



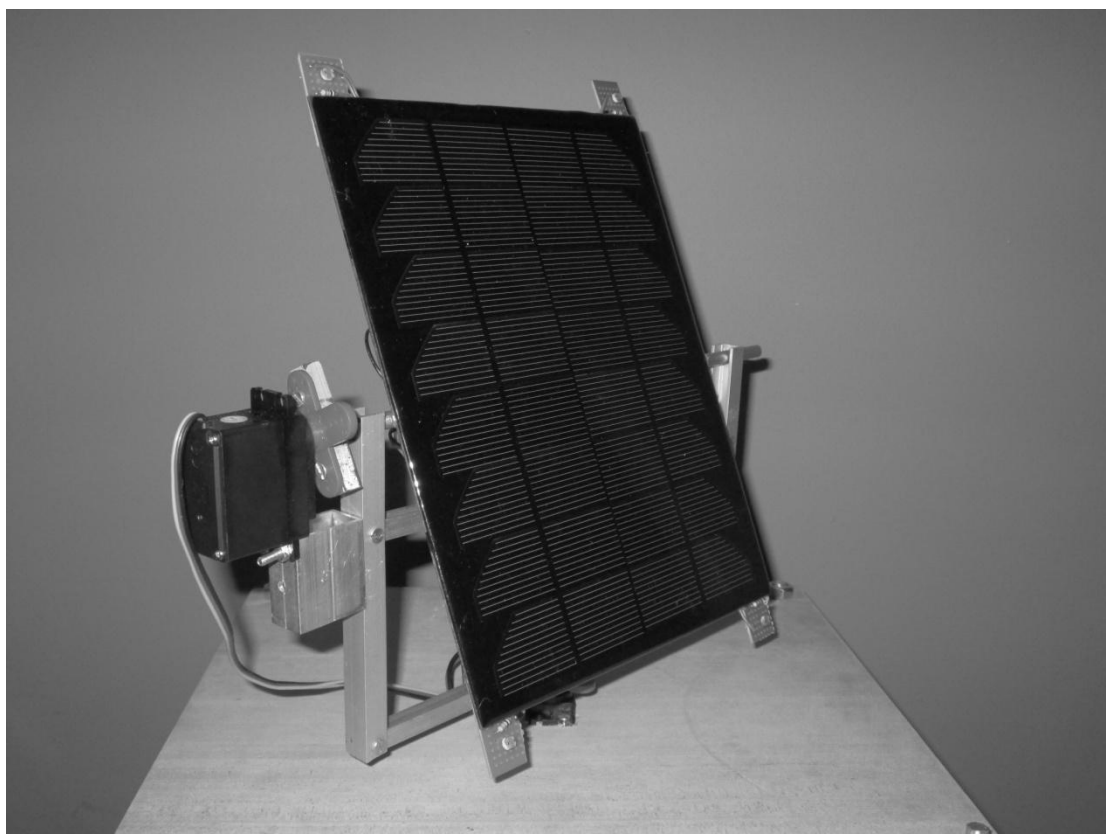
Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών

Τμήμα Αυτοματισμού

Πτυχιακή εργασία

Θέμα :

" ΕΥΦΥΕΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ "



ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΜΙΧΑΛΗΣ ΠΑΠΟΥΤΣΙΔΑΚΗΣ

ΦΟΙΤΗΤΕΣ :

ΓΑΖΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ Α.Μ. 33073

ΓΕΡΟΧΡΙΣΤΟΔΟΥΛΟΥ ΝΙΚΟΛΑΟΣ Α.Μ. 34184

ΑΙΓΑΛΕΩ, ΙΟΥΝΙΟΣ 2013

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η πτυχιακή εργασία έχει τίτλο "ευφυές φωτοβολταϊκό σύστημα" . Πρόκειται για ένα φωτοβολταϊκό πάνελ το οποίο θα έχει την δυνατότητα αυτόματου προσανατολισμού προς τον ήλιο με σκοπό την μέγιστη απόδοσή του . Η δυνατότητα αυτή δίνεται με χρήση ενός μικροελεγκτή σε συνεργασία με αισθητήρια μέτρησης φωτεινότητας. Η κίνηση θα γίνεται τόσο ως προς τον κάθετο άξονα περιστροφής όσο και ως προς την γωνία του φωτοβολταϊκού ως προς τον οριζόντιο άξονα μέσω των κατάλληλων σερβοκινητήρων. Ο μικροελεγκτής θα είναι εκείνος ο οποίος θα διαχειρίζεται την κίνηση των σερβοκινητήρων αυτών αναλόγως των τιμών που θα δίνουν τα αισθητήρια, που θα έχει ως αποτέλεσμα την βέλτιστη θέση του φωτοβολταϊκού πάνελ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη	2
Περιεχόμενα.....	3
1.Φωτοβολταϊκό φαινόμενο	5
1.1 Ενεργειακές πηγές	5
1.2 Ηλιακή ενέργεια	6
1.3 Ημιαγωγός.....	9
1.4 Επαφή p-n	10
1.5 Φωτοβολταϊκά στοιχεία ή ηλιακοί συλλέκτες.....	12
1.6 Είδη φωτοβολταϊκών στοιχείων	15
1.6.1 Φωτοβολταϊκά στοιχεία μονοκρυσταλλικού πυριτίου (Single Crystalline Silicon, sc-Si).....	15
1.6.2 Φωτοβολταϊκά στοιχεία πολυκρυσταλλικού πυριτίου (MultiCrystalline Silicon, mc-Si)	16
1.6.3 Φωτοβολταϊκά στοιχεία ταινίας πυριτίου (Ribbon Silicon)	17
1.6.4 Φωτοβολταϊκά υλικά λεπτών υμενίων, THIN FILM Δισεληνοϊνδιούχος χαλκός	18
1.6.5 Φωτοβολταϊκά στοιχεία άμορφου πυριτίου (Amorphous ή Thin film Silicon, a-Si)	19
1.6.6 Πολυστρωματικά φωτοβολταϊκά στοιχεία.....	20
1.6.7 Άλλες τεχνολογίες.....	21
1.7 Η τροχιά του ήλιου στον ουρανό	21
1.8 Προσανατολισμός φωτοβολταϊκών-Συστήματα κινητής βάσης(Tracker)	24
2.Κατασκευή.....	27
2.1 Κύρια μέρη.....	27
2.1.1 Αισθητήρια	27
2.1.2 Μικροελεγκτής.....	28
2.1.3 Ενεργοποιητές	30
2.1.4 Κύκλωμα Φορτισης - Απομόνωσης.....	32
2.2 Πρόγραμμα-Σενάριο λειτουργίας.....	34

2.2.1 Σενάριο λειτουργίας	34
2.2.2 Πρόγραμμα	35
3.Συμπεράσματα - Βελτιώσεις και επεκτάσεις.....	39
3.1 Συμπεράσματα	39
3.2 Βελτιώσεις και επεκτάσεις	40
4.Βιβλιογραφία	41

1.Φωτοβολταϊκό φαινόμενο

1.1 Ενεργειακές πηγές

Έως τα τέλη του 18ου αιώνα οι κύριες πηγές που χρησιμοποιούσε ο άνθρωπος ήταν το ξύλο, ο άνεμος και το νερό. Εν συνεχεία ο γαιάνθρακας που ανακαλύπτεται τα επόμενα χρόνια και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν καύσιμο ανατρέπει τα δεδομένα. Το 1859 ανακαλύπτεται το πετρέλαιο, αλλά αξιοποιείται εμπορικά μετά το 1920 οπότε και εφευρίσκεται η μηχανή εσωτερικής καύσης. Η υδροηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιείται μετά το 1890 και εξελίσσεται και η ηλεκτρική. Η πιο πρόσφατη πηγή ενέργειας θεωρείται η πυρηνική. Η πρώτη εγκατάσταση πυρηνικού αντιδραστήρα λειτουργεί εμπορικά από το 1956.

Με διάφορες τεχνικές διαδικασίες οι ενεργειακές πρώτες ύλες και τα διάφορα συμβάντα στη φύση μετατρέπονται σε χρήσιμη προμήθεια ενέργειας. Έτσι το 97% του συνολικού κύκλου εργασιών της ενεργειακής τεχνολογίας βασίζεται στην τεχνολογία για την εκμετάλλευση ορυκτών πρωτογενών ενεργειακών πηγών. Οι πρωτογενείς αυτές πηγές έχουν αποθηκευτεί με την βοήθεια της ηλιακής ενέργειας εδώ και εκατομμύρια χρόνια. Τα αποθέματα όμως αυτά δεν είναι απεριόριστα και εξαντλούνται συνεχώς.

Οι ενεργειακές πηγές διακρίνονται έτσι σε δύο ομάδες :

- Η μια είναι οι πηγές ενέργειας που η εκμετάλλευση τους συνδέεται με τον περιορισμό των αποθεμάτων τους.
- Η άλλη είναι οι μόνιμα διαθέσιμες ή ανανεώσιμες πρωτογενείς ενεργειακές πηγές (ΑΠΕ).

Οι ανανεώσιμες μορφές ενέργειας (ΑΠΕ) ή ήπιες μορφές ενέργειας , ή νέες πηγές ενέργειας, ή πράσινη ενέργεια είναι μορφές εκμεταλλεύσιμης ενέργειας που προέρχονται από διάφορες φυσικές διαδικασίες. Ως «ανανεώσιμες πηγές» θεωρούνται γενικά οι εναλλακτικές των παραδοσιακών πηγών ενέργειας και οι οποίες δεν απαιτούν κάποια ενεργητική επέμβαση όπως εξόρυξη, άντληση ή καύση. Συγκεκριμένα για τις ανανεώσιμες πηγές θεωρούνται η αιολική, η ηλιακή, η γεωθερμική, η υδάτινη, η βιομάζα και το βιοαέριο και κάθε συνδυασμός των παραπάνω. Γενικότερα οι πηγές ενέργειας εκείνες που προέρχονται από την απλή εκμετάλλευση της ήδη υπάρχουσας ροής στη φύση.

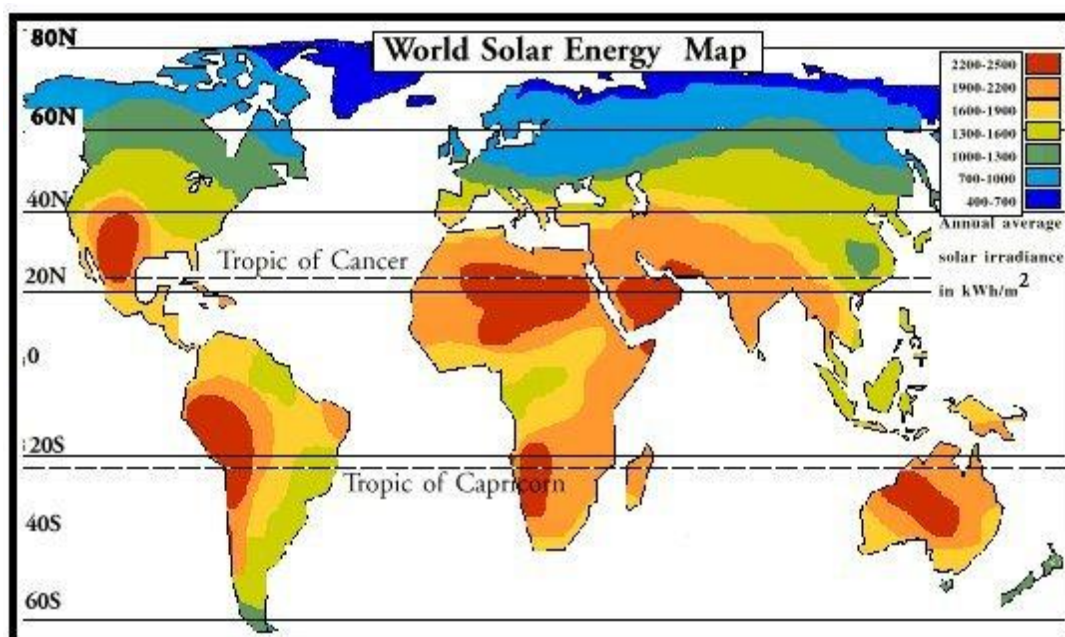


Εικόνα 1 : Πηγές ενέργειας

1.2 Ηλιακή ενέργεια

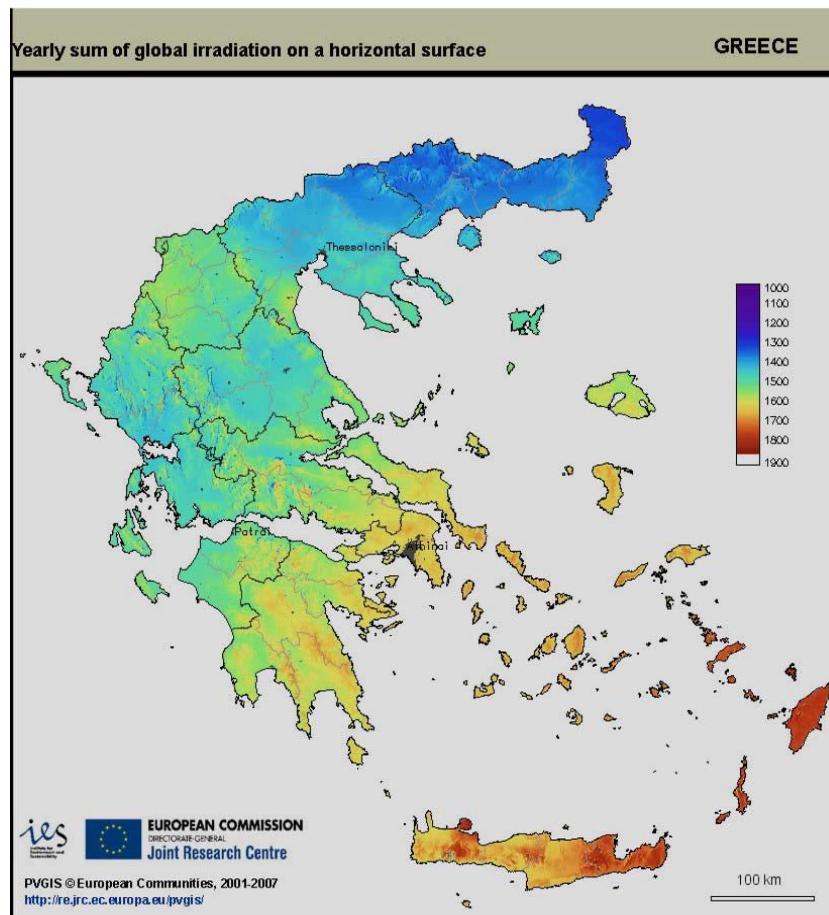
Ο ήλιος είναι η βασική πηγή ενέργειας του πλανήτη μας καθώς δίνει ζωή σε κάθε οργανισμό της βιόσφαιρας, δημιουργεί τους ανέμους, παράγει την αποθηκευμένη χημική ενέργεια σε ξύλα και ορυκτά καύσιμα, και επομένως είναι η πηγή όλης σχεδόν της ενέργειας που χρησιμοποιούμε.

Ο ήλιος είναι απλανής αστέρας μέσου μεγέθους όπου, λόγω των μεγάλων θερμοκρασιών που επικρατούν (μερικών εκατομμυρίων οC) , τα μόρια και άτομα των στοιχείων που τον συνθέτουν βρίσκονται σε κατάσταση νέφους θετικών και αρνητικών ιόντων ή κατάσταση πλάσματος, όπως ονομάστηκε. Σε αυτές τις θερμοκρασίες οι ταχύτατα κινούμενοι πυρήνες υδρογόνου συσσωματώνονται, υπερνικώντας τις μεταξύ τους απωστικές ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις και δημιουργούν πυρήνες του στοιχείου ηλίου. Η πυρηνική αυτή σύντηξη είναι ισχυρά εξώθερμη και οι παραγόμενες τεράστιες ποσότητες ενέργειας ακτινοβολούνται προς όλες τις κατευθύνσεις στο διάστημα. Η γη συλλαμβάνει το ένα δισεκατομμυριοστό της εκπεμπόμενης ηλιακής ακτινοβολίας, που όμως αντιστοιχεί σε τεράστια ενεργειακή ποσότητα αν αναλογιστούμε ότι η ηλιακή ενέργεια που φτάνει στη γη σε μία εβδομάδα είναι περίπου ίση με τη συνολικά αποθηκευμένη ενέργεια όλων των καυσίμων του πλανήτη.



Εικόνα 2: Παγκόσμιος χάρτης ετήσιας ηλιακής ενέργειας [3]

Η ηλιακή ακτινοβολία αξιοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρισμού με δύο τρόπους: θερμικές και φωτοβολταϊκές εφαρμογές. Η θερμική αξιοποίηση περιλαμβάνει συλλογή της ηλιακής ενέργειας για να παραχθεί θερμότητα κυρίως για θέρμανση νερού και μετατροπή του σε ατμό για την κίνηση ατμοστρόβιλων. Στη δεύτερη εφαρμογή τα φωτοβολταϊκά συστήματα μετατρέπουν άμεσα την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρισμό με τη χρήση φωτοβολταϊκών στοιχείων ή συστοιχιών τους. Η συγκεκριμένη τεχνολογία εμφανίστηκε στις αρχές της δεκαετίας του 1970 στα διαστημικά προγράμματα των ΗΠΑ. Η εξέλιξή της επέτρεψε τη μείωση του κόστους στην παραγωγή ηλεκτρισμού από \$300 σε \$4 ανά Watt. Λόγω της σχετικά χαμηλής απόδοσής τους και του συνεπαγόμενου υψηλού συνολικού κόστους, τα φωτοβολταϊκά συστήματα βρίσκουν κυρίως εφαρμογή ως μονάδες μικρής δυναμικότητας σε αγροτικές και απομακρυσμένες περιοχές όπου η σύνδεση με το δίκτυο είναι πολύ ακριβή [1].



Εικόνα 3: Χάρτης ετήσιας ηλιακής ενέργειας στην Ελλάδα [4]

Με μία καλή προσέγγιση, ο ήλιος ενεργεί ως μία τέλεια πηγή ακτινοβολίας (μέλαν σώμα) σε μία θερμοκρασία κοντά στους 5.8000 K. Η προσπίπτουσα κατά μέσο όρο ροή ενέργειας πάνω σε μία μονάδα επιφάνειας κάθετη προς τη διεύθυνση της δέσμης έξω από τη γήινη ατμόσφαιρα, είναι γνωστή ως ηλιακή σταθερά και ισούται με $S=1367 \text{ W/m}^2$. Γενικότερα, η ολική ισχύς από μία πηγή ακτινοβολίας που πέφτει πάνω στη μονάδα επιφάνειας, ονομάζεται ένταση ακτινοβολίας [2].

Η ατμόσφαιρα της γης, μειώνει σημαντικά την ακτινοβολία με τους μηχανισμούς της ανάκλασης, απορρόφησης (από το όζον, τους υδρατμούς, το οξυγόνο και το διοξείδιο του άνθρακα) και σκέδασης (από τα μόρια αέρα, σκόνης ή ρύπους). Όταν η ηλιακή ακτινοβολία αθροίζεται στη διάρκεια ενός έτους, προκύπτει η ετήσια ηλιακή ενέργεια, συνήθως σε kWh/m². Η τιμή αυτή διαφέρει σημαντικά ανάλογα με την τοποθεσία.

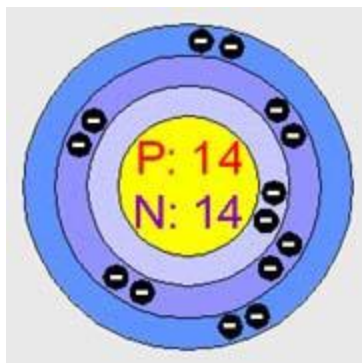
Αν και όλη η γη δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία, η ποσότητά της στην επιφάνεια κάθε τόπου εξαρτάται κυρίως από τη γεωγραφική του θέση, την εποχή και τη νεφοκάλυψη. Η έρημος π.χ. δέχεται περίπου το διπλάσιο ποσό ηλιακής ενέργειας από άλλες περιοχές. Στο μεγαλύτερο τμήμα της χώρα μας η ηλιοφάνεια διαρκεί περισσότερες από 2700 ώρες το χρόνο. Στη Δυτική Μακεδονία και την Ήπειρο εμφανίζει τις μικρότερες τιμές, κυμαινόμενη από 2200 ως 2300 ώρες, ενώ στη Ρόδο και τη νότια Κρήτη ξεπερνά τις 3100 ώρες ετησίως. Συνεπώς η Ελλάδα αποτελεί μία από τις κατεξοχήν κατάλληλες περιοχές της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) για εφαρμογές εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας [1].

1.3 Ημιαγωγός

Η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας στην παραγωγή ηλεκτρισμού γίνεται κύρια με τη χρήση των ηλιακών φωτοβολταϊκών συστημάτων (Φ/Β), που η λειτουργία τους στηρίζεται στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο, δηλαδή την άμεση μετατροπή της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε ηλεκτρικό ρεύμα.

Τα φωτοβολταϊκά κύτταρα κατασκευάζονται από ημιαγωγία υλικά, όπως το πυρίτιο που είναι το συνηθέστερο. Όταν το ηλιακό φως προσπίπτει στο φωτοβολταϊκό κύτταρο, μέρος της ακτινοβολίας διεγείρει ηλεκτρόνια τα οποία μπορούν να κινούνται σχετικά ελεύθερα μέσα στον ημιαγωγό. Η εφαρμογή ηλεκτρικού πεδίου υποχρεώνει τα ελεύθερα ηλεκτρόνια να κινηθούν προς συγκεκριμένη κατεύθυνση, παράγοντας ηλεκτρικό ρεύμα του οποίου η ισχύς καθορίζεται από τη ροή των ηλεκτρονίων και την εφαρμοζόμενη τάση στο φωτοβολταϊκό κύτταρο. Για να αυξηθεί η ροή των ελεύθερων ηλεκτρονίων προστίθενται στο καθαρό κρυσταλλικό πυρίτιο προσμίξεις, όπως ο φώσφορος και το βόριο.

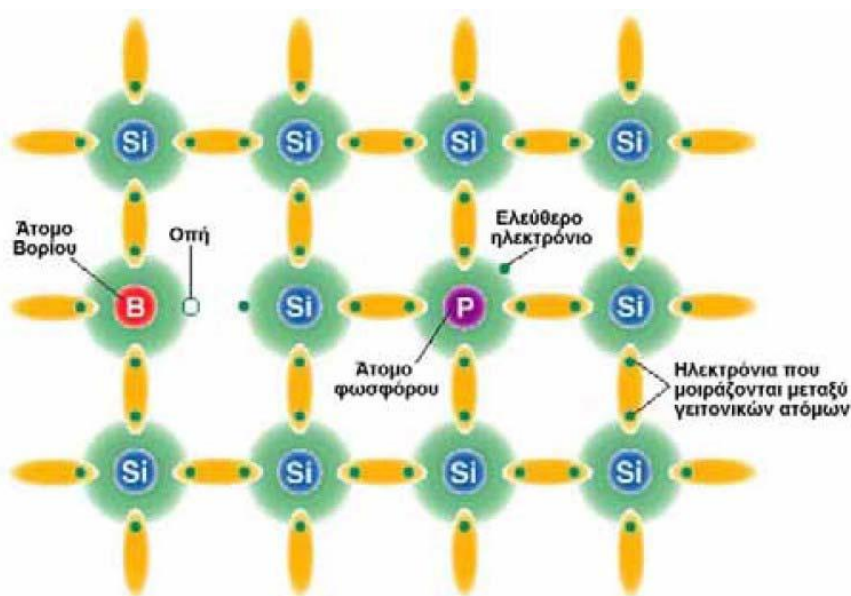
Κάθε άτομο πυριτίου έχει 14 ηλεκτρόνια κατανεμημένα σε τρεις διαφορετικές στοιβάδες. Οι δύο πρώτες είναι συμπληρωμένες με 2 και 8 άτομα αντίστοιχα. Η εξωτερική στοιβάδα περιλαμβάνει τα υπολειπόμενα 4 ηλεκτρόνια που συμμετέχουν σε δεσμούς με τα γειτονικά άτομα πυριτίου σχηματίζοντας την κρυσταλλική πυραμιδική δομή του καθαρού πυριτίου. Το καθαρό κρυσταλλικό πυρίτιο είναι κακός αγωγός του ηλεκτρισμού καθώς δεν υπάρχουν ελεύθερα κινούμενα ηλεκτρόνια όπως στην περίπτωση του μεταλλικού πλέγματος. Όταν διοχετεύεται ενέργεια στο κρυσταλλικό πυρίτιο, κάποια ηλεκτρόνια διεγείρονται, σπάζουν τους δεσμούς τους και απομακρύνονται προς γειτονικά τους άτομα δημιουργώντας διαθέσιμες θετικά φορτισμένες "οπές" στη δομή του υλικού. Οι θέσεις αυτές καταλαμβάνονται από ηλεκτρόνια γειτονικών ατόμων και με τον τρόπο αυτό δημιουργείται ροή ηλεκτρονίων μέσα στο υλικό. Ο αριθμός όμως των ηλεκτρονίων που μπορούν να κινηθούν είναι σημαντικά περιορισμένος για να χρησιμεύσει στην παραγωγή ηλεκτρισμού. Για το λόγο αυτό εισάγονται ετεροάτομα στην κρυσταλλική δομή, όπως π.χ. φωσφόρου.



Εικόνα 4 : Άτομο πυριτίου [9]

Η εξωτερική στοιβάδα του φωσφόρου έχει 5 ηλεκτρόνια εκ των οποίων τα 4 συμμετέχουν σε δεσμούς με τα γειτονικά άτομα πυριτίου, ενώ το πέμπτο συγκρατείται ηλεκτροστατικά από τα πρωτόνια του πυρήνα. Το συγκεκριμένο ηλεκτρόνιο απαιτεί σημαντικά χαμηλότερη ενέργεια ενεργοποίησης για να κινηθεί στο κρυσταλλικό πλέγμα. Σαν αποτέλεσμα τα περισσότερα από αυτά τα ηλεκτρόνια ελευθερώνονται και γίνονται φορείς ηλεκτρικού ρεύματος που είναι πολύ περισσότεροι από αυτούς του κρυσταλλικού πυριτίου.

Η πρόσμιξη του κρυσταλλικού πυριτίου με άτομα φωσφόρου δημιουργεί ημιαγωγό τύπου n. Όταν προστίθεται στο κρυσταλλικό πυρίτιο βόριο προκύπτουν ημιαγωγοί τύπου p. Το βόριο έχει στην εξωτερική του στοιβάδα 3 ηλεκτρόνια που συμμετέχουν σε δεσμούς με άτομα πυριτίου. Επειδή σε κάθε άτομο απαιτούνται 8 ηλεκτρόνια για τη συμπλήρωση της εξωτερικής τους στοιβάδας, στην εξωτερική στοιβάδα του βορίου υπάρχουν διαθέσιμες 2 ελεύθερες θέσεις ηλεκτρονίων, δημιουργώντας αντίστοιχες θετικά φορτισμένες "οπές" στη δομή του υλικού. Η κατάληψη των οπών από ηλεκτρόνια γειτονικών ατόμων δίνει την εικόνα διάδοσής τους στο υλικό ή μεταφοράς θετικών φορτίων στην κρυσταλλική δομή του ημιαγωγού [1].



Σχήμα 5 : Κρυσταλλικό πλέγμα πυριτίου με πρόσμιξη ατόμων βορίου και φωσφόρου [10]

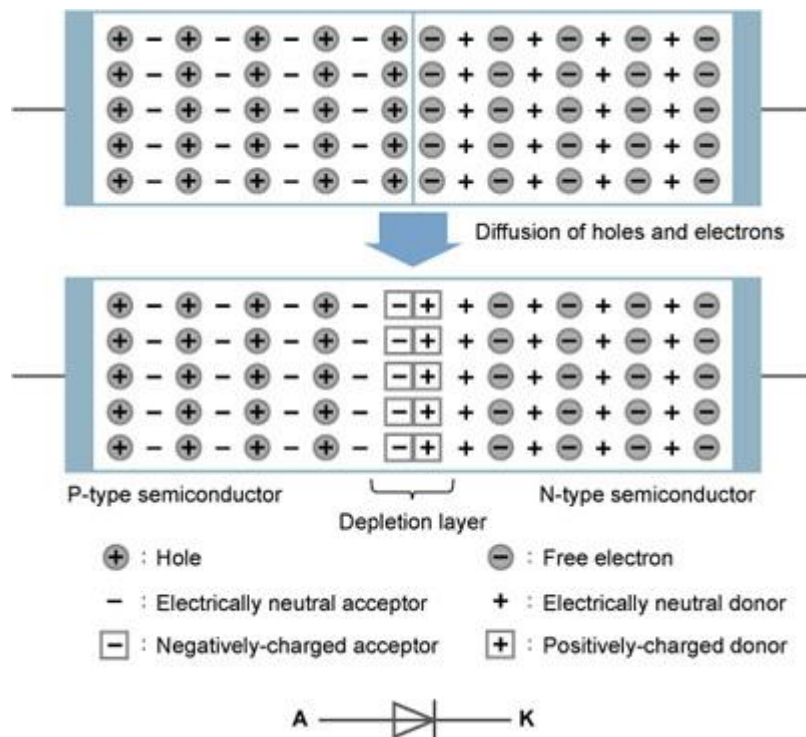
1.4 Επαφή p-n

Κάθε κρυσταλλικός ημιαγωγός, για να έχει ικανοποιητικές ιδιότητες για φωτοβολταϊκές και γενικότερα για ηλεκτρονικές εφαρμογές, θα πρέπει να είναι πολύ μεγάλης καθαρότητας και το κρυσταλλικό τους πλέγμα να μην έχει αταξίες δομής. Τα άτομα των ημιαγωγίμων υλικών, συνδέονται με ομοιοπολικούς δεσμούς οι οποίοι είναι δυνατόν να σπάσουν υπό την επίδραση της ακτινοβολίας ή θερμότητας, οπότε απελευθερώνονται ηλεκτρόνια (αρνητικοί φορείς n) και αφήνουν κενές θέσεις, τις

οπές (θετικοί φορείς p). Λόγω της ασυμμετρίας που έχουν οι δύο περιοχές στη συγκέντρωση ηλεκτρονίων και οπών ενεργοποιείται στην περιοχή της επαφής τους το φαινόμενο της διάχυσης και έτσι ηλεκτρόνια από την περιοχή n (περίσσεια) μεταφέρονται προς την περιοχή p αποτέλεσμα αυτού είναι να δημιουργείται στον ημιαγωγό n μια περιοχή κοντά στην διεπαφή p-n όπου είναι αυξημένο το θετικό φορτίο. Αντιστρόφως οπές από την περιοχή p (περίσσεια) μεταφέρονται στην περιοχή n. Συνέπεια τούτου είναι σε ένα τμήμα του ημιαγωγού p κοντά στην διεπαφή p-n να επικρατεί αρνητικό φορτίο.

Όλη αυτή η δυναμική ισορροπία συγκέντρωσης φορτίων ηλεκτρονίων και οπών περί την διεπαφή p-n αναπτύσσεται χωρίς την επίδραση φωτός. Ακόμα και αν οι δύο ημιαγωγοί n και p συνδεθούν με έναν αγωγό δεν θα εμφανισθεί ρεύμα.

Συνέπεια του παραπάνω φαινομένου είναι η ανάπτυξη στην περιοχή της διεπαφής p-n ενός εσωτερικού ηλεκτρικού πεδίου με κατεύθυνση από την περιοχή n προς την περιοχή p. Λόγω της ανάπτυξης του παραπάνω ηλεκτρικού πεδίου το φαινόμενο της διάχυσης δεν δύναται να συνεχιστεί αφού όπως είναι γνωστό από την φυσική τα ηλεκτρόνια κινούνται αντίθετα από τη φορά του πεδίου ενώ τα θετικά φορτία σύμφωνα με την κατεύθυνση του πεδίου. Και με αυτό τον τρόπο επέρχεται κατάσταση δυναμικής ισορροπίας. Η διάταξη ημιαγωγών που αποτελείται από μία ένωση p-n και από μία ηλεκτρική σύνδεση στο κάθε τμήμα της ονομάζεται δίοδος. [13]

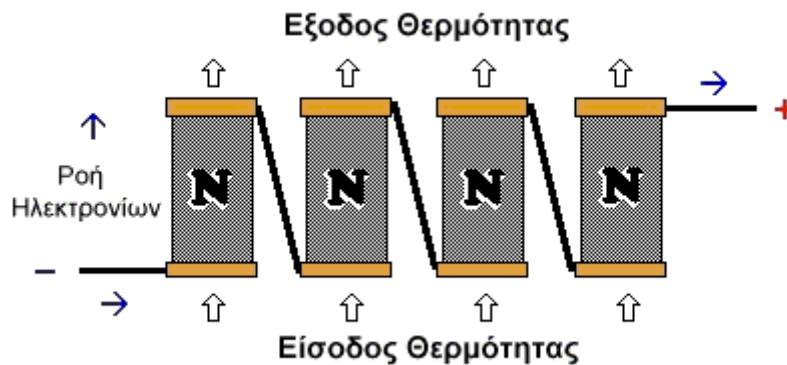


Εικόνα 6 : Οπές και ηλεκτρόνια επαφής p-n

1.5 Φωτοβολταϊκά στοιχεία ή ηλιακοί συλλέκτες

Η ηλιακή ενέργεια μπορεί να μετατραπεί απευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια με τη βοήθεια τριών κυρίως διαδικασιών: της θερμοηλεκτρικής, της θερμοιονικής και της φωτοβολταϊκής. Οι διαδικασίες αυτές χαρακτηρίζονται από το πλεονέκτημα της άμεσης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας χωρίς τη μεσολάβηση ενδιάμεσων σταδίων και θερμοδυναμικών κύκλων ή κινούμενων μερών.

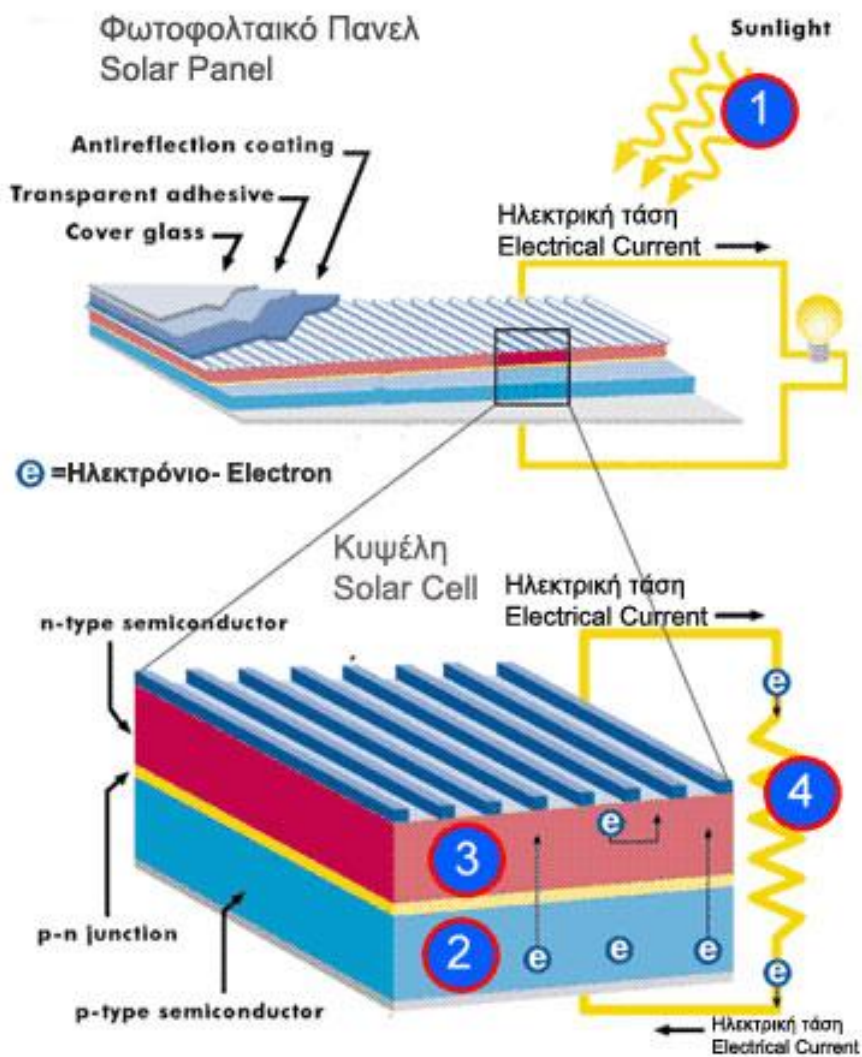
1. Η πρώτη βασίζεται στο θερμοηλεκτρικό φαινόμενο και συγκεκριμένα στη θέρμανση από την ηλιακή ακτινοβολία μιας μεταλλικής πλάκας που είναι συγκολλημένη σε δυο ηλεκτρόδια από διαφορετικά θερμοηλεκτρικά υλικά. Στα ψυχρά άκρα των ηλεκτροδίων αναπτύσσεται τάση, συνήθως λίγων δεκάτων του *volt*, που εξαρτάται από το υλικό των ηλεκτροδίων και από τη διαφορά της θερμοκρασίας τους ως προς τη μεταλλική πλάκα. Η πιο χαμηλή θερμοκρασία που μπορεί να λειτουργήσει στην πράξη ένα τέτοιο σύστημα είναι η θερμοκρασία που επιτυγχάνεται με έναν απλό ηλιακό συλλέκτη χωρίς πολλαπλασιασμό, όπου σαν υποπροϊόν μπορούμε να πάρουμε από τον συλλέκτη αυτό ζεστό νερό θερμοκρασίας 50-60°C. Μ'αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται ενεργειακή απόδοση περίπου 1%. Για τη λειτουργία αυτού του τελευταίου θερμοηλεκτρικού ζεύγους, το πιο κατάλληλο ζεύγος είναι το κράμα βισμούθιου- αντιμονίου και ο αντιμονιούχος ψευδάργυρος.



Εικόνα 7 : Θερμοηλεκτρικό φαινόμενο [8]

2. Η δεύτερη διαδικασία φωτοηλεκτρικής μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολίας βασίζεται στο θερμοιονικό φαινόμενο, στη θέρμανση δηλ. μιας μεταλλικής πλάκας υπό κενό, ώστε να εκπέμπονται ηλεκτρόνια από την επιφάνεια της. Έτσι μια μεταλλική πλάκα/ηλεκτρόδιο που θερμαίνεται κοντά σε ένα άλλο ηλεκτρόδιο που ψύχεται είναι δυνατό να αποτελέσουν μια θερμοιονική γεννήτρια. Από το θερμαινόμενο ηλεκτρόδιο φεύγουν ηλεκτρόνια τα οποία οδηγούνται στο ψυχρότερο ηλεκτρόδιο. Έτσι το πρώτο γίνεται κάθοδος ενώ το δεύτερο άνοδος. Είναι λοιπόν δυνατό όταν συνδεθούν με εξωτερικό φορτίο να αποδοθεί ηλεκτρικό ρεύμα.

3. Η τρίτη διαδικασία φωτοηλεκτρικής μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολίας είναι μια καθαρή φωτονική μέθοδος, αφού η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια προέρχεται κατευθείαν από τα φωτόνια της ηλιακής ακτινοβολίας. Τα ηλιακά (φωτοβολταϊκά) στοιχεία (ηλιακές κυψέλες, ηλιακά κύτταρα) αποτελούνται από έναν ημιαγωγό, με προσαρμοσμένα ηλεκτρόδια στην εμπρός και πίσω όψη. Αν σε ορισμένους ημιαγωγούς προστεθεί πολύ μικρή ποσότητα (1 περίπου μέρος στο εκατομμύριο) από άλλα όμοια στοιχεία, που έχουν όμως 1 περισσότερο ή 1 λιγότερο ηλεκτρόνιο από τον ημιαγωγό. Τότε κατασκευάζονται έτσι δύο τύποι ημιαγωγών. Ο τύπος N και ο τύπος P. Π.χ. τύπος N: πυρίτιο + αρσενικό -ένα επιπλέον ηλεκτρόνιο. Τύπος P: πυρίτιο + βόριο -ένα λιγότερο ηλεκτρόνιο. Αν δύο λεπτά στρώματα από τους δύο τύπους τοποθετηθούν το ένα πάνω στο άλλο και εκτεθούν σε ακτινοβολία π.χ. ηλιακή, τότε παρατηρείται ότι στη διαχωριστική επιφάνεια των δύο στρωμάτων εμφανίζεται ροή ηλεκτρονίων. Φωτόνια που έχουν ενέργεια πάνω από ένα όριο είναι ικανά να δημιουργήσουν το φαινόμενο αυτό. Η ένταση του ρεύματος που αναπτύσσεται εξαρτάται από το εμβαδόν της επιφάνειας του στοιχείου και την περιεκτικότητα της ηλιακής ακτινοβολίας σε ενεργά φωτόνια.



Εικόνα 8 : Φωτοβολταϊκό φαινόμενο [9]

Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο εφευρέθηκε το 1839 από τον Alexandre Edmond Becquerel, έναν Γάλλο επιστήμονα που αναρωτήθηκε γιατί μερικά υλικά δημιουργούσαν σπινθήρα όταν εκτίθενται στο φως. Εκείνη την εποχή όμως δεν είχαν ανακαλυφθεί συσκευές που να χρησιμοποιούν ηλεκτρικό ρεύμα, έτσι η εφεύρεση δεν είχε κάποια πρακτική σημασία. Το 1905 ο Albert Einstein θεωρούσε ότι η ακτινοβολία μπορούσε να διαπεράσει τα άτομα. Η πορεία σύγκρουσης των φωτονίων και των ατόμων θα μπορούσε να ωθήσει τα ηλεκτρόνια να αφήσουν την τροχιά τους. Αυτό θα μπορούσε να επιτρέψει την δημιουργία ενός ηλεκτρικού ρεύματος.



Εικόνα 9 : Φωτοβολταϊκά πάνελ [10]

Η φωτοβολταϊκή τεχνολογία είναι μια σχετικά σύγχρονη τεχνολογία. Η κατασκευή του πρώτου φωτοβολταϊκού στοιχείου έγινε το 1937 και από τότε προχωρούσε με αργά βήματα. Η κυριότερη εφαρμογή τους ήταν στους δορυφόρους, όπου αφενός εφαρμόζεται η πιο σύγχρονη τεχνολογία, αφ' ετέρου το κόστος είναι δευτερεύων παράγοντας. Όμως, με την ενεργειακή κρίση στις αρχές της δεκαετίας του 70, φάνηκε καθαρά πώς πρέπει να στραφούμε σε άλλες μορφές ενέργειας, διαφορετικές από το πετρέλαιο. Επιπρόσθετα διάφορα πυρηνικά ατυχήματα, καθώς και η όλο και η εντονότερη οικολογική συνείδηση που αποκτάει ο κόσμος, έθεσαν το πρόβλημα εύρεσης εναλλακτικών πηγών ενέργειας. Ένα μέρος της έρευνας για τέτοιες πηγές, οι οποίες είναι και μη ρυπογόνες, έχει στραφεί στις ήπιες μορφές ενέργειας, όπως φ / β ενέργεια και ενέργεια από ανεμογεννήτριες. Η ισχύς που παράγεται από ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο πυριτίου είναι περίπου 16% της ισχύος της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας.

Θεωρητικά η μέγιστη ενεργειακή απόδοση ανέρχεται περίπου σε 24%. Η υπερθέρμανση προκαλεί σημαντική μείωση της απόδοσης γι' αυτό είναι απαραίτητο να υπάρχει ένα είδος ψύξης του συστήματος το οποίο θα μπορούσε να είναι ένα παραπροϊόν ενέργειας, για τη θέρμανση νερού. Η ενεργειακή απόδοση που αναφέρθηκε, αναφέρεται σε μονοκρυσταλλικά στοιχεία, που όμως δυστυχώς κατασκευάζονται πάρα πολύ δύσκολα και είναι πολύ ακριβά. Τα πολυκρυσταλλικά στοιχεία έχουν μειωμένη ενεργειακή απόδοση αλλά έχουν χαμηλότερο κόστος κατασκευής. Τα είδη ηλιακών κυττάρων που κατασκευάζονται σήμερα βιομηχανικά και χρησιμοποιούνται στις πρακτικές εφαρμογές είναι από πυρίτιο (μονοκρυσταλλικό ή πολυκρυσταλλικό, καθώς και από άμορφο).

Η απόδοση τους είναι περίπου 10-14%. Η απόδοση των ηλιακών στοιχείων πυριτίου δεν μπορεί να υπερβεί θεωρητικά το 20% περίπου. Με διάφορα πλεονεκτικότερα υλικά, όπως ημιαγωγοί με βάση το κάδμιο, το γερμάνιο ή άλλα μέταλλα, καθώς και διάφορα συστήματα διάταξης τους μπορούμε να έχουμε μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης (35% ή 65% σε ακραίες περιπτώσεις), όμως ακόμη βρίσκονται μόνο στο στάδιο της έρευνας. Η έρευνα που είναι προσανατολισμένη και για μείωση του κόστους των φωτοβολταϊκών στοιχείων, συνεχίζεται και υπόσχεται πολλά.

1.6 Είδη φωτοβολταϊκών στοιχείων

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία διακρίνονται σε τρεις κυρίως κατηγορίες, ανάλογα με το υλικό παρασκευής, τη δομή του βασικού υλικού καθώς και τον τρόπο παρασκευής. Έτσι, έχουμε την παρακάτω κατηγοριοποίηση:

1.6.1 Φωτοβολταϊκά στοιχεία μονοκρυσταλλικού πυριτίου (Single Crystalline Silicon, sc-Si)

Το πάχος τους είναι γύρω στα 0,3mm. Η απόδοση τους στην βιομηχανία κυμαίνεται από 15 - 18% για το πλαίσιο. Στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί αποδόσεις 36 έως και 24,7%. Το μονοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία χαρακτηρίζονται από το πλεονέκτημα της καλύτερης σχέσης απόδοσης. Ένα μειονέκτημά τους είναι το υψηλό κόστος κατασκευής σε σύγκριση με τα πολυκρυσταλλικά. Βασικές τεχνολογίες παραγωγής μονοκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών είναι η μέθοδος CZ (Czochralski) και η μέθοδος FZ (float zone). Και οι δύο βασίζονται στην ανάπτυξη ράβδου πυριτίου. Το μονοκρυσταλλικό φωτοβολταϊκό με την υψηλότερη απόδοση στο εμπόριο σήμερα, έχει απόδοση πλαισίου 18,5% και έχει μεταλλικές επαφές στο πίσω μέρος του πλαισίου αποκομίζοντας έτσι μεγαλύτερη επιφάνεια αλληλεπίδρασης με την ηλιακή ακτινοβολία [18].



Εικόνα 10 : Φωτοβολταϊκό στοιχείο μονοκρυσταλλικού πυριτίου [12]

1.6.2 Φωτοβολταϊκά στοιχεία πολυκρυσταλλικού πυριτίου (MultiCrystalline Silicon, mc-Si)

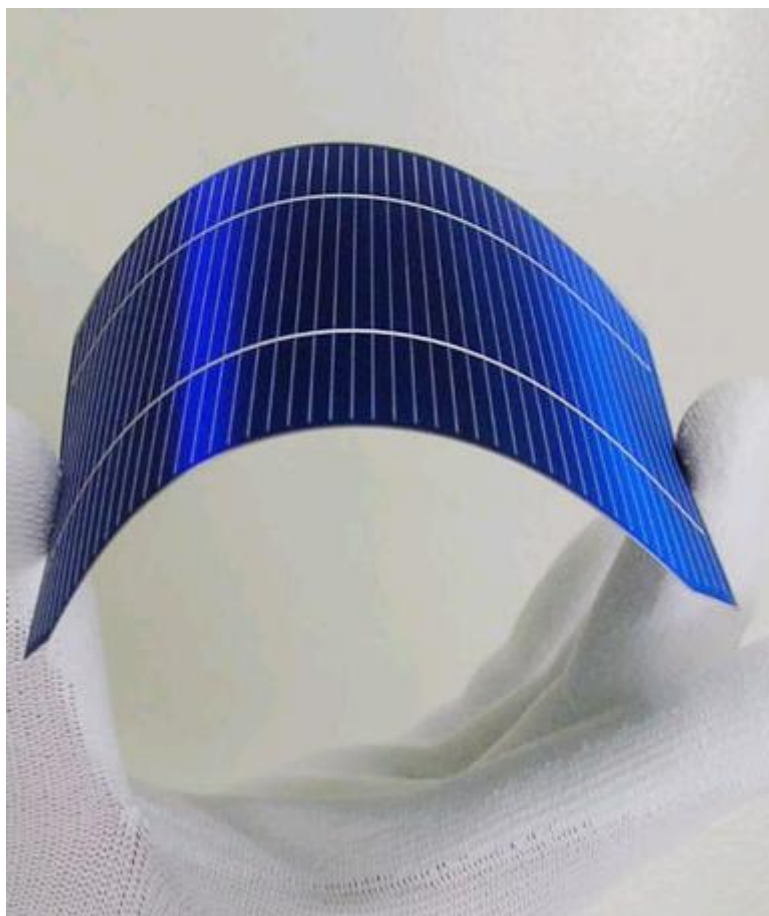
Το πάχος τους είναι επίσης περίπου 0,3mm. Η μέθοδος παραγωγής τους κοστίζει φθηνότερα σε σύγκριση με αυτή των μονοκρυσταλλικών γι' αυτό και η τιμή πώλησής τους είναι συνήθως λίγο χαμηλότερη. Οπτικά μπορεί κανείς να παρατηρήσει τις επιμέρους μονοκρυσταλλικές περιοχές. Όσο μεγαλύτερη είναι η έκταση της μονοκρυσταλλικής περιοχής τόσο μεγαλύτερη είναι και η απόδοση για τα πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία. Στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί αποδόσεις έως και 20% ενώ στο εμπόριο τα πολυκρυσταλλικά στοιχεία διατίθενται με αποδόσεις από 13 έως και 15% για τα φωτοβολταϊκά πλαίσια (πάνελ). Βασικότερες τεχνολογίες παραγωγής είναι: η μέθοδος απ' ευθείας στερεοποίησης DS (directional solidification) , η ανάπτυξη λιωμένου πυριτίου ("χύτευση"), και η ηλεκτρομαγνητική χύτευση EMC [18].



Εικόνα 11 : Φωτοβολταϊκό στοιχείο πολυκρυσταλλικού πυριτίου [11]

1.6.3 Φωτοβολταϊκά στοιχεία ταινίας πυριτίου (Ribbon Silicon)

Σε αυτά τα στοιχεία εφαρμόζεται νέα τεχνολογία φωτοβολταϊκών στοιχείων. Προσφέρει έως και 50% μείωση στην χρήση του πυριτίου σε σχέση με τις παραδοσιακές τεχνικές κατασκευής μονοκρυσταλλικών και πολυκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών στοιχείων πυριτίου. Η απόδοση για τα φωτοβολταϊκά στοιχεία του έχει φτάσει πλέον γύρω στο 12-13% ενώ το πάχος του είναι περίπου 0,3mm. Στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί αποδόσεις έως και 18% [18].



Εικόνα 12 : Φωτοβολταϊκό στοιχείο ταινίας πυριτίου [13]

1.6.4 Φωτοβολταϊκά υλικά λεπτών υμενίων, THIN FILM Δισεληνοϊνδιούχος χαλκός (CuInSe₂ ή CIS, με προσθήκη γαλλίου CIGS)

Ο Δισεληνοϊνδιούχος Χαλκός έχει εξαιρετική απορροφητικότητα στο προσπίπτον φως αλλά παράλα αυτά η απόδοση του με τις σύγχρονες τεχνικές κυμαίνεται στο 11% (πλαίσιο). Εργαστηριακά έγινε εφικτή απόδοση στο επίπεδο του 18,8% η οποία είναι και η μεγαλύτερη που έχει επιτευχθεί μεταξύ των φωτοβολταϊκών τεχνολογιών λεπτής επιστρώσεως. Με την πρόσμιξη γαλλίου η απόδοση του μπορεί να αυξηθεί ακόμα περισσότερο CIGS. Το πρόβλημα που υπάρχει είναι ότι το ίνδιο υπάρχει σε περιορισμένες ποσότητες στην φύση. Στα επόμενα χρόνια πάντως αναμένεται το κόστος του να είναι αρκετά χαμηλότερο [18].

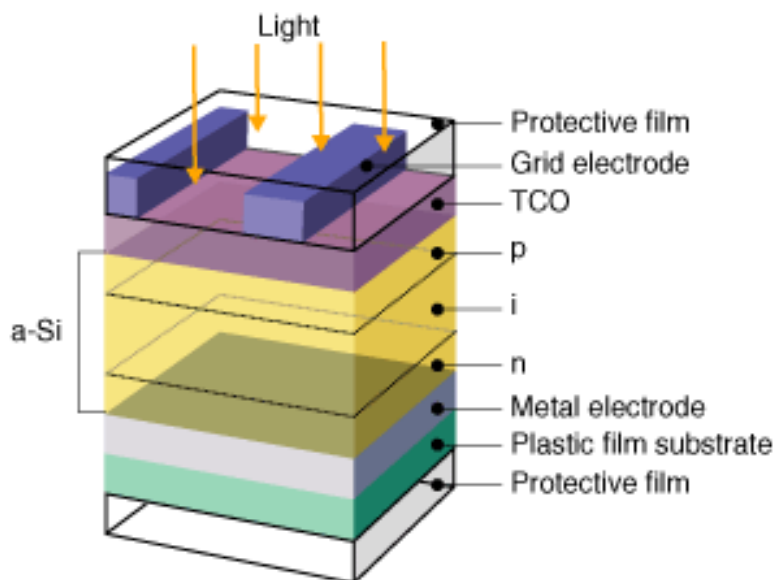


Εικόνα 13 : Φωτοβολταϊκό στοιχείο Δισεληνοϊνδιούχου χαλκού

1.6.5 Φωτοβολταϊκά στοιχεία άμορφου πυριτίου (Amorphous ή Thin film Silicon, a-Si)

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία αυτά, έχουν αισθητά χαμηλότερες αποδόσεις σε σχέση με τις δύο προηγούμενες κατηγορίες. Πρόκειται για ταινίες λεπτών επιστρώσεων οι οποίες παράγονται με την εναπόθεση ημιαγωγού υλικού (πυρίτιο στην περίπτωση μας) πάνω σε υπόστρωμα υποστήριξης, χαμηλού κόστους όπως γυαλί ή αλουμίνιο. Έτσι και λόγω της μικρότερης ποσότητας πυριτίου που χρησιμοποιείται η τιμή τους είναι γενικότερα αρκετά χαμηλότερη. Ο χαρακτηρισμός άμορφο φωτοβολταϊκό προέρχεται από τον τυχαίο τρόπο με τον οποίο είναι διατεταγμένα τα άτομα του πυριτίου. Οι αποδόσεις που επιτυγχάνονται με χρησιμοποιώντας φωτοβολταϊκά thin films πυριτίου κυμαίνονται για το πλαίσιο από 6 έως 8% ενώ στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί αποδόσεις ακόμα και 14%. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα για το φωτοβολταϊκό στοιχείο a-Si είναι το γεγονός ότι δεν επηρεάζεται πολύ από τις υψηλές θερμοκρασίες. Επίσης, πλεονεκτεί στην αξιοποίηση της απόδοσης του σε σχέση με τα κρυσταλλικά φωτοβολταϊκά, όταν υπάρχει διάχυτη ακτινοβολία (συννεφιά).

Το μειονέκτημα των άμορφων πλαισίων είναι η χαμηλή τους ενεργειακή πυκνότητα κάτι που σημαίνει ότι για να παράγουμε την ίδια ενέργεια χρειαζόμαστε σχεδόν διπλάσια επιφάνεια σε σχέση με τα κρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία. Επίσης υπάρχουν αμφιβολίες όσον αφορά την διάρκεια ζωής των άμορφων πλαισίων μιας και δεν υπάρχουν στοιχεία από παλιές εγκαταστάσεις αφού η τεχνολογία είναι σχετικά καινούρια. Παρόλα αυτά οι κατασκευαστές πλέον δίνουν εγγυήσεις απόδοσης 20 ετών. Το πάχος του πυριτίου είναι περίπου 0,0001 mm ενώ το υπόστρωμα μπορεί να είναι από 1 έως 3 mm [18].

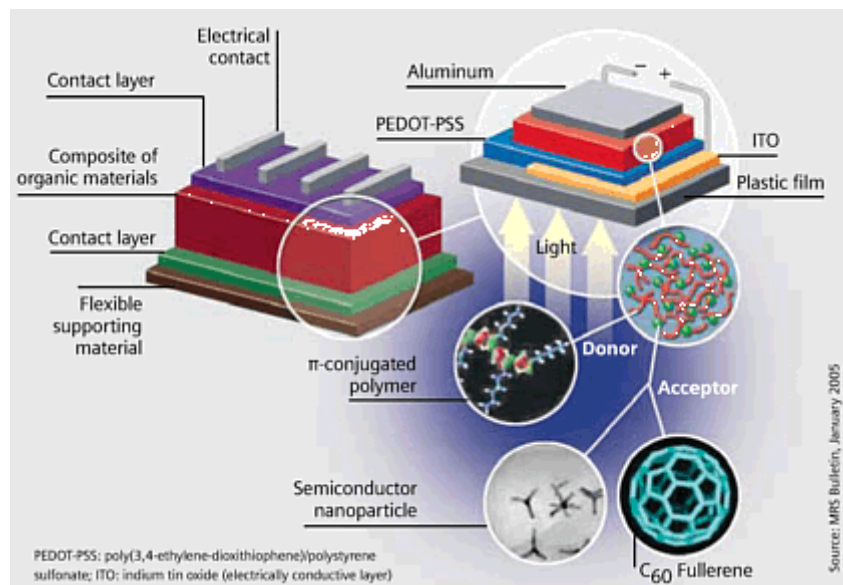


Amorton Film Configuration

Εικόνα 14 : Φωτοβολταϊκό στοιχείο άμορφου πυριτίου [14]

1.6.6 Πολυστρωματικά φωτοβολταϊκά στοιχεία

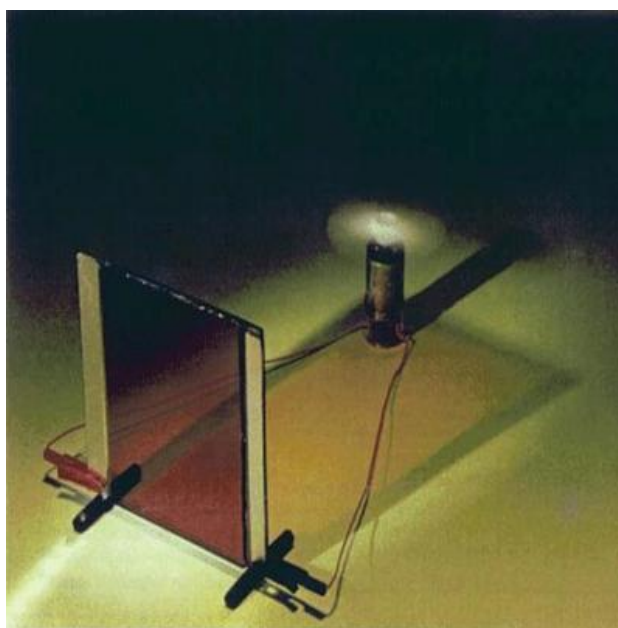
Μια άλλη κατηγορία είναι τα φωτοβολταϊκά στοιχεία που αποτελούνται από στρώσεις υλικών διαφόρων τεχνολογιών HIT (Heterojunction with Intrinsic Thin layer – Ετεροενώσεις με ενδογενή λεπτά στρώματα). Τα πιο γνωστά εμπορικά πολυστρωματικά φωτοβολταϊκά στοιχεία αποτελούνται από δύο στρώσεις άμορφου πυριτίου (πάνω και κάτω) ενώ ενδιάμεσα υπάρχει μια στρώση μονοκρυσταλλικού πυριτίου. Το μεγάλο πλεονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι ο υψηλός βαθμός απόδοσης του πλαισίου που φτάνει σε εμπορικές εφαρμογές στο 17,2% και το οποίο σημαίνει ότι χρειαζόμαστε μικρότερη επιφάνεια για να έχουμε την ίδια εγκατεστημένη ισχύ. Τα αντίστοιχα φωτοβολταϊκά στοιχεία έχουν απόδοση 19,7%. Άλλα πλεονεκτήματα για τα πολυστρωματικά φωτοβολταϊκά στοιχεία είναι η υψηλή τους απόδοση σε υψηλές θερμοκρασίες αλλά και η μεγάλη τους απόδοση στην διαχεόμενη ακτινοβολία. Φυσικά, αφού τα φωτοβολταϊκά αυτά έχουν τα παραπάνω πλεονεκτήματα, είναι ακριβότερα σε σχέση με τα συμβατικά φωτοβολταϊκά πλαίσια [18].



Εικόνα 15 : Δομή πολυστρωματικού πάνελ

1.6.7 Άλλες τεχνολογίες

Η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών εξελίσσεται με ραγδαίους ρυθμούς και διάφορα εργαστήρια στον κόσμο παρουσιάζουν νέες πατέντες. Κάποιες από τις τεχνολογίες στα φωτοβολταϊκά στοιχεία που φαίνεται να ξεχωρίζουν και μελλοντικά πιθανώς να γίνει ευρεία η χρήση τους είναι τα νανοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία πυριτίου (nc-Si) και τα Οργανικά/Πολυμερή στοιχεία.

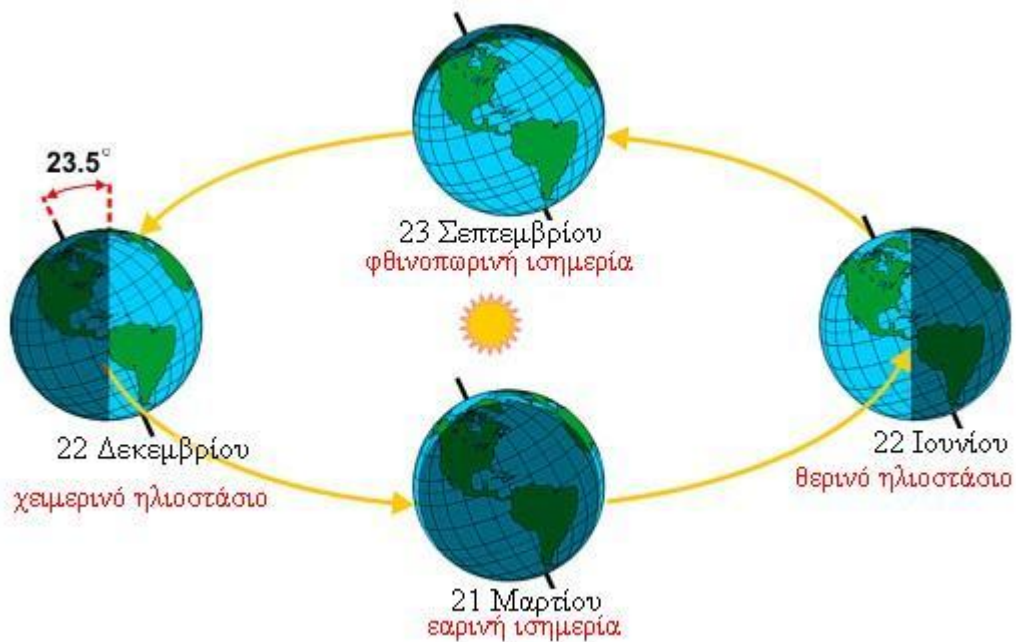


Εικόνα 16 : Νανοκρυσταλλικό φωτοβολταϊκό στοιχείο πυριτίου [15]

1.7 Η τροχιά του ήλιου στον ουρανό

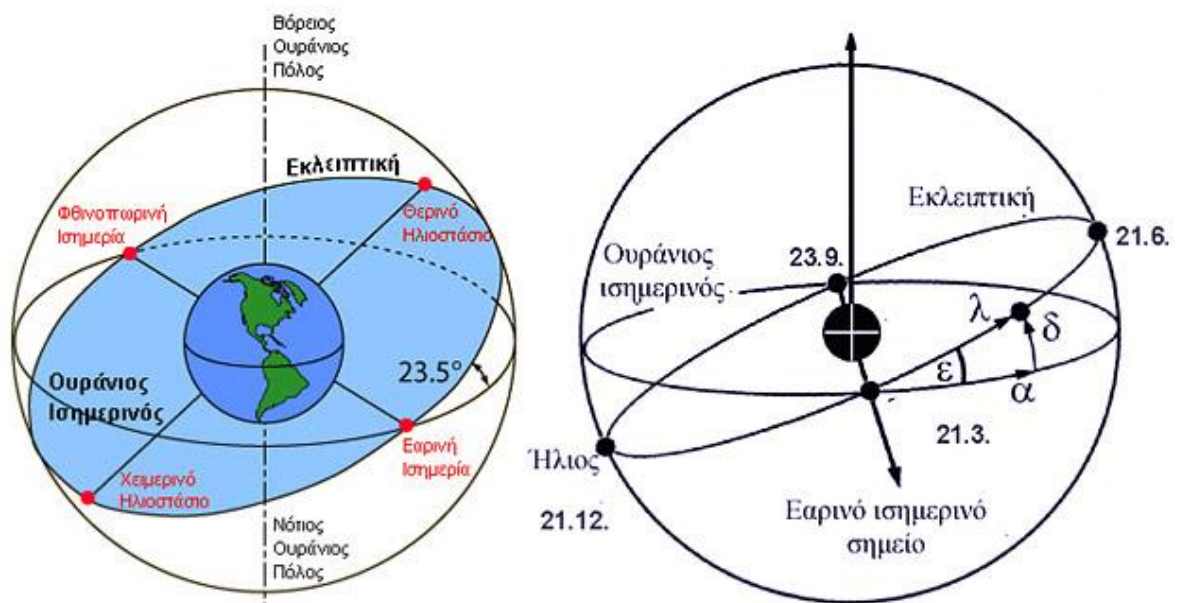
Όπως αντιλαμβανόμαστε η ισχύς της ηλιακής ακτινοβολίας και η φωτονική της σύσταση παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές ανάλογα με την ώρα, την εποχή, τις κλιματολογικές συνθήκες και την περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε υγρασία, σε αιωρούμενα σωματίδια και σε άλλα συστατικά. Επίσης επηρεάζεται σε αξιόλογο βαθμό και από άλλους προβλεπόμενους ή απρόβλεπτους παράγοντες, όπως οι ηλιακές κηλίδες και εκρήξεις, η ατμοσφαιρική ρύπανση κ.λ.π.

Ο σημαντικότερος παράγοντας που διαμορφώνει την ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας είναι η θέση του ήλιου σε σχέση με το σημείο της γης που δέχεται την ακτινοβολία. Κατά τη διάρκεια μιας χρονιάς, η θέση του ήλιου παίρνει πολύ διαφορετικές τιμές, σαν αποτέλεσμα της μεταβολής της απόκλισης, δηλαδή της γωνίας που σχηματίζεται ανάμεσα στην ευθεία που ενώνει το κέντρο της γης με το κέντρο του ήλιου, και στο επίπεδο του ισημερινού. Κάθε μέρα ο ήλιος διαγράφει μια κυκλική τροχιά στο διάστημα και φτάνει το μεγαλύτερό του ύψος το μεσημέρι. Οι τιμές της απόκλισης του ήλιου είναι θετικές για το βόρειο ημισφαίριο και αρνητικές για το νότιο. Οι ακραίες τιμές είναι +23,450 στις 21 Ιουνίου (θερινό ηλιοστάσιο για το βόρειο ημισφαίριο) και - 23,450 στις 21 Δεκεμβρίου (χειμερινό ηλιοστάσιο). Όπως προχωράμε προς την άνοιξη και το καλοκαίρι, οι κυκλικές τροχιές διαγράφονται βορειότερα στον ουρανό, με νωρίτερη ανατολή και αργότερη δύση στο βόρειο ημισφαίριο, ενώ τον χειμώνα συμβαίνει το αντίθετο.



Εικόνα 17 : Ισημερίες και ηλιοστάσια [15]

Το χειμώνα ανατέλλει νότια της ανατολής, ενώ το καλοκαίρι βόρεια. Παράλληλα, διαμορφώνονται οι αντίστοιχες μετεωρολογικές και κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν στις διάφορες εποχές του έτους.

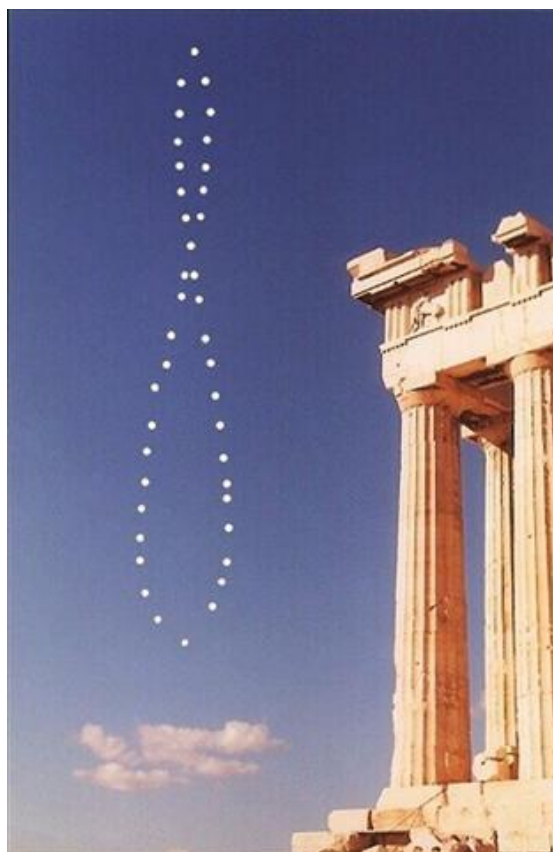


Εικόνα 18 : Η τροχιά του ήλιου

Ιδιαίτερα χρήσιμα μεγέθη για τη γενική εκτίμηση της καθημερινής και της εποχιακής διακύμανσης της ακτινοβολίας σε έναν τόπο, είναι η θεωρητική ηλιοφάνεια, δηλαδή το χρονικό διάστημα από την ανατολή μέχρι τη δύση του ήλιου, καθώς και η μέση πραγματική ηλιοφάνεια που δείχνει τον μέσο όρο των ωρών που ο ήλιος δεν καλύπτεται από σύννεφα. Επίσης, αριθμός των ηλιοφεγγών ημερών, στη διάρκεια των οποίων ο ήλιος δεν καλύπτεται καθόλου από σύννεφα, καθώς και των ανήλιων ημερών, που ο ήλιος καλύπτεται από σύννεφα σε ολόκληρο το διάστημα της ημέρας.

Η πραγματική θέση του ήλιου στον ουρανό εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος του παρατηρητή ενός τόπου και περιγράφεται συνήθως με δύο γωνίες(συντεταγμένες) : το ύψος του ήλιου (h) και το αζιμούθιο(α). Το ύψος του ήλιου είναι η γωνιακή του απόσταση από τον ορίζοντα του τόπου. Μετράται επί του κατακόρυφου κύκλου του ήλιου από τον ορίζοντα έως το ζενίθ, από 0° έως 90° και συμβολίζεται με h . Αντί για το ύψος, χρησιμοποιείται επίσης συχνά η συμπληρωματική της γωνία, δηλαδή η γωνία ανάμεσα στην κατεύθυνση του ήλιου και στη κατακόρυφο, που ονομάζεται ζενιθιακή απόσταση (ή ζενιθιακή γωνία) του ήλιου. Ζενίθ είναι το σημείο του ουρανού που συναντά η κατακόρυφος ενός τόπου.

Η δεύτερη χαρακτηριστική γωνία του ήλιου, το ηλιακό αζιμούθιο, είναι η γωνιακή απόσταση από τον ορίζοντα, με αρχή τον βορρά προς ανατολάς και τέλος τον κατακόρυφο κύκλο του ήλιου. Συμβολίζεται με α και μετράται από 0° έως 360° . Προς τα δεξιά από τον νότο, το ηλιακό αζιμούθιο παίρνει θετικές τιμές, και προς τα αριστερά αρνητικές. Κατά τη διάρκεια της ημέρας, το ύψος του ήλιου και το αζιμούθιο μεταβάλλονται συνεχώς καθώς ο ήλιος διατρέχει τον ουρανό.

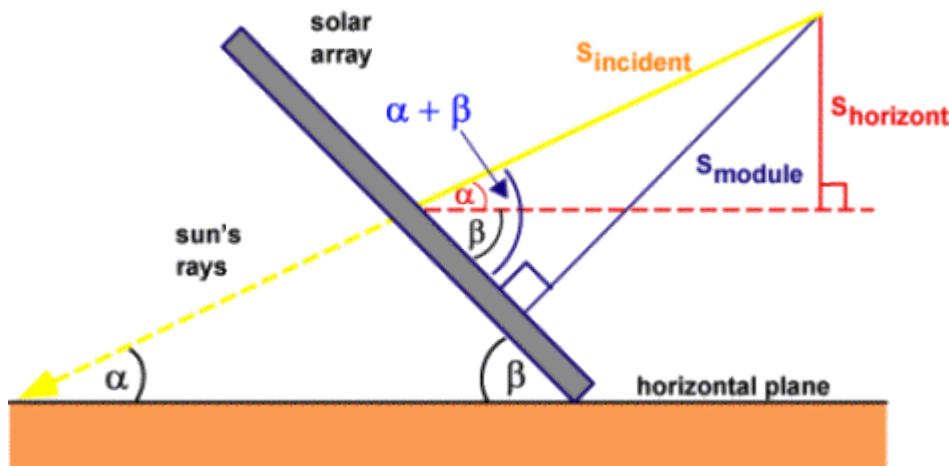


Εικόνα 19 : Ηλιοστάσιο

1.8 Προσανατολισμός φωτοβολταϊκών - Συστήματα κινητής βάσης (Tracker)

Από τα παραπάνω στοιχεία που αναφέρονται καταλαβαίνουμε πως για να βελτιώσουμε την απόδοση των φωτοβολταϊκών υπάρχουν δύο τρόποι. Μέσω της βελτίωσης των υλικών τους ώστε αυτά να φτάσουν σε μεγαλύτερα ποσοστά απόδοσης πέραν του 24-25%, πράγμα το οποίο είναι αρκετά χρονοβόρο μιας και απαιτείται πειραματισμός ώστε να οδηγηθούμε σε νέες τεχνολογίες υλικών και ασφαλή συμπεράσματα τα οποία θα μπορούν να εφαρμοστούν στην πράξη. Είτε μέσω της εκμετάλλευσης και εφαρμογής υπάρχουσας τεχνολογίας και τεχνογνωσίας ώστε να βελτιώσουμε περαιτέρω την απόδοση των φωτοβολταϊκών.

Βλέπουμε λοιπόν πως πέρα από την διαρκή έρευνα πάνω στον τομέα της βελτίωσης των υλικών των φωτοβολταϊκών υπάρχει παράλληλη και διαρκής έρευνα ώστε να βελτιωθεί ο τρόπος εκμετάλλευσης των σημερινών δυνατοτήτων της παραγωγής ενέργειας μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου. Γνωρίζουμε λοιπόν πως ένας πολύ σημαντικός παράγοντας που παίζει σημαντικό ρόλο στην απόδοση των φωτοβολταϊκών είναι ο προσανατολισμός των πάνελ πάνω στα οποία εδράζονται. Ανάλογα με την τοποθεσία των φωτοβολταϊκών πάνω στην γή θα πρέπει να υπάρχει και ο ανάλογος μελετημένος προσανατολισμός ώστε να υπάρχει όσο το δυνατόν μεγαλύτερη μέση απόδοση κατά τη διάρκεια της ημέρας.



Εικόνα 20 : Γεωμετρική απεικόνιση ακτίνα φωτός και φωτοβολταϊκού πάνελ.

Στην Ελλάδα ο πιο συνηθισμένος προσανατολισμός είναι Νότιος Νοτιο-Ανατολικός. Βέβαια αναλόγως το γεωγραφικό ανάγλυφο και την περιοχή εφαρμόζονται διαφορετικοί προσανατολισμοί ώστε να διατηρείται σε ικανοποιητικά επίπεδα η μέση απόδοση ενός φωτοβολταϊκού συνόλου. Πολλές φορές συναντάμε

διαφορετικούς προσανατολισμούς ακόμα και σε μία ομάδα φωτοβολταϊκών πάνελ ώστε να καλυφθούν όσο το δυνατόν περισσότερες κλίσεις στις οποίες μεγιστοποιείται η απόδοση μιας και όσο πιο κάθετη είναι η κλίση ως προς τον ήλιο τόσο μεγαλύτερη απόδοση επιτυγχάνεται.

Έτσι λοιπόν τα τελευταία χρόνια κάνουν την εμφάνισή τους φωτοβολταϊκά πάνελ με συστήματα κινητής βάσης τα οποία έχουν σαν σκοπό την βελτιστοποίηση της απόδοσής τους μιας και προγραμματίζονται έτσι ώστε να "ακολουθούν" τον ήλιο άλλες φορές ως προς τον οριζόντιο άξονα και άλλες φορές ως προς τον κάθετο άξονα. Τελευταία εφαρμόζονται και οι δυο κινήσεις, εμφανίζονται συστήματα κινητής βάσης (tracker) με δύο βαθμούς ελευθερίας αν θεωρήσουμε την κατασκευή σαν ένα σύστημα κινήσεων.



Εικόνα 21 : Φωτοβολταϊκό πάνελ με σύστημα κινητής βάσης δύο βαθμών ελευθερίας

Ένα τέτοιο σύστημα χρησιμοποιείται ώστε να εξαλείψει την διαφορά στην κλίση μεταξύ των ηλιακών ακτίνων και την επιφάνεια του φωτοβολταϊκού πάνελ με σκοπό την μέγιστη δυνατή απόδοση του συστήματος. Τα τελευταία χρόνια υπολογίζεται ότι η χρήση συστημάτων κινητών βάσεων σε εγκαταστάσεις παραγωγής ρεύματος μέσω φωτοβολταϊκών πάνελ μεγαλύτερης του 1MWatt ξεπερνά το 85% [1].

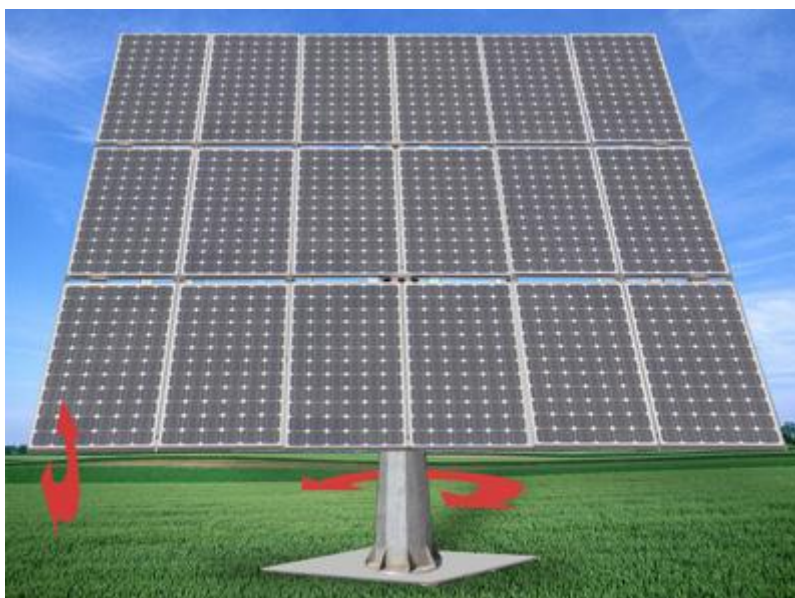
Το φως του ήλιου έχει δύο συνιστώσες, την "άμεση δέσμη" που μεταφέρει περίπου το 90% της ηλιακής ενέργειας, και την διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία που μεταφέρει το υπόλοιπο. Το ποσοστό που διάχεται στο μπλε του ουρανού σε μια καθαρή ημέρα και αυξάνεται αναλογικά και σε συννεφιασμένες μέρες. Δεδομένου ότι το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας είναι στην άμεση δέσμη φωτός, μεγιστοποιώντας τη συλλογή απαιτεί τον ήλιο να είναι ορατός στα πάνελ όσο το δυνατόν περισσότερο.

Για παράδειγμα, trackers που έχουν ακρίβεια της τάξης του $\pm 5^\circ$ μπορεί να προσφέρουν μεγαλύτερη από 99,6% της ενέργειας που παρέχεται από την άμεση δέσμη συν το 100% του διάχυτου φωτός. Ως αποτέλεσμα, η υψηλή ακρίβεια εντοπισμού δεν χρησιμοποιείται συνήθως σε μη συγκέντρωτικές εφαρμογές φωτοβολταϊκών.

Ο ήλιος ταξιδεύει 360 μοίρες ανατολικά προς τα δυτικά την ημέρα, αλλά από τη σκοπιά της κάθε σταθερής θέσης το ορατό τμήμα είναι 180 μοίρες κατά τη διάρκεια

μιας μέσης περιόδου μισής ημέρας (περισσότερο την άνοιξη και το καλοκαίρι, λιγότερο το φθινόπωρο και το χειμώνα). Ένα ηλιακό πάνελ σε ένα σταθερό προσανατολισμό μεταξύ της αυγής και του ηλιοβασιλέματος θα δούμε μια κίνηση 75 μοίρες προς κάθε πλευρά, και ως εκ τούτου, θα χάσει το 75% της ενέργειας το πρωί και το βράδυ. Περιστροφή των πάνελ προς τα ανατολικά και δυτικά μπορεί να βοηθήσει στην ανάκτηση των ζημιών αυτών.

Ένα tracker που περιστρέφεται στην κατεύθυνση ανατολής-δύσης είναι γνωστό ως tracker ενός βαθμού ελευθερίας. Ο ήλιος κινείται επίσης με 46 μοίρες βόρεια και νότια κατά τη διάρκεια ενός έτους. Το ίδιο σύνολο των τμημάτων τα οποία στο μέσο μεταξύ των δύο τοπικών ακρότατων δίνει κίνηση στον ήλιο 23 μοίρες σε κάθε πλευρά, προκαλώντας απώλειες 8,3%. Ένα tracker που υπολογίζει τόσο τις καθημερινές όσο και τις εποχιακές κινήσεις είναι γνωστό ως tracker δύο βαθμών ελευθερίας. Σε γενικές γραμμές, οι απώλειες που οφείλονται σε εποχιακές αλλαγές γωνίας περιπλέκονται από τις αλλαγές στη διάρκεια της ημέρας, γι'αυτό και υπάρχει αυξημένη απόδοση σε νότια ή βόρεια γεωγραφικά πλάτη. Από αυτό συμπεραίνουμε ότι είναι προτιμότερο οι κλίσεις να υπολογίζονται σύμφωνα με το θερινό ηλιοστάσιο και όχι με το χειμερινό. Υπάρχει σημαντική διαφωνία στη βιομηχανία κατά πόσον η μικρή διαφορά στις ετήσιες απώλειες μεταξύ πάνελ με συστήματα κινητής βάσης ενός βαθμού ελευθερίας σε σχέση με την αυξημένη πολυπλοκότητα ενός συστήματος δύο βαθμών ελευθερίας αξίζει τον κόπο. Μια πρόσφατη ανασκόπηση των πραγματικών στατιστικών στοιχείων παραγωγής από το νότιο Οντάριο παρουσιάζει ότι η διαφορά ήταν περίπου 4% του συνόλου, η οποία ήταν πολύ λιγότερη από ότι το πρόσθετο κόστος του συστήματος με δύο βαθμούς ελευθερίας. Η βελτίωση τέλος ενός συστήματος κινητής βάσης και ενός σταθερού είναι περίπου 24-32% στην συνολική απόδοση σε διάρκεια ενός έτους.



Εικόνα 22 : Φοτοβολταϊκό πάνελ με σύστημα κινητής βάσης δύο βαθμών ελευθερίας μεγάλης κλίμακας

2.Κατασκευή

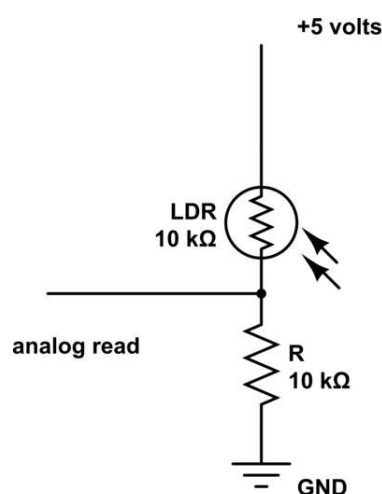
Η πτυχιακή εργασία έχει τίτλο "ευφύες φωτοβολταϊκό σύστημα" και πρόκειται για ένα φωτοβολταϊκό σύστημα κινητής βάσης με δύο βαθμούς ελευθερίας που έχει την δυνατότητα μέσω των κατάλληλων αισθητηρίων να προσανατολίζεται προς την βέλτιστη θέση ώστε να έχει την μεγαλύτερη δυνατή απόδοση. Επιπρόσθετα είναι ενεργειακά αυτόνομο για της ανάγκες της κίνησης του συστήματος καθώς αποθηκεύει της ενέργεια που παράγει σε μπαταρία. Το σύστημα αποτελείται από ένα σύνολο αισθητηρίων που μετρούν φωτεινότητα τα οποία οδηγούνται στον κεντρικό επεξεργαστή ο οποίος είναι προγραμματισμένος αναλόγως των τιμών που λαμβάνει να εκτελεί και διαφορετικά σενάρια ώστε να κινεί κατάλληλα τους σερβοκινητήρες που κινούν την κατασκευή πάνω στην οποία βρίσκεται τοποθετημένο το φωτοβολταϊκό πάνελ.

2.1 Κύρια μέρη

2.1.1 Αισθητήρια

Τα αισθητήρια παίζουν πρωταρχικό ρόλο στην κατασκευή μιας και είναι υπεύθυνα για την μέτρηση της φωτεινότητας στον χώρο και ουσιαστικά αποτελούν τα "μάτια" της κατασκευής.

Πρόκειται για έναν διαιρέτη τάσης μόνο που αντί για χρήση δύο αντιστάσεων έχει γίνει χρήση μίας φωτοαντίστασης $10\text{K}\Omega$ και μίας αντίστασης $10\text{K}\Omega$. Μια φωτοαντίσταση είναι μια αντίσταση της οποίας η τιμή μειώνεται με την αύξηση του φωτός που προσπίπτει στην επιφάνεια της. Μια φωτοαντίσταση φτιάχνεται από υψηλής αντίστασης ημιαγωγούς. Αν πέσει φως στην συσκευή, με αρκετά υψηλή συχνότητα, τότε φωτόνια απορροφούνται από τον ημιαγωγό και δεσμευμένα ηλεκτρόνια αποκτούν αρκετή ενέργεια, ώστε να αποσπαστούν από τα άτομα που τα δεσμεύουν. Τα ελεύθερα ηλεκτρόνια που δημιουργούνται άγουν ρεύμα και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση της αντίστασης. Με τις φωτοαντιστάσεις είναι εφικτή η κατασκευή αισθητήρων φωτός.

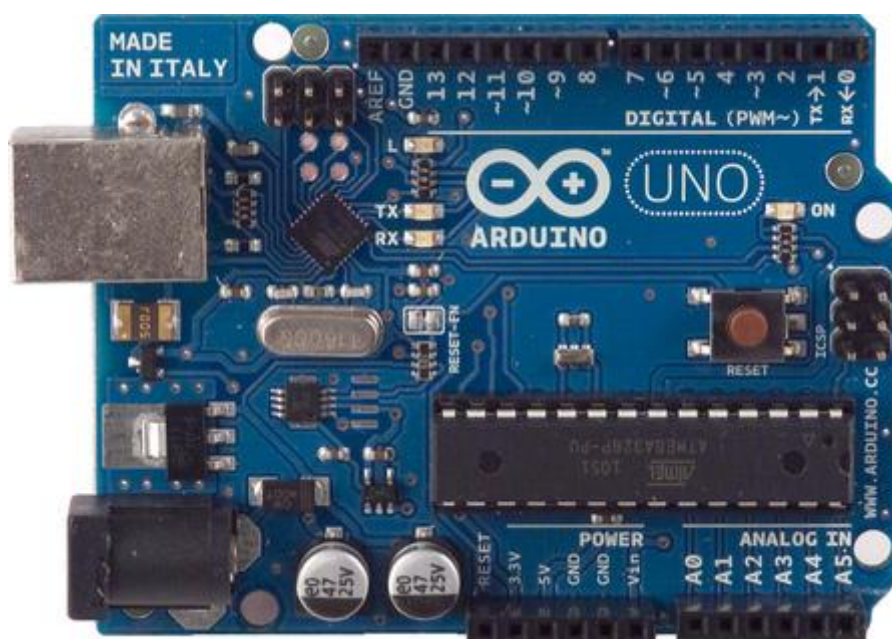


Σχήμα 1 : Κύκλωμα αισθητήριου φωτεινότητας

2.1.2 Μικροελεγκτής

Ο επεξεργαστής που επιλέχθηκε είναι ο Arduino Uno R2 και αποτελεί το κυριότερο μέρος της κατασκευής μας και μέσω αυτού ελέγχονται όλες οι παράμετροι των αισθητήρων φωτός και αναλόγως οδηγεί τα κατάλληλα σήματα στους σερβοκινητήρες που κινούν την κατασκευή. Το Arduino είναι μια «ανοικτού κώδικα» πλατφόρμα «πρωτοτυποποίησης» ηλεκτρονικών βασισμένη σε ευέλικτο και εύκολο στη χρήση hardware και software. Στην ουσία, πρόκειται για ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα που βασίζεται στον μικροελεγκτή ATmega 328 της Atmel και του οποίου όλα τα σχέδια, καθώς και το software που χρειάζεται για την λειτουργία του, διανέμονται ελεύθερα και δωρεάν ώστε να μπορεί να κατασκευαστεί από τον καθένα.

Το Arduino βέβαια, δεν είναι ούτε ο μοναδικός, ούτε και ο καλύτερος δυνατός τρόπος για την δημιουργία μιας οποιασδήποτε διαδραστικής ηλεκτρονικής συσκευής. Όμως το κύριο πλεονέκτημά του είναι η τεράστια κοινότητα που το υποστηρίζει και η οποία έχει δημιουργήσει, συντηρεί και επεκτείνει μια ανάλογο μεγέθους online γνωσιακή βάση [16].



Εικόνα 23 : Μικροελεγκτής Arduino Uno R2

Το Arduino βασίζεται στον ATmega328, έναν 8-bit RISC μικροελεγκτή, τον οποίο χρονίζει στα 16MHz. Ο ATmega328 διαθέτει ενσωματωμένη μνήμη τριών τύπων:

- 2Kb μνήμης SRAM που είναι η ωφέλιμη μνήμη που μπορούν να χρησιμοποιήσουν τα προγράμματά σας για να αποθηκεύουν μεταβλητές, πίνακες κ.λπ. κατά το runtime. Όπως και σε έναν υπολογιστή, αυτή η μνήμη χάνει τα δεδομένα της όταν η παροχή ρεύματος στο Arduino σταματήσει ή αν γίνει reset.
- 1Kb μνήμης EEPROM η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για «ωμή» εγγραφή/ανάγνωση δεδομένων (χωρίς datatype) ανά byte από τα προγράμματά σας κατά το runtime. Σε αντίθεση με την SRAM, η EEPROM δεν χάνει τα περιεχόμενά της με απώλεια τροφοδοσίας ή reset οπότε είναι το ανάλογο του σκληρού δίσκου.
- 32Kb μνήμης Flash, από τα οποία τα 2Kb χρησιμοποιούνται από το firmware του Arduino που έχει εγκαταστήσει ήδη ο κατασκευαστής του. Το firmware αυτό που στην ορολογία του Arduino ονομάζεται bootloader είναι αναγκαίο για την εγκατάσταση των δικών σας προγραμμάτων στον μικροελεγκτή μέσω της θύρας USB, χωρίς δηλαδή να χρειάζεται εξωτερικός hardware programmer. Τα υπόλοιπα 30Kb της μνήμης Flash χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση αυτών ακριβώς των προγραμμάτων, αφού πρώτα μεταγλωττιστούν στον υπολογιστή σας. Η μνήμη Flash, όπως και η EEPROM δεν χάνει τα περιεχόμενά της με απώλεια τροφοδοσίας ή reset. Επίσης, ενώ η μνήμη Flash υπό κανονικές συνθήκες δεν προορίζεται για χρήση runtime μέσα από τα προγράμματά σας, λόγω της μικρής συνολικής μνήμης που είναι διαθέσιμη σε αυτά (2Kb SRAM + 1Kb EEPROM), έχει σχεδιαστεί μια βιβλιοθήκη που επιτρέπει την χρήση όσου χώρου περισσεύει (30Kb μείον το μέγεθος του προγράμματός σας σε μεταγλωττισμένη μορφή) [16].

2.1.3 Ενεργοποιητές

Βασικό κομμάτι ολόκληρης της κατασκευής αποτελούν οι ενεργοποιητές και στην συγκεκριμένη περίπτωση σερβοκινητήρες οι οποίοι δίνουν κίνηση στην κατασκευή. Οι σερβοκινητήρες μας παρέχουν ακρίβεια θέσης για κυκλικές κινήσεις. Αποτελούνται από έναν κινητήρα ο οποίος είναι τοποθετημένος σε έναν αισθητήρα θέσεως ο οποίος λειτουργεί αναδραστικά μαζί με έναν μειωτήρα σχέσεως μετάδοσης.

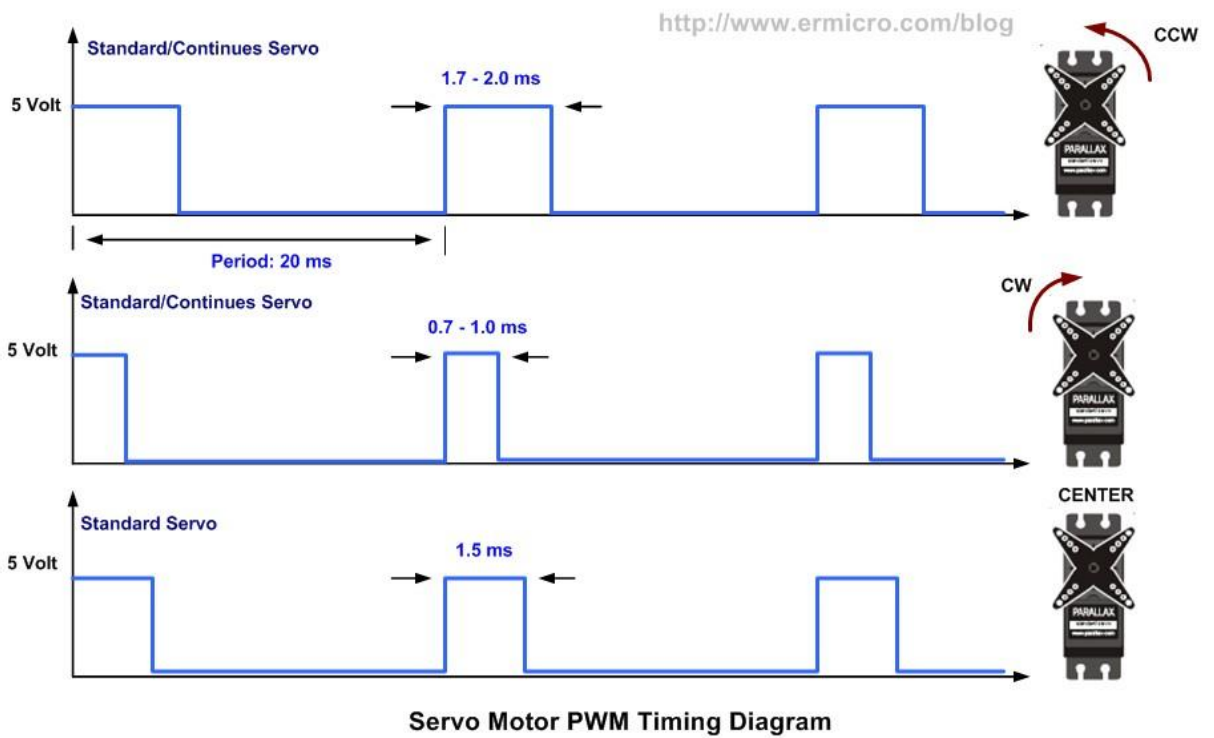
Όπως υποδηλώνει το όνομα, ένα σερβοκινητήρας είναι ένα σερβομηχανισμός. Πιο συγκεκριμένα, πρόκειται για έναν κλειστού βρόχου σερβομηχανισμό που χρησιμοποιεί για έλεγχο ανάδραση θέσεως. Για τον έλεγχο αυτό χρησιμοποιείται ένα ποτενσιόμετρο που μετρά την θέση του κινητήρα.



Εκόνα 24 : Τομή σερβοκινητήρα

Για να ελέγξουμε την κίνηση ενός σερβοκινητήρα μεταβάλλουμε την διάρκεια του ηλεκτρικού παλμού που στέλνουμε σαν είσοδο. Όσο αυξομειώνουμε την διάρκεια του παλμού που στέλνουμε ο σερβοκινητήρας συμπεριφέρεται διαφορετικά, αυτή η διαδικασία ονομάζεται διαμόρφωση πλάτους παλμού (PWM -Pulse Width Modulation).

Έτσι καταφέρνουμε να κινούμε για όσο διάρκεια θέλουμε τον σερβοκινητήρα δεξιόστροφα ή αριστερόστροφα.



Εικόνα 25 : Διάγραμμα διαμόρφωσης πλάτους παλμού σερβοκινητήρα

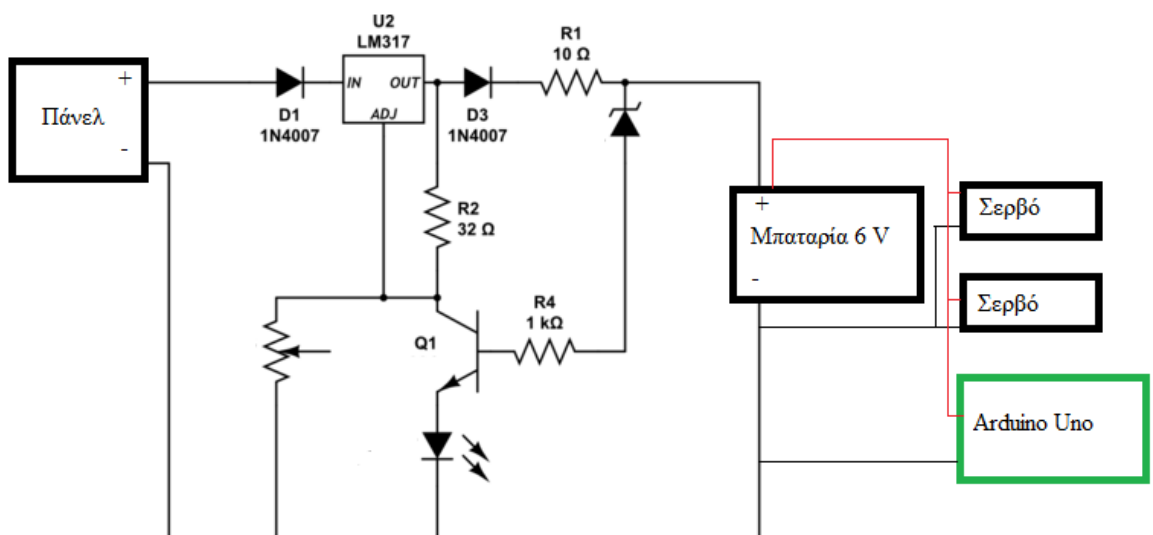
Συγκεκριμένα στην κατασκευή έχουν χρησιμοποιηθεί δύο σερβοκινητήρες της Hitec και με κωδικό μοντέλου HS-311.



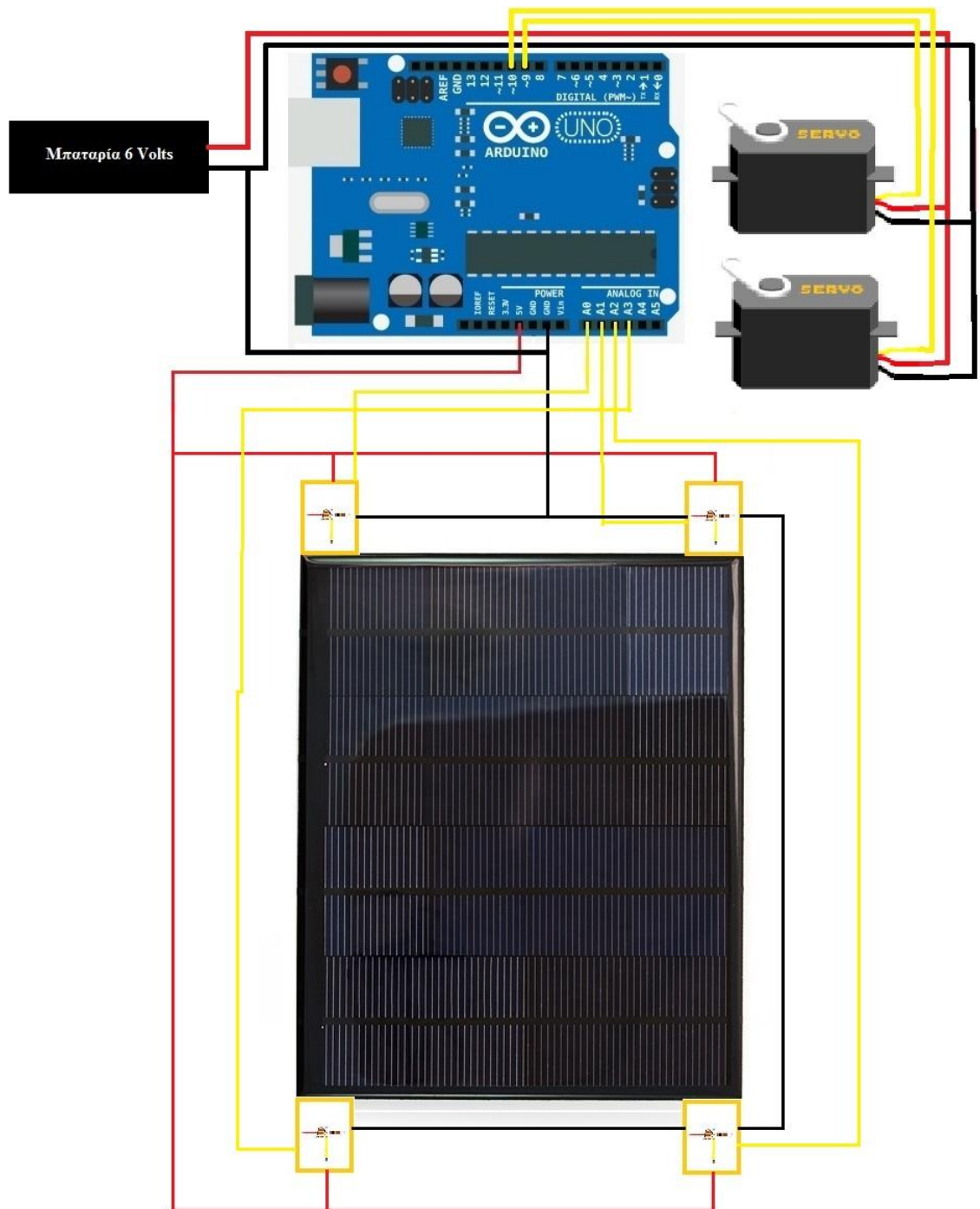
Εικόνα 26 : Σερβοκινητήρας Hitec HS-311

2.1.4 Κύκλωμα Φορτισης - Απομόνωσης

Σκοπός της κατασκευής είναι η βέλτιστη απόδοση του φωτοβολταϊκού πάνελ το οποίο έχει σαν αποτέλεσμα την μεγαλύτερη παραγωγή ρεύματος. Λαμβάνοντας υπ'όψιν ότι το σύστημα θα πρέπει να είναι ενεργειακά αυτόνομο έγινε χρήση μίας μπαταρίας των 6 Volts και ρυθμού φόρτισης 1600 mAh, η οποία φορτίζεται μέσω την ενέργειας που παράφεται από το φωτοβολταϊκό πάνελ. Επιπρόσθετα η ενέργεια που χρειάζονται οι σερβοκινητήρες για να λειτουργήσουν καθώς και ο μικροελεγκτής προέρχεται από το συγκεκριμένο κύκλωμα. Τέλος έχει γίνει πρόβλεψη έτσι όταν η μπαταρία φορτίσει πλήρως να ανάβει μία φωτοдиодος.



Σχήμα 2 : Κύκλωμα Φορτισης - Απομόνωσης



Σχήμα 3 : Κύκλωμα κατασκευής

2.2 Πρόγραμμα - Σενάριο λειτουργίας

2.2.1 Σενάριο λειτουργίας

Το φωτοβολταϊκό πάνελ εδράζεται σε μία μεταλλική κατασκευή πάνω στην οποία είναι τοποθετημένοι και οι σερβοκινητήρες που δίνουν κίνηση στο σύστημα. Στις τέσσερις γωνίες του φωτοβολταϊκού πάνελ είναι τοποθετημένα τα αισθητήρια που μετρούν την φωτεινότητα στο περιβάλλον. Έτσι λοιπόν μέσω συγκρίσεων που γίνονται μεταξύ των τιμών που καταχωρούνται από τα αισθητήρια στον μικροελεγκτή γίνονται οι κατάλληλες κινήσεις μέσω των σερβοκινητήρων ώστε το πάνελ να βρίσκεται στην βέλτιστη θέση σε σχέση με την θέση του ήλιου. Για παράδειγμα αν στην διάρκεια της κίνησης του ήλιου προς την μεσηβρινή θέση αντίστοιχα τα αισθητήρια της πάνω και δεξιάς πλευράς θα λάβουν μεγαλύτερες τιμές οπότε και θα δοθεί εντολή από τον μικροελεγκτή στους σερβοκινητήρες να κινηθούν προς την βέλτιστη θέση. Επιπρόσθετα το πρόγραμμα ελέγχει τις ακραίες θέσεις των σερβοκινητήρων που για την κάθετη κίνηση έχουν θέσεις από 0 - 90 μοίρες και για την οριζόντια από 0 - 180 μοίρες. Όταν λάβει την βέλτιστη θέση την διατηρεί χωρίς να κινείται περαιτέρω μέσω ενός εύρους τιμών από τα αισθητήρια πράγμα πολ'ύ σημαντικό για την κατανάλωση ενέργειας των σερβοκινητήρων.

2.2.2 Πρόγραμμα

```
#include <Servo.h>

Servo horizontal;
int servoh = 90;

Servo vertical;
int servov = 90;

// LDR pin connections
// name = analogpin;
int ldrlt =A 0; //LDR πανω αριστερα
int ldrrt =A 1; //LDR πανω δεξια
int ldrlb = A 2; //LDR κατω αριστερα
int ldrrb = A 3; //ldr κατω δεξια
```

Γίνεται η αρχικοποίηση του προγράμματος όπου ορίζονται η βιβλιοθήκη από όπου θα αντλήσει τις εντολές που αφορούν στους σερβοκινητήρες, οι ακέραιες μεταβλητές servoh και servov καθώς και η αρχική θέση των σερβοκινητήρων στις 90 μοίρες. Τέλος ορίζονται οι ακροδέκτες και οι ακέραιες μεταβλητές στις οποίες συνδέονται τα αισθητήρια της φωτομέτρησης.

```
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  // servo connections
  // name.attach(pin);
  horizontal.attach(9);
  vertical.attach(10);
}
```

Στον βρόγχο αυτό του προγράμματος γίνεται η αρχικοποίηση της σειριακής επικοινωνίας και συγκεκριμένα ο ρυθμός μετάδοσης των δεδομένων της στα 9600 bps. Έπειτα ορίζονται οι ακροδέκτες στους οποίους συνδέονται οι σερβοκινητήρες δηλαδή για τον σερβοκινητήρα που ελέγχει την οριζόντια θέση συνδέεται στον ακροδέκτη 9 και για τον σερβοκινητήρα που ελέγχει την κλίση του πάνελ συνδέεται στον ακροδέκτη 10.

```
void loop()
{
```

```
int paristera = analogRead(ldr1t);  
int pdexia = analogRead(ldr1r);  
int karistera = analogRead(ldr2l);  
int kdexia = analogRead(ldr2r);
```

Σε αυτό το κομμάτι του κώδικα καταχωρούνται σε ακέραιες μεταβλητές οι τιμές που διαβάζονται στους ακροδέκτες του ελεγκτή ώστε να αποθηκευτούν και χρησιμοποιηθούν για να γίνει επεξεργασία τους αργότερα μέσα στο πρόγραμμα.

```
int mopanw = (paristera + pdexia) / 2;  
int mokatw = (karistera + kdexia) / 2;  
int moaristera = (paristera + karistera) / 2;  
int modexia = (pdexia + kdexia) / 2;  
int dvert = mopanw - mokatw;  
int dhoriz = moaristera - modexia;
```

Στον τομέα αυτό βάσει των τιμών που έχουν καταχωρηθεί στις ακέραιες μεταβλητές δημιουργούνται νέες μεταβλητές στις οποίες καταχωρούνται οι μέσοι όροι συγκρίσεων μεταξύ των αισθητηρίων ανάλογα την θέση στην οποία βρίσκονται. Αρχικά ο μέσος όρος των πάνω αισθητηρίων, αμέσως μετά ο μέσος όρος των κάτω αισθητηρίων, ακολουθεί ο μέσος όρος των αισθητηρίων που βρίσκονται αριστερά και έπειτα ο μέσος όρος των αισθητηρίων που βρίσκονται δεξιά. Τέλος για να καταχωρούνται στο dvert και στο dhoriz οι διαφορές των μέσων όρων για τις οριζόντιες και κάθετες διαφορές των μέσων όρων των αισθητηρίων. Βάσει των παραπάνω ακεραίων μεταβλητών γίνονται όλες οι συγκρίσεις που καθορίζουν τις αποφάσεις του προγράμματος.

```

if (-1*30 > dvert || dvert > 30)
if (mopanw > mokatw)
{
servov = ++servov;
if (servov > 90)
{
servov = 90;
}
}
else if (mopanw < mokatw)
{
servov = --servov;
if (servov < 0)
{
servov = 0;
}
}
vertical.write(servov);
}

```

Το παραπάνω if loop αφορά αποκλειστικά στην κίνηση ως προς τον κάθετο άξονα κίνησης. Ξεκινά με μία σύγκριση τιμών στην διαφορά dvert και αναλόγως την διαφορά ακολουθεί διαφορετικές αποφάσεις. Εάν υπάρχει διαφορά μεγαλύτερη των οριακών τιμών που έχουμε ορίσει ξεκινά μια σύγκριση μεταξύ των πάνω και των κάτω αισθητηρίων ώστε να δοθεί η αντίστοιχη εντολή στους σερβοκινητήρες. Τέλος υπάρχουν οριακές θέσεις για τουε σερβοκινητήρες που ελέγχονται μεσα στον βρόγχο ώστε να μην ξεπεραστούν.

```

if (-1*30 > dhoriz || dhoriz > 30)
{
if (moaristera > modexia)
{
servoh = --servoh;
if (servoh < 0)
{
servoh = 0;
}
}
else if (moaristera < modexia)
{
servoh = ++servoh;
}
}

```

```

if (servoh > 180)
{
servoh = 180;
}
}
else if (moaristera = modexia)
{
}
horizontal.write(servoh);
}
}

```

Το τελευταίο if loop ελέγχει την κίνηση στον οριζόντιο άξονα κίνησης του συστήματος. Ξεκινά και αυτό με μία σύγκριση τιμών στην διαφορά dhoriz αυτή τη φορά ώστε να ελέγξει αν θα πρέπει να κινηθεί ο σερβοκινητήρας ώστε να διορθώσει την θέση του φωτοβολταϊκού πάνελ. Όταν γίνει η σύγκριση και πρέπει να κινηθεί πλέον περνά σε έλεγχο των τιμών του μέσου όρου μεταξύ των αισθητηρίων που βρίσκονται στην δεξιά και την αριστερή πλευρά του πάνελ. Ταυτόχρονα ελέγχει τις ακραίες θέσεις που μπορεί να βρίσκονται οι σερβοκινητήρες μεταξύ 0 και 180 μοιρών.

3.Συμπεράσματα - Βελτιώσεις και επεκτάσεις

3.1 Συμπεράσματα

Συνοψίζοντας μέσα από την εκπόνηση της πτυχιακής εργασίας προκύπτουν συγκεκριμένα συμπεράσματα. Η χρήση συστημάτων κινητής βάσης ακόμη και ενός βαθμού ελευθερίας τα καθιστά απαραίτητα σε φωτοβολταϊκές εφαρμογές που σκοπό έχουν τη μέγιστη απόδοση. Ακόμη δε περισσότερο τη στιγμή που οι τελευταίες εξελίξεις στον τομέα των πολυστρωματικών φωτοβολταϊκών αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι των συστημάτων και αυτό γιατί παρατηρούμε πως η απόδοση αυξάνεται σε ποσοστά από 20 έως και 40%. Σε περιπτώσεις ακόμη μικρότερων συνόλων παραγωγής ενέργειας τα ευφυή φωτοβολταϊκά πάνελ μειώνουν τον χώρο και γίνονται πιο αποδοτικά με μικρότερη δαπανώμενη επιφάνεια.

Η ύπαρξη των σερβοκινητήρων και η δυνατότητα κίνησης αποκτά ακόμα μεγαλύτερη σημασία όταν αναφερόμαστε στην ανθεκτικότητα και την παθητική ασφάλεια που μπορεί να έχει ένα φωτοβολταϊκό πάνελ μέσω των θέσεων που μπορεί να λάβει. Για παράδειγμα σε περιπτώσεις ισχυρών ανέμων είτε σε περιπτώσεις χαλαζόπτωσης οι οποίες μπορεί να φθείρουν και σε κάποιες περιπτώσει να καταστρέψουν τα πάνελ.

3.2 Βελτιώσεις και επεκτάσεις

Η πτυχιακή εργασία είχε σαν σκοπό την δημιουργία ενός μοντέλου ευφούς φωτοβολταϊκού πάνελ με σκοπό την βελτίωση της απόδοσής του σε σχέση με μία σταθερή κατασκευή.

Συγκεκριμένα βελτιώσεις θα μπορούσαν αρχικά να γίνουν στην διάταξη των σερβοκινητήρων μιάς και μπορούν να χρησιμοποιηθούν συστήματα κίνησης τα οποία μέσω γραναζιών κάνουν την κατασκευή να μπορεί να κινηθεί με έναν κινητήρα.

Ο μικροελεγκτής του συστήματος μπορεί να αντικατασταθεί με άλλους με μεγαλύτερη δυνατότητα εξωτερικών συνδέσεων, χαμηλότερου κόστους ή σε κάποιες περιπτώσεις με μεγαλύτερη επεξεργαστική ισχύ.

Τα αισθητήρια μπορούν να εμπλουτιστούν με χρήση καταλλήλων όπως για παράδειγμα προστασία από έντονα καιρικά φαινόμενα. Έτσι μέσω αιθητηρίων μέτρησης της ταχύτητας του αέρα μπορούμε να προγραμματίσουμε έτσι ώστε το φωτοβολταϊκό πάνελ να πέρνει κλίση απολύτως οριζόντια ώστε να μειώνει την επιφάνεια που έρχεται σε επαφή με τον άνεμο άρα να μειώνει και της ανεμοπίεση που δέχεται. Σε περιπτώσεις χαλαζόπτωσης αισθητήρια πίεσης είναι ιδανικά για την εξασφάλιση της ακεραιότητας των φωτοβολταϊκών πάνελ μιας και μπορούμε να προγραμματίσουμε το πάνελ να πέρνει μία απόλυτα κάθετη θέση η οποία θα προστατεύει την επιφάνεια του από χτυπήματα που μπορεί να το φθείρουν και να το καταστρέψουν.

Τέλος μία σημαντική επέκταση που θα μπορούσε να γίνει είναι η εποπτεία του συστήματος μέσω πρωτοκόλλου επικοινωνίας όπως για παράδειγμα μέσω ενός πρωτοκόλλου wi-fi. Σκοπός του η εποπτεία σε πραγματικό χρόνο της συμπεριφοράς του συστήματος και συμπερασματικά των παραμέτρων του. Στην προκειμένη περίπτωση ζωτικής σημασίας παράμετρος είναι η απόδοση του φωτοβολταϊκού πάνελ. Επιπρόσθετα σε περίπτωση οποιασδήποτε δυσλειτουργίας το σύστημα έχει δυνατότητα ειδοποίησης του χρήστη πράγμα το οποίο μπορεί να φανεί ιδιαίτερα χρήσιμο σε τέτοιω είδους συστήματα.

4. Βιβλιογραφία

- [1] <http://www.allaboutenergy.gr/Paragogi321.html>
- [2] Tomas Markvart, (2003), « Ηλεκτρισμός από ηλιακή ενέργεια », Εκδόσεις ΙΩΝ
- [3] <http://www.solcomhouse.com/solarpower.html>
- [4] <http://www.erdgas.gr/iliakixartes.php>
- [5] <http://www.heliergiaphotovoltaic.gr/>
- [6] <http://openwetware.org/wiki/20.309:DiodePrimer>
- [7] <http://www.energotechniki.gr>
- [8] <http://new-electronics.gr>
- [9] <http://www.exelgroup.gr>
- [10] <http://sunnawatt.com>
- [11] <http://www.iliaki.gr>
- [12] <http://www.energotechniki.gr>
- [13] <http://www.almakslasersolution.com>
- [14] <http://panasonic.net>
- [15] <http://blogs.sch.gr>
- [16] <http://arduino.cc>