμοσύνη μου στον καθηγητή μου κ. Δουμένη Γρηγόριο για την ανάθεση του θέματος, την πολύτιμη βοήθειά του, το ενδιαφέρον του αλλά και τον χρόνο που διέθεσε για την διεκπεραίωση της πτυχιακής μου εργασίας. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Ιωάννη Μασκλαβάνο (Υποψ. Διδάκτορας) και τον Χρήστο Κουτσό για τη χρήσιμη συμβολή τους.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία θα ασχοληθούμε με την αξιολόγηση της απόδοσης φωτοβολταϊκών στοιχείων σε εσωτερικούς χώρους και θα προτείνουμε πειραματικό σύστημα αξιολόγησης τέτοιων στοιχείων.

Στο πρώτο κεφάλαιο θα ορίσουμε το φωτοβολταϊκό στοιχείο, τους τύπους στους οποίους διαχωρίζεται και τα πλεονεκτήματά του. Έπειτα θα περιγράψουμε τον τρόπο λειτουργίας μιας ηλιακής κυψέλης και την καμπύλη I-V.

Στο δεύτερο κεφάλαιο θα μιλήσουμε για τον ρόλο της ατμόσφαιρας της γης στο φιλτράρισμα της ηλιακής ακτινοβολίας και την προσομοίωση καμπύλης I-V Mode. Επίσης θα αναφερθούμε στο τεχνητό φως του ήλιου, στις πηγές ορατού φωτός και στο φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας.

Στο τρίτο κεφάλαιο θα μιλήσουμε για τις προκλήσεις μέτρησης σε εσωτερικούς χώρους, τα χαρακτηριστικά των ηλιακών προσομοιωτών, καθώς και θα παρουσιάσουμε έναν LED Solar Simulator του εμπορίου.

Στο τέταρτο κεφάλαιο θα μελετήσουμε την αρχιτεκτονική του συστήματος, τα υποσυστήματα φωτισμού καθώς και τον αισθητήρα φάσματος, μετρήσεων και ελέγχου. Επίσης θα αναλύσουμε τη κατασκευή του πρωτοτύπου που δημιουργήσαμε.

Στο τελευταίο κεφάλαιο θα κάνουμε έναν απολογισμό υλοποίησης και σύγκριση με εμπορικές λύσεις και θα αναφερθούμε σε μελλοντικές επεκτάσεις.

Λέξεις κλειδιά: φωτοβολταϊκό στοιχείο, προσομοίωση, καμπύλη I-V, ηλιακή ενέργεια, MPPT.

ABSTRACT

In the present dissertation we will study the performance of photovoltaic cells indoors and we will propose an experimental system for the evaluation of such elements.

In the first chapter we will define the photovoltaic cell, the types into which it is divided and its advantages. We will then describe how a solar cell works and the I-V curve.

In the second chapter we will talk about the role of the earth's atmosphere in filtering solar radiation and simulating the I-VMode curve. We will also refer to artificial sunlight, visible light sources and the spectrum of sunlight.

In the third chapter we will talk about the challenges of indoor measurement, the features of solar simulators, and we will present a commercial LED Solar Simulator.

In the fourth chapter we will study the architecture of the system, the lighting subsystems as well as the spectrum sensor, measurements and control. We will also analyze the construction of the prototype we created.

In the last chapter we will make an implementation report and comparison with commercial solutions and we will refer to future extensions.

Keywords: photovoltaic cell, simulation, I-V curve, solar energy, MPPT.

Πίνακας περιεχομένων

1.1 Φωτοβολταϊκό στοιχείο.....	12
1.1.1 Τύποι φωτοβολταϊκών στοιχείων.....	13
1.1.2 Πώς λειτουργεί η ηλιακή κυψέλη;.....	13
1.1.3 Ηλιακά φωτοβολταϊκά συστήματα.....	14
1.1.4 Τα πλεονεκτήματα του φωτοβολταϊκού στοιχείου.....	15
1.2 Η Καμπύλη I - V Ενός Φωτοβολταϊκού Στοιχείου.....	16
1.3 Μέτρηση της απόδοσης των ηλιακών κυττάρων.....	17
2.1 Εισαγωγή.....	21
2.2 Ο ρόλος της ατμόσφαιρας της γης στο φιλτράρισμα της ηλιακής ακτινοβολίας.....	21
2.3 Λαμπτήρας πυρακτώσεως.....	23
2.4 LED.....	24
2.5 Λάμπες Αλογονιδίων μετάλλου.....	24
2.6 Λάμπες Ξένον.....	24
2.6.1 Προσομοίωση ηλιακού φωτός με βάση το Xenon.....	25
2.7 Προσομοίωση ηλιακού φωτός.....	27
2.8 Φάσμα ηλιακής ακτινοβολίας πάνω από την ατμόσφαιρα και στην επιφάνεια.....	29
2.9 Πηγές ορατού φωτός.....	29
3.1 Προκλήσεις μέτρησης σε εσωτερικούς χώρους (MPPT, Φάσμα: τεχνητές πηγές vs Ήλιος).....	31
3.2 Χαρακτηριστικά και χαρακτηρισμός των ηλιακών προσομοιωτών.....	33
3.3 LED Solar Simulator Class AAA.....	35
4.1 Αρχιτεκτονική Συστήματος.....	38
4.2 Το TIP122.....	42
4.3 Υποσύστημα φωτισμού.....	42
4.4 Υποσύστημα αισθητήρα φάσματος.....	45
4.5 Υποσύστημα μετρήσεων και ελέγχου.....	47
4.5.1 Προγραμματισμός Arduino.....	48
4.6 Κατασκευή πρωτοτύπου.....	51
5. Συμπεράσματα.....	55
5.1 Απολογισμός Υλοποίησης και σύγκριση με εμπορικές λύσεις.....	55
5.2. Μελλοντικές επεκτάσεις.....	56
5.3 Συμπεράσματα.....	57
BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	58

Κεφάλαιο 1^οΕισαγωγή

1. Εισαγωγή

Σκοπός μας είναι να δημιουργήσουμε ένα σύστημα φωτισμού το οποίο θα μπορεί να προσομοιώνει τον ήλιο για την αξιολόγηση φωτοβολταϊκών στοιχείων. Μέσω μικροελεγκτή και ενός αισθητήρα χρωμάτων θα αξιολογίσουμε το σύστημα φωτισμού το οποίο θα δημιουργήσουμε και θα το συγκρίνουμε με έτοιμα εμπορικά συστήματα. Τέλος θα γίνει μία έρευνα για το πως θα μπορούσε να επεκταθεί μελλοντικά το σύστημα φωτισμού.

1.1 Φωτοβολταϊκό στοιχείο

Με τον όρο φωτοβολταϊκό στοιχείο αναφερόμαστε σε μια συσκευή που αποτελείται από υλικά ημιαγωγών λόγω χάρη πυρίτιο, αρσενίδιο του γαλλίου, τελλουριούχο κάδμιο κ.λπ. Η συγκεκριμένη συσκευή έχει την ιδιότητα να μετατρέπει το ηλιακό φως απευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια. Όταν τα ηλιακά κύτταρα απορροφούν το φως του ήλιου, δημιουργούνται ελεύθερα ηλεκτρόνια και οπές σε θετικούς και αρνητικούς κόμβους. Εάν οι θετικές ή αρνητικές συνδέσεις της ηλιακής κυψέλης συνδεθούν με ηλεκτρικό εξοπλισμό συνεχούς ρεύματος παρέχεται ρεύμα για τη λειτουργία του ηλεκτρικού εξοπλισμού. Τα φωτοβολταϊκά ανήκουν στη κατηγορία των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας[1][2].

1.1.1 Τύποι φωτοβολταϊκών στοιχείων

❖ Φωτοβολταϊκά στοιχεία κρυσταλλικού πυριτίου (CrystallineSilicon , Si)

- Μονοκρυσταλλικά στοιχεία Πυριτίου (sc-Si)
- Πολυκρυσταλλικά στοιχεία Πυριτίου (mc-Si)
- Ταινία Πυριτίου (Ribbon –Si)

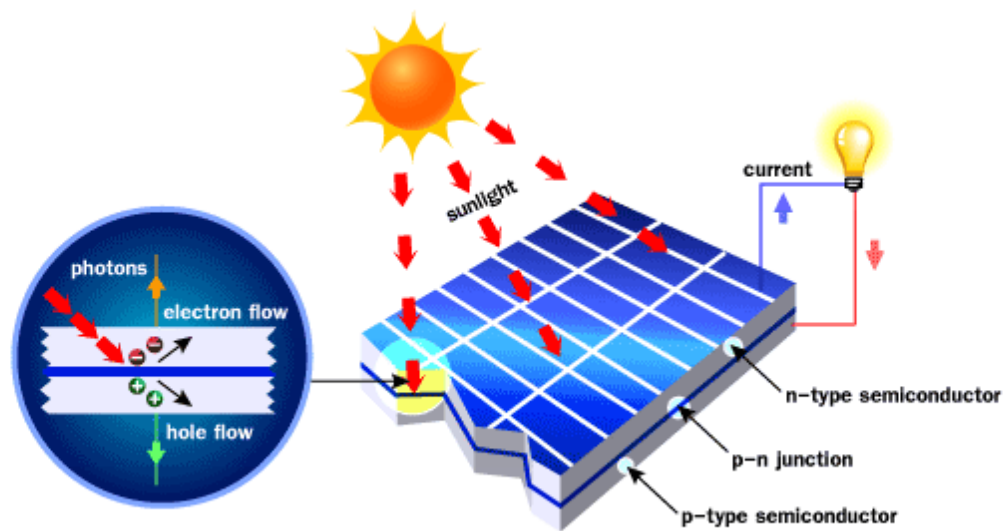
❖ Φωτοβολταϊκά στοιχεία λεπτού υμενίου (ThinFilm)

- Δισεληνοειδίουχος χαλκός (CIS, CIGS)
- Άμορφο Πυρίτιο (a-Si)
- Τελλουριούχο Κάδμιο (CdTe)
- Αρσενικούχο Γάλλιο (GaAs)

❖ Άλλες τεχνολογίες φωτοβολταϊκών υλικών

- Υβριδικό Φωτοβολταϊκό (HIT)
- Τύποι Νανοκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών στοιχείων[2].

1.1.2 Πώς λειτουργεί η ηλιακή κυψέλη



Εικόνα 1: Ηλιακή κυψέλη

Όταν το ηλιακό φως χτυπά την επιφάνεια των ηλιακών κυττάρων δημιουργείται φορέας φορτίου ως ηλεκτρόνια και οπές. Το εσωτερικό πεδίο που παράγεται έχει την ιδιότητα να διαχωρίζει τα θετικά φορτία από τα αρνητικά φορτία. Πιο συγκεκριμένα οι τρύπες μεταφέρονται σε θετικό ή ρ-στρώμα και τα ηλεκτρόνια μεταφέρονται σε αρνητικό ή η-στρώμα. Όταν δημιουργείται κύκλωμα, τα ελεύθερα ηλεκτρόνια πρέπει να περάσουν από το φορτίο για να ανασυνδυαστούν με θετικές οπές.

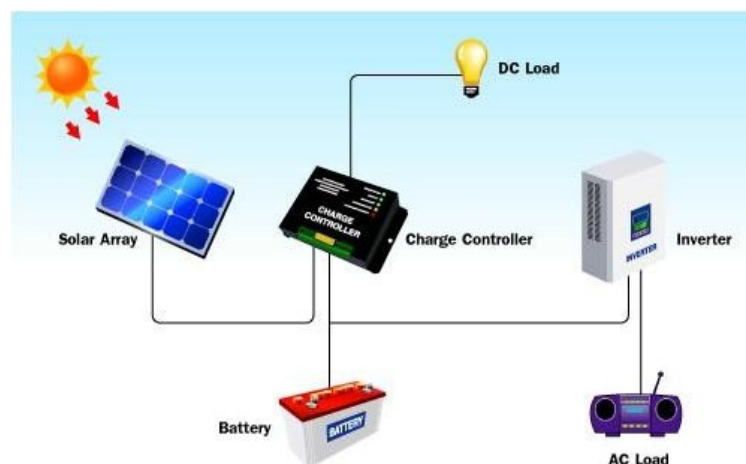
Σε αυτό το σημείο αξίζει να αναφέρουμε ότι για να δημιουργηθεί μια ηλιακή μονάδα δηλαδή μια φωτοβολταϊκή μονάδα θα πρέπει να συνδεθούν τα μεμονωμένα ηλιακά στοιχεία μεταξύ τους με απώτερο σκοπό να αυξήσουν το ρεύμα. Από την άλλη πλευρά οι μονάδες συνδέονται σε μια συστοιχία η οποία καλείται *φωτοβολταϊκή συστοιχία*[1].

1.1.3 Ηλιακά φωτοβολταϊκά συστήματα

Τα ηλιακά κύτταρα παράγουν συνεχές ρεύμα κατά συνέπεια χρησιμοποιούνται μόνο για συσκευές DC. Σε περίπτωση όμως που απαιτείται εναλλασσόμενο ρεύμα για εξοπλισμό AC ή απαιτείται εφεδρική ενέργεια, τα ηλιακά φωτοβολταϊκά συστήματα απαιτούν και άλλα εξαρτήματα εκτός από τις ηλιακές μονάδες. Τα εν λόγω εξαρτήματα είναι ειδικά σχεδιασμένα για ενσωμάτωση στο ηλιακό φωτοβολταϊκό σύστημα. Πιο συγκεκριμένα είναι :

- Προϊόντα ανανεώσιμης ενέργειας
- Προϊόντα εξοικονόμησης ενέργειας
- Εξαρτήματα ανάλογα με τον τύπο εφαρμογής

Τα κυριότερα συστατικά του ηλιακού φωτοβολταϊκού συστήματος απεικονίζονται στην εικόνα 2 που ακολουθεί.



Εικόνα 2:Τα συστατικά ενός φωτοβολταϊκού ηλιακού συστήματος

- ❖ **To SolarModule** : αποτελεί το βασικό συστατικό οποιουδήποτε ηλιακού φωτοβολταϊκού συστήματος το οποίο έχει την ικανότητα να μετατρέπει το ηλιακό φως απευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια DC.
- ❖ **To SolarChargeController** : έχει την ιδιότητα να ρυθμίζει την τάση και το ρεύμα από τις ηλιακές συστοιχίες. Πιο συγκεκριμένα :
 - Φορτίζει την μπαταρία
 - Αποτρέπει την υπερφόρτιση της μπαταρίας

- Εκτελεί ελεγχόμενες υπερφορτίσεις
- ❖ **Η μπαταρία** : η οποία έχει την ιδιότητα να αποθηκεύει την τρέχουσα ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από ηλιακές συστοιχίες όταν το φως του ήλιου δεν είναι ορατό.
- ❖ **Ο μετατροπέας**: αποτελεί ένα σημαντικό συστατικό του ηλιακού φωτοβολταϊκού συστήματος που μετατρέπει την έξοδο ισχύος DC σε AC.
- ❖ **Η αστραπή**: προστατεύει τον ηλεκτρικό εξοπλισμό από ζημιές που προκαλούνται από κεραυνούς ή επαγωγή υπερτάσεων υψηλής τάσης[2].

1.1.4 Τα πλεονεκτήματα του φωτοβολταϊκού στοιχείου

Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου είναι **η ικανότητά του να παράγει** μια καθαρή και μη ρυπογόνα πηγή ηλεκτρικής ενέργειας φιλική προς το περιβάλλον. Μπορεί να γίνει εύκολα αντιληπτό γιατί δεν χρησιμοποιεί καύσιμο παρά μόνο το φως του ήλιου. Το φωτοβολταϊκό στοιχείο έχει την ικανότητα ελαχιστοποίησης της συλλογή αερίων λόγω χάρη:

- Το μονοξείδιο του άνθρακα
- Το διοξείδιο του θείου
- Ο υδρογονάνθρακας
- Το άζωτο

Όλα τα παραπάνω βοηθούν πολύ σημαντικά στην μείωση των επιπτώσεων της ενέργειας στο περιβάλλον όπως:

- Το φαινόμενο του θερμοκηπίου
- Την υπερθέρμανση του πλανήτη
- Την όξινη βροχή
- Την ατμοσφαιρική ρύπανση

Τέλος πλεονεκτεί ως προς **την ευκολία μεταφοράς**[2].

1.2 Η Καμπύλη I - V Ενός Φωτοβολταϊκού Στοιχείου

Τόσο για τον έλεγχο της αποδοτικής λειτουργίας ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου όσο και για τον σχεδιασμό των ηλεκτρονικών πρέπει να προσδιορίσουμε τα σημεία μέγιστης ισχύος, τα οποία αντιστοιχούν σε διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας. Στόχος είναι ο εντοπισμός του σημείου λειτουργίας του σε κάθε κατάσταση.

Σε ορισμένες καμπύλες I-V τα δύο σημεία δεν συμπίπτουν. Σε αντίθετη περίπτωση θα πρέπει το φορτίο να αλλάζει, έτσι ώστε η νέα ευθεία φόρτου να περνά από το σημείο μέγιστης ισχύος της νέας καμπύλης I-V. Ορισμένες φορές δύναται να συμβούν φαινόμενα απόκλισης από την κατάσταση μέγιστης ισχύος. Συνεπώς απαιτείται προσαρμογή του σημείου λειτουργίας του συστήματος με το σημείο μέγιστης ισχύος από το φωτοβολταϊκό στοιχείο. Την διαδικασία μετακίνησης του σημείου λειτουργίας επιτυγχάνουμε με ειδική ηλεκτρονική διάταξη παρακολούθησης του ΣΜΙ διότι αλλάζουν οι συνθήκες καθορισμού της I-V. Ορίζουμε λοιπόν τέσσερα σημεία λειτουργίας: ΣΛ1, ΣΛ2, ΣΛ3, ΣΛ4. Από πειραματικής πλευράς το σημείο αυτό μπορεί να προσδιοριστεί αν παραστήσουμε γραφικά την παρεχόμενη από το ΦΒ στοιχείο, ηλεκτρική ισχύ (βλ. $P = I \cdot V$) υπό δεδομένη πυκνότητα ισχύος (βλ. E) πάνω σε μία μεταβλητή ηλεκτρική αντίσταση, σαν συνάρτηση της τάσης (βλ V) στα άκρα της αντίστασης. Οι τιμές ρεύματος - τάσης, στο σημείο μέγιστης ισχύος, συμβολίζονται με I_m και V_m . Η μέγιστη δυνατή ισχύς, που μπορεί να δώσει το ΦΒ στοιχείο ισούται με:

$$P_m = I_m \cdot V_m$$

Σε περίπτωση αλλαγής του φωτισμού ενός ΦΒ στοιχείου το σημείο λειτουργίας μετατοπίζεται. Στην αντίσταση τότε αποδίδεται μικρότερη από την μέγιστη ισχύ, σε κάθε ένα από τα σημεία λειτουργίας, τα οποία αντιστοιχούν στους τέσσερις φωτισμούς. Όπου το σημείο λειτουργίας 4 συμπίπτει με το ΣΜΙ της I-V, που αντιστοιχεί σε πυκνότητα ισχύος ακτινοβολίας $E = 1 \text{ kW/m}^2$ [4].

1.3 Μέτρηση της απόδοσης των ηλιακών κυττάρων

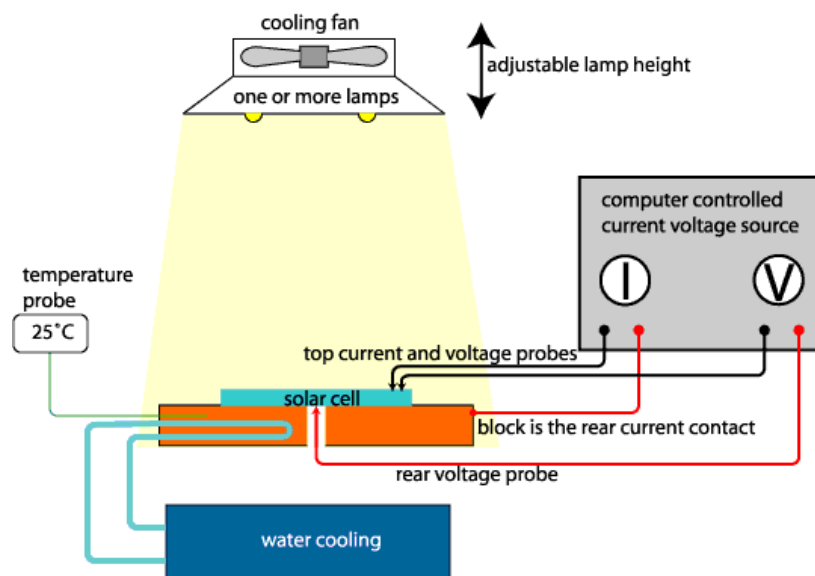
Τη πιο θεμελιώδη τεχνική χαρακτηρισμού των ηλιακών κυττάρων αποτελεί η μέτρηση της αποτελεσματικότητας των κυττάρων. Η τυποποιημένη δοκιμή επιτρέπει τη σύγκριση

συσκευών που κατασκευάζονται σε διαφορετικές εταιρείες και εργαστήρια με διαφορετικές τεχνολογίες.

Τα πρότυπα για τον έλεγχο κυττάρων είναι:

- ❖ Φάσμα αέρα μάζας 1.5
- ❖ Ένταση $100 \text{ mW} / \text{cm}^2$
- ❖ Θερμοκρασία κυψέλης 25°C
- ❖ Ανιχνευτής τεσσάρων σημείων

Βέβαια μπορεί να γίνει εύκολα αντιληπτό ότι η κατασκευή ενός τέτοιου συστήματος είναι δύσκολη και δαπανηρή. Τα περισσότερα ερευνητικά εργαστήρια έχουν απλούς ειδικά κατασκευασμένους δοκιμαστές που προσεγγίζουν μόνο τις παραπάνω συνθήκες. Εταιρείες και ερευνητικά ιδρύματα στέλνουν συσκευές με αποτελεσματικότητα σε πιστοποιημένα εργαστήρια δοκιμών για επιβεβαίωση. Οι συγκεκριμένες αποδόσεις δημοσιεύονται ως *"επιβεβαιωμένες αποδόσεις"* μαζί με το όνομα του κέντρου δοκιμών και την ημερομηνία δοκιμής.



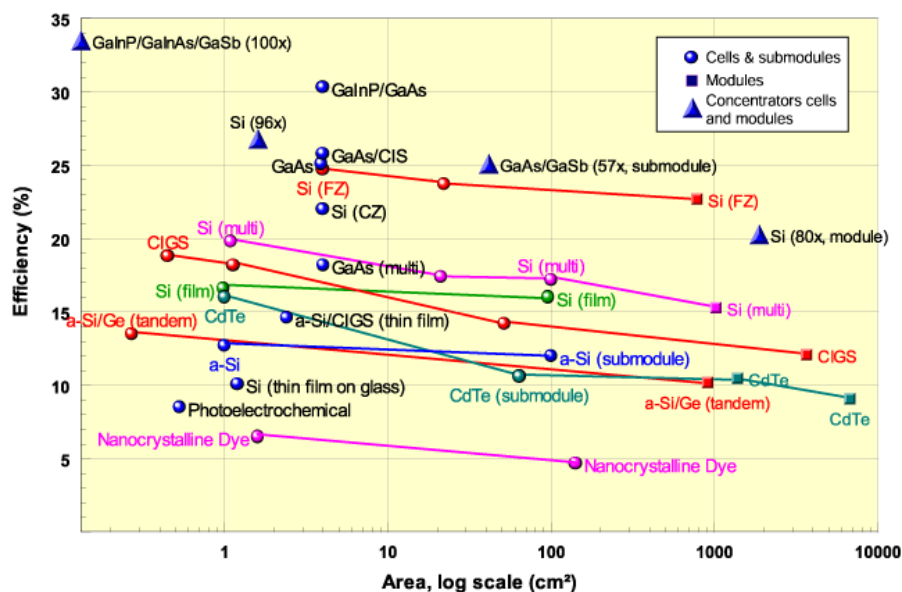
Εικόνα 3: Βασική δομή ενός απλού ελεγκτή IV

Στην εικόνα 3 που βρίσκεται πιο πάνω παρουσιάζεται η βασική δομή ενός απλού ελεγκτή IV. Το ρεύμα και η τάση μετρώνται ξεχωριστά για να ξεπεραστούν τα προβλήματα αντίστασης επαφής. Στο διάγραμμα του ελεγκτή IV τα ηλεκτρονικά παρουσιάζονται ως μία μονάδα ενώ η τάση και το ρεύμα μπορούν να μετρηθούν ξεχωριστά από την πηγή ισχύος. Η ρύθμιση του ύψους των λαμπτήρων διατηρεί το φάσμα σταθερό. Βέβαια ορισμένες φορές δύναται να συμβούν μηδαμινές ρυθμίσεις στην ισχύ του λαμπτήρα χωρίς να επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό το φάσμα φωτός.

Ταξινόμηση	Αποδοτικότητα	Περιγραφή συσκευής	Περιοχή (cm ²)	V _{oc} (V)	J _{sc} (mA / cm ²)	FF (%)
Κύτταρο (συμπυκνωτής)	41,1%	Ga _{0,35} Se _{0,65} P / Ga _{0,83} Se _{0,17} As / Ge τριπλή σύνδεση, 454x, AM1,5d. (Fraunhofer-ISE ¹)	0,0509	2.867	I _{sc} = 380,5 mA	87.2
Κελί σε έναν ήλιο	35,8%	InGaP / GaAs / InGaAs (Sharp ²)	3.989 (τ)	2.622	14.37	85
Κύτταρο πυριτίου (ένα-ηλιακό)	25%	UNSW PERL ³	4.00 (da)	0,706	42.7	82.8
Ενότητα (συγκεντρωτής)	27%	Entech ⁴	34 (απ)			
Ενότητα (ένας ήλιος)	22,7%	UNSW PERL ⁵	778 (da)	5.6	3.93 *	80.3
Ενότητα (παραγωγή)	20,4% **	Sunpower ⁶	16300 (τ)	68.6	6.12 *	79.1

Η καθορισμένη περιοχή ενός ηλιακού στοιχείου μπορεί να έχει μεγάλη επίδραση στην απόδοση κυρίως για μικρά κύτταρα.

- **Συνολική έκταση (t):** ουσιαστικά η συνολική επιφάνεια της συσκευής συμπεριλαμβανομένου του πλαισίου.
- **Περιοχή διαφράγματος (ap):** ουσιαστικά η συσκευή είναι καλυμμένη ώστε η φωτιζόμενη περιοχή να είναι μικρότερη από τη συνολική περιοχή κυψελίδας
- **Καθορισμένη περιοχή φωτισμού (da):** ουσιαστικά η περιοχή όπου το κελί ή η μονάδα καλύπτονται σε μια περιοχή μικρότερη από τη συνολική περιοχή της συσκευής, αλλά τα κύρια στοιχεία κυψέλης ή μονάδας βρίσκονται εκτός της καλυμμένης περιοχής.



Εικόνα 4: Η απόδοση των ηλιακών κυττάρων καταγράφεται ως συνάρτηση της περιοχής των κυττάρων

Στην εικόνα 4 πιο πάνω απεικονίζεται η απόδοση των ηλιακών κυττάρων η οποία καταγράφεται ως συνάρτηση της περιοχής των κυττάρων. Όπως μπορούμε να διακρίνουμε τα μεγαλύτερα κελιά και οι μονάδες τείνουν να έχουν χαμηλότερη απόδοση[5].

Κεφάλαιο 2^ο :Το τεχνητό φως

2.1 Εισαγωγή

Με τον όρο φως αναφερόμαστε σε ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα το οποίο έχει την ικανότητα να ερεθίζει τον οπτικό βολβό και να παράγει νευρικό ερέθισμα, το οποίο επεξεργάζεται και μεταφέρεται δια μέσου του οπτικού νεύρου στον εγκέφαλο δημιουργώντας την οπτική αίσθηση.

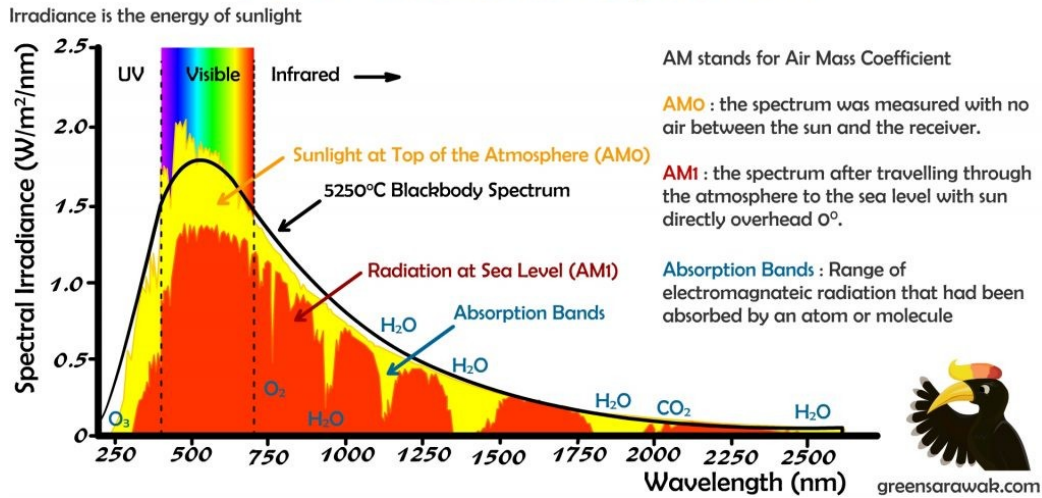
Το τεχνητό φως του ήλιου αποτελεί μια πηγή η οποία χρησιμοποιείται για την προσομοίωση του ηλιακού φωτός. Βέβαια θα πρέπει να αναφέρουμε ότι απαιτούνται τα μοναδικά χαρακτηριστικά του ηλιακού φωτός, αλλά δεν υπάρχει επαρκές φυσικό φως.

Ο τεχνητός φωτισμός εσωτερικών χώρων έχει την ιδιότητα να συμπληρώνει το φυσικό φως. Ο βασικός του ρόλος είναι να δημιουργεί ένα ψυχολογικά ευχάριστο περιβάλλον με χαμηλό κόστος.

2.2 Ο ρόλος της ατμόσφαιρας της γης στο φιλτράρισμα της ηλιακής ακτινοβολίας

Η μέση ετήσια ηλιακή ακτινοβολία της ατμόσφαιρας της Γης είναι περίπου 1361 W / m^2 . Η ακτινοβολία κατανέμεται σε όλο το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα, από Ultra Violet, ορατό φως έως υπέρυθρο φως. Βέβαια θα πρέπει να αναφέρουμε ότι περίπου το ήμισυ του είναι υπέρυθρο φως. Η ατμόσφαιρά μας αποτελείται από 78% άζωτο και 21% οξυγόνο, με ίχνη υδρατμών και διοξειδίου του άνθρακα. Επιπροσθέτως η στιβάδα του όζοντος στη στρατόσφαιρα απορροφά το μεγαλύτερο μέρος της υπεριώδους ακτινοβολίας του ήλιου. Τέλος το νερό και το διοξείδιο του άνθρακα απορροφούν μέρος του φάσματος της ηλιακής ακτινοβολίας, δημιουργώντας χαρακτηριστικές ζώνες απορρόφησης.

Solar Radiation Spectrum



Εικόνα5: SolarRadiationSpectrum

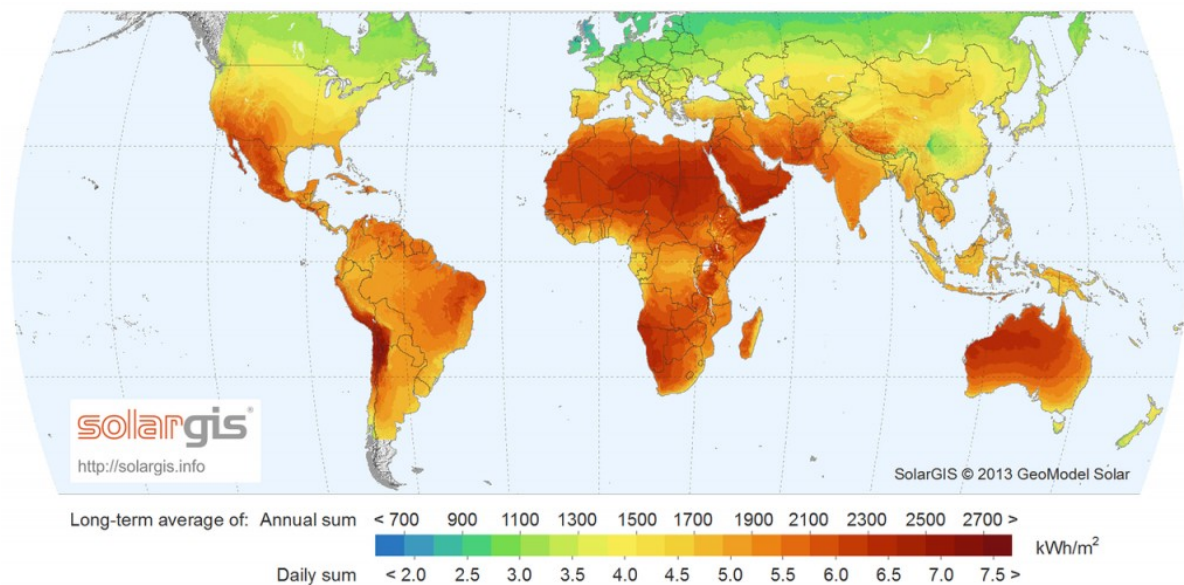
Το ηλιακό φάσμα ακτινοβολίας απεικονίζει το φάσμα της ατμόσφαιρας από την κορυφή μέχρι τη θάλασσα. Ορισμένα μήκη κύματος τα οποία λείπουν από το τελικό φάσμα δύναται να παρατηρηθούν σε επίπεδο της θάλασσας λόγω απορρόφησης. Ορισμένα από αυτά είναι:

- Το όζον
- Το νερό
- Το οξυγόνο

Αξίζει να επισημάνουμε ότι στο επίπεδο της θάλασσας σε μια καθαρή ημέρα οι ακτίνες του Ήλιου δύναται να εξασθενήσουν καθώς διέρχονται από την ατμόσφαιρα και να αφήσουν περίπου 1000 W/m² ακτινοβολία.

Η Ηλιακή μόνωση

Η ηλιακή ακτινοβολία αποτελεί μέτρο της ενέργειας της ηλιακής ακτινοβολίας η οποία λαμβάνεται σε μια επιφάνεια σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.



Εικόνα6: GeoModelSolar

Το μέρος της επιφάνειας της Γης με τη μεγαλύτερη ηλιακή ακτινοβολία βρίσκεται σε έρημο χωρίς σύννεφα. Όπως γνωρίζουμε τα σύννεφα αποτελούνται από:

- Σταγονίδια νερού
- Παγωμένους κρυστάλλους
- Αιωρούμενα σωματίδια

Σύμφωνα με όλα τα παραπάνω για να έχουμε ένα πιο αποτελεσματικό ηλιακό φωτοβολταϊκό σύστημα, πρέπει να τοποθετήσουμε το σύστημα σε μια τοποθεσία η οποία θα διαθέτει μεγάλη ηλιακή μόνωση[7].

2.3 Λαμπτήρας πυρακτώσεως

Ο λαμπτήρας πυράκτωσης αποτελεί δημιούργημα του Τόμας Έντισον. Πιο συγκεκριμένα αποτελείται από ένα λεπτό μεταλλικό νήμα, δύστηκτο μέταλλο, το οποίο είναι τυλιγμένο σε σπείρες. Ο λαμπτήρας μπορεί να διαθέτει βιδωτή επαφή. Η ισχύς που καταναλώνεται είναι 25-1000W και η διάρκεια ζωής αυτού του τύπου λαμπτήρα είναι 750-1500 ώρες. Σε αυτό το σημείο δεν θα μπορούσαμε να παραλείψουμε ότι ο λαμπτήρας πυράκτωσης ανάβει μόνο

όταν και οι δύο επαφές του ακουμπούν και στους δύο πόλους της μπαταρίας. Ο λαμπτήρας πυράκτωσης είναι ιδιαίτερα προτιμητέος στα μάτια λόγω του ότι παρέχει σταθερό φως,

2.4 LED

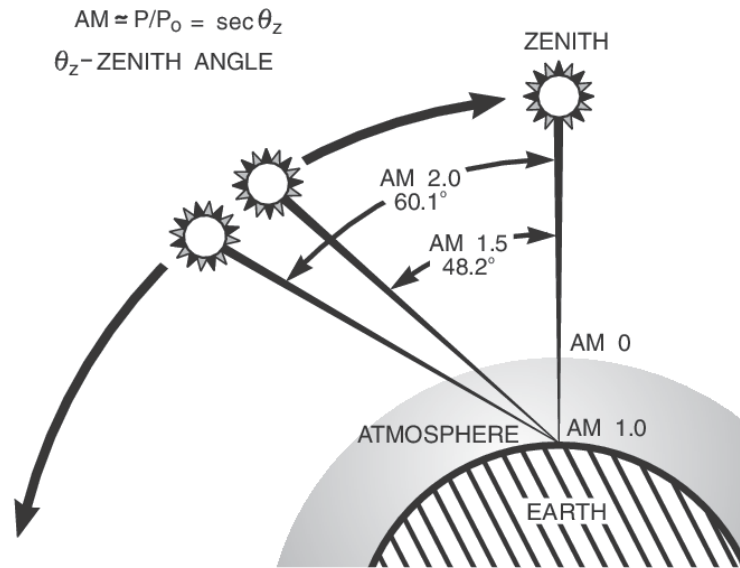
Με τον όρο LED αναφερόμαστε σε έναν ημιαγωγό που εκπέμπει φως στενού φάσματος όταν του παρέχεται μία ηλεκτρική τάση κατά τη φορά ορθής πόλωσης. Το χρώμα του φωτός που εκπέμπεται εξαρτάται από τη χημική σύσταση του ημιαγώγιμου υλικού που χρησιμοποιείται, και ορισμένες φορές μπορεί να είναι υπεριώδες, ορατό ή υπέρυθρο. Κατά κύριο λόγο χρησιμοποιούνται κυκλώματα για την τροφοδοσία των led με απώτερο σκοπό το ρεύμα που διέρχεται από αυτά να είναι διακοπτόμενο, συνεπώς ελαχιστοποιεί την κατανάλωση ενέργειας του λαμπτήρα. Ολοκληρώνοντας την αναφορά μας θα πρέπει να αναφέρουμε ότι δεν παρέχουν ομοιόμορφη κατανομή στις συχνότητες του φωτός που εκπέμπουν, διότι εκπέμπουν κυρίως σε μία ή μερικές συχνότητες.

2.5 Λάμπες Αλογονιδίων μετάλλου

Το 1960 ο Reiling δημιούργησε το MetalHalideLamp. Με τον όρο Λαμπτήρα αλογόνου αναφερόμαστε σε έναν ειδικό τύπο λαμπτήρα εκκένωσης τόξου που λειτουργεί μέσω ορισμένων αλάτων ιωδίου μαζί με αέριο αργόν και τάση ατμών υδραργύρου. Οι λάμπες Αλογονιδίων μετάλλου είναι ίσως οι πιο αποδοτικές λάμπες που υπάρχουν αυτή τη στιγμή στη αγορά. Κατά κύριο λόγο χρησιμοποιείται κυρίως για εξωτερικό φωτισμό.

2.6 Λάμπες Ξένον

Με τον όρο λαμπτήρα ξένον αναφερόμαστε σε λάμπες οι οποίες έχουν την ικανότητα να παράγουν φως με τη βοήθεια μιας ηλεκτρικής εκκένωσης μέσω ενός τόξου σε αέριο Ξένον. Είναι αρκετά δυνατές και παράγουν έντονο λευκό φως το οποίο είναι παρόμοιο με το φως του ήλιου. Κατά κύριο λόγο χρησιμοποιείται σε προτζεκτορες.



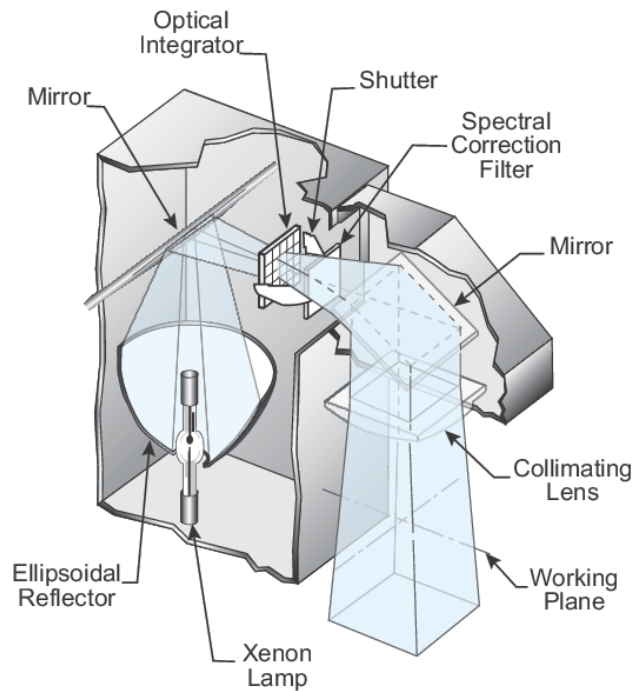
Σχήμα 7 : Το μήκος διαδρομής, σε μονάδες μάζας αέρα, αλλάζει με τη γωνία ζενίθ

2.6.1 Προσομοίωση ηλιακού φωτός με βάση το Xenon

Οι ηλιακοί προσομοιωτές παρέχουν την πλησιέστερη φασματική αντιστοίχιση με το ηλιακό φάσμα που διατίθεται από οποιαδήποτε πηγή. Στην εικόνα 8 που ακολουθεί απεικονίζεται η οπτική ενός τυπικού ηλιακού προσομοιωτή. Η λυχνία τόξου Xenon της συσκευής αποτελείται από ένα μικρό τόξο υψηλής ακτινοβολίας που επιτρέπει αποτελεσματική συσσώρευση δέσμης. Επιπροσθέτως εκπέμπει φάσμα παρόμοιο με 5800 K με περιστασιακή δομή γραμμής. Τα χαρακτηριστικά σχεδιασμού του συστήματος περιλαμβάνουν:

- Χαμηλή γεωμετρία συλλογής F/ #
- Ομογενοποίηση
- Φιλτράρισμα οπτικής δέσμης
- Συμπαράγωγή

Ο προσομοιωτής παράγει μια συνεχή έξοδο με ηλιακό φάσμα σε μια ομοιόμορφη, ευθυγραμμισμένη δέσμη. Η δέσμευση δέσμης προσομοιώνει την άμεση επίγεια δέσμη και επιτρέπει τον χαρακτηρισμό φαινομένων που προκαλούνται από ακτινοβολία.

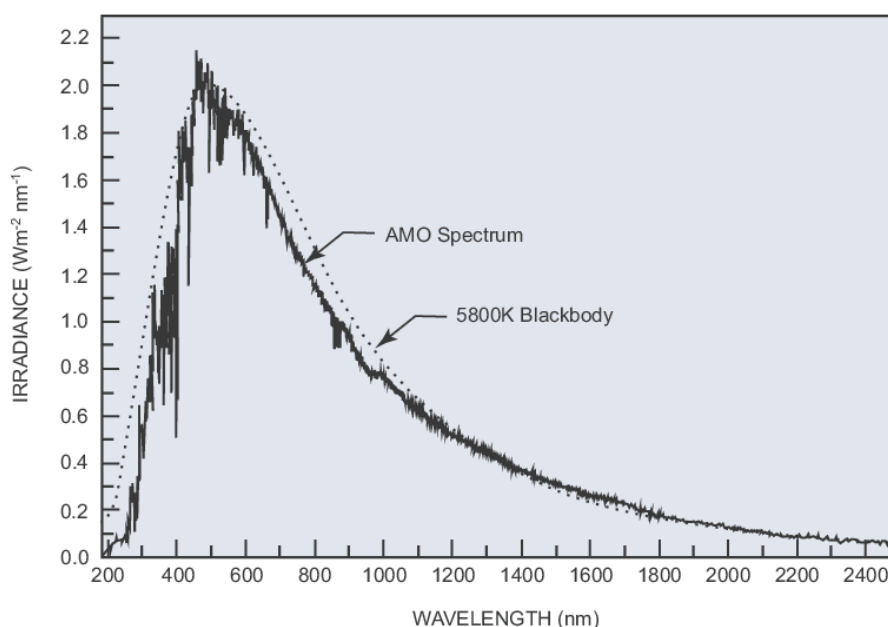


Εικόνα 8: Ελαφριά διαδρομή ενός ηλιακού προσομοιωτή

Η έξοδος λαμπτήρα Xenon διαφέρει από το ηλιακό φάσμα στην περιοχή μήκους κύματος 800 έως 1100 nm λόγω των έντονων γραμμών ατομικής εκπομπής αερίου Xe. Οι ηλιακοί προσομοιωτές MKS χρησιμοποιούν φίλτρα για να μειώσουν την επίδραση αυτών των ατομικών γραμμών εκπομπών. Η επίδραση της αντιστοιχίας IR εξαρτάται από την εφαρμογή. Τα φίλτρα AMDirect και AM 1.5 τροποποιούν το τμήμα VIS και UV του φάσματος για καλύτερη αντιστοίχιση με τα τυπικά επίγεια ηλιακά φάσματα[6].

2.7 Προσομοίωση ηλιακού φωτός

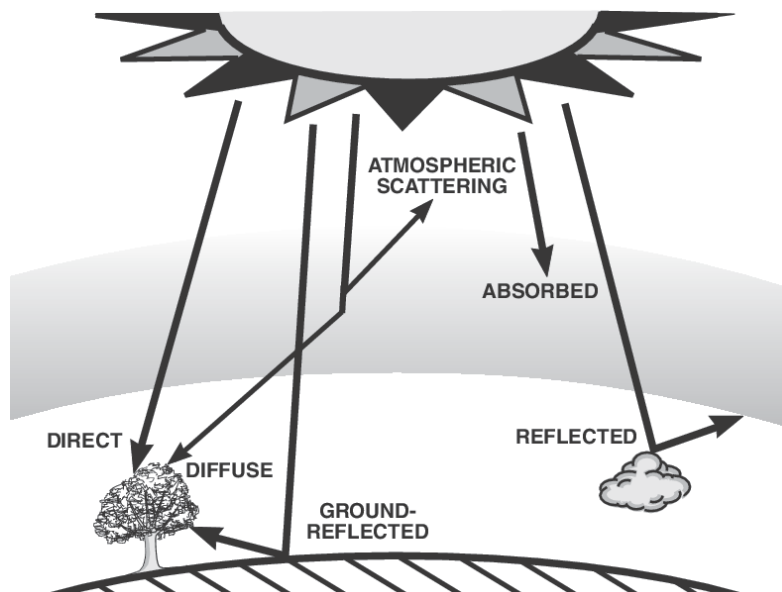
Η επιφανειακή θερμοκρασία του ήλιου είναι περίπου 5800 K. Κατά συνέπεια το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα της ακτινοβολίας από τον ήλιο είναι παρόμοιο με εκείνο ενός μαύρου σώματος 5800 K. Βέβαια περιλαμβάνει λεπτή δομή λόγω απορροφήσεων από δροσερά αέρια στην ηλιακή περιφέρεια. Στην εικόνα 5 απεικονίζεται το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας έξω από την ατμόσφαιρα της Γης. Το εύρος που εμφανίζεται κυμαίνεται από 200 έως 2500 nm και περιλαμβάνει το 96,3% της συνολικής ακτινοβολίας φτάνει στη Γη ενώ το μεγαλύτερο μέρος του υπόλοιπου 3,7% σε μεγαλύτερα μήκη κύματος.



Εικόνα 9 : Φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας έξω από την ατμόσφαιρα της γης σε σύγκριση με το φάσμα ενός μαύρου σώματος 5800 K

Το φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια της Γης επηρεάζεται από διάφορους συντελεστές. Ένας από αυτούς τους συντελεστές είναι και η διάχυτη ακτινοβολία. Η άμεση ακτινοβολία αποτελεί ενέργεια που λαμβάνεται στην επιφάνεια της Γης σε άμεση διαδρομή από τον ήλιο, ενώ η διάχυτη ακτινοβολία αποτελεί ενέργεια που λαμβάνεται από φως που είναι διασκορπισμένο από τον ουρανό και αντανακλάται από το περιβάλλον όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε στην εικόνα 6. Η συνολική ακτινοβολία που μετριέται στην επιφάνεια ονομάζεται **Παγκόσμια Ακτινοβολία** και η κατεύθυνση της επιφάνειας στόχου πρέπει να καθοριστεί εξ αρχής. Ο ήλιος είναι μια σφαιρική πηγή, διαμέτρου περίπου 1,39

εκατομμυρίων χιλιομέτρων. Η μέση απόσταση από τη Γη είναι 1 αστρονομική μονάδα. Το άμεσο τμήμα της ηλιακής ακτινοβολίας συγκεντρώνεται με γωνία περίπου 0,53 ενώ



Εικόνα 10 :Η συνολική παγκόσμια ακτινοβολία στο έδαφος έχει άμεσα, διάσπαρτα και ανακλαστικά συστατικά

το μετρούμενο ποσοστό ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια της γης εξαρτάται από την ποσότητα της ατμόσφαιρας από την οποία θα περάσει. Το μήκος αυτής της διαδρομής αλλάζει καθώς η ημέρα εξελίσσεται και υπάρχουν εμφανείς αλλαγές στα επίπεδα της ηλιακής ακτινοβολίας του εδάφους, αφού παράλληλα αλλάζει και η γωνία του ήλιου. Σε αυτό το σημείο αξίζει να επισημάνουμε ότι το σχήμα του φάσματος δύναται να αλλάζει καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας λόγω της μεταβολής της απορρόφησης και του μήκους σκέδασης. Το εξωγήινο φάσμα ονομάζεται φάσμα μάζας αέρα 0 λόγω του ότι δεν περνά από μάζα αέρα. Με τον ήλιο κατευθείαν πάνω από το μεσημέρι στον ισημερινό της Γης, η ηλιακή ακτινοβολία περνά κατευθείαν στην ατμόσφαιρα. Το ηλιακό φάσμα στο επίπεδο της θάλασσας υπό αυτές τις συνθήκες ονομάζεται φάσμα AirMass 1. Η παγκόσμια ακτινοβολία με τον ήλιο απευθείας πάνω από αυτό ονομάζεται επίσης ακτινοβολία AirMass 1 Global. Η ατμοσφαιρική διαδρομή για οποιαδήποτε γωνία ζενίθ περιγράφεται απλώς σε σχέση με την εναέρια μάζα αέρα. Το πραγματικό μήκος διαδρομής μπορεί να αντιστοιχεί σε μάζες αέρα μικρότερες από 1 σε πολύ υψηλές μάζες αέρα λίγο πριν από το ηλιοβασίλεμα.

2.8 Φάσμα ηλιακής ακτινοβολίας πάνω από την ατμόσφαιρα και στην επιφάνεια

Το φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας στηνατμόσφαιρα της Γης είναι 100 έως 1.000.000 νανόμετρα (nm). Δύναται να διαχωριστεί στις παρακάτω περιοχές:

- ❖ Εύρος υπεριώδους C (UVC): 100-290 nm
- ❖ Εύρος υπεριώδους B (UVB): 290–320 nm
- ❖ Εύρος υπεριώδους A (UVA): 320–400 nm
- ❖ Ορατό εύρος ή φως : 400-700 nm
- ❖ Υπέρυθρη γκάμα
 - Υπέρυθρη ακτινοβολία A: 700-1.400 nm
 - Υπέρυθρη-B: 1.400–3.000 nm
 - Υπέρυθρες-C: 3.000-1.000.000 nm[10]

2.9 Πηγές ορατού φωτός

Το ορατό φως περιλαμβάνει μόνο ένα μικρό κλάσμα ολόκληρου του φάσματος ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Τα μήκη κύματος που οι άνθρωποι είναι συνήθως σε θέση να απεικονίσουν βρίσκονται μεταξύ 400 και 700 νανόμετρων. Οι άνθρωποι μπορούν να παρατηρήσουν και να ανταποκριθούν σε ερεθίσματα που δημιουργούνται από το ορατό φως, επειδή τα μάτια περιέχουν εξειδικευμένα νευρικά άκρα που είναι ευαίσθητα σε αυτό το εύρος συχνοτήτων.

Υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία πηγών οι οποίες είναι υπεύθυνες για την εκπομπή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Σχετικά μακρά ραδιοκύματα παράγονται από ηλεκτρικό ρεύμα που ρέει μέσα από τεράστιες κεραίες εκπομπής, ενώ πολύ μικρότερα ορατά κύματα φωτός παράγονται από τις διακυμάνσεις της ενεργειακής κατάστασης των αρνητικά φορτισμένων ηλεκτρονίων εντός ατόμων. Η συντομότερη μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας προκύπτει από την αποσύνθεση πυρηνικών συστατικών στο κέντρο του ατόμου. Το ορατό φως που μπορούν να δουν οι άνθρωποι αποτελεί συνήθως ένα μείγμα μηκών κύματος του οποίου η διαφορετική σύνθεση είναι συνάρτηση της πηγής φωτός.

Τη νύχτα, το φυσικό φως παράγεται από ουράνια σώματα, όπως το φεγγάρι, οι πλανήτες και τα αστέρια. Άλλες φυσικές πηγές φωτός περιλαμβάνουν μετεωρολογικές αστραπές, ηφαίστεια, δασικές πυρκαγιές, καθώς και ορισμένες βιοχημικές πηγές ορατού φωτός. Οι

βιολογικές πηγές φωτός περιλαμβάνουν πυγολαμπίδες, φύκια, μέδουσες, χελώνες και ορισμένα είδη ψαριών[9].

Κεφάλαιο 3: Σύστημα μέτρησης της απόδοσης ΦΒ στοιχείων σε εσωτερικούς χώρους

3.1 Προκλήσεις μέτρησης σε εσωτερικούς χώρους (MPPT, Φάσμα: τεχνητές πηγές vs Ήλιος)

Ο MPPT ρυθμιστής αποτελεί έναν DC μετασχηματιστή. Σημαντικό θα ήταν να επισημάνουμε ότι η ισχύς, δηλαδή το γινόμενο τάσης-ρεύματος, στην είσοδο και την έξοδό του είναι η ίδια, συμπεριλαμβανομένων των μικρών απωλειών κατανάλωσης. Βέβαια στην είσοδο έχουμε μεγαλύτερη τάση και χαμηλότερο ρεύμα αντιθέτως στην έξοδο ισχύει το αντίστροφο.



Εικόνα 11: MPPT

Ο MPPT ρυθμιστής φόρτισης χρησιμοποιεί ως βάση του έναν αλγόριθμο προσαρμογής της τάσης στην είσοδό του. Επιπλέον έχει τις παρακάτω ιδιότητες:

- ✓ Προσαρμόζει την τάση του πάνελ στην τιμή V_m
- ✓ Λαμβάνει το αντίστοιχο ρεύμα του πάνελ I_m
- ✓ Προσεγγίζει το βέλτιστο σημείο P_m , απορροφώντας έτσι τη μέγιστη ισχύ.

Με αυτό τον τρόπο η προσαρμογή της τάσης πραγματοποιείται τόσο στις συνθήκες ηλιακής ακτινοβολίας όσο και στις θερμοκρασίας με απώτερο σκοπό να απορροφάται η μέγιστη ισχύς.

Αξίζει σε αυτό το σημείο να αναφέρουμε ότι το φωτοβολταϊκό πάνελ συμπεριφέρεται ως πηγή ρεύματος. Με την ελαχιστοποίηση της ακτινοβολίας μειώνεται το ρεύμα που δίνει το πάνελ. Ο MPPT ρυθμιστής φόρτισης προσαρμόζει την τάση του πάνελ, παίρνει το αντίστοιχο ρεύμα και απορροφά τη μέγιστη δυνατή ισχύ σε συνθήκες συννεφιάς και ελαχιστοποίησης της ακτινοβολίας:

Με την αύξηση της θερμοκρασίας η τάση ελαχιστοποιείται σύμφωνα με τον θερμοκρασιακό συντελεστή ενώ το ρεύμα παραμένει σταθερό. Τέλος ο MPPT ρυθμιστής έχει τη δυνατότητα προσαρμογής της τάση του πάνελ και επιπροσθέτως λαμβάνει το αντίστοιχο ρεύμα και απορροφά τη μέγιστη δυνατή ισχύ από την κάθε θερμοκρασία λειτουργίας[11]

Εν αντιθέσει ο PWM δεν αποτελεί ρυθμιστή φόρτισης DC μετασχηματιστή. Είναι ένας διακόπτης ο οποίος έχει την ιδιότητα να συνδέει το φωτοβολταϊκό πάνελ με τη μπαταρία και όταν ο διακόπτης είναι κλειστός, η τάση του πάνελ εξισώνεται με αυτή της μπαταρίας. [11].

Σύμφωνα με τους επιστήμονες το φως του ήλιου αποτελεί ένα φυσικό φαινόμενο με απόλυτα μετρήσιμα χαρακτηριστικά. Οι ακτίνες του ήλιου αποτελούν ένα από τα βασικά συστατικά της ζωής στον πλανήτη. Δεν θα μπορούσαμε να παραλείψουμε ότι το φως του ήλιου θεωρείται από όλους τους ειδικούς ως ένα από τα βασικότερα συστατικά της ζωής τόσο για τα ζώα όσο και τα φυτά.

Το φυσικό φως θα μπορούσε να παρομοιαστεί με ζωντανό οργανισμό ο οποίος τροποποιείται και πάλλεται ανάλογα με την εποχή και την ώρα της ημέρας. Εν αντιθέσει τα χαρακτηριστικά του τεχνητού φωτός δεν αλλάζουν κατά τη διάρκεια της ημέρας.[12]

Οι θερμές τεχνητές πηγές αποτελούν στερεά σώματα και σε πιο σπάνιες περιπτώσεις αέρια ή ατμοί. Χαρακτηριστικό παράδειγμα τόσο στερεής όσο και αέριας συνύπαρξης είναι αυτή που παρουσιάζουν οι φλόγες.

Είδη τεχνητών πηγών

- Βολταϊκό τόξο
- Λυχνία βενζίνης ή αερίου[13]

3.2 Χαρακτηριστικά και χαρακτηρισμός των ηλιακών προσομοιωτών

Οι παλμικοί ηλιακοί προσομοιωτές λειτουργούν με λαμπτήρες ηλεκτρικού τόξου που δημιουργούν έναν παλμό φωτός με διάρκεια πολύ μικρότερη από 1 s, ενώ οι συνεχείς ηλιακοί προσομοιωτές χρησιμοποιούν λαμπτήρες που παρέχουν σταθερό φως για πολλές ώρες.

Συνήθως, οι κατασκευαστές συστημάτων μέτρησης φωτοβολταϊκών προσφέρουν πλήρη συστήματα, συμπεριλαμβανομένων:

- Της πηγής φωτός
- Μιας μονάδας ελέγχου για την πηγή φωτός
- Των ηλεκτρονικών μέτρησης

Τα χαρακτηριστικά και η απόδοση του συστήματος μέτρησης είναι σημαντικά για την αβεβαιότητα μέτρησης. Ενώ η ποιότητα των ηλεκτρονικών μετρήσεων επηρεάζει την ποιότητα της μέτρησης της καμπύλης $I - V$.

Τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά της πηγής φωτός είναι:

- ❖ **Φασματική κατανομή:** όσο πιο κοντά είναι η αντιστοίχιση με τη φασματική κατανομή αναφοράς, τόσο μικρότερα είναι τα σφάλματα φασματικής αναντιστοιχίας ακόμη και για διαφορετικά SRs της συσκευής αναφοράς και DUT
- ❖ **Μη ομοιομορφία :** όσο καλύτερη είναι η ομοιομορφία, τόσο μικρότερα είναι τα σφάλματα λόγω λανθασμένης τοποθέτησης του κελιού αναφοράς.
- ❖ **Ανομοιομορφία:** ελαχιστοποιεί τις επιδράσεις στην καμπύλη $I - V$ λόγω των κυτταρικών ρευμάτων που δεν ταιριάζουν επειδή διαφορετικά κύτταρα λαμβάνουν περισσότερο ή λιγότερο ακτινοβολία ανάλογα με τη θέση τους.
- ❖ **Σταθερότητα των χαρακτηριστικών του φωτός:** σταθερότητα ακτινοβολίας και φάσματος κατά τη μέτρηση είναι απαραίτητη

- ❖ **Κατευθυντική κατανομή του φωτός:** Η φωτοβολταϊκή μονάδα είναι τοποθετημένη έτσι ώστε να μπορεί να ρυθμιστεί μια κάθετη γραμμή μεταξύ της πηγής φωτός και του επιπέδου της μονάδας.

Τα κριτήρια ταξινόμησης συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα :

Φασματικός αγώνας	Χωρική ανομοιομορφία (%)	Χρονική αστάθεια (STI ^a / LTI ^b) (%)
0,75-1,25	2	0,5 / 2
0,6-1,4	5	2/5
0,4-2,0	10	5/10

Πίνακας: Ηλιακή ταξινόμηση προσομοιωτή σύμφωνα με το IEC 60904-9

Η μέτρηση της φασματικής κατανομής ενός ηλιακού προσομοιωτή μπορεί να είναι αρκετά περίπλοκη, ειδικά στην περίπτωση ενός παλμικού ηλιακού προσομοιωτή. Σε αυτήν την περίπτωση, πρέπει να χρησιμοποιηθούν φασματοφωτομετρητές με πολύ σύντομο χρόνο ολοκλήρωσης και εξελιγμένος εξοπλισμός για σωστό χρονισμό της μέτρησης. Για ακριβή αποτελέσματα μέτρησης, το φασματοσκοπικό μετρητή πρέπει να είναι καλά βαθμονομημένο, παρόλο που η σχετική βαθμονόμηση είναι επαρκής. Σχετική βαθμονόμηση σημαίνει ότι η φασματική κατανομή μετράται σε μετρήσεις, η οποία παρέχει πληροφορίες μόνο για τη σχετική ακτινοβολία σε ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος αλλά όχι για την απόλυτη ακτινοβολία σε W / nm ή W / m² nm.

Η αντιστοίχιση φάσματος είναι η αναλογία του ποσοστού για τον προσομοιωτή και το φάσμα αναφοράς:

$$\text{Spectral match}_{ab} = \frac{\left[\frac{\int_a^b E_{\text{simulator}}(\lambda) d\lambda}{\int_{400 \text{ nm}}^{1100 \text{ nm}} E_{\text{simulator}}(\lambda) d\lambda} \right]}{\frac{\int_a^b E_{\text{reference}}(\lambda) d\lambda}{\int_{400 \text{ nm}}^{1100 \text{ nm}} E_{\text{reference}}(\lambda) d\lambda}}$$

όπου a και b είναι τα όρια του υπό εξέταση διαστήματος μήκους κύματος, το $E(\lambda)$ είναι η φασματική κατανομή όπως μετράται για τον προσομοιωτή και για την αναφορά, αντίστοιχα.

Η ταξινόμηση του προσομοιωτή είναι ίση με τη χειρότερη ταξινόμηση όλων των διαστημάτων. Καθώς η φασματική κατανομή των ηλιακών προσομοιωτών έχει βελτιωθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια, έχουν εμφανιστεί πρόσθετες ταξινομήσεις όπως «A +» .[8]

3.3 LED Solar Simulator Class AAA



Εικόνα 12: Led Solar Simulator

Ο LED Solar Simulator της εταιρίας redox.me παρέχει φωτισμό που προσεγγίζει το φυσικό φως του ηλίου (AM1.5G) στη περιοχή μήκους κύματος από 400 έως 1100 nm και υπάγεται στη κατηγορία AAA.

Σε αντίθεση με τον παραδοσιακό ηλιακό προσομοιωτή που βασίζεται σε λαμπτήρα Xenon μικρού τόξου και λαμπτήρα εκκένωσης μετάλλου αλογονιδίου, αυτό το προϊόν χρησιμοποιεί τεχνολογία LED υψηλής ισχύος. Το φάσμα του ήλιου προσεγγίζεται χρησιμοποιώντας 6 LED σε κατάλληλη απόσταση μεταξύ τους ώστε να παρέχουν ομοιόμορφο φως. Επίσης περιλαμβάνει έναν εσωτερικό ανεμιστήρα ως σύστημα ψύξης.

Η κατηγορία του προϊόντος ορίζεται ως εξής:

- ❖ Spectral match κατηγορίας A
- ❖ Χωρική ανομοιομορφία κατηγορίας A
- ❖ Χρονική αστάθεια κατηγορίας A

Αξίζει να σημειώσουμε ότι η εστίαση του φωτός ρυθμίζεται χειροκίνητα ώστε να εξασφαλίζεται η βέλτιστη απόδοση και ακρίβειά του. Επίσης κάθε 6 μήνες ή 1000 ώρες χρήσης χρειάζεται recalibration και το κόστος του ανέρχεται στα 4.500 ευρώ.

Specification

compliance standard: EN 60904-9

spectral match (each interval): 0.75 – 1.25 (class A)

Irradiance Spatial Nonuniformity: <2% (class A)

temporal instability: <2% (class A)

effective irradiance: $100 \text{ mW/cm}^2 \pm 2 \text{ mW/cm}^2$

emission bandwidth: 400 - 1100 nm

irradiance aperture: 30 mm dia.

working distance: 10 mm

number of high-power LEDs: 6

weight: 1673 g

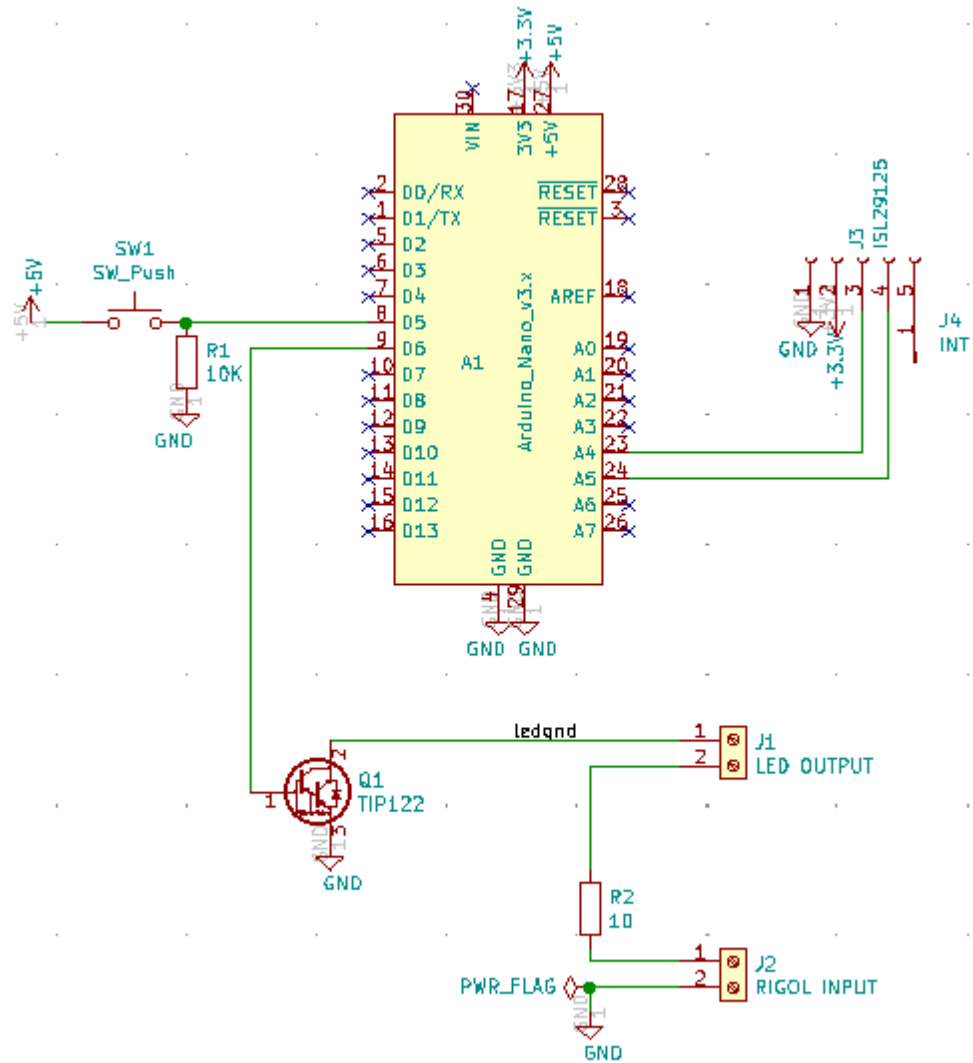
cooling system: internal fan

power supply adapter: input 230 VAC, 50 Hz, output 12 VDC, 5A

Στη συνέχεια θα παρουσιάσουμε τα βήματα της διαδικασίας σχεδίασης με το KiCad:

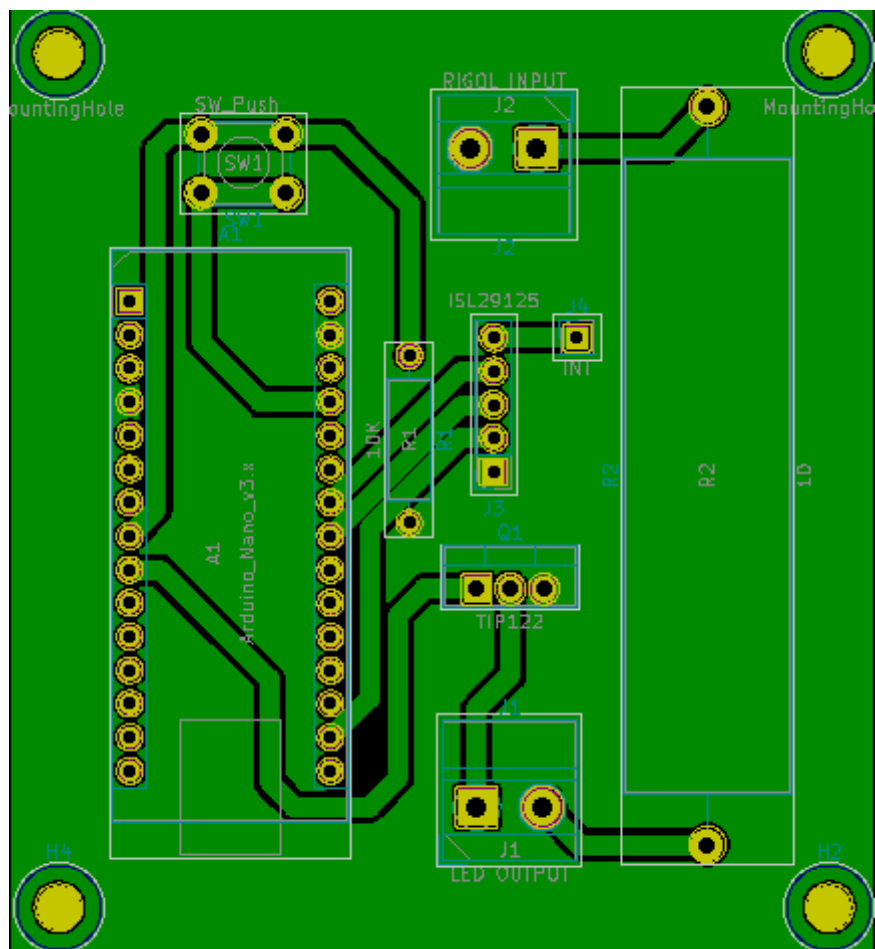
- **1° Βήμα:** η δημιουργία έργου
- **2° Βήμα:** η σχεδίαση θεωρητικού κυκλώματος
- **3° Βήμα:** η αντιστοίχιση εξαρτημάτων σε συγκεκριμένο ίχνος
- **4° Βήμα:** η τοποθέτηση εξαρτημάτων στην πλακέτα
- **5° Βήμα:** η αντικατάσταση "θεωρητικών" συνδέσεων
- **6° Βήμα:** ο έλεγχος συνδέσεων
- **7° Βήμα:** ο οπτικός έλεγχος τελικού αποτελέσματος με GerberViewer
- **8° Βήμα:** η εκτύπωση αποτελέσματος ή εξαγωγή αρχείων για παραγωγή πλακέτας[14]

Παρακάτω φαίνεται το σχηματικό του κυκλώματος όπου ο ISL29125 είναι στα δεξιά ο οποίος έχει 5 pins. Στα αριστερά μας έχουμε τοποθετήσει ένα κουμπί μαζί με μία αντίσταση σε περίπτωση που θέλουμε να ελέγχουμε τα LED χειροκίνητα στην μέση είναι το arduino nano και κάτω από αυτόν έχουμε δύο terminal blocks ένα για τα LED το οποίο συνδέεται με το τρανζίστορ ώστε να ελέγχουμε την PWM του arduino και μία αντίσταση υψηλής ισχύος αντίστοιχα και ένα για την τροφοδοσία ρεύματος στο κύκλωμα το οποίο συνδέεται με την αντίσταση υψηλής ισχύος και με την γείωση όπως φαίνεται και στην εικόνα μας παρακάτω.



Εικόνα 14: Το σχηματικό που σχεδιάστηκε ώστε να εκτυπώσουμε την πλακέτα

Παρακάτω φαίνεται και το σχηματικό που σχεδιάστηκε ώστε να εκτυπώσουμε την πλακέτα.



Εικόνα 15:



Εικόνα 16: Το TIP122

4.2 Το TIP122

Με τον όρο TIP122 του MulticompPro αναφερόμαστε σε διαμέσου οπής, τρανζίστορ. Το εν λόγω τρανζίστορ έχει ως βασικό του ρόλο την εναλλαγή καθώς επίσης και την ενίσχυση της χαμηλής ταχύτητας.

Στη συνέχεια θα παρουσιάσουμε τα βασικά χαρακτηριστικά του TIP122:

- ✓ Τάση εκπομπής συλλέκτη (V_{ce}) 100V
- ✓ Συνεχές ρεύμα συλλέκτη (I_c) 5A
- ✓ Απόσβεση ισχύος 65W
- ✓ Η θερμοκρασία λειτουργίας διασταύρωσης κυμαίνεται από -65°C έως 150°C
- ✓ Τάση κορεσμού εκπομπού συλλέκτη 2V σε $I_c = 3\text{A}$
- ✓ DC ρεύμα κέρδος 1000 σε $I_c = 3\text{A}$ [15]

4.3 Υποσύστημα φωτισμού

Με τον όρο LED υψηλής ισχύος αναφερόμαστε σε μια δίοδο εκπομπής φωτός μεγάλης ισχύος. Κατά κύριο λόγο η ισχύς LED είναι 0,05W και το ρεύμα λειτουργίας είναι 20mA. Επιπροσθέτως το LED υψηλής ισχύος δύναται να αγγίζει τα 1W, 2W , 3W και το ρεύμα λειτουργίας κυμαίνεται από δεκάδες έως εκατοντάδες milliamp. Έχει χαρακτηριστεί από πολλούς ως "πηγή πράσινου φωτός".



Εικονα 17: HighpowerLED

Και διακρίνεται για:

- ✓ Το μικρό μέγεθος
- ✓ Την ασφάλεια
- ✓ Την χαμηλή τάση
- ✓ Τη βέλτιστη διάρκεια ζωής
- ✓ Την υψηλή απόδοση μετατροπής
- ✓ Τη βέλτιστη ταχύτητα απόκρισης
- ✓ Την εξοικονόμηση ενέργειας
- ✓ Την προστασία του περιβάλλοντος

Μερικά από τα κυριότερα πλεονεκτήματά του αναφέρονται επιγραμματικά στη συνέχεια:

- ❖ **Η Διάρκεια ζωής**
- ❖ **Η Εξοικονόμηση ενέργειας**

- ❖ Είναι φιλικό προς το περιβάλλον
- ❖ Η Ασφάλεια
- ❖ Η απουσία υψηλής πίεσης, χωρίς απορρόφηση σκόνης
- ❖ Η απουσία υψηλής θερμοκρασίας
- ❖ Διαθέτει καθαρό και παχύ χρώμα το οποίο δημιουργείται από την ίδια ένωση PN ημιαγωγού

Όσον αφορά τη χρήση του αξίζει να αναφέρουμε ότι χρησιμοποιείται σε ειδικούς λαμπτήρες, φανάρια, πετροχημικά, σιδηροδρομικά, ορυχεία, στρατιωτικά και άλλες ειδικές βιομηχανίες.

Επίσης όσον αφορά τη λειτουργία αξίζει να αναφέρουμε ότι η δίοδος εκπομπής φωτός (LED) αποτελεί ένα είδος στερεάς συσκευής το οποίο δύναται να μετατρέψει την ηλεκτρική ενέργεια σε ελαφριά ενέργεια. Κατά κύριο λόγο αποτελείται από τσιπ σύνδεσης PN, ηλεκτρόδιο και οπτικό σύστημα. Όταν εφαρμόζεται εμπρόσθια στα δύο άκρα της διασταύρωσης PN, η περιοχή P επηρεάζεται από τη μείωση του φράγματος διακλάδωσης PN. Το θετικό φορτίο διαχέεται στην περιοχή N, και τα ηλεκτρόνια στην περιοχή N διαχέονται επίσης στην περιοχή P με απώτερο σκοπό να σχηματιστεί συσσώρευση φορτίου και στις δύο περιοχές. Επίσης όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά ενέργειας μεταξύ των ηλεκτρονίων και των οπών, τόσο υψηλότερη είναι η ενέργεια φωτονίου που παράγεται. Ολοκληρώνοντας την αναφορά μας αξίζει να αναφέρουμε ότι διαφορετικά επίπεδα ενέργειας παράγουν διαφορετικές συχνότητες και μήκη κύματος φωτός συνεπώς τα χρώματα του φωτός διαφέρουν.[16]

4.4 Υποσύστημα αισθητήρα φάσματος

Με τον όρο ISL29125 αναφερόμαστε σε έναν αισθητήρα χαμηλής ισχύος καθώς επίσης και υψηλής ευαισθησίας. Ο εν λόγω αισθητήρας χρώματος φωτός (RGB) με I2C διεπαφή. Το ISL29125 έχει σχεδιαστεί με απώτερο σκοπό την αντικατάσταση του IR σε πηγές φωτός επιτρέποντας στη συσκευή να λειτουργεί σε περιβάλλοντα που διαχέονται από το φως του ήλιου έως και σκοτεινά δωμάτια. Το εύρος επιτρέπει στο χρήστη να βελτιστοποιήσει ευαισθησία κατάλληλη για τη συγκεκριμένη εφαρμογή και ο τρόπος λειτουργίας η συσκευή καταναλώνει 56μΑ, η οποία μειώνεται σε 0,5 μΑ σε κατάσταση απενεργοποίησης. Η

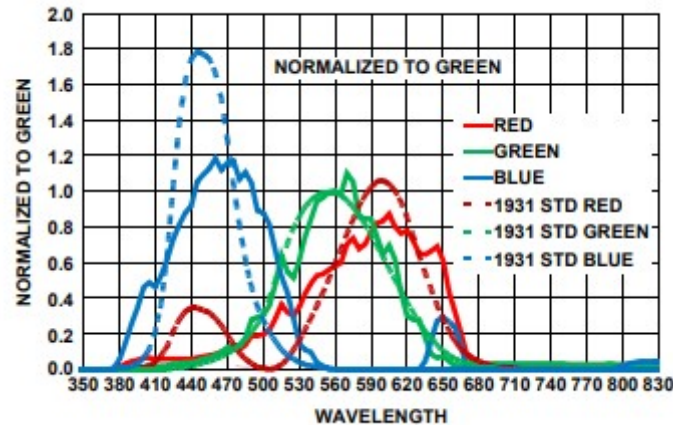
δυνατότητα διαρκούς διακοπής μειώνει την ψευδή ειδοποίηση ενεργοποίησης και επιπλέον η συσκευή λειτουργεί με αναλώσιμα (VDD) από 2,25V έως 3,63V, I2C παροχή από 1,7V έως 3,63V, και θερμοκρασία λειτουργίας σε όλο το φάσμα από -40 ° C έως και + 85 ° C.



Εικόνα 18:ISL29125

Το ISL29125 περιέχει τρεις συστοιχίες φωτοдиодων, οι οποίες μετατρέπουν

φως στο ρεύμα. Η φασματική απόκριση για κόκκινο , πράσινο και η ανίχνευση έντασης του μπλε χρώματος φαίνεται στη παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 19: Η φασματική απόκριση για κόκκινο , πράσινο και η αντίκρουση έντασης του μπλε χρώματος

Έπειτα το φως μετατρέπεται σε ρεύμα κατά τη διάρκεια της διαδικασίας φωτισμού σε σήμα και η τρέχουσα έξοδος μετατρέπεται σε ψηφιακή μέτρηση από ένα on-chip. Η ανάλυση μετατροπέα ADC κυμαίνεται από 12 ή 16 bit. Ο χρόνος ολοκλήρωσης ADC καθορίζεται από έναν εσωτερικό ταλαντωτή και ο μετρητής n-bit ($n = 12, 16$) εντός του ADC. Το ADC παρέχει δύο προγραμματιζόμενα εύρη για δυναμική προσαρμογή διαφορετικών συνθηκών φωτισμού. Για σκοτεινές συνθήκες, το ADC μπορεί να διαμορφωθεί σε εύρος υψηλής ευαισθησίας. Για φωτεινές συνθήκες, το ADC μπορεί να ρυθμιστεί σε χαμηλό εύρος ευαισθησίας. [17]. Αξίζει να επισημάνουμε ότι το ISL29125 μπορεί να μετρήσει έως 10.000 lux. Επίσης υπάρχουν δύο optical sensitivity ranges όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε παρακάτω:

- Range 0 = 5.7m lux to 375 lux
- Range 1 = 0.152 lux to 10,000 lux[18].

Για χρωματικούς χώρους RGB χρησιμοποιούν τα πρωτεύοντα ITU-R BT.709. Η σχετική φωτεινότητα μπορεί να υπολογιστεί από γραμμικά στοιχεία RGB. Βέβαια θα πρέπει αρχικά να μετατραπούν οι τιμές RGB που συμπίεζονται σε γραμμικό RGB :

$$Y = 0.2126R + 0.7152G + 0.0722B.$$

Ο παραπάνω τύπος αναπαριστά τη λειτουργία φωτεινότητας και όπως μπορούμε να διακρίνουμε το πράσινο φως συμβάλλει περισσότερο στην ένταση που αντιλαμβάνονται οι

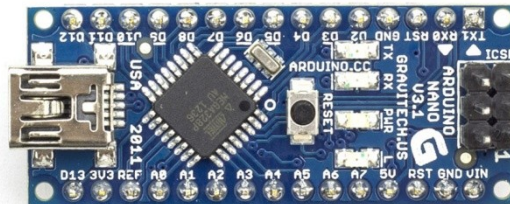
άνθρωποι ενώ το μπλε λιγότερο. Για άλλα σύνολα πρωτογενούς χρωματικότητας , απαιτούνται διαφορετικοί γραμμικοί συντελεστές για να ληφθεί σχετική φωτεινότητα [19].

Ολοκληρώνοντας την αναφορά μας αξίζει να αναφέρουμε ότι μπορούμε να μετατρέψουμε το RGB που διαβάζει ο αισθητήρας σε lux με τον ακόλουθο τύπο:

$$Ev=Y=(CYR \times Red + CYG \times Green + CYB \times Blue) \times Range$$

4.5 Υποσύστημα μετρήσεων και ελέγχου

Το Arduino nano αποτελεί την πιο μικρή πλακέτα της τεχνολογίας Arduino και επιπροσθέτως αποτελεί μια μικρή έκδοχή του Arduino uno. Το Arduino nano βασίζεται στον μικροελεγκτή ATmega328 της Atmel.



Εικόνα 20: Το ArduinoNano

Στη συνέχεια θα αναφέρουμε ορισμένα από τα βασικά χαρακτηριστικά του:

- ❖ Επεξεργαστής Atmega328 16MHz

- ❖ 2 kB μνήμη RAM
- ❖ 16 ή 32 kB μνήμη Flash
- ❖ 14 Ψηφιακά και 8 Αναλογικά I/O Pins
- ❖ Λειτουργία 5V
- ❖ USB θύρα επικοινωνίας
- ❖ Μικρό μέγεθος

4.5.1 Προγραμματισμός Arduino

Το πρόγραμμα που μπορούμε να διαχειριζόμαστε κάθε πλακέτα Arduino ονομάζεται ArduinoIDE. Είναι μία πλατφόρμα ανοιχτού κώδικα και μπορεί να τρέχει σε Windows, Linux και MacOSX.

Με την εντολή «analogWrite()» πετυχαίνουμε να διαχειριζόμαστε τις PWM έξοδους του Arduino κάτι που είναι πολύ σημαντικό για την δημιουργία του συγκεκριμένου πρότζεκτ μιας και έτσι καταφέρνουμε να ρυθμίζουμε τη φωτεινότητα των λαμπτήρων LED είτε μέσω σειριακής επικοινωνίας είτε με την χρήση κουμπιού.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση χρησιμοποιούμε και τους δύο τρόπους καθώς η πλακέτα μας έχει σχεδιαστεί και προγραμματίζεται να μπορεί να ελέγχεται και με την χρήση κουμπιού δίνοντας ένταση φωτεινότητας στα LED κατά 25% την φορά αλλά και με την χρήση σειριακής επικοινωνίας δίνοντας ακριβώς την φωτεινότητα που θέλουμε στο διάστημα 0-255 όπου 255 θεωρείται το 100% της φωτεινότητας.

Πιο συγκεκριμένα ο χρήστης μέσω του αισθητήρα χρώματος ISL29125 μπορεί να διαβάσει ακριβώς την τιμή του κόκκινου, μπλε και πράσινου χρώματος σε δεκαδική μορφή και το αντίστοιχο lux.

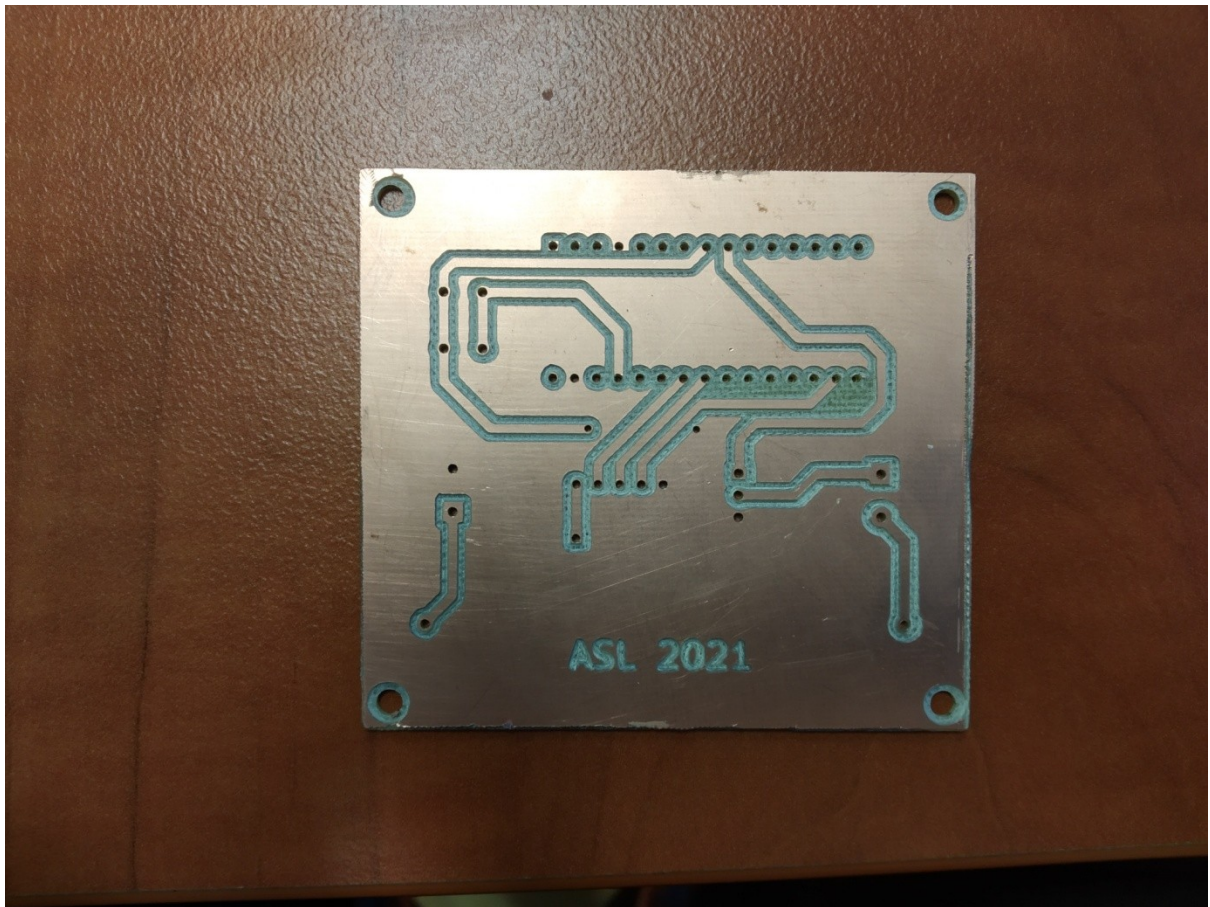
Παρακάτω φαίνονται οι δύο φόρμουλες που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των lux.

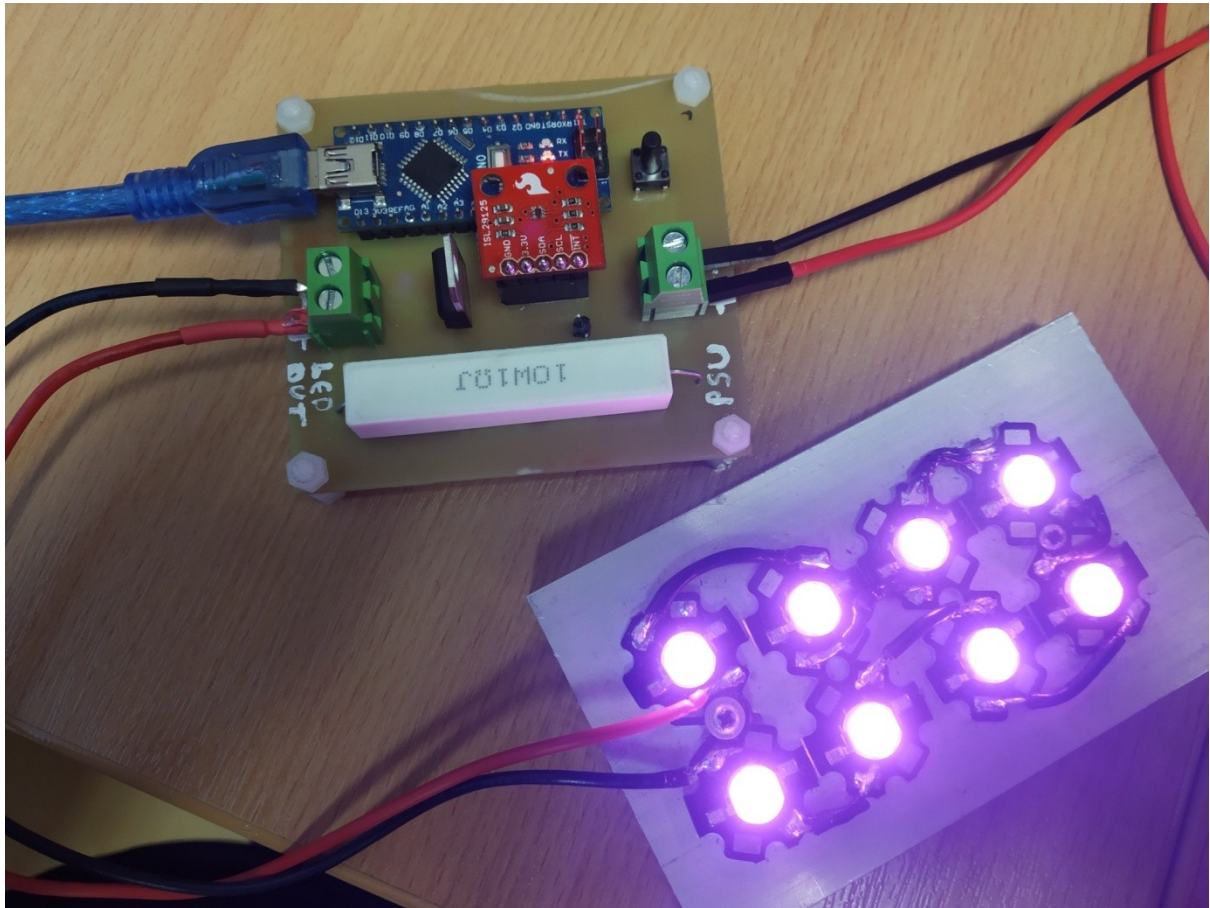
```
unsigned int red = RGB_sensor.readRed();
unsigned int green = RGB_sensor.readGreen();
unsigned int blue = RGB_sensor.readBlue();
unsigned int luxM1 =(0.2126*red + 0.7152*green + 0.0722*blue)*0.152590219 ;
unsigned int luxM2 = (0.299*red + 0.587*green + 0.114*blue)*0.152590219;
```

Επιπλέον μέσω ενός σειριακού μενού ο χρήστης έχει την δυνατότητα να επιλέξει αν θέλει να ελέγξει την φωτεινότητα των LED με 2 τρόπους είτε δίνοντας απευθείας την φωτεινότητα που θέλει στα LED είτε δίνοντας lux.

```
-----  
1.)Control LUX  
2.)Control Brightness  
-----  
brightness  
0  
Red: 33  
Green: 33  
Blue: 25  
LUX : 4  
LUX method 2: 4
```

4.6 Κατασκευή πρωτοτύπου





Εικόνα 21: Κατασκευή πρωτοτύπου

Τα LED που χρησιμοποιούμε ονομάζονται full spectrum και χρησιμοποιούν με τη σειρά τους 70% κόκκινο, 20% μπλε και 10% άλλα χρώματα. Έχουν φάσμα 380-840nm και είναι παρόμοιο με το ηλιακό φως.

Για την κατασκευή του πρωτοτύπου το πρώτο πράγμα που χρειαζόμαστε είναι να υπολογίσουμε την αντίσταση που θα χρησιμοποιηθεί για τα LED, τα οποία έχουν ισχύς 3W και τάση 3,2 V:

$$P=3W$$

$$V=3,2V$$

$P=V \cdot I$ άρα $I=P/V = 3W/3,2$ συνεπώς η ένταση του ρεύματος είναι $I= 0,94A$

Για το πρότζεκτ μας θα χρησιμοποιήσουμε 8 τέτοια LED και ένα τροφοδοτικό DC 18-34V

LED DRIVER DC 18-34 V

$$V_{LED} = V_1 * 8 \quad \text{συνεπώς } 3,2 * 8 = 25,6 \text{ V}$$

Υπολογισμός της αντίστασης

$$V_R = V - V_{LED} \quad \text{και } V_R = I * R \quad \text{άρα } R = V_R / I \quad \text{συνεπώς } (34V - 25,6 \text{ V}) / 0,94A$$

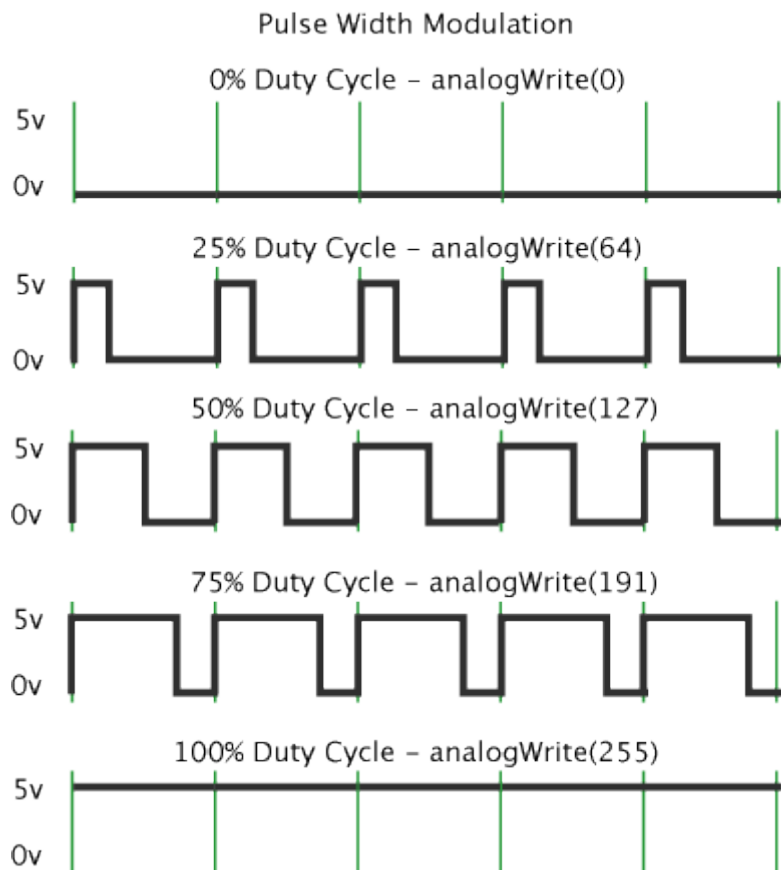
$$R = 9\Omega$$

Οπότε η αντίσταση που θα χρειαστούμε είναι 10W 10Ω

Επίσης θα χρειαστούμε και ένα τρανζίστορ. Στην συγκεκριμένη περίπτωση θα χρησιμοποιήσουμε τον TIP-122 όπου αναφερθήκαμε παραπάνω και θα μας χρησιμέψει ως διακόπτης ώστε να μπορούμε να ανοιγοκλείνουμε αλλά και να ελέγχουμε την φωτεινότητα από τα LED μέσα από το arduino nano από μία pwm έξοδο.

PWM

Η έξοδος PWM (PulseWidthModulation) δημιουργεί μία κυματομορφή η οποία ελέγχει πόσο ρεύμα θα δίνει το arduino με ελάχιστη τιμή το 0(0 V) και μέγιστη τιμή το 255(5V) πετυχαίνοντας έτσι τον έλεγχο της φωτεινότητας των LED.[20]



Εικόνα 22: PulseWidthModulation

Στο κύκλωμά μας χρησιμοποιούμε και ένα κουμπί το οποίο λειτουργεί πάλι με PWM και μπορούμε να αυξάνουμε κατά 25% την φωτεινότητα των led.

5. Συμπεράσματα

5.1 Απολογισμός Υλοποίησης και σύγκριση με εμπορικές λύσεις

Όσον αφορά την εμπορική λύση που ανέφερα στο Κεφάλαιο 3.3, η οποία αποτελεί μία από τις αποδοτικότερες λύσεις σήμερα, θα ήταν χρήσιμο να δούμε με μια γρήγορη ματιά τις καίριες διαφορές της με τη δικιά μας υλοποίηση. Αν και η τελευταία δεν προορίζεται και ούτε έχει εμπορική υπόσταση, η σύγκριση εξυπηρετεί την προ-απαιτούμενη μελλοντική έρευνα για τη διάνυση της απόστασης στην απόδοση αλλά και το περιθώριο αλλαγών και αναβαθμίσεων. Μας ενδιαφέρει δηλαδή να δώσουμε μια βάση έναρξης της έρευνας και όχι η απόκλιση της απόδοσης.

Συνεπώς, παρακάτω θα αναφέρουμε τα σημαντικότερα σημεία για τη μέτρηση της απόδοσης των δύο λύσεων.

Η εμπορική λύση αποτελείται από 6 High Power LED, η ισχύς των οποίων υπολογίζεται στα $100\text{mW}/\text{cm}^2 \pm 2\text{mW}/\text{cm}^2$, με τάση 12V και 5A. Το εύρος φάσματος κυμαίνεται από 400nm μέχρι 1100nm. Το κόστος ανέρχεται στα 4.500 ευρώ.

Το πειραματικό LED Solar Simulator που κατασκευάσαμε αποτελείται από 8 High Power LED με ισχύ 3W ανά LED. Η τάση του είναι στα 25,6V και περίπου 2A. Ενώ το φάσμα του κυμαίνεται από 380nm μέχρι 840nm. Το κόστος του είναι περίπου 20 ευρώ.

5.2. Μελλοντικές επεκτάσεις

Όσον αφορά τις μελλοντικές επεκτάσεις της λύσης μας, θα πρότεινα να κινηθούμε αρχικά στις εξής 3 κατευθύνσεις.

1. Τη προσθήκη φακού (lens) ώστε το φως να βγαίνει κατευθυνόμενο και να μη διαχέεται στο χώρο.

2. Το εν λόγω σύστημα φωτισμού θα μπορούσε να μπει πάνω σε ένα Z άξονα με μοτέρ, όπως ακριβώς το συναντάμε σε έναν 3Dprinter. Με αυτόν το τρόπο, όταν το τροφοδοτούμε με lux, εκτός από την ρύθμιση της φωτεινότητας να ρυθμίζεται και το ύψος των led. Αυτό θα βοηθούσε στην μείωση της απόκλισης των lux σε σχέση με την ένταση της φωτεινότητας.

3. Συγκεκριμένη αυτοματοποίηση στο λογισμικό, η οποία θα μας επιτρέπει να παίρνουμε αυτόματα καμπύλες της σχέσης lux-ισχύς. Με αυτή την υλοποίηση θα βλέπουμε ανά πάσα περίπτωση την ισχύ φωτός που δίνουμε σε σχέση με την ισχύ που παράγει το φωτοβολταϊκό.

5.3 Συμπεράσματα

Κατά την εκπόνηση της παρούσας πτυχιακής εργασίας μελετήσαμε την απόδοση των φωτοβολταϊκών εσωτερικών χρόνων.

Αρχικά ορίσαμε το φωτοβολταϊκό στοιχείο, ως σε μια συσκευή που αποτελείται από υλικά ημιαγωγών λόγω χάρη πυρίτιο, αρσενίδιο του γαλλίου, τελλουριούχο κάδμιο κ.λπ. Έπειτα γνωρίσαμε τους τύπους του φωτοβολταϊκού, οι οποίοι είναι φωτοβολταϊκά στοιχεία κρυσταλλικού πυριτίου, φωτοβολταϊκά στοιχεία λεπτού υμενίου και άλλες τεχνολογίες φωτοβολταϊκών υλικών. Όσον αφορά τα πλεονεκτήματα των φωτοβολταϊκών διακρίναμε την ικανότητα τους να παράγουν μια καθαρή και μη ρυπογόνα πηγή ηλεκτρικής ενέργειας φιλική προς το περιβάλλον. Έπειτα περιγράψαμε τον τρόπο λειτουργίας μιας ηλιακής κυψέλης, την καμπύλη I-V και μετρήσαμε την απόδοση ηλιακών κυττάρων. Ακολούθησε το τεχνητό φως του ήλιου, οι πηγές ορατού φωτός και στο φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας. Το τεχνητό φως του ήλιου αποτελεί μια πηγή η οποία χρησιμοποιείται για την προσομοίωση του ηλιακού φωτός. Επιπροσθέτως ο τεχνητός φωτισμός εσωτερικών χώρων έχει την ιδιότητα να συμπληρώνει το φυσικό φως. Ο βασικός του ρόλος είναι να δημιουργεί ένα ψυχολογικά ευχάριστο περιβάλλον με χαμηλό κόστος. Στη συνέχεια μιλήσαμε για τον ρόλο της ατμόσφαιράς της γης στο φιλτράρισμα της ηλιακής ακτινοβολίας. Έπειτα αναφερθήκαμε στη δοκιμή στατιστικής και δυναμικής απόδοσης MPPT και την προσομοίωση καμπύλης I-V Mode.

Ακολούθησε η μελέτη των προκλήσεων μέτρησης σε εσωτερικούς χώρους, την αρχιτεκτονική του συστήματος και το υποσύστημα φωτισμού. Με τον όρο LED

υψηλής ισχύος αναφερόμαστε σε μια δίοδο εκπομπής φωτός μεγάλης ισχύος. Η ισχύς LED είναι 3W και το ρεύμα λειτουργίας είναι 700mA. Ο αισθητήρα φάσματος, ο ISL29125 είναι έναν αισθητήρα χαμηλής ισχύος καθώς επίσης και υψηλής ευαισθησίας. Είναι χρώματος φωτός (RGB) με I2C διεπαφή. Τέλος το Arduino Nano αποτελεί την πιο μικρή πλακέτα της τεχνολογίας Arduino και μια μικρή εκδοχή του Arduino Uno. Στο τελευταίο κεφάλαιο κάναμε έναν απολογισμό υλοποίησης και σύγκριση με εμπορικές λύσεις και αναφερθήκαμε σε μελλοντικές επεκτάσεις.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Wikipedia (2020) . **Φωτοβολταικά**. Διαθέσιμο στο δικτυακό ιστότοπο: <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A6%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CF%8A%CE%BA%CE%AC>
- [2] **HelioSystems Φωτοβολταικά συστήματα**. (χ.χ). Διαθέσιμο στο δικτυακό ιστότοπο: https://selasenergy.gr/fv_systems.php
- [3] Leonics.(2020). **BasicsofSolarCell**. Διαθέσιμο στο δικτυακό ιστότοπο: http://www.leonics.com/support/article2_13j/articles2_13j_en.php
- [4] Εργαστήριο Ενεργειακών και Φωτοβολταϊκών Συστημάτων . (χ.χ). **Η Καμπύλη $I - V$ Ενός Φωτοβολταϊκου Στοιχείου**. Διαθέσιμο στο δικτυακό ιστότοπο: https://pv.hmu.gr/photovoltaic_electrical
- [5] Pveducation. (2019). **Measurement of Solar Cell Efficiency**. Διαθέσιμο στο δικτυακό ιστότοπο: <https://www.pveducation.org/pvcdrom/characterisation/measurement-of-solar-cell-efficiency>
- [6] redox.me(2021). **Solar Light Simulation**. Διαθέσιμο στο δικτυακό ιστότοπο: <https://redox.me/collections/laboratory-instruments/products/led-solar-simulator-class-aaa>
- [7] Going Solar Chapter 2: Know your Earth. (χ.χ). **The role of earth's atmosphere in solar radiation filtering**. Διαθέσιμο στο δικτυακό ιστότοπο: <https://greensarawak.com/things-to-know-before-going-solar/going-solar-chapter-2-know-your-earth/>
- [8] Solar Simulator (2021). Διαθέσιμο στο δικτυακό ιστότοπο: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/solar-simulator>
- [9] OLYMPUS. (χ.χ). **Sources of Visible Light**. Διαθέσιμο στο δικτυακό ιστότοπο: <https://www.olympus-lifescience.com/en/microscoperesource/primer/lightandcolor/lightsourcesintro/>

[10]Wikipedia.(2020). Artificial_sunlight. Διαθέσιμο στο δικτυακό ιστότοπο:
https://en.wikipedia.org/wiki/Artificial_sunlight

[11] Ρυθμιστής φόρτισης MPPT ή PWM? Τί να επιλέξω? (χ.χ). Διαθέσιμο στο δικτυακό ιστότοπο:<https://www.mp-energy.gr/blog/44/%CF%81%CF%85%CE%B8%CE%BC%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%B7%CF%83-%CF%86%CE%BF%CF%81%CF%84%CE%B9%CF%83%CE%B7%CF%83-mppt-%CE%B7-pwm-%CF%84%CE%B9-%CE%BD%CE%B1-%CE%B5%CF%80%CE%B9%CE%BB%CE%B5%CE%BE%CF%89.html>

[12]*Ήλιος και εσωτερικός χώρος*. (2002). Διαθέσιμο στο δικτυακό ιστότοπο: <https://www.decobook.gr/texnika-arthra/oikologiki-domisi/ilios-kai-esoterikos-xoros>

[13]Wikipedia.(2020). *Τεχνιτές πηγές*. Διαθέσιμο στο δικτυακό ιστότοπο:
https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A6%CF%89%CF%84%CE%B5%CE%B9%CE%BD%CE%AE_%CF%80%CE%B7%CE%B3%CE%AE#%CE%A4%CE%B5%CF%87%CE%BD%CE%B7%CF%84%CE%AD%CF%82_%CF%80%CE%B7%CE%B3%CE%AD%CF%82

[14]*Σχεδίαση θεωρητικού κυκλώματος και πλακέτας με το KiCad*. (2013). Διαθέσιμο στο δικτυακό ιστότοπο: <https://acomelectronics.com/forum/viewtopic.php?t=8>

[15]*TIP122*.(2020).Διαθέσιμο στο δικτυακό ιστότοπο:
https://export.farnell.com/multicomp/tip122/darlington-transistor-to-220/dp/9294236?gclid=Cj0KCQIAoab_BRCxARIsANMx4S57tT20htJt8gsELigAcpTyyCrs11ae15YyLOXco_FoS_RO9e2iUJMaAo_VEALw_wcB&mckv=s_dc|pcrid|452484987838|keyword|tip122|match|p|plid|slid|product|pgrid|110808143732|ptaid|kwd-782247218|&CMP=KNC-GGR-GEN-SKU

[16]*Τι είναι το LED υψηλής ισχύος;* (2019).Διαθέσιμο στο δικτυακό ιστότοπο:
<https://www.quora.com/What-is-a-high-power-LED>

[17]*ISL29125 Digital Red, Green and Blue Color Light Sensor with IR Blocking Filter*. (2017).Διαθέσιμο στο δικτυακό ιστότοπο:
<https://www.renesas.com/eu/en/document/dst/isl29125-datasheet>

[18]*ISL29125 Digital Red, Green and Blue Color Light Sensor with IR Blocking Filter*. Διαθέσιμο στο δικτυακό ιστότοπο: <https://www.renesas.com/eu/en/document/dst/isl29125-datasheet>

[19] *Σχετική φωτεινότητα*. Διαθέσιμο στο δικτυακό ιστότοπο:
https://en.wikipedia.org/wiki/Relative_luminance
<https://www.w3.org/Graphics/Color/sRGB>

[20]*PWM*. Διαθέσιμο στο δικτυακό ιστότοπο:
<https://www.arduino.cc/en/Tutorial/Foundations/PWM>

ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα εξωφύλλου.....1

<https://www.profilnet.gr/fotovoltaika-sto-saloni-mas-kai-i-ep/>

Εικόνα 1: Ηλιακή κυψέλη.....13

http://www.leonics.com/support/article2_13j/articles2_13j_en.php

Εικόνα 2: Τα συστατικά ενός φωτοβολταϊκού ηλιακού συστήματος.....14

http://www.leonics.com/support/article2_13j/articles2_13j_en.php

Εικόνα 3: Βασική δομή ενός απλού ελεγκτή IV.....18

<https://www.pveducation.org/pvcdrom/characterisation/measurement-of-solar-cell-efficiency>

Εικόνα 4: Η απόδοση των ηλιακών κυττάρων καταγράφεται ως συνάρτηση της περιοχής των κυττάρων.....20

https://selasenergy.gr/fv_systems.php

Εικόνα 5: SolarRadiationSpectrum.....22

<https://www.newport.com/n/solar-simulation>

Εικόνα6: GeoModelSolar.....23

<https://www.newport.com/n/solar-simulation>

Σχήμα 7 : Το μήκος διαδρομής, σε μονάδες μάζας αέρα, αλλάζει με τη γωνία ζενίθ....25

<https://www.newport.com/n/solar-simulation>

Εικόνα 8: Ελαφριά διαδρομή ενός ηλιακού προσομοιωτή.....26

<https://www.newport.com/n/solar-simulation>

Εικόνα 9 : Φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας έξω από την ατμόσφαιρα της γης σε σύγκριση με το φάσμα ενός μαύρου σώματος 5800 K.....27

<https://www.newport.com/n/solar-simulation>

Εικόνα 10 : Η συνολική παγκόσμια ακτινοβολία στο έδαφος έχει άμεσα, διάσπαρτα και ανακλαστικά συστατικά.....28

<https://www.newport.com/n/solar-simulation>

Εικόνα 11: MPPT.....31

https://www.banggood.com/el/MPPT-5A-Solar-Panel-Regulator-Controller-Battery-Charging-9V-12V-24V-Automatic-Switch-p-1307801.html?utm_source=googleshopping&utm_medium=cpc_organic&gmcCountry=GR&utm_content=minha&utm_campaign=minha-gr-el-pc¤cy=EUR&cur_warehouse=CN&createTmp=1&utm_source=googleshopping&utm_medium=cpc_bgs&utm_content=sxxx&utm_campaign=sxxx-ssc-gr-el-all-1022&ad_id=474533344498&gclid=CjwKCAiAxKv_BRBdEiwAyd40N_FCQ7uGx6j9mvgstXID9IDc8-oR814Z8S1j-R3e0ZXq16BbV_ftYhoCJOYQAvD_BwE

Εικόνα 12: Led Solar Simulator.....35

Εικόνα 13: Το KiCad.....38

Εικόνα 14: Το σχηματικό που σχεδιάστηκε ώστε να εκτυπώσουμε την πλακέτα.....40

Εικόνα 16 : Το TIP122.....41

Εικόνα 17 : HighpowerLED.....43

https://www.alibaba.com/product-detail/3w-high-power-led-18000k_502715263.html

Εικόνα 18 : ISL29125.....45

<https://grobotronics.com/sparkfun-rgb-light-sensor-isl29125.html?sl=en>

Εικόνα 19: Η φασματική απόκριση για κόκκινο , πράσινο και η αντίχρευση έντασης του μπλε χρώματος.....46

Εικόνα 20: Το Arduino Nano.....48

<https://www.why.gr/%CE%BA%CE%B1%CF%84%CE%B1%CF%83%CF%84%CE%B7%CE%BC%CE%B1/open-hardware/arduino/arduino-main-boards/arduino->

Εικόνα 21: Κατασκευή πρωτοτύπου.....52

Εικόνα 22: Pulse Width Modulation.....54

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Ακολουθεί ο κώδικας του Arduino ώστε να πετυχαίνουμε όλα όσα προαναφέραμε παραπάνω.

```
#include"SFE_ISL29125.h"

// Declare sensor object
SFE_ISL29125 RGB_sensor;

constint ledPin = 6;
constint buttonPin = 5;
// variables will change:
int buttonState = 0;          // variable for reading the pushbutton status
int fadeValue = 0 ;
int SerialValue = 0;
//-----

//-----
voidsetup() {
  Serial.begin(115200);          // For Serial Monitor
  // initialize the LED pin as an output:
  pinMode(ledPin,OUTPUT);
  // initialize the pushbutton pin as an input:
  pinMode(buttonPin,INPUT_PULLUP);

  Serial.println("-----");
  Serial.println("Serial Begin");
  Serial.println("Start");
  //Print main menu
  Serial.println("<MAIN MENU>");
  Serial.println("-----");
  Serial.println("1.)Control LUX");
  Serial.println("2.)Control Brightness");
  Serial.println("-----");

  if (RGB_sensor.init())
  {
    Serial.println("Sensor Initialization Successful\n\r");
  }
}

voidloop() {
  Serial.println("-----");
  Serial.println("1.)Control LUX");
  Serial.println("2.)Control Brightness");
  Serial.println("-----");
  // Read sensor values (16 bit integers)
  unsignedint red = RGB_sensor.readRed();
  unsignedint green = RGB_sensor.readGreen();
  unsignedint blue = RGB_sensor.readBlue();
  unsignedint luxM1 = (0.2126 * red + 0.7152 * green + 0.0722 * blue) *
0.152590219 ;
  unsignedint luxM2 = (0.299 * red + 0.587 * green + 0.114 * blue) *
0.152590219;
  while (Serial.available() > 0) {
    SerialValue =Serial.parseInt();
    Serial.println("SerialValue");
  }
}
```

```

Serial.println(SerialValue);
if (Serial.read() != '0') {
  // Serial.println("Press 1 for lux and 2 for brightness");
  //-----
  if (SerialValue !=NULL) {          //call SWITCH if input is available

    switch (SerialValue) {

      case 1:
        Serial.println("Change the value of lux from 0 10.000");
        Serial.println("Give lux:");
        while (!Serial.available()) {
          ;
        }
        SerialValue =Serial.parseInt();

        luxM1 = SerialValue;
        fadeValue = SerialValue * 0.0255;
        Serial.println("");
        Serial.println(luxM1);
break;

      case 2:
        Serial.println("Change the value of brightness from 0 255");
        while (!Serial.available()) {
          ;
        }
        SerialValue =Serial.parseInt();
        fadeValue = SerialValue;
        Serial.println("brightness");
        Serial.println(fadeValue);
        break;

      default:
        Serial.println("!WRONG INPUT!");
        break;
    }
    //-----
    Serial.println("brightness updated ");
    Serial.println(fadeValue);
  }
}
Serial.println("brightness");
Serial.println(fadeValue);
// read the state of the pushbutton value:
buttonState =digitalRead(buttonPin);
// check if the pushbutton is pressed.
// if it is, the buttonState is HIGH:
if (buttonState ==HIGH) {
  fadeValue = fadeValue + 63;
  if (fadeValue > 256) {
    fadeValue = 0;
  }
  Serial.println("brightness updated ");
  Serial.println(fadeValue);
}
analogWrite(ledPin, fadeValue);
//-----

```

```
// Print out readings, change HEX to DEC if you prefer decimal output
Serial.print("Red: "); Serial.println(red, DEC);
Serial.print("Green: "); Serial.println(green, DEC);
Serial.print("Blue: "); Serial.println(blue, DEC);
Serial.print("LUX : "); Serial.println(luxM1);
Serial.print("LUX method 2: "); Serial.println(luxM2);

Serial.println();
delay(2500);
}
```