

ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ



ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΠΑΝΕΛ ΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ
ΚΙΝΗΣΗΣ ΤΟΥ ΗΛΙΟΥ

ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ 1278

ΕΠΙΤΗΡΗΤΗΣ: ΣΤΑΘΑΤΟΣ ΗΛΙΑΣ
ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΕΥΘΥΜΙΟΥ ΛΑΖΑΡΟΣ

11/26/2012

**ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΑΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΦΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΡΙΘΜΟΣ 1278

**ΘΕΜΑ: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΠΑΝΕΛ
ΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΤΟΥ ΗΛΙΟΥ**

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ:

ΕΥΘΥΜΙΟΥ ΛΑΖΑΡΟΣ

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ:

ΣΤΑΘΑΤΟΣ ΗΛΙΑΣ

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα.....	4
Περίληψη.....	6
Κεφάλαιο 1. Φωτοβολταϊκά Συστήματα	
1.1 Εισαγωγή.....	7
1.2 Κατηγορίες.....	9
1.3 Εγκατάσταση και Τοποθέτηση.....	16
1.3.1 Εισαγωγή.....	16
1.3.2 Κίνηση του Ήλιου και Ακτινοβολία.....	20
1.3.3 Εγκατάσταση σε πάρκα και σπίτια.....	25
1.3.4 Φωτοβολταϊκά πάνελ - Συσσωρευτές – Ρυθμιστές Φόρτισης – Inverter.....	29
1.3.5 Καλωδίωση και Ασφάλεια.....	37
1.4 Υβριδικά φωτοβολταϊκά συστήματα.....	39
1.5 Συνδεδεμένα με τη ΔΕΗ.....	41
1.6 Αντικεραυνική Προστασία.....	44
1.7 Συντήρηση και Χρόνος ζωής.....	46
Κεφάλαιο 2. Ανάλυση Συστήματος	
2.1 Εισαγωγή.....	47
2.2 Μηχανολογική ανάλυση.....	49
2.2.1 Κατασκευή συστήματος και μετάδοση κίνησης.....	50
2.2.2 Υλικά και εργαλεία κατασκευής.....	54
2.3 Ηλεκτρολογική ανάλυση	56
2.3.1 Ηλεκτρολογικά υλικά.....	59
2.3.2 Κατασκευή ηλεκτρολογικού σχεδίου (breadboard)	62
2.3.3 Μικροελεγκτής.....	65
2.3.4 Προγραμματισμός μικροελεγκτή	66

Κεφάλαιο 3. Συμπεράσματα & Προτάσεις Βελτίωσης

3.1 Συμπεράσματα.....	74
3.2 Προτάσεις Βελτίωσης.....	76
Βιβλιογραφία.....	77
Παράρτημα: Φύλλα δεδομένων (data sheets).....	78

Περίληψη

Η πτυχιακή εργασία έχει ως κύριο θέμα την σχεδίαση και κατασκευή ηλεκτρομηχανικής διάταξης για κίνηση, σε δυο άξονες (χ, ψ), φωτοβολταϊκού συστήματος με στόχο την μεγιστοποίηση της απόδοσής του. Το φωτοβολταϊκό σύστημα με την χρήση αισθητήρων/φωτοαντιστάσεων (Idr's) και το σύστημα ελέγχου προσανατολίζει το φωτοβολταϊκό πάνελ σε θέση κάθετη στον ήλιο. Η αναφορά μας τόσο στο ηλεκτρολογικό όσο και στο μηχανολογικό τμήμα του συστήματος πραγματοποιείται μέσω πειραματικής διαδικασίας με σκοπό τη μάθηση των συστημάτων αυτοματισμού και την σύγκριση του περιστρεφόμενου συστήματος με σταθερό ηλιακό πάνελ. Η ανάλυση του ηλεκτρολογικού κυκλώματος αποτελεί κύριο τμήμα της εργασίας αυτής και στοχεύει στην βέλτιστη και αποδοτικότερη ηλεκτρολογική διάταξη. Η ανάλυση αυτή περιλαμβάνει τα ηλεκτρολογικά στοιχεία που είναι απαραίτητα για την συνδεσμολογία της ηλεκτρικής πλακέτας καθώς και τον σχεδιασμό της. Επίσης, εκτός από τον έλεγχο υπάρχει αναφορά και στο κινητήριο σύστημα, στην τροφοδοσία του και στον τρόπο ρύθμισης στροφών του. Το μηχανολογικό τμήμα βοηθά στην περάτωση του ηλεκτρολογικού μοντέλου και στη δημιουργία αξιόπιστου συστήματος. Στην ανάλυση του μηχανολογικού τμήματος απεικονίζεται το σχέδιο του περιστρεφόμενου συστήματος μας, τα υλικά που χρησιμοποιούνται, καθώς και το αποδοτικότερο μηχανολογικό σχέδιο για την λιγότερη πιθανή κατανάλωση. Με την διεξαγωγή του πειράματος εξάγουμε την απόδοση του συστήματος καθώς και το οικονομικό όφελος σε μια εγκατάσταση. Ολοκληρώνοντας με βάση τα συμπεράσματα της εργασίας αυτής καταλήγουμε στο γεγονός ότι το περιστρεφόμενο φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελεί αποτελεσματική παραγωγική μονάδα, φιλική προς το περιβάλλον.

Κεφάλαιο 1

Φωτοβολταϊκά Συστήματα

1.1 Εισαγωγή

Το ηλιακό φως (ηλιακή ενέργεια) είναι μικρά πακέτα ενέργειας που ονομάζονται φωτόνια. Τα φωτόνια του ηλιακού φωτός-ενέργειας, περιέχουν διαφορετικά ποσά ενέργειας ανάλογα με το μήκος κύματος του ηλιακού ενεργειακού φάσματος. Το γαλάζιο χρώμα ή το υπεριώδες έχουν περισσότερη ενέργεια από το κόκκινο ή το υπέρυθρο. Όταν λοιπόν τα φωτόνια προσκρούσουν σε ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο (που είναι ουσιαστικά ένας ημιαγωγός), άλλα ανακλώνται, άλλα διαπερνούν και άλλα απορροφώνται από το φωτοβολταϊκό. Αυτά τα τελευταία φωτόνια είναι που παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα (ενέργεια). Τα φωτόνια αυτά αναγκάζουν τα ηλεκτρόνια του φωτοβολταϊκού ή των φωτοβολταϊκών στοιχείων να μετακινηθούν σε άλλη θέση (τις οπές). Η βασική θεωρία του ηλεκτρισμού είναι η κίνηση των ηλεκτρονίων από το θετικό προς το αρνητικό. Σ' αυτή την απλή αρχή της φυσικής βασίζεται μια από τις πιο εξελιγμένες τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρισμού στις μέρες μας.

Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο (pn Solar cell) αφορά τη μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια. Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο που αφορά τα φωτοβολταϊκά (photovoltaic) στοιχεία ανακαλύφθηκε το 1839 από τον Μπεκερέλ (Becquerel). Αφορά περιληπτικά την απορρόφηση της ενέργειας του φωτός από τα ηλεκτρόνια των ατόμων και την απόδραση των ηλεκτρονίων αυτών από τις κανονικές τους θέσεις με αποτέλεσμα την δημιουργία ρεύματος. Το ηλεκτρικό πεδίο που προϋπάρχει στα φωτοβολταϊκά pn στοιχεία οδηγεί το ρεύμα στο φορτίο.

Η λέξη βολτ προέρχεται από τον Alessandro Volta ο οποίος ήταν ένας από τους πρωτοπόρους στην μελέτη του ηλεκτρισμού.

Σήμερα η ενέργεια που παράγεται από φωτοβολταϊκά συστήματα εξυπηρετεί ανθρώπους στις πιο απομακρυσμένες περιοχές στον πλανήτη μας όπως και στα κέντρα των πόλεων.

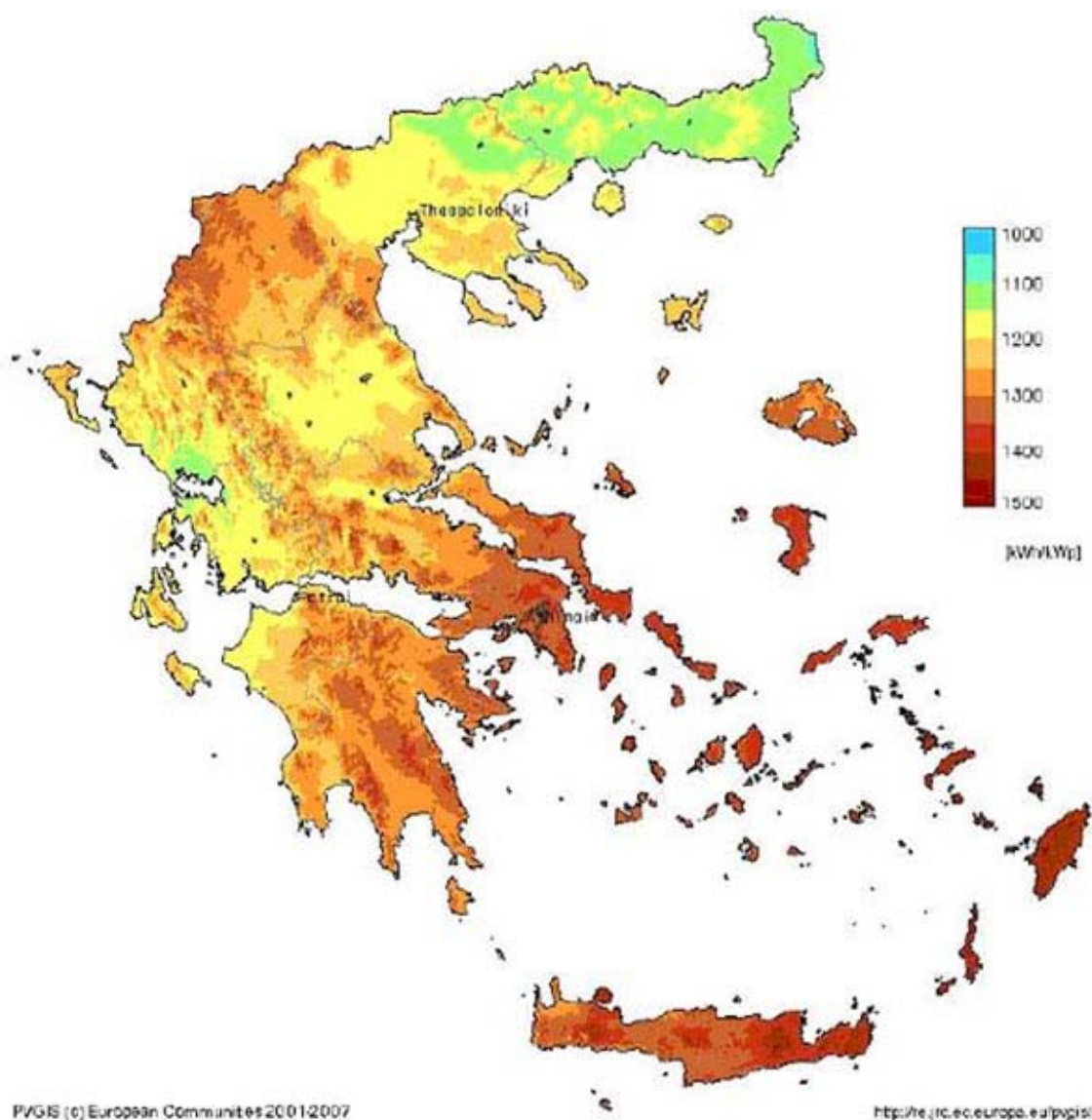
Η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων μπορεί να συμβαδίσει αρμονικά με τοπία κάθε μορφής, ενώ δεν αποτελεί ανασταλτικό παράγοντα για παράλληλες χρήσεις της γης, όπως γεωργία, κτηνοτροφία και λειτουργία αγρο-τουριστικών μονάδων. Λόγω της υπόγειας όδευσης των αγωγών σύνδεσης, τα μόνα ορατά της τμήματα αποτελούν οι φωτοβολταϊκές γεννήτριες και οι βάσεις (σταθερές ή ηλιοτροπικές), επί των οποίων εδράζονται. Οι εγκαταστάσεις μπορούν να αναπτυχθούν ταχύτατα, χωρίς ιδιαίτερη όχληση κατά το στάδιο της κατασκευαστικής τους περιόδου. Το χαμηλό ύψος εγκατάστασης των φωτοβολταϊκών γεννητριών, ακόμη και αν χρησιμοποιηθούν ηλιοτροπικά συστήματα παρακολούθησης του ήλιου (trackers), δεν υποβαθμίζει αισθητικά τον περιβάλλοντα χώρο ή το ευρύτερο περιβάλλον στο οποίο εγκαθίστανται.

Τέλος, η απουσία ταχέως κινούμενων τμημάτων και η πλήρης ανυπαρξία θορύβων ή δονήσεων, που σχετίζονται με τη λειτουργία τους, δεν διαταράσσει τις φυσικές δραστηριότητες και ισορροπίες της περιοχής που τα φιλοξενεί. Οι παραπάνω διαπιστώσεις ενισχύονται από το γεγονός ότι η λειτουργία τέτοιου είδους σταθμών δεν συνδέεται με ένταση εργασίας. Στις επόμενες ενότητες θα αναφερθούμε λεπτομερώς στις εγκαταστάσεις των φωτοβολταϊκών στα σπίτια και στους φωτοβολταϊκούς σταθμούς, καθώς και σε οτιδήποτε είναι απαραίτητο να γνωρίζει κάποιος για τα φωτοβολταϊκά συστήματα.

1.2 Κατηγορίες

Η χώρα μας αποτελεί την πιο ηλιόλουστη περιοχή της Ευρώπης. Η απόδοση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τα μετεωρολογικά - κλιματικά στοιχεία μιας περιοχής. Όχι μόνο η ηλιακή ακτινοβολία, αλλά και η θερμοκρασία της επηρεάζει την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας των γεννητριών. Επίσης το γεωγραφικό μήκος, πλάτος και το υψόμετρο του συστήματος επηρεάζουν δραστικά την απόδοση του φωτοβολταϊκού.

Όπως φαίνεται και από το χάρτη για κάθε kWp οι παραγόμενες kWh κατά έτος κυμαίνονται από 1100kWh για τις βόρειες περιοχές έως 1500kWh για τις νότιες.



Χάρτης 1.1 Τιμές ακτινοβολίας του ήλιου στην Ελλάδα.

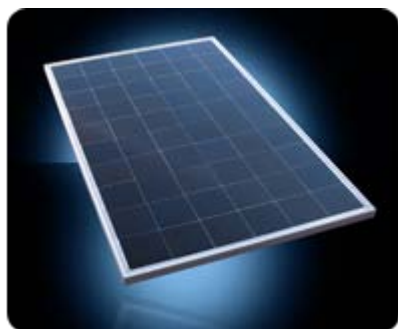
Η πληροφόρηση για το κατασκευαστικό υλικό των φωτοβολταϊκών γεννητριών, προτού αναφερθούμε στις κατηγορίες θα ήταν χρήσιμη.

Έτσι έχουμε ως κύριο συστατικό κατασκευής των φωτοβολταϊκών το πυρίτιο, το οποίο είναι από τα πιο διαδεδομένα στοιχεία στη φύση, αφού αποτελεί το 25% τις εκατό του γήινου φλοιού. Το πυρίτιο (Si) είναι η βάση για το 90% τις εκατό περίπου της παγκόσμιας παραγωγής φωτοβολταϊκών. Για την παρασκευή του πυριτίου χρησιμοποιείται πυριτική άμμος περιεκτικότητας 99.5% τις εκατό σε διοξείδιο του πυριτίου (SiO₂) και άνθρακας (C) που αναμειγνύονται μεταξύ τους και θερμαίνονται σε υψηλή θερμοκρασία. Το αποτέλεσμα είναι η πρόκληση αναγωγής από τον άνθρακα στο διοξείδιο του πυριτίου και στην συνέχεια η λήψη μετά από τον σχετικό καθαρισμό του πυριτίου σε λιωμένη κατάσταση. Το πυρίτιο ανάλογα με την επεξεργασία του, δίνει μονοκρυσταλλικά, πολυκρυσταλλικά ή άμορφα υλικά, από τα οποία παράγονται τα φωτοβολταϊκά (photovoltaic) στοιχεία. Τα λεπτά υλικά είναι ένας τρόπος να μειωθεί το κόστος των φωτοβολταϊκών πάνελ και να αυξηθεί η απόδοσή τους. Η τεχνολογία φωτοβολταϊκών πλαισίων thin film βρίσκεται σε αναπτυσσόμενο στάδιο, αφού με διάφορες μεθόδους επεξεργασίας και χρήση διαφορετικών υλικών αναμένεται αύξηση της απόδοσης, σταθεροποίηση των χαρακτηριστικών τους και αύξηση της διείσδυσης στην αγορά. Σήμερα πάντως αποτελούν την πιο φθηνή επιλογή φωτοβολταϊκών πλαισίων.

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία - πλαίσια χωρίζονται σε τρεις βασικές κατηγορίες:

1. Πρώτη γενιά Φωτοβολταϊκά: pn κρυσταλλικού πυριτίου

α. Φωτοβολταϊκά Μονοκρυσταλλικού πυριτίου (c-Si), με αποδόσεις πλαισίων 14,5% έως 21%.
(Εικόνα 1.1)



Εικόνα 1.1

β. Φωτοβολταϊκά πολυκρυσταλλικού πυριτίου (m-Si), με αποδόσεις πλαισίων 13% έως 14,5%. (Εικόνα 1.2)



Εικόνα 1.2

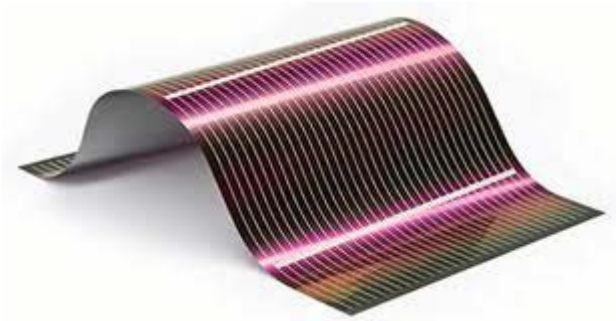
2. Δεύτερη γενιά φωτοβολταϊκά: pn λεπτών μεμβρανών (thin film pn)

α. Φωτοβολταϊκά από άμορφο Πυρίτιο (a-Si), ονομαστική απόδοση περίπου 7%. (Εικόνα 1.3)



Εικόνα 1.3

β. Φωτοβολταϊκά από Χαλκοκυρίτες CIS / CIGS, ονομαστική απόδοση από 7% έως 11%.



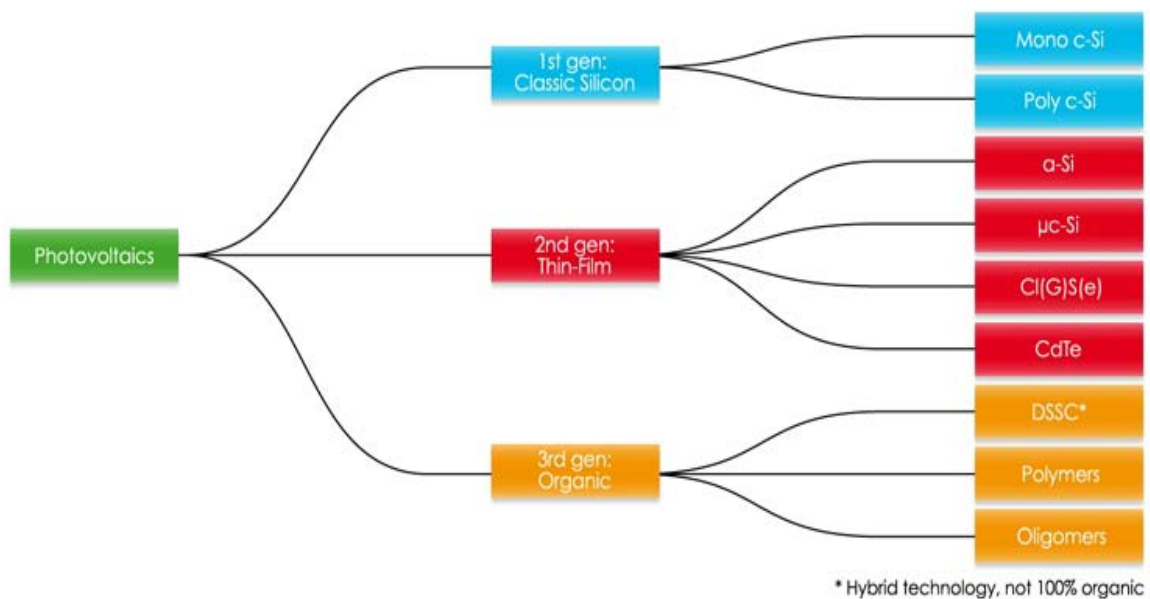
3. Τρίτη γενιά φωτοβολταϊκών οργανικά (organic)

Τα οργανικά φωτοβολταϊκά (Εικόνα 1.4) είναι η τεχνολογία του μέλλοντος με μεγάλες δυνατότητες, αφού θα διευκολύνει την ολοένα ευρύτερη χρήση της ηλιακής τεχνολογίας στα επόμενα χρόνια. Όχι μόνο στις στέγες των σπιτιών, αλλά όπου είναι απαραίτητη η καθαρή ενέργεια. Επί του παρόντος, η αγορά έχει μονομερικές κατασκευαστές που ήταν σε θέση να προσφέρει η νέα τεχνολογία. Προς το παρόν, οργανικά φωτοβολταϊκά χρησιμοποιεί τρεις βασικές τεχνολογίες:

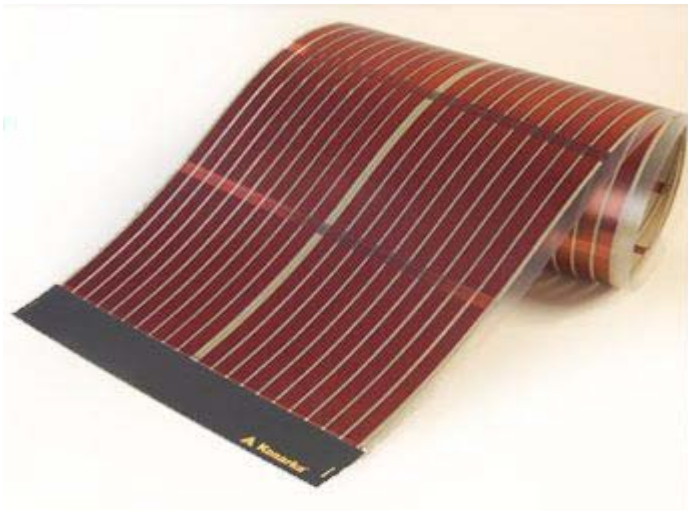
OPV oligomers (technology leader: Heliatek)

OPV polymers

OPV DSSC (dye-sensitized solar cells)



Σχεδιάγραμμα Κατηγοριών Φωτοβολταϊκών



Εικόνα 1.4

Στοιχεία απόδοσης και κατασκευής

Τα μονοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά πάνελ έχουν πάχος γύρω στα 0,3 χιλιοστά. Η απόδοση του πλαισίου τους στην βιομηχανία κυμαίνεται από 15 - 18% τις εκατό. Στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί ακόμα μεγαλύτερες αποδόσεις, έως και 24,7%. Τα μονοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία χαρακτηρίζονται από το πλεονέκτημα της καλύτερης σχέσης απόδοσης/επιφάνειας ή ενεργειακής πυκνότητας. Ένα άλλο χαρακτηριστικό είναι το υψηλό κόστος κατασκευής σε σχέση με τα πολυκρυσταλλικά. Βασικές τεχνολογίες παραγωγής αυτού του τύπου φωτοβολταϊκών είναι η μέθοδος CZ (Czochralski) και η μέθοδος FZ (float zone). Αμφότερες βασίζονται στην ανάπτυξη ράβδου πυριτίου. Το μονοκρυσταλλικό φωτοβολταϊκό με την υψηλότερη απόδοση στο εμπόριο σήμερα, είναι της εταιρίας SunPower με απόδοση πλαισίου 18,5%. Είναι μάλιστα το μοναδικό που έχει τις μεταλλικές επαφές στο πίσω μέρος του πάνελ, αποκομίζοντας έτσι μεγαλύτερη επιφάνεια αλληλεπίδρασης με την ηλιακή ακτινοβολία.

Τα πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά πάνελ έχουν πάχος επίσης περίπου 0,3 χιλιοστά. Η μέθοδος παραγωγής τους είναι φθηνότερη από αυτήν των μονοκρυσταλλικών, γι' αυτό και η τιμή τους είναι συνήθως λίγο χαμηλότερη. Οπτικά μπορεί κανείς να παρατηρήσει τις επιμέρους μονοκρυσταλλικές περιοχές. Όσο μεγαλύτερες είναι σε έκταση οι μονοκρυσταλλικές περιοχές τόσο μεγαλύτερη είναι και η απόδοση για τα πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά κελιά. Σε εργαστηριακές εφαρμογές 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.

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία άμορφου πυριτίου, έχουν αισθητά χαμηλότερες αποδόσεις σε σχέση με τις δύο προηγούμενες κατηγορίες. Πρόκειται για ταινίες λεπτών επιστρώσεων οι οποίες παράγονται με την εναπόθεση ημιαγωγού υλικού (πυριτίου) 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 επιδόσεις που επιτυγχάνονται χρησιμοποιώντας φωτοβολταϊκά thin films πυριτίου κυμαίνονται για το πλαίσιο από 6 έως 8% τις εκατό, 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 όσων αφορά την διάρκεια ζωής των άμορφων πλαισίων μιας και δεν υπάρχουν στοιχεία από παλιές εγκαταστάσεις αφού η τεχνολογία είναι σχετικά καινούργια. Παρόλα αυτά οι κατασκευαστές πλέον δίνουν εγγυήσεις απόδοσης 20 ετών. Το πάχος του πυριτίου είναι περίπου 0,0001 χιλιοστά ενώ το υπόστρωμα μπορεί να είναι από 1 έως 3 χιλιοστά.

Το οργανικό φωτοβολταϊκό στοιχείο (OPVC) είναι ένα φωτοβολταϊκό κύτταρο που χρησιμοποιεί οργανικά ηλεκτρονικά. Κλάδος της ηλεκτρονικής που ασχολείται με αγωγή οργανικά πολυμερή ή μικρά οργανικά μόρια, με σκοπό την απορρόφηση του φωτός και τις μεγαλύτερες αποδόσεις. Η κατασκευή του έχει χαμηλό κόστος παραγωγής σε μεγάλες ποσότητες. Σε συνδυασμό με την ευελιξία των οργανικών μορίων, αυτό το καθιστά δυνητικά επικερδή για τις φωτοβολταϊκές εφαρμογές. Η μοριακή μηχανική (για παράδειγμα η αλλαγή του μήκους και της λειτουργικής ομάδας των πολυμερών), μπορεί να αλλάξει το ενεργειακό κενό, το οποίο επιτρέπει την χημική αλλαγή σε αυτά τα υλικά. Ο οπτικός συντελεστής απορρόφησης των οργανικών μορίων είναι υψηλός, έτσι ώστε ένα μεγάλο ποσό του φωτός μπορεί να απορροφηθεί με ένα μικρό ποσό των υλικών.

Τα κύρια μειονεκτήματα που συνδέονται με οργανικά φωτοβολταϊκά κύτταρα είναι η χαμηλή απόδοση, η χαμηλή σταθερότητα και η χαμηλή δύναμη σε σύγκριση με τα ανόργανα φωτοβολταϊκά κύτταρα.

Στην επόμενη σελίδα απεικονίζεται το διάγραμμα της απόδοσης των φωτοβολταϊκών κατηγοριών σε σύγκριση με το πέρασμα του χρόνου.

1.3 Εγκατάσταση και Τοποθέτηση

1.3.1 Εισαγωγή

Η εγκατάσταση και τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών μπορεί να θεωρείται εύκολη υπόθεση, αλλά άμα δεν υπάρξει σωστή μελέτη για την ορθή τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών πάνελ ή του περιστρεφόμενου συστήματος, τότε θα έχουμε μείωση της απόδοσης του συστήματος, που συνεπάγεται με μείωση των κιλοβαττ την ώρα (kwh), που συνεπάγεται με λιγότερη παραγωγή ρεύματος, που συνεπάγεται με μεγαλύτερο χρόνο απόσβεσης του κόστους της όλης εγκατάστασης. Όπως θα αναλύσουμε και στην συνέχεια η τοποθέτηση των σταθερών, δηλαδή μη περιστρεφόμενων φωτοβολταϊκών πλαισίων υλοποιείται με την τοποθέτησή τους με βάση τον προσανατολισμό του χώρου. Στα περιστρεφόμενα συστήματα δεν είναι απαραίτητος ο προσανατολισμός εκτός και αν οι κινήσεις των αξόνων (χ, ψ) δεν είναι 360° μοίρες, δηλαδή οι κινήσεις στους άξονες (χ, ψ) είναι συγκεκριμένων μοιρών, για εξοικονόμηση υλικών. Όπως στο σύστημά μας.

Επομένως το φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται από τα ακόλουθα τμήματα:

- Τη φωτοβολταϊκή γεννήτρια με τη βάση στήριξης, που στην περίπτωσή μας είναι περιστροφική (tracker).
- Μπαταρίες - συσσωρευτές φωτοβολταϊκών.
- Ρυθμιστή φόρτισης για τον έλεγχο και προστασία των μπαταριών.
- Μετατροπέα τάσεως (inverter) 12v/24v/48v DC, για μετασχηματισμό στα 220V AC.
- Αντικεραυνική προστασία.
- Καλωδίωση και ασφάλειες συστήματος.

Όλα αυτά τα τμήματα θα τα αναλύσουμε στις αμέσως επόμενες ενότητες, έτσι ώστε να γίνει κατανοητή η λειτουργία και η χρήση των παραπάνω τμημάτων της εγκατάστασης.

Μερικοί βασικοί τύποι απόδοσης φωτοβολταϊκών.

Η αποδιδόμενη ηλεκτρική ισχύς φωτοβολταϊκού πλαισίου

P_{HA} (W) : ισχύς προσπίπτουσας ακτινοβολίας.

Αν η ισχύς της ηλιακής ακτινοβολίας P_{HA} δίνεται ανά μονάδα επιφανείας, δηλαδή σε (W/m^2), η σχέση του βαθμού απόδοσης γίνεται:

$$n_{\Pi} = P_{M_{\Pi}} / (P_{HA} * S_{\Pi})$$

όπου,

Το ηλιακό της μέγιστης αποδιδόμενης ηλεκτρικής ισχύος προς την προσπίπτουσα ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας, ονομάζεται βαθμός απόδοσης n_{Π} του φωτοβολταϊκού πλαισίου.

$$n_{\Pi} = P_{M\pi} / P_{HA}$$

όπου,

$P_{M\pi}$ (W): μέγιστη αποδιδόμενη ηλεκτρική ισχύς φωτοβολταϊκού πλαισίου

P_{HA} (W/ m^2): ισχύς προσπίπτουσας ακτινοβολίας.

S_{Π} (m^2): επιφάνεια φωτοβολταϊκού πλαισίου

Ο βαθμός απόδοσης n_{Π} του πλαισίου μπορεί να γραφεί και ως ηλιακό της μέγιστης αποδιδόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, που παράγει το φωτοβολταϊκό πλαίσιο επί ένα χρονικό διάστημα, προς την προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια επί το ίδιο χρονικό διάστημα.

$$n_{\Pi} = E_{M\pi} / (E_{HA} * S_{\Pi})$$

όπου,

$E_{M\pi}$ (KWh): μέγιστη αποδιδόμενη ηλεκτρική ενέργεια του πλαισίου.

E_{HA} (KWh/ m^2): ενέργεια προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας.

S_{Π} (m^2): επιφάνεια φωτοβολταϊκού πλαισίου.

Ο βαθμός απόδοσης n_{Π} του φωτοβολταϊκού πλαισίου επηρεάζεται από τέσσερις παράγοντες:

1. Γήρανση

Η απόδοση μειώνεται λόγω της αλλοίωσης των υλικών κατασκευής των φωτοβολταϊκών στοιχείων.

Συντελεστής γήρανσης: $\sigma_{\gamma} = 0,90$.

2. Ρύπανση επιφάνειας

Η απόδοση του πλαισίου, ιδίως εκείνου που έχει μικρή κλίση, μειώνεται λόγω της ρύπανσης της επιφάνειας του από την επικάθηση σκόνης, φύλλων, χιονιού, αλατιού από τη θάλασσα, εντόμων, ακαθαρσιών και άλλων στοιχείων. Η μείωση της απόδοσης είναι σημαντικότερη σε αστικές και βιομηχανικές περιοχές λόγω αιθάλης, γι' αυτό και απαιτείται περιοδικός καθαρισμός της επιφάνειας με απορρυπαντικό. Σε περιοχές με συχνές χιονοπτώσεις ή ισχυρούς ανέμους, το φωτοβολταϊκό πλαίσιο πρέπει να τοποθετείται κάθετα ή με κλίση 45° μοιρών αντίστοιχα, για να μην συγκρατείται το χιόνι και η σκόνη.

Συντελεστής ρύπανσης:

$\sigma_p = 0,95$ για πλαίσια που καθαρίζονται συχνά.

0,90 για πλαίσια ελαφρώς σκονισμένα.

0,80 για πλαίσια οριζόντια και ακάθαρτα.

3. Αύξηση θερμοκρασίας

Η απόδοση των πλαισίων επηρεάζεται σημαντικά από την άνοδο της θερμοκρασίας των στοιχείων, των οποίων η μέση θερμοκρασία είναι 30°C περίπου μεγαλύτερη από αυτή της λειτουργίας του σε πρότυπες συνθήκες STC. Συντελεστή θερμοκρασίας σ_θ :

$$\sigma_\theta = 1 - [(t_a + 30) - 25] * 0.004$$

όπου,

t_a [°C] : μέση μηνιαία θερμοκρασία αέρα.

4. Δίοδος αντεπιστροφής

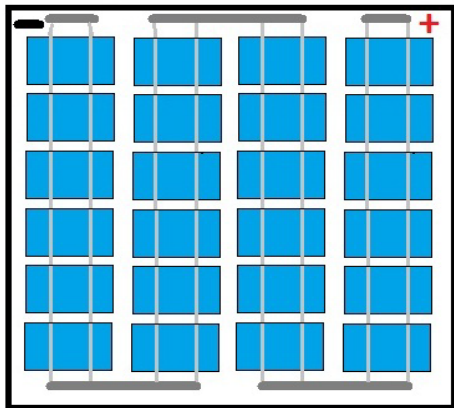
Η δίοδος αντεπιστροφής, που εμποδίζει την εκφόρτιση του ηλεκτρικού συσσωρευτή διαμέσου του φωτοβολταϊκού πλαισίου, όταν αυτό δεν φωτίζεται, προκαλεί απώλειες ενέργειας της τάξεως του 1%. Συντελεστής απωλειών διόδου $s_d = 0,99$.

Στα φωτοβολταϊκά πλαίσια, τα φωτοβολταϊκά ηλιακά στοιχεία σε μια βασική μονάδα, συνήθως συνδέονται μεταξύ τους σε σειρά. Αυτό οφείλεται στα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του κάθε ηλιακού φωτοβολταϊκού στοιχείου. Ένα τυπικό (διαμέτρου 4 ιντσών) ηλιακό στοιχείο κρυσταλλικού πυριτίου ή ένα (10cm * 10cm) πολυκρυσταλλικό στοιχείο θα παρέχει κάτω από κανονικές συνθήκες ισχύ μεταξύ 1 και 1,5 Watt, εξαρτώμενη από την απόδοση του ηλιακού στοιχείου. Αυτή η ισχύς παρέχεται συνήθως υπό τάση 0.5 ή 0.6 Volt. Από τη στιγμή που υπάρχουν πολύ λίγες εφαρμογές, οι οποίες εκτελούνται σε αυτή την τάση, η άμεση λύση είναι να συνδεθούν τα ηλιακά στοιχεία σε σειρά.

Η σύνδεση φωτοβολταϊκών στοιχείων σε σειρά πρέπει να έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

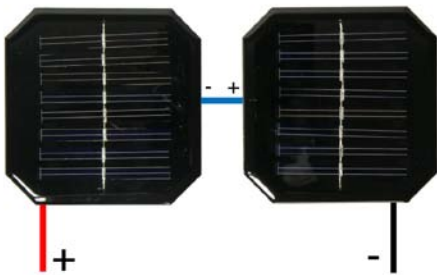
1. Δυνατότητα συνδυασμού με ηλεκτρικό συσσωρευτή τυπικής ονομαστικής τάσεως 12V, για να είναι δυνατή η αποθήκευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.
2. Ευκολία μεταφοράς, ενσωμάτωσης σε μεγαλύτερα σύνολα και αντικατάστασης σε περίπτωση βλάβης.

Στην επόμενη εικόνα είναι ορατή η συνδεσμολογία των στοιχείων/κυψελών (cells) στο φωτοβολταϊκό πάνελ. (Εικόνα 1.3.1)



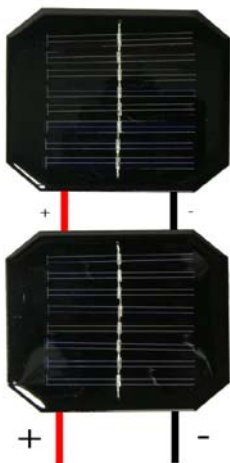
Εικόνα 1.3.1

Στην συνδεσμολογία σε σειρά (Εικόνα 1.3.2) ο θετικός ακροδέκτης της μιας κυψέλης συνδέεται με τον αρνητικό ακροδέκτη της άλλης κυψέλης. Όπως και στην δικιά μας εφαρμογή. Με αποτέλεσμα, η τάση να διπλασιαστεί ($6 + 6$) Volt = 12 Volt και το ρεύμα να παραμείνει το ίδιο, δηλαδή 220mA.



Εικόνα 1.3.2

Στην παράλληλη συνδεσμολογία (Εικόνα 1.3.3) ο θετικός ακροδέκτης της μιας κυψέλης συνδέεται με τον θετικό ακροδέκτη της άλλης κυψέλης και οι αρνητικοί ακροδέκτες μεταξύ τους.



Εικόνα 1.3.3

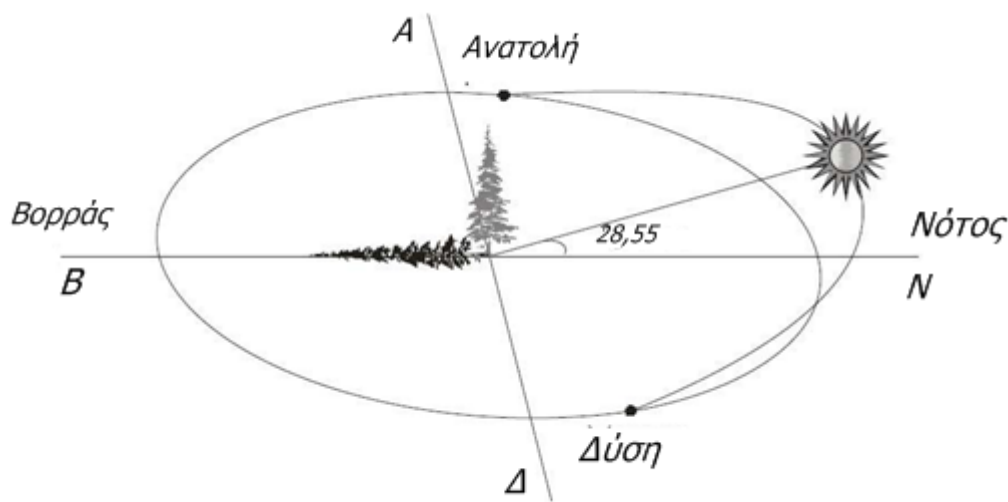
1.3.2 Κίνηση του Ήλιου και Ακτινοβολία

Κίνηση του ήλιου

Η πορεία της κινούμενης βάσης είναι από Ανατολικά (E) προς Δυτικά (W) κατά την διάρκεια της ημέρας, όπως κινείται και ο ήλιος άλλωστε. Θα μελετήσουμε την κίνηση του ήλιου για να βρούμε ποιες θέσεις παίρνει, έτσι ώστε να μπορούμε να ρυθμίσουμε το περιστροφικό φωτοβολταϊκό σύστημα ηλεκτρολογικά και μηχανολογικά.

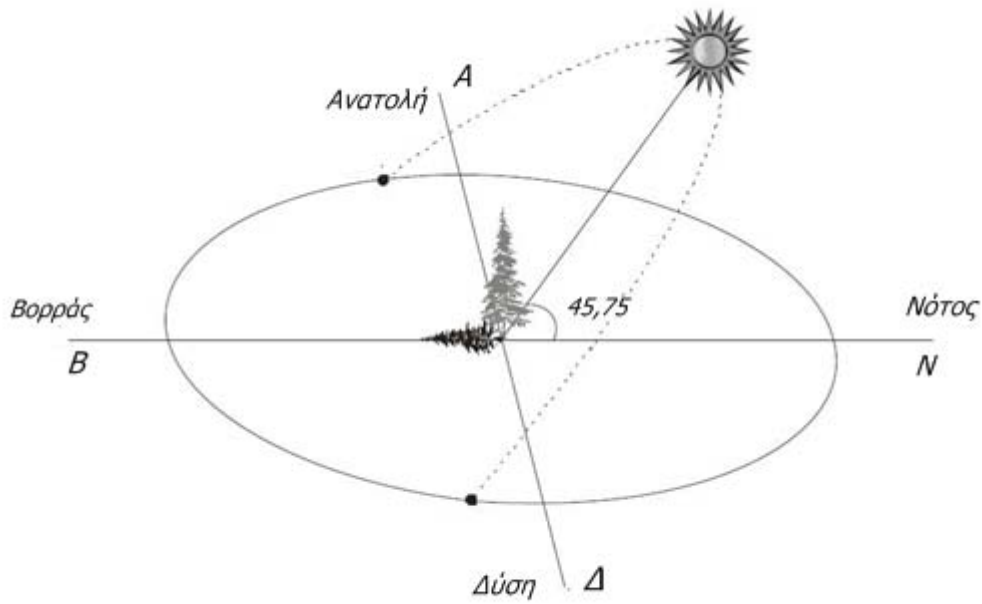
Επομένως, από αστρονομικές πληροφορίες που έχουμε βρει αλλά και από την δική μας αντίληψη, συνδέουμε τη κίνηση του ήλιου με την κίνηση του φωτοβολταϊκού συστήματος που κατασκευάζουμε. Αρχικά ο ήλιος ανατέλλει από την ανατολή και εκείνη την στιγμή το φωτοβολταϊκό πάνελ είναι κάθετο στο έδαφος, αναλόγως το υψόμετρο που βρίσκεται τοποθετημένο. Στην συνέχεια ο ήλιος ανυψώνεται προς τα δεξιά, έτσι και το σύστημά μας στρίβει σιγά – σιγά μαζί με τον ήλιο προς τα δεξιά και το φωτοβολταϊκό πλαίσιο αρχίζει να σχηματίζει γωνία. Η γωνία αυτήν μεταβάλλεται με την κύλιση των εποχών. Συνεχίζοντας ο ήλιος κινούμενος διαγωνίως, το μεσημέρι φτάνει στο ανώτερο σημείο της καμπύλης του. Εκείνη την στιγμή το φωτοβολταϊκό πάνελ έχει κάνει την μισή διαδρομή και βρίσκεται με γωνία προς τον νότο. Ο ήλιος αρχίζει και χάνει ύψος, με σημείο αναφοράς πάντα το σύστημά μας και κατευθύνεται προς την δύση. Έτσι και το πάνελ μας κινείται και άλλο δεξιά και η γωνία κλίσης αρχίζει να μειώνεται ξανά. Τέλος, ο ήλιος δύει και το φωτοβολταϊκό πάνελ βρίσκεται κάθετο προς το έδαφος προς την δύση. Επίσης, με την αλλαγή των εποχών αλλάζει και το σημείο την ανατολής και της δύσης, ταυτόχρονα. Τα επόμενα σχήματα θα βοηθήσουν στην κατανόηση της κίνησης του ήλιου.

Η φαινόμενη κίνηση του ήλιου στο χειμερινό ηλιοστάσιο. (Σχήμα 1.3.2)



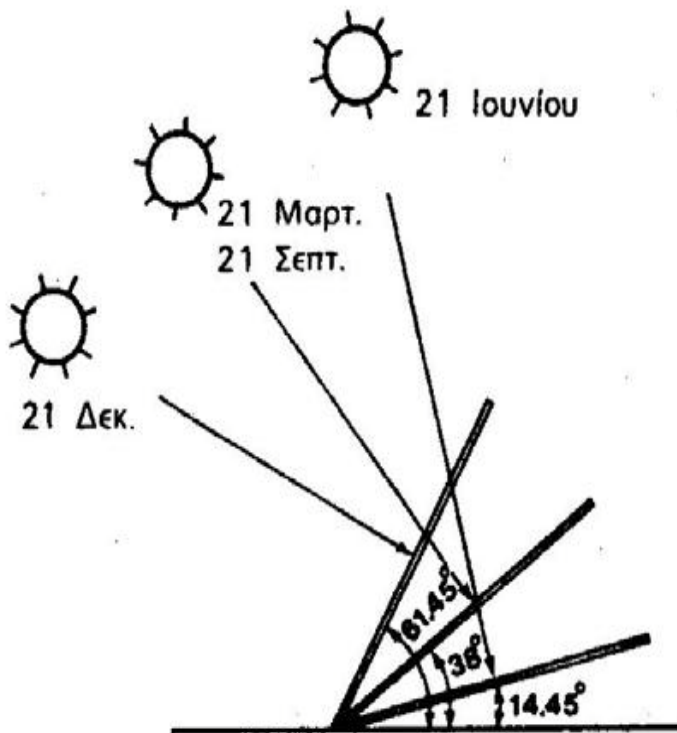
Σχήμα 1.3.2

Η φαινόμενη κίνηση του ήλιου στο εαρινό ηλιοστάσιο. (Σχήμα 1.3.3)



Σχήμα 1.3.3

Γωνία πρόσπτωσης (σχήμα) των ηλιακών ακτίνων (θ) είναι η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της διεύθυνσης των ηλιακών ακτίνων και της καθέτου στο κεκλιμένο επίπεδο.



Σχήμα 1.3.4

Η γνώση της γωνίας πρόσπτωσης των ηλιακών ακτίνων (θ) είναι σημαντική στις εφαρμογές της ηλιακής ενέργειας, διότι από την τιμή της γωνίας αυτής θα εξαρτηθεί το μέγεθος της ηλιακής ακτινοβολίας που θα δεχθεί η αντίστοιχη επιφάνεια. Έτσι όσο μικρότερη είναι η γωνία αυτή τόσο μεγαλύτερη είναι η ακτινοβολία που θα δεχθεί η επιφάνεια.

Η βέλτιστη κλίση για μια επιφάνεια που βρίσκεται σε γεωγραφικό πλάτος ϕ και είναι στραμμένη προς τον νότο προκύπτει από το μέγεθος $\phi + \delta$, όπου δ η απόκλιση. Η γωνία αυτή κυμαίνεται μεταξύ $\phi + 23,45^\circ$ μοίρες τον χειμώνα (21 Δεκεμβρίου) και $\phi - 23,45^\circ$ μοίρες το καλοκαίρι (21 Ιουνίου). (Σχήμα 1.3.4)

Η βέλτιστη κλίση ενός ηλιακού συλλέκτη στις χαρακτηριστικές μέρες του έτους, σε μια τοποθεσία με γεωγραφικό πλάτος, είναι 38° μοιρών (Σχήμα 1.3.4). Τα ύψη του ηλίου αφορούν τα αντίστοιχα ηλιακά μεσημέρια. Το περιστρεφόμενο φωτοβολταϊκό σύστημα έχει την δυνατότητα να παίρνει όλες αυτές τις θέσεις, με αποτέλεσμα να είναι πάντα η φωτοβολταϊκή γεννήτρια κάθετη στις ηλιακές ακτίνες και να επέρχεται η μεγάλη απόδοση.

Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας

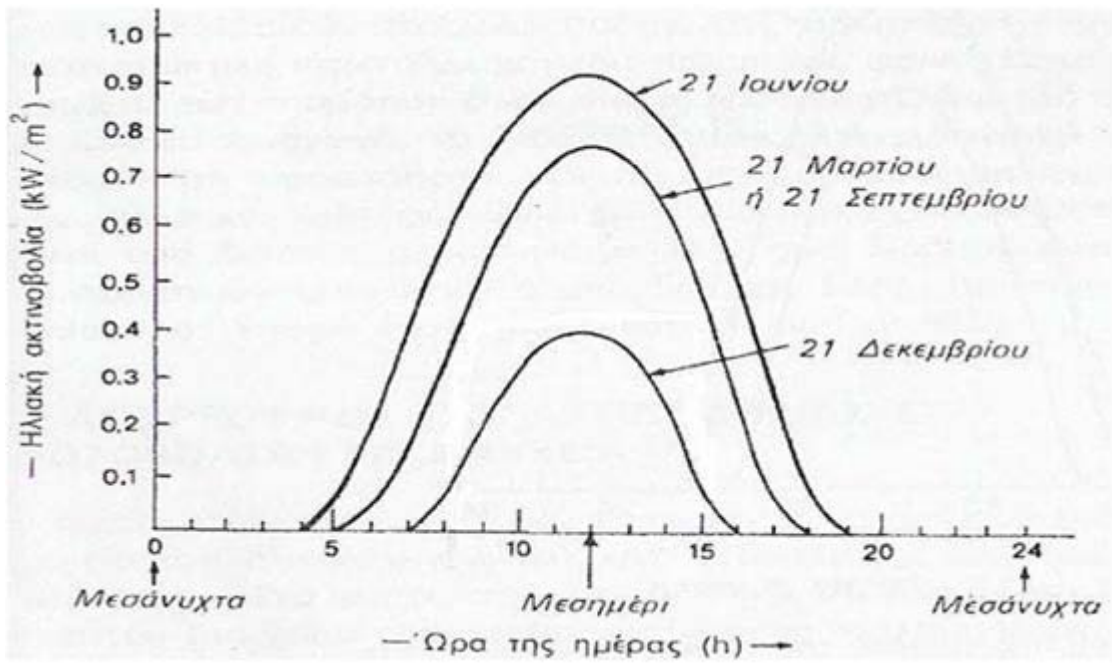
Το μέγεθος που χαρακτηρίζει την ποσότητα της μεταφερόμενης ενέργειας από μια ακτινοβολία, είναι η ροή της ακτινοβολίας (H) και εκφράζεται σε μονάδες kW / m^2 , mW / cm^2 .

Όμως η ακτινοβολία είναι διάχυτη και μεταδίδεται προς όλες τις κατευθύνσεις όπως η ηλιακή, τότε χρησιμοποιούμε τον όρο ένταση της ακτινοβολίας. Ο συντελεστής ανάκλασης για διάφορα είδη επιφανειών παίζει σημαντικό ρόλο στην ένταση της ακτινοβολίας. Ένα φωτοβολταϊκό πάνελ μπορεί να δεκτή συγκεκριμένη ακτινοβολία. Σε περίπτωση σκίασης του πάνελ από συννεφιά το πάνελ δέχεται τις ακτίνες που ανακλώνται στην επιφάνεια του εδάφους. Ο συντελεστής μεταβάλλεται με την αλλαγή του είδους του υλικού που υπάρχει στο έδαφος. (Πίνακας 1.3.5)

Φρέσκο χιόνι	0.87
Ξηρή άμμος	0.18
Υγρή άμμος	0.09
Δάσος κωνοφόρων	0.05
Τσιμέντο νέο	0.33
Τσιμέντο παλιό	0.23

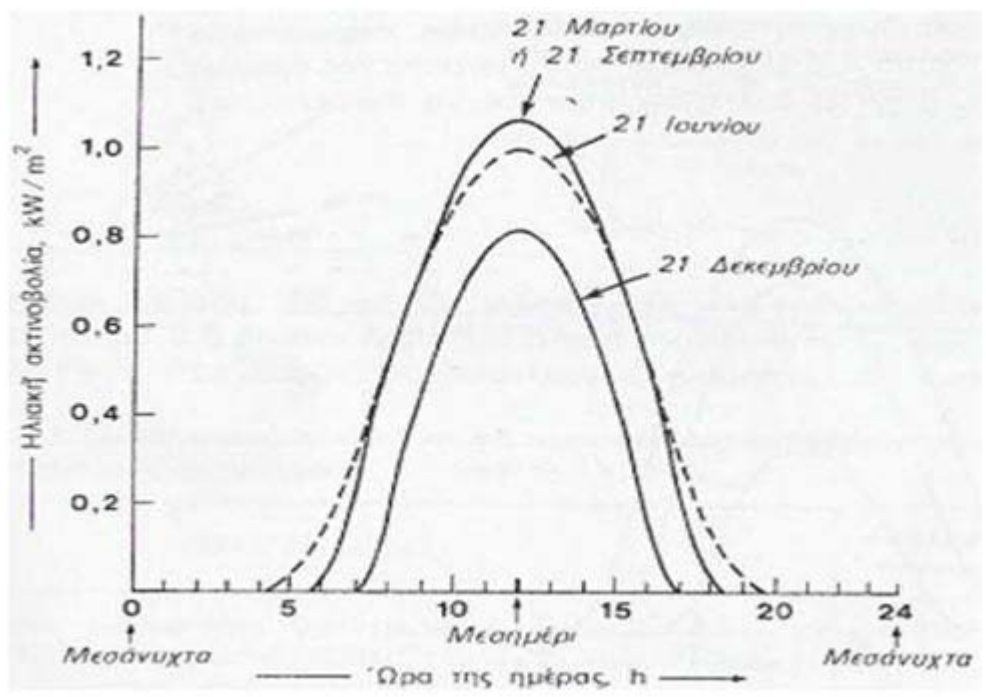
Πίνακας 1.3.5

Η ηλιακή ακτινοβολία παρουσιάζει έντονη διακύμανση και απότομες μεταβολές με το πέρασμα του χρόνου. Μια διακύμανση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας σε μια οριζόντια επιφάνεια, υπό καλές καιρικές συνθήκες (ηλιοφάνεια) σε διαφορετικές ενδεικτικές ημερομηνίες παρουσιάζεται στο επόμενο διάγραμμα.



Σχήμα 1.3.5

Όταν η επιφάνεια που δέχεται την ακτινοβολία τεθεί υπό κλίση, παρατηρείται αύξηση της έντασης και προκύπτει το παρακάτω σχεδιάγραμμα. (Σχήμα 1.3.6)



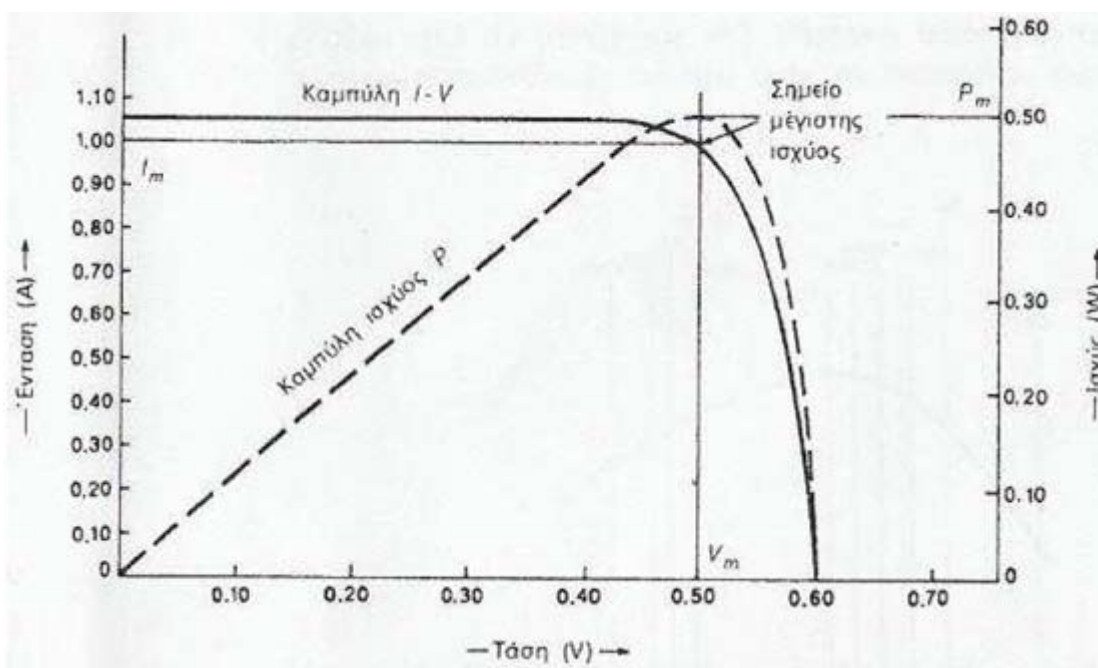
Σχήμα 1.3.6

Ένας τρόπος να βελτιώσουμε την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται μια επιφάνεια, είναι να την τοποθετήσουμε πάνω σε μια διάταξη κινητού πλαισίου που περιστρέφεται κατά διαστήματα, παρακολουθώντας την πορεία του ήλιου στον ουρανό. Με αυτό τον τρόπο εξασφαλίζουμε την κάθετη πρόσπτωση της ακτινοβολίας στην επιφάνεια του φωτοβολταϊκού, με αποτέλεσμα την αύξηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος.

Με την χρήση του περιστρεφόμενου φωτοβολταϊκού συστήματος που υλοποιήσαμε, επιτυγχάνουμε από την μια αύξηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος, από την άλλη όμως καταναλώνουμε ισχύ για την κίνηση της παρακολούθησης. Ο υπολογισμός των ισχύων αυτών είναι που δείχνει αν η χρήση των ηλιοτροπικών συστημάτων (trackers) είναι ενεργειακά αποδοτική.

Τα τρία περισσότερο σημαντικά ηλεκτρικά χαρακτηριστικά μιας βασικής μονάδας είναι το ρεύμα βραχυκυκλώματος, η τάση ανοικτού κυκλώματος και το σημείο μέγιστης ισχύος σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία και την ακτινοβολία. Αυτές οι χαρακτηριστικές μοιάζουν με τη χαρακτηριστική I-V ενός ηλιακού στοιχείου.

Η βασική καμπύλη I-V χαρακτηριστικών μιας φωτοβολταϊκής μονάδας υπό συνθήκες δεδομένης ακτινοβολίας καθώς και η καμπύλη P-V φαίνονται παρακάτω. (Σχήμα 1.3.7)



Σχήμα 1.3.7 Διάγραμμα I-V και P-V για συνθήκες σταθερής ακτινοβολίας

Στο σχεδιάγραμμα αυτό φαίνεται και το σημείο μέγιστης ισχύος, υπό τις δεδομένες συνθήκες ακτινοβολίας. Για να εκμεταλλευτούμε την ισχύ που μπορεί να παρέχει το φωτοβολταϊκό στοιχείο, πρέπει να έχουμε φορτίο με αντίσταση. $R_{load} = V_m / I_m$

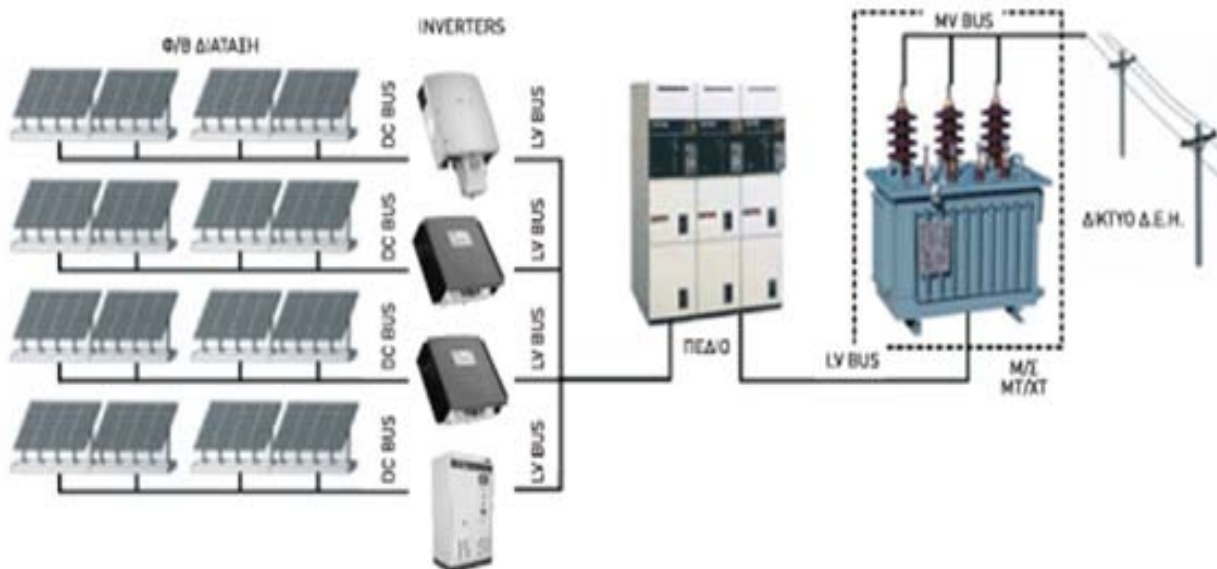
1.3.3 Εγκατάσταση σε πάρκα και σπίτια

Φωτοβολταϊκά συστήματα σε πάρκα

Λόγω της γεωγραφικής θέσης της Ελλάδας παρέχει τις ιδανικότερες συνθήκες για την αξιοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας καθ' όλη την διάρκεια του έτους σε μεγάλες εγκαταστάσεις, όπως είναι οι φωτοβολταϊκοί σταθμοί.

Τα συνδεδεμένα στο δίκτυο φωτοβολταϊκά συστήματα μπορούν να υποδιαιρεθούν σε εκείνα τα οποία το δίκτυο ενεργεί απλώς, ως μια βοηθητική τροφοδοσία (εφεδρικό δίκτυο) και εκείνα τα οποία ίσως λάβουν επίσης πρόσθετη ισχύ από τη φωτοβολταϊκή γεννήτρια, όπως τα φωτοβολταϊκά στις στέγες (αλληλοεπιδρώμενο δίκτυο).

Μέσα στους φωτοβολταϊκούς σταθμούς (φωτοβολταϊκά πάρκα) όλη η παραγόμενη ισχύς τροφοδοτείται στο δίκτυο. Όταν μια εγκατάσταση έχει ως αποκλειστικό στόχο την έγχυση ενέργειας προς το δίκτυο, σε αυτές τις περιπτώσεις στόχος είναι η μέγιστη ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και η πώληση της σε κάποιον προμηθευτή (καταναλωτή). Τέτοιου είδους μονάδες ονομάζονται και φωτοβολταϊκά πάρκα ή σταθμοί. Η ισχύς σε αυτές τις περιπτώσεις μπορεί να είναι από μερικά KW έως και αρκετά MW. Στην Ελλάδα η συνηθέστερη επένδυση σε αυτά τα επίπεδα είναι αυτή των 100KW, γιατί συνδυάζει τα πλεονεκτήματα της υψηλής επιδότησης της KWh και της ευκολότερης αδειοδότησης του φωτοβολταϊκού σταθμού. Στην επόμενη εικόνα έχουμε την σύνδεση ενός σταθερού συστήματος με το δίκτυο. (Εικόνα 1.3.3)



Εικόνα 1.3.3

Ένας διασυνδεδεμένος φωτοβολταϊκός σταθμός αποτελείται από τα εξής κύρια μέρη:

- Φωτοβολταϊκά πλαίσια
- Μετατροπείς συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο (DC/AC inverter)
- Πίνακες ισχύος
- Μεταλλικές βάσεις στήριξης
- Μετασχηματιστή (όπου είναι απαραίτητο)
- Διατάξεις προστασίας (αντικεραυνική/γείωση)
- Σύστημα τηλεμετρίας

Νομοθεσία για φωτοβολταϊκούς σταθμούς (πάρκα) σύμφωνα με το Ν.3468/2006 :

Φωτοβολταϊκοί σταθμοί ισχύος μέχρι και 20 kW :

Δεν υπόκεινται σε υποχρέωση λήψης άδειας παραγωγής και κατ' επέκταση αδειών εγκατάστασης και λειτουργίας, ούτε λήψης σχετικής εξαίρεσης από τη ΡΑΕ.

Απαιτούνται :

- Σύμβαση σύνδεσης με τη ΔΕΗ Α.Ε.
- Σύμβαση πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας με το ΔΕΣΜΗΕ Α.Ε. ή τη ΔΕΗ Α.Ε. για τα Μη Διασυνδεδεμένα νησιά.

Φωτοβολταϊκοί σταθμοί ισχύος άνω των 20 kW έως και 150 kW :

Δεν υπόκεινται σε υποχρέωση λήψης άδειας παραγωγής και κατ' επέκταση αδειών εγκατάστασης και λειτουργίας.

Απαιτούνται :

- Λήψη εξαίρεσης από την υποχρέωση χορήγησης άδειας παραγωγής από τη ΡΑΕ.
- Έγκριση περιβαλλοντικών όρων από την αρμόδια Διοικητική Περιφέρεια σύμφωνα με την ΚΥΑ υπ' αριθμ. οικ.104247 (ΦΕΚ 63B/26-5-2006).
- Σύμβαση σύνδεσης με τη ΔΕΗ Α.Ε.
- Σύμβαση πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας με το ΔΕΣΜΗΕ Α.Ε. (ή τη ΔΕΗ Α.Ε. για τα Μη Διασυνδεδεμένα νησιά).

Φωτοβολταϊκοί σταθμοί ισχύος άνω των 150 kW :

Απαιτούνται :

- Λήψη άδειας παραγωγής από το ΥΠ.ΑΝ. μετά από γνωμοδότηση της ΡΑΕ.
- Λήψη άδειας εγκατάστασης από την αρμόδια Διοικητική Περιφέρεια
- Λήψη άδειας λειτουργίας από την αρμόδια Διοικητική Περιφέρεια
- Σύμβαση σύνδεσης με τη ΔΕΗ Α.Ε.
- Σύμβαση πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας με το ΔΕΣΜΗΕ Α.Ε. (ή τη ΔΕΗ Α.Ε. για τα Μη Διασυνδεδεμένα νησιά).


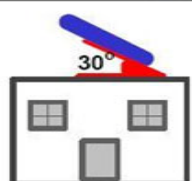
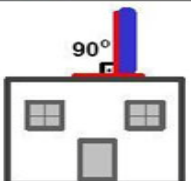
Φωτοβολταϊκά συστήματα σε σπίτια

Η ανάγκη για περισσότερη ενέργεια και για την ελάφρυνση της κατανάλωσης των φορτίων στο σπίτι μας, τοποθετούμε φωτοβολταϊκές γεννήτριες στις στέγες και στα δώματα των κτιρίων στα οποία κατοικούμε. Η ανανεώσιμη αυτή ενέργεια έχει μπει πλέον στην ζωή μας και είναι μια καλή επένδυση. Πρέπει να προσέξουμε κάποια σημαντικά σημεία για την εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών και την απόδοσή τους.

Πολύ κρίσιμος παράγοντας για την απόδοση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος είναι η σκίαση. Το πρόβλημα της σκίασης είναι ιδιαίτερος έντονο στα φωτοβολταϊκά σε στέγες και ταράτσες για πολλούς λόγους. Καταρχάς λόγω του περιορισμένου χώρου δεν είναι εύκολο να απομακρυνθεί το σύστημα από παρακείμενα εμπόδια. Τα περισσότερα συστήματα εγκαθίστανται εντός πόλεων όπου τα διαφορετικά ύψη κτιρίων προκαλούν μόνιμες σκιάσεις. Τέλος, πολλά εμπόδια που βρίσκονται ήδη στη στέγη ή την ταράτσα, όπως η απόληξη του κλιμακοστασίου, προεξοχές σοφίτας, σπασίματα της στέγης, καμινάδες, ιστοί κεραιών, θερμοσίφωνες, λέβητες, σύρματα, το στηθαίο της ταράτσας και άλλα πολλά ακόμα προκαλούν δυσεπίλυτα προβλήματα.

Όταν ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο σκιάζεται ακόμη και εν μέρει παράγει σημαντικά χαμηλότερο ρεύμα και κατά συνέπεια λιγότερη ενέργεια. Το πρόβλημα όμως δε σταματάει εδώ, καθώς το συγκεκριμένο πλαίσιο αποτελεί σημείο συμφόρησης (bottleneck) για όλη την ομάδα πλαισίων που είναι συνδεδεμένα επιβάλλοντας το χαμηλότερο ρεύμα του σε όλα τα υπόλοιπα μειώνοντας σημαντικά τη συνολική παραγωγή του συστήματος.

Επίσης η τοποθέτηση των σταθερών φωτοβολταϊκών είναι πάρα πολύ σημαντική, διότι αλλάζει η απόδοση του φωτοβολταϊκού συστήματος. Ο ακόλουθος πίνακας (πίνακας 1.3.4) μας ενημερώνει για την απόδοση του σταθερού φωτοβολταϊκού συστήματος μας αναλόγως την κατεύθυνση και την κλίση των φωτοβολταϊκών πλαισίων.

 Προσανατολισμός	Κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο		
	 30°	 0°	 90°
Ανατολικός - Δυτικός	85%kWh _(max)	90%kWh _(max)	50%kWh _(max)
ΝοτιοΑνατολικός - ΝοτιοΔυτικός	95%kWh _(max)	90%kWh _(max)	60%kWh _(max)
Νότιος	kWh_(max)	90%kWh _(max)	60%kWh _(max)
ΒορειοΑνατολικός - ΒορειοΔυτικός	67%kWh _(max)	90%kWh _(max)	30%kWh _(max)
Βόρειος	60%kWh _(max)	90%kWh _(max)	20%kWh _(max)

Πίνακας 1.3.4

Εγκαθιστώντας περιστρεφόμενο φωτοβολταϊκό σύστημα τότε αυτός ο πίνακας δεν είναι χρήσιμος, διότι οι φωτοβολταϊκές γεννήτριες είναι πάντα κάθετες στις ακτίνες του ήλιου με αποτέλεσμα να έχουμε την μέγιστη απόδοση που μπορούν να δώσουν τα φωτοβολταϊκά στοιχεία.

Τα φωτοβολταϊκά σε στέγες δίνουν την δυνατότητα σε οικιακούς καταναλωτές και μικρές επιχειρήσεις να γίνουν παραγωγοί ηλεκτρικής ενέργειας από τον ήλιο, εγκαθιστώντας φωτοβολταϊκά συστήματα έως 10 kWp (Κιλοβάτ) στις στέγες και στις ταράτσες των κτιρίων τους. Το κόστος μιας εγκατάστασης στα 10kW είναι περίπου τριάντα με σαράντα χιλιάδες ευρώ, αναλόγως την ποιότητα των φωτοβολταϊκών γεννητριών. Ο επενδυτής θα το έχει αποσβέσει σε πέντε (5) με έξι (6) έτη, αναλόγως φυσικά τον προσανατολισμό των φωτοβολταϊκών . Τα υπόλοιπα είκοσι (20) με δεκαεννιά (19) έτη θα έχει καθαρό κέρδος. Εκτιμάτε το καθαρό κέρδος για τον επενδυτή να βρίσκεται πάνω από εκαντών είκοσι χιλιάδες ευρώ (120.000€).

Το κυριότερο μέγεθος για ένα φωτοβολταϊκό σύστημα είναι η μέγιστη ισχύς του η οποία μετριέται σε kWp και είναι η ισχύς που αποδίδει το σύστημα υπό συγκεκριμένες συνθήκες (ηλιοφάνειας, θερμοκρασίας και λοιπά). Σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία για στέγες ή ταράτσες η μέγιστη ισχύς που μπορεί να εγκατασταθεί είναι 10kWp εκτός από τα μη διασυνδεδεμένα νησιά που είναι 5kWp).

Για να ενταχθεί κάποιος στο πρόγραμμα φωτοβολταϊκά στις στέγες θα πρέπει να τηρεί κάποιες προδιαγραφές:

- Να είναι φυσικό πρόσωπο ή μικρή επιχείρηση και περιορίζει την μέγιστη εγκατεστημένη ισχύ σε 10kW. Στα δε διασυνδεδεμένα νησιά η μέγιστη ισχύ είναι η ίδια αλλά στα μη διασυνδεδεμένα είναι έως 5kW. Ως πολύ μικρές επιχειρήσεις θεωρούμε επιχειρήσεις με έως δέκα (10) εργαζόμενους και έσοδα έως δυο εκατομμύρια ευρώ (2.000.000 €).
- Σε περίπτωση που μιλάμε για επιχειρήσεις, αυτές δεν θα πρέπει να έχουν λάβει επιδότηση κρατική – Ευρωπαϊκή οποιουδήποτε είδους. Φυσικά δεν υπάρχει κάποιο πρόβλημα εάν έχουν δανειοδοτηθεί.
- Πρέπει ο ενδιαφερόμενος να έχει την κυριότητα του χώρου στον οποίο θα γίνει η εγκατάσταση.
- Πρέπει να υπάρχει ήδη μετρητής της ΔΕΗ.
- Δεν πρέπει να υπάρχει και άλλη εγκατάσταση στον ίδιο χώρο. Δηλαδή εάν κάποιος έχει αρκετά μεγάλη επιφάνεια δεν μπορεί να εγκαταστήσει 2 φωτοβολταϊκά των 10kW στο ίδιο κτίριο. Εάν έχει δύο διαφορετικά κτίρια μπορεί να εγκαταστήσει από ένα σύστημα σε κάθε κτίριο.
- Πρέπει να υπάρχει ηλιακός θερμοσίφωνας ώστε μέρος των αναγκών του ζεστού νερού χρήσης να καλύπτεται από αυτούς.
- Η εγκατάσταση μπορεί να εκμεταλλευτεί δώματα, στέγες, αποθήκες, πέργκολες, προεκτάσεις σκεπών, στέγαστρα βεραντών, σκίαστρα.

1.3.4 Φωτοβολταϊκά πάνελ - Συσσωρευτές – Ρυθμιστές Φόρτισης - Inverter

Φωτοβολταϊκά πάνελ

Η φωτοβολταϊκή γεννήτρια, στην περίπτωση μας ηλιοτροπική (tracker), η οποία μόνη της τροφοδοτεί με συνεχές ρεύμα ένα φορτίο, οποτεδήποτε υπάρχει επαρκής φωτεινότητα. Αυτού του τύπου το σύστημα είναι κοινό σε εφαρμογές οικιακές ή γεωργικές για άντληση. Σε άλλες περιπτώσεις το φωτοβολταϊκό σύστημα (solar-pv) παρέχει δυνατότητα αποθήκευση ενέργειας στις μπαταρίες. Συμπεριλαμβάνεται μετατροπέας ισχύος (inverter) της ηλεκτρικής ενέργειας, όταν απαιτείται εναλλασσόμενο ρεύμα να εξέρχεται από το σύστημα.

Τα φωτοβολταϊκά πάνελ ή αλλιώς ηλιακοί συλλέκτες, όπως αναφέραμε και σε προηγούμενη ενότητα χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες. Η πρώτη γενιά φωτοβολταϊκών είναι αυτή που χρησιμοποιούνται ευρέως στο εμπόριο, με τα πολυκρυσταλλικά και τα μονοκρυσταλλικά πυριτίου πλαίσια.

Τα πολυκρυσταλλικά πυριτίου πλαίσια κατασκευάζονται από ράβδους λιωμένου και επανακρυσταλλομένου πυριτίου. Για την παραγωγή τους οι ράβδοι του πυριτίου κόβονται σε λεπτά τμήματα από τα οποία κατασκευάζεται η κυψέλη του φωτοβολταϊκού. Η διαδικασία κατασκευής τους είναι απλούστερη από εκείνη των μονοκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών με αποτέλεσμα το φθηνότερο κόστος παραγωγής. Παρουσιάζουν όμως σε γενικές γραμμές μικρότερη απόδοση της τάξεως του 12%.

Τα μονοκρυσταλλικά κατασκευάζονται από κυψέλες που έχουν κοπεί από ένα κυλινδρικό κρύσταλλο πυριτίου. Αποτελούν τα πιο αποδοτικά φωτοβολταϊκά με αποδόσεις της τάξεως του 15%. Η κατασκευή τους όμως είναι πιο πολύπλοκη, γιατί απαιτεί την κατασκευή του μονοκρυσταλλικού πυριτίου με αποτέλεσμα το υψηλότερο κόστος κατασκευής.

Πλέον υπάρχουν πολλές εταιρίες που παράγουν φωτοβολταϊκούς συλλέκτες, κάποιες από αυτές είναι: Solar Energy, Sharp, Solartech Plus, BSL, Bp solar, Flexcell, Kyocera, Mitsubishi, Conergy, Photowatt, Photon energy, Solar World, Suntech, luxor και άλλες πολλές ελληνικές αλλά και ξένες.

Συσσωρευτές

Οι συσσωρευτές (εικόνα 1.3.4.1) που χρησιμοποιούνται συνήθως σε συστήματα ηλιακής ενέργειας είναι μπαταρίες βαθύ κύκλου και είναι σχεδιασμένα για να απορρίπτεται μέσα σε ένα μεγάλο χρονικό διάστημα (για παράδειγμα 100 ώρες) και να επαναφορτιστούν εκατοντάδες ή χιλιάδες φορές. Σε αντίθεση με τις συμβατικές μπαταρίες αυτοκινήτων που είναι σχεδιασμένα για να παρέχουν ένα μεγάλο ποσό του ρεύματος για ένα σύντομο χρονικό διάστημα. Για να μεγιστοποιήσουμε την διάρκεια ζωής της μπαταρίας βαθύ κύκλου, δεν θα πρέπει να αποφορτιστεί πάνω από το 50% της χωρητικότητάς τους. Η παραπάνω εκφόρτιση, θα μειώσει σημαντικά τη διάρκεια ζωής των μπαταριών. Οι μπαταρίες βαθύ κύκλου μετρικούνται σε αμπερώρια (Ah). Αυτή η τιμή περιλαμβάνει επίσης, το ποσοστό εκφόρτισης, συνήθως σε 20 ώρες. Αυτή η βαθμολογία καθορίζει την ποσότητα του ρεύματος σε Amps, δηλαδή ότι η μπαταρία μπορεί να παρέχει πάνω από το καθορισμένο αριθμό ωρών.

Για παράδειγμα, μια μπαταρία με ονομαστικά 120Ah σε ποσοστό εκατό (100) ωρών μπορεί να παρέχει ένα σύνολο 120Ah για μια περίοδο εκατό (100) ωρών. Αυτό θα ισοδυναμούσε με 1,2 A ανά ώρα για 100 ώρες. Λόγω της εσωτερικής θέρμανσης σε υψηλότερα ποσοστά εκφόρτισης, η ίδια μπαταρία θα μπορούσε να προμηθεύσει 110Ah σε ποσοστό 20 ωρών, ή 5,5A ανά ώρα για 20 ώρες.



Εικόνα 1.3.4.1

Ρυθμιστής Φόρτισης

Ο ρυθμιστής φόρτισης είναι μια απλή ηλεκτρονική συσκευή που φροντίζει για τη σωστή φόρτιση των συσσωρευτών του φωτοβολταϊκού συστήματος.

Ελέγχει τη διαδικασία φόρτισης και σταματά τη φόρτιση όταν διαπιστώσει ότι οι μπαταρίες έχουν φορτίσει πλήρως. Αλλιώς θα υπήρχε ο σοβαρός κίνδυνος να καταστραφούν (καούν) οι μπαταρίες, από υπερφόρτιση.

Επειδή οι μπαταρίες έχουν την τάση να αποφορτίζονται σταδιακά ακόμα κι αν δεν τροφοδοτούν με ρεύμα κάποια συσκευή, ο ρυθμιστής φόρτισης φροντίζει αυτόματα να ξαναρχίσει η διαδικασία φόρτισης της μπαταρίας όταν διαπιστώσει ότι η τάση της έπεσε κάτω από το επίπεδο της πλήρους φόρτισης.

Αρκετοί ρυθμιστές φόρτισης έχουν υποδοχή πάνω στην οποία συνδέουμε τις ηλεκτρικές συσκευές που θέλουμε να τροφοδοτήσουμε από τη μπαταρία. Έτσι, έχουν την επιπλέον δυνατότητα να διακόψουν τη λειτουργία των ηλεκτρικών συσκευών όταν διαπιστώσουν ότι η μπαταρία κοντεύει να αδειάσει πλήρως, προστατεύοντάς την πάλι με αυτό τον τρόπο από πλήρη αποφόρτιση που θα οδηγούσε στην καταστροφή της.

Επιλογή ρυθμιστή φόρτισης

Το μέγεθος του ρυθμιστή φόρτισης (εικόνα 1.3.4.2) εξαρτάται από το μέγεθος της ποσότητας των φωτοβολταϊκών, δηλαδή την ένταση της παραγόμενης ισχύς, που θα συνδέουμε στο σύστημά μας. Για την σωστή επιλογή του ρυθμιστή φόρτισης πρέπει να προσέξουμε δυο πράγματα, την τάση και το ρεύμα εξόδου των φωτοβολταϊκών. Δηλαδή ο φορτιστής πρέπει να υπερκαλύπτει την συνολική ένταση σε Ampere των φωτοβολταϊκών. Αν, για παράδειγμα, η ονομαστική ένταση σε Ampere των φωτοβολταϊκών είναι 10A, τότε πρέπει να επιλέξουμε ένα ρυθμιστή φόρτισης 12A. Επίσης, πρέπει να είναι κατάλληλος και για την τάση του φωτοβολταϊκού συστήματος. Δηλαδή, αν τα φωτοβολταϊκά βγάζουν συνολική τάση 12V, επιλέγουμε ρυθμιστή για φωτοβολταϊκά 12V. Αν τα φωτοβολταϊκά μας βγάζουν συνολική τάση 24V, επιλέγουμε ρυθμιστή για φωτοβολταϊκά 24V.



Εικόνα 1.3.4.2

Μερικά χαρακτηριστικά από έναν απλό ρυθμιστή φόρτισης (εικόνα 1.3.4.3), για να έχουμε μια εικόνα των στοιχείων του.

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Απεικόνιση φόρτισης συσσωρευτή με LED.

Προστατεύει την μπαταρία από υπερφόρτωση.

Προστασία αντίστροφης πολικότητας.

Φόρτιση δύο σταδίων (boost & float).

Τάση: 12V.

Μέγιστο ρεύμα: 4A.

Κατανάλωση: <4mA.

Θερμοκρασία λειτουργίας: -40 έως +50 βαθμούς Κελσίου.

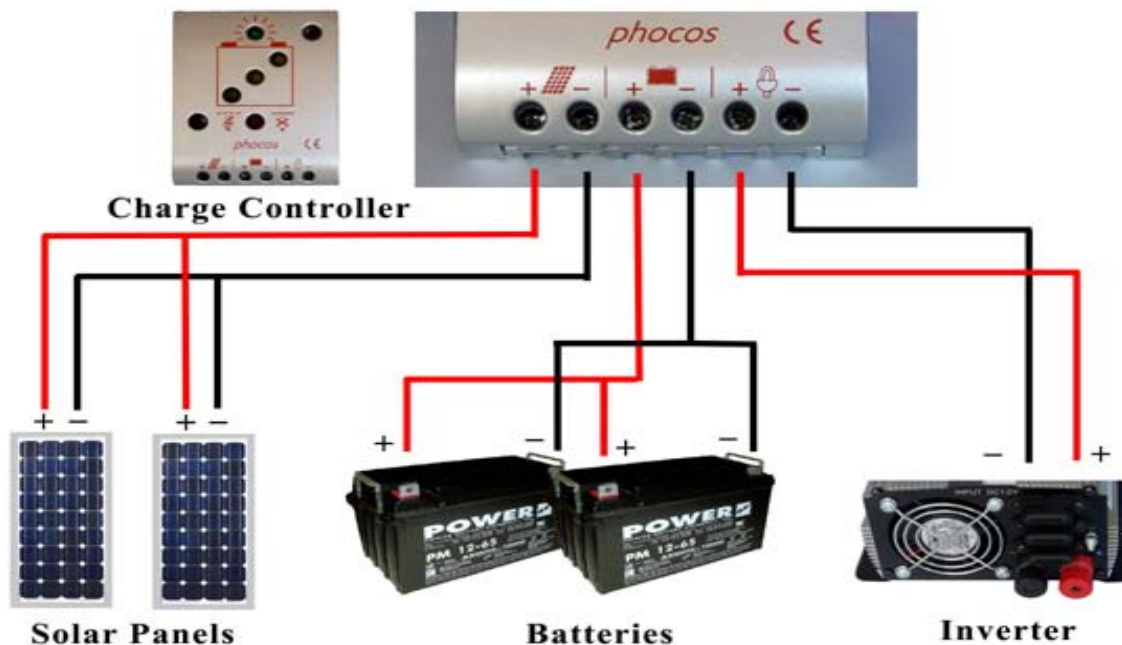
Μέγιστη διάμετρος καλωδίου: 16 mm².

Διαστάσεις: 73 x 61 x 30 mm.

Βάρος: 68 gr.

Μια σημαντική παρατήρηση, αν σκοπεύουμε να επεκτείνουμε το φωτοβολταϊκό μας σύστημα με περισσότερα φωτοβολταϊκά πάνελ στο μέλλον, τότε καλό είναι να επιλέξουμε ένα μεγαλύτερο ρυθμιστή φόρτισης για να καλύπτει και τις μελλοντικές ανάγκες.

Η σύνδεση των φωτοβολταϊκών γεννητριών, των μπαταριών και του μετατροπέα με τον ρυθμιστή φόρτισης, είναι πολύ απλοϊκή και απεικονίζεται παρακάτω.



Εικόνα 1.3.4.3

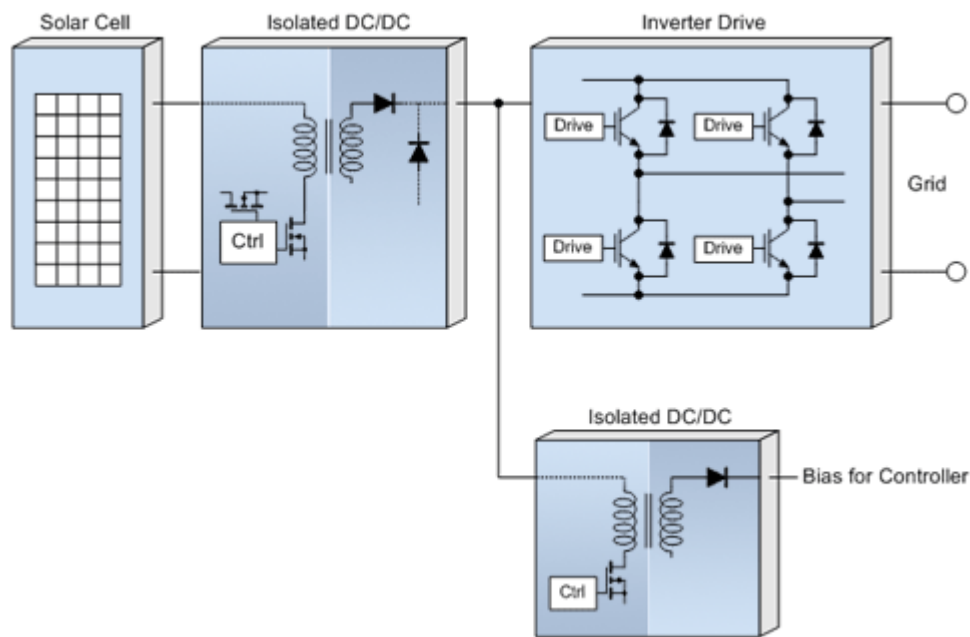
Inverter

Ο μετατροπέας ρεύματος (inverter) (εικόνα 1.3.4.4), είναι η ηλεκτρονική συσκευή που μετατρέπει τη συνεχή τάση (DC) της μπαταρίας σε εναλλασσόμενη τάση (AC) 220-230 Volt. Η συχνότητα εξόδου του μετατροπέα ρεύματος εναλλάσσεται αναλόγως τις δυνατότητες του μετατροπέα, αλλά συνήθως έχει ένα εύρος συχνοτήτων κοντά στα 50Hz, διότι αυτή είναι η συχνότητα του δικτύου μας. Ένας μετατροπέας (inverter) χαρακτηρίζεται από την τάση εισόδου: 12Volt, 24Volt, 48Volt, την τάση εξόδου: 110-120Volt, 220-230Volt, 360-380Volt και την συχνότητα 50Hz, για Ελλάδα. Στην επόμενη εικόνα φαίνεται η όψη ενός μετατροπέα.



Εικόνα 1.3.4.4

Για να γίνει η μετατροπή που χρειαζόμαστε για την ορθή λειτουργία του ηλεκτρολογικού μέρους του συστήματός μας, ο inverter διαθέτει δυο ηλεκτρονικές συσκευές στο εσωτερικό του, έναν ανορθωτή τάσης και έναν αντιστροφέα. Μετατροπή τάσης από DC/DC και μετά από DC/AC. Ένα σχεδιάγραμμα (σχέδιο 1.3.4.1) για να γίνει πιο κατανοητό.



Σχέδιο 1.3.4.1

Χαρακτηριστικά ενός μετατροπέα ρεύματος που είναι απαραίτητα να τα γνωρίζει οποιοσδήποτε εγκαταστάτης.

Peak εξόδου: Είναι η μέγιστη ισχύς που μπορεί να δώσει ο μετατροπέας στιγμιαία στην εκκίνηση των κινητήρων ή άλλων επαγωγικών φορτίων. Η στιγμιαία αυτή ισχύς μπορεί να φθάσει στο τριπλάσιο της ονομαστικής ισχύς της συσκευής, αλλά με συνέπεια την αποφόρτιση των μπαταριών του συστήματος. Εάν η ισχύς που απαιτείται είναι μεγαλύτερη από το Peak του μετατροπέα τότε υπάρχει κίνδυνος άμεσης καταστροφής του, γι' αυτό χρειάζεται μελέτη για το μέγεθος των κιλοβαττ του φορτίου που θα συνδεθεί στην έξοδο του μετατροπέα (inverter). Ένας καλός/ακριβός μετατροπέας έχει την δυνατότητα να προστατεύεται σε τέτοιες καταστάσεις χωρίς να καταστραφεί.

Όλα τα inverter/μετατροπείς ρεύματος ακόμα και εάν δεν υπάρχει φορτίο έχουν σημαντικές αυτοκαταναλώσεις. Δηλαδή και όταν δεν υπάρχει αρκετή ακτινοβολία από τον ήλιο, για να παραχθεί ηλεκτρικό ρεύμα, τα στοιχεία που αποτελούν τον μετατροπέα διαρρέονται από ρεύμα με αποτέλεσμα κατανάλωση ρεύματος. Για τον λόγο αυτό κάποιοι μετατροπείς ρεύματος, έχουν σύστημα μείωσης κατανάλωσης σχεδόν στο μηδέν, βέβαια όταν δεν υπάρχουν συνδεδεμένα φορτία στο όλο σύστημα. Στα περιστρεφόμενα φωτοβολταϊκά συστήματα πρέπει να τονίσουμε ότι έχουμε πάντα συνδεδεμένο φορτίο, τους ηλεκτροκινητήρες για την κίνηση του ηλιοτροπίου. Όμως οι βηματικοί αυτοί κινητήρες είναι συνεχούς (DC) ρεύματος και δεν λειτουργούν συνέχεια. Έτσι ο μετατροπέας που χρησιμοποιούμε μπορεί να απενεργοποιείται σε αυτές τις στιγμές αυτές. Με τον ηλεκτρονικό αυτό τρόπο κάνουμε το σύστημα πιο αποδοτικό.

Τύποι μετατροπέων ρεύματος (inverter) για φωτοβολταϊκά συστήματα:

- Stand-Alone
- Synchronous
- Multi-function

Η πρώτη κατηγορία των μετατροπέων είναι και η πιο απλή σε κατασκευή. Παράγουν συνήθως τροποποιημένο ημιτόνιο, δεν έχουν προστασία για στιγμιαίες μεταβολές και δεν φέρουν σύστημα εξοικονόμησης ενέργειας. Η λειτουργία τους είναι η εναλλαγή συνεχούς ρεύμα (DC) από φωτοβολταϊκά πάνελ ή μπαταρίες (αν υπάρχουν στο σύστημα), σε εναλλασσόμενο ρεύμα (AC). Οι μετατροπείς αυτοί κυμαίνονται από περίπου 100 Watts ως και 8000 Watts, που χρησιμοποιούνται για να τροφοδοτήσουν μια τεράστια ποικιλία των προσωπικών ή μικρών επιχειρηματικών σχεδίων. Οι μετατροπείς τύπου Stand-Alone εξόδου μικρής ποσότητας ενέργειας (Watt), χρησιμοποιούνται συχνά για τροφοδοτήσουν μικρές συσκευές, ενώ η υψηλής ενέργειας (KWatt) θα μπορούσε να χρησιμοποιηθούν για να βοηθήσει ένα ολόκληρο νοικοκυριό. Όσο αφορά το κόστος αυτού του τύπου inverter είναι πολύ χαμηλό.

Στην δεύτερη κατηγορία ανήκει ο Σύγχρονος Μετατροπέας Ρεύματος (Synchronous solar inverter) καθαρού ημιτόνου με προστασία σε ακραίες μεταβολές. Ουσιαστικά ημιτόνου ίδιου με την ισχύ του δικτύου και συχνά καθαρότερο από αυτό. Δεν καταστρέφονται από μεγάλα επαγωγικά φορτία, εξοικονομούν ενέργεια και έχουν διπλάσια ή τριπλάσια μέγιστη στιγμιαία τιμή λειτουργίας εξόδου (Peak). Επίσης ο όρος του σύγχρονου ηλιακού μετατροπέα προκύπτει από τη σύγχρονη δυναμική που είναι απαραίτητη να αναπτυχθεί για τα καινούργια φωτοβολταϊκά συστήματα και αναπτύσσεται μεταξύ της εταιρείας κοινής ωφελείας και του φωτοβολταϊκού συστήμα. Ο μετατροπέας αυτός επιτρέπει το ηλεκτρικό ρεύμα που παράγεται από ηλιακά πάνελ να αποθηκεύονται στις μπαταρίες και εάν υπάρχει πλεόνασμα η ισχύς θα πωλείται πίσω στην εταιρεία κοινής ωφελείας με τον ίδιο ρυθμό με τον οποίο θα χρεώνονται.

Δηλαδή αν τα ηλιακά πάνελ δεν είναι σε θέση να παρέχουν την ισχύ που χρειάζεται, ο Σύγχρονος μετατροπέας ρεύματος θα επιτρέψει στην εταιρεία κοινής ωφελείας για την παροχή ρεύματος για να καλυφθεί η διαφορά. Όπως μπορούμε να καταλάβουμε τα πλεονεκτήματα μιας σύγχρονης εγκατάστασης, τέτοιου τύπου μετατροπέα είναι πολλά. Είναι πολύ σημαντικό για τις μπαταρίες να τροφοδοτηθούν με ενέργεια κατά τη διάρκεια διακοπών ηλεκτρικής ενέργειας της εταιρείας κοινής ωφελείας και στις δυσοίωνες και βροχερές ημέρες. Ας μην ξεχνάμε ότι οι συσσωρευτές που χρησιμοποιούνται στα φωτοβολταϊκά συστήματα, όταν το ποσοστό της χωρητικότητας φτάσει στο 50% τις εκατό, τότε επέρχεται η φθορά των συσσωρευτών. Επίσης δεν θα υπάρχει ανησυχία για την απόδοση ηλιακών πάνελ, διότι κάθε στιγμιαία ενέργεια που χρειαζόμαστε θα πρέπει να παρέχεται από την εταιρεία κοινής ωφελείας μέσω του μετατροπέα.

Οι Πολυ-λειτουργικοί μετατροπείς ρεύματος (Multi-function Solar Panel) συνδυάζουν ό,τι καλύτερο υπάρχει αυτήν την στιγμή από τεχνολογικής απόψεως. Φυσικά είναι η καλύτερη επιλογή για οποιοδήποτε φωτοβολταϊκό σύστημα. Οι μετατροπείς πολλαπλών λειτουργιών είναι οι ακριβότεροι, αλλά διαθέτοντας όλα τα θετικά στοιχεία που έχουν και οι υπόλοιποι τύποι μετατροπέων ρεύματος, συν ότι έχει την δυνατότητα να χρησιμοποιήσει την ενέργεια από το δίκτυο, από το ηλιακό πάνελ ή από την αποθηκευμένη ενέργεια των μπαταριών. Μπορούμε να

συνδέσουμε ακόμα και μια εφεδρική γεννήτρια σε ολόκληρη την εγκατάσταση. Επίσης επιτρέπει να παράγει πλεόνασμα ενέργειας, που πρόκειται να αποθηκευτεί σε μια τράπεζα μπαταριών κατά τη διάρκεια της ημέρας, με σκοπό την παροχή ρεύματος με τη δύναμη/ισχύς που χρειάζεται για την σωστή τροφοδότηση των φορτίων. Παράλληλα, η τράπεζα μπαταρία είναι φορτισμένη με ενέργεια που χρειάζεται το όλο σύστημα για τη νύχτα. Επιπλέον εάν υπάρχει πλεόνασμα ηλεκτρικής ενέργειας, μπορεί να πωληθεί σε τοπική εταιρεία ηλεκτρισμού. Τέλος, εάν μια εφεδρική γεννήτρια χρησιμοποιηθεί, ο μετατροπέας θα συγχρονιστεί και θα ρυθμίσει την τάση, την συχνότητα και την ισχύς, ώστε να μπορεί να προστεθεί μια υπάρχουσα πηγή ενέργειας στο δίκτυο που τροφοδοτεί.

Ο μετατροπέας ρεύματος (inverter) είναι το κυριότερο συστατικό του κάθε ανεξάρτητου συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτεί εναλλασσόμενο ρεύμα. Ο μετατροπέας ρεύματος θα μετατρέψει το συνεχές ρεύμα, θα το αποθηκεύσει σε μπαταρίες και θα το μετατρέψει σε εναλλασσόμενο ρεύμα για την εκτέλεση των συμβατικών συσκευών.

Είναι πολύ σημαντικό ο μετατροπέας να έχει μια ενσωματωμένη δυνατότητα κύματος εάν χρησιμοποιείτε βαρύς εξοπλισμός στην οικία, είτε στην επιχείρηση που βρίσκεται η εγκατάσταση του φωτοβολταϊκού συστήματος. Τα φορτία που απαιτούν (τραβάνε) μεγάλο ρεύμα κατά την εκκίνηση, είναι τα ηλεκτρικά εργαλεία, αυτόματα πλυντήρια, στεγνωτήρια, πλυντήρια πιάτων και γενικά συσκευές με επαγωγικό φορτίο. Αυτές οι συσκευές – εξοπλισμός, απαιτούν μια ενίσχυση ενέργειας κατά την εκκίνηση, την οποία πρέπει είναι σε θέση να την προμηθεύσει ο μετατροπέας που θα επιλέξουμε στο σύστημά μας. Φυσικά αν σκοπεύουμε να χρησιμοποιήσουμε τέτοιου είδους συσκευές.

Υπολογισμός μετατροπέα ρεύματος (inverter).

Για να υπολογιστεί ποια τάξη του μετατροπέα χρειάζεστε για την χρήση ηλιακού πάνελ, θα πρέπει πρώτα να καθοριστεί το μέγιστο άθροισμα όλων των εναλλασσόμενων ρευμάτων των φορτίων. Αρχικά χωρίζουμε τα φορτία σας σε ωμικά όπως για παράδειγμα λάμπες, τηλεόραση, ράδιο, φορητούς υπολογιστές (laptop) και σε επαγωγικά όπως για παράδειγμα ψυγεία, αντλίες, λάμπες φθορισμού, κινητήρες εναλλασσόμενου (A/C) και λοιπά. Έπειτα αθροίζουμε όλα τα ωμικά φορτία που θέλουμε να λειτουργούν συγχρόνως. Αθροίζουμε και όλα τα επαγωγικά φορτία και πολλαπλασιάζουμε επί τρία (3) τουλάχιστον. Τέλος αθροίζουμε τα δύο αποτελέσματα των πρώτων προσθέσεων και το αποτέλεσμα που θα πάρουμε δεν πρέπει να υπερβαίνει το Peak του inverter, διαφορετικά υπάρχει άμεσος κίνδυνος καταστροφής του.

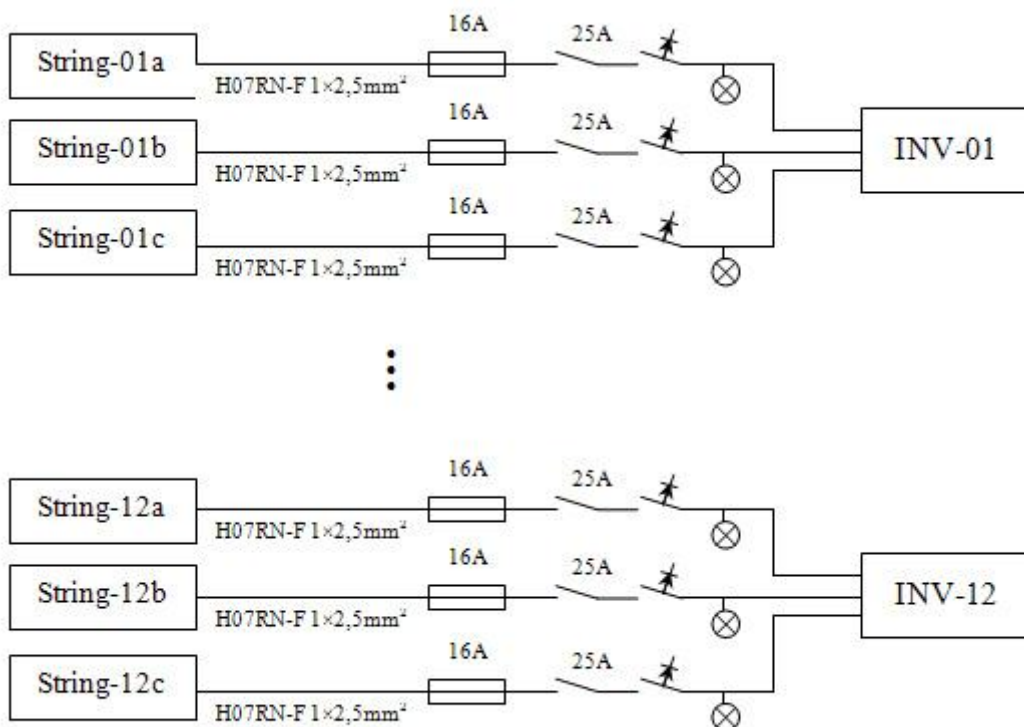
Επίσης θα ήταν πολύ σωστό να τονίσουμε σε αυτό το σημείο ότι κατά την εκκίνηση συσκευών μεγάλης απορρόφησης ηλεκτρικού ρεύματος όπως επαγωγικών φορτίων (αντλίες νερού) είτε ωμικών φορτίων (κουζίνα, θερμοσίφωνα, κ.λ.π.) να μην χρησιμοποιούνται όλα ταυτόχρονα. Διότι με την απότομη παροχή ηλεκτρικού ρεύματος που θα χρειαστούμε από το σύστημά μας ο μετατροπέας μας θα προσπαθήσει να μας τροφοδοτήσει με το ρεύμα που χρειαζόμαστε, όμως τραβώντας όλο το ρεύμα από τις μπαταρίες, εκφορτίζοντάς τις μέσα σε μικρό χρόνο. Οι μπαταρίες και οι μετατροπείς είναι κατασκευασμένα από το εργοστάσιο για να δουλεύουν σε τέτοιες περιστάσεις, αλλά το σύστημα πρέπει να δουλεύει ομαλά για να μην επιβαρύνεται ούτε ο μετατροπέας, ούτε να φθείρονται οι μπαταρίες, ούτε να υπερθερμαίνουμε τις καλωδιώσεις.

1.3.5 Καλωδίωση και Ασφάλεια

Στην ηλεκτρολογική εγκατάσταση για την σύνδεση των φωτοβολταϊκών γεννητριών με τον μετατροπέα ρεύματος και στην συνέχεια με το δίκτυο, χρειαζόμαστε κάποια καλώδια συγκεκριμένου τύπου, διασυνδέσεις καλωδίων, ασφάλειες και διακόπτες. Ως γνωστών οι φωτοβολταϊκές γεννήτριες τοποθετούνται είτε σε σκεπές, ταράτσες σπιτιών, είτε σε χωράφια, είτε σε ηλιοτροπικά πλαίσια, όπως το δικό μας σύστημα. Για τον λόγο αυτό τα καλώδια και οι διασυνδέσεις τους θα πρέπει να είναι στεγανές για την αποφυγή βραχυκυκλώματος και οξυδώσεων τον επαφών. Τα καλώδια με τα οποία συνδέονται τα φωτοβολταϊκά πλαίσια μεταξύ τους είναι ειδικού τύπου, με διατομή $2,5\text{ mm}^2$.

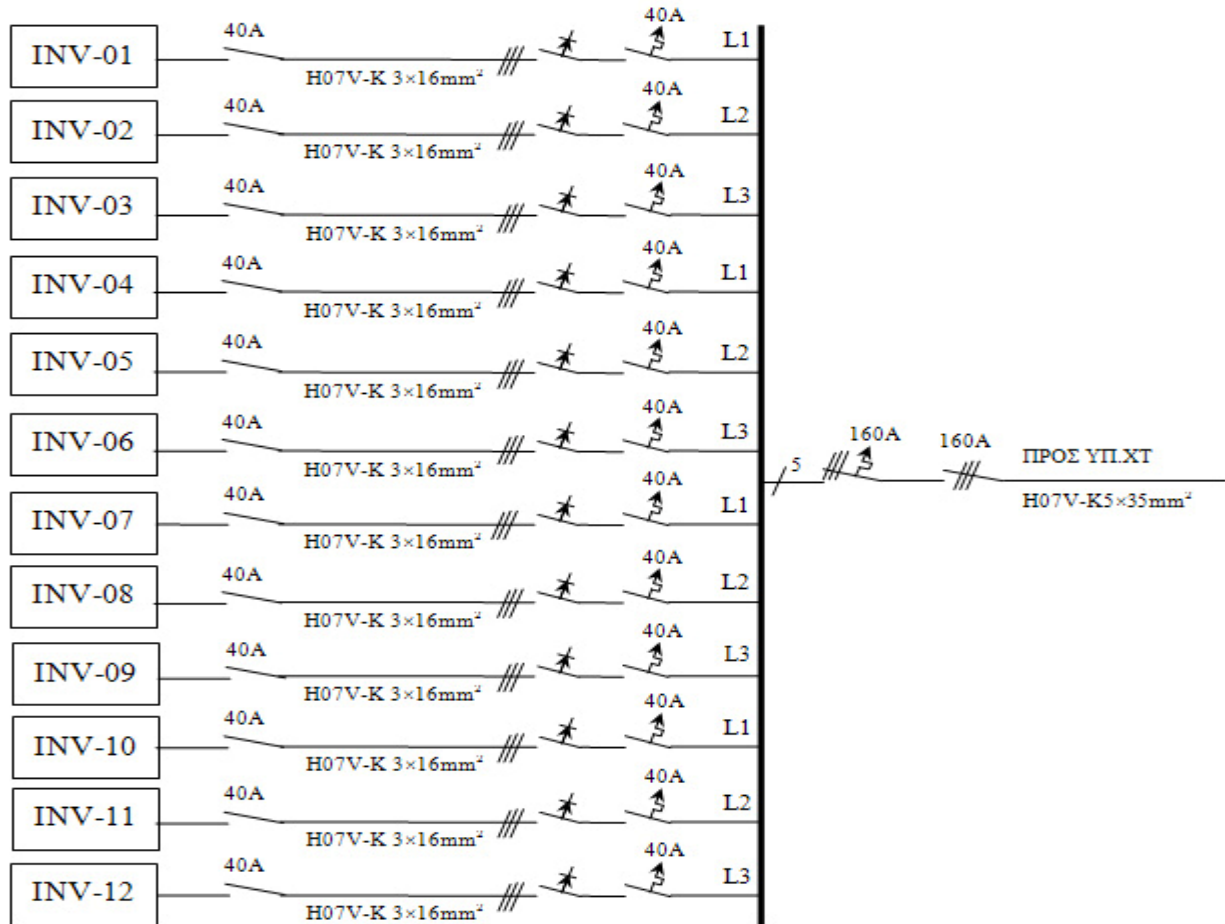
Η σύνδεση της συστοιχίας με τον αντιστροφέα, μπορεί να γίνει με καλώδια νεοπρενίου τύπου H07RN-F ή PVC, τα οποία ενδείκνυνται για μεσαία και υψηλή καταπόνηση και είναι ανθεκτικά στις καιρικές συνθήκες. Ο υπολογισμός αυτών των καλωδίων γίνεται με βάση τις τιμές της τάσης και της έντασης στην είσοδο του αντιστροφέα.

Ακολουθεί το μονογραμμικό κύκλωμα της ηλεκτρολογικής εγκατάστασης από τα φωτοβολταϊκά πάνελ μέχρι τους μετατροπείς ρεύματος. (σχέδιο 1.3.5)



Σχέδιο 1.3.5

Από την σύνδεση του αντιστροφέα με τον πίνακα χαμηλής τάσης της εγκατάστασης, γίνεται με καλώδια τύπου H07V-K (παλιότερα γνωστά ως NYAF) διατομής $3 \times 16 \text{ mm}^2$. Είναι πολύ σημαντικό οι απώλειες των καλωδίων αυτών να μην ξεπερνούν το 1%. Το επόμενο σχέδιο (Σχέδιο 1.3.6) είναι το μονογραμμικό κύκλωμα με όλα τα στοιχεία που χρειάζονται για την ηλεκτρολογική εγκατάσταση του φωτοβολταϊκού συστήματος.



Σχέδιο 1.3.6

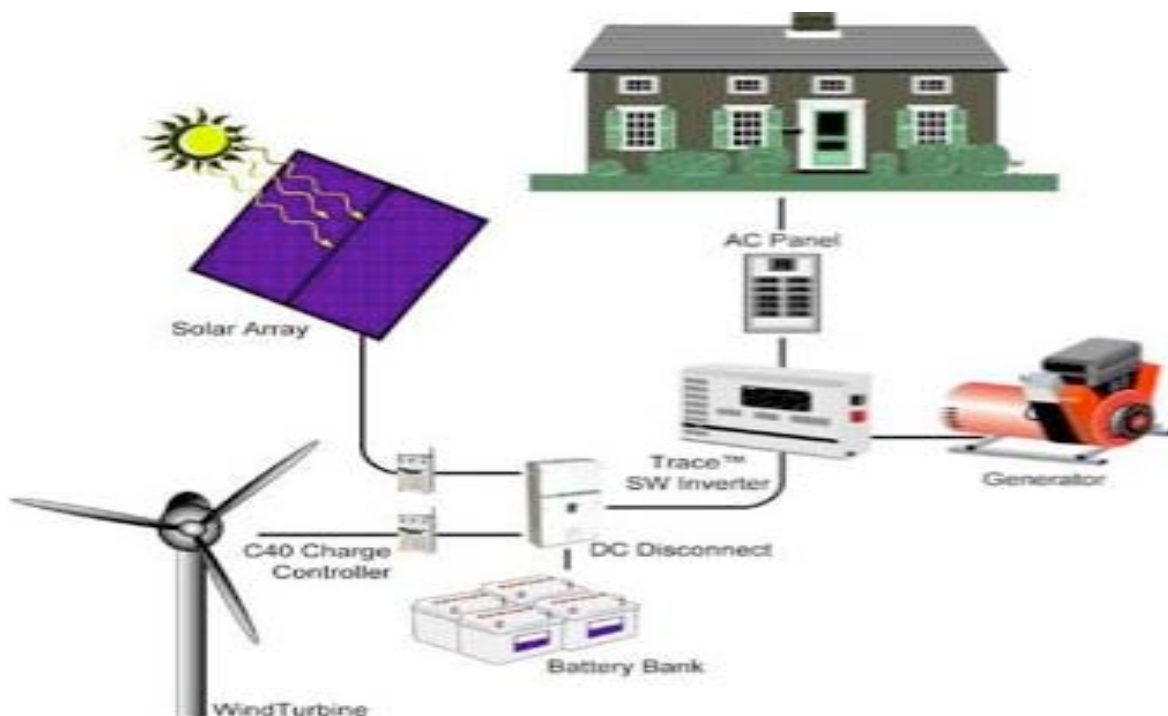
Όσο αφορά τα μέσα προστασίας, η είσοδος κάθε αντιστροφέα προστατεύεται με διάταξη ασφάλειας τήξης σε συνδυασμό με αποζεύκτη (ασφαλειοαποζεύκτη), διακόπτη διαρροής έντασης και ενδεικτική λυχνία. Οι ασφάλειες είναι των 16A και οι διακόπτες των 25A, ενώ ο διακόπτης διαφυγής έντασης είναι των 30mA. Η διάταξη με την σειρά της προστατεύεται από στεγανό ανοιγόμενο κιτίο. Επίσης στην πλευρά του εναλλασσόμενου ρεύματος, στην έξοδο του αντιστροφέα τοποθετείται διακόπτης διαφυγής έντασης και μικροαυτόματος διακόπτης των 40A.

1.4 Υβριδικά φωτοβολταϊκά συστήματα

Υβριδικά συστήματα είναι ο συνδυασμός ηλεκτρικού ρεύματος από δύο ή περισσότερες πηγές παραγωγής ενέργειας που προέρχεται από πετρελαιογεννήτριες, ανεμογεννήτριες, μικρές υδροηλεκτρικές γεννήτριες και φωτοβολταϊκά συστήματα, ανάλογα με τις ενεργειακές ανάγκες που υπάρχουν, αξιοποιώντας τα γεωγραφικά πλεονεκτήματα της περιοχής. Είναι ιδανικά συστήματα για εφαρμογές σε απομακρυσμένες τοποθεσίες όπως τηλεπικοινωνιακοί σταθμοί και αναμεταδότες, στρατιωτικές εγκαταστάσεις και παραμεθόρια χωριά. Απαραίτητη γνώση για την εγκατάσταση ενός υβριδικού συστήματος είναι η ζήτηση σε ηλεκτρικό ρεύμα, όπως και τα γεωγραφικά και τοπολογικά πλεονεκτήματα, οπότε πρέπει να καταμετρηθεί η ηλιακή ενέργεια, ο άνεμος και άλλες πιθανές πηγές σε μία συγκεκριμένη περιοχή.

Πολλά συστήματα περιλαμβάνουν μπαταρίες, φορτιστές μπαταριών, μια εφεδρική γεννήτρια, μετατροπέα ρεύματος και έναν ελεγκτή, έτσι ώστε οι άνθρωποι να μπορούν να χρησιμοποιήσουν τις ηλεκτρικές τους συσκευές σε συνεφιασμένες ημέρες. Σε διασυνδεδεμένα συστήματα δεν χρειάζονται μπαταρίες ή εφεδρικών γεννητριών επειδή χρησιμοποιούν το δίκτυο για την εφεδρική ισχύ. Μερικές απομακρυσμένες εφαρμογές του συστήματος, όπως αυτά που χρησιμοποιούνται για την άντληση νερού, δεν απαιτούν μια εφεδρική πηγή ενέργειας.

Υβριδικό σύστημα με τροφοδοσία από τρεις πηγές ενέργειας, ηλιακή, αιολική και γεννήτρια καύσης βενζίνης ή υγραερίου. (Εικόνα 1.4)



Εικόνα 1.4

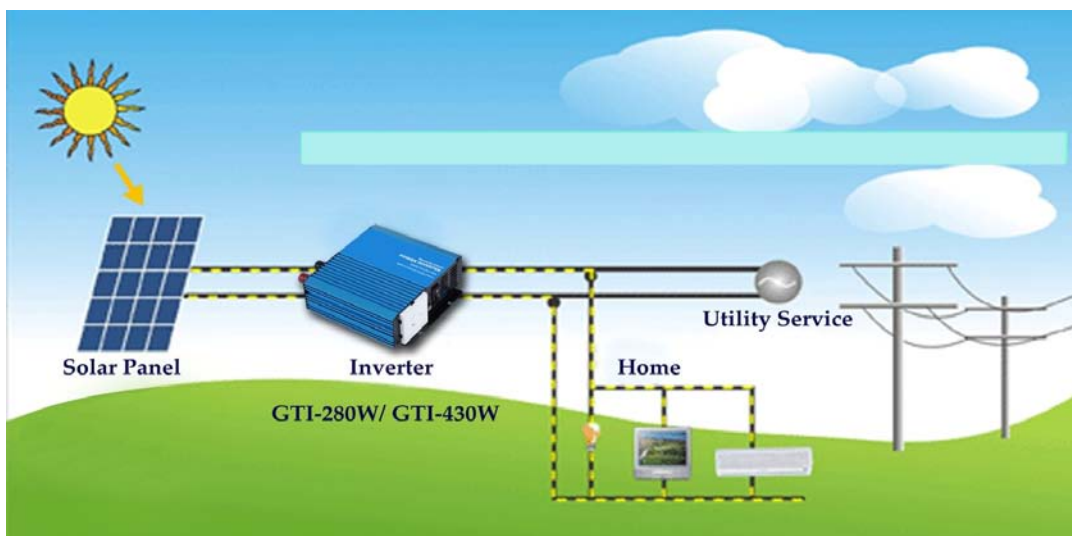
Ηλιακά συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας ενσωματώνουν μετατροπείς ή μονάδες ελέγχου ισχύος, για τη μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας συνεχούς ρεύματος, που παράγεται από τις ηλιακές κυψέλες, σε εναλλασσόμενο ρεύμα (AC) για να λειτουργήσουν (AC) ηλεκτρικές συσκευές ή για την πώλησή του, σε ένα πλέγμα χρησιμότητας. Ολοκληρωμένα συστήματα συνήθως περιλαμβάνουν την ασφαλείς αποζεύκτες, ασφάλειες, καθώς και ένα κύκλωμα γείωσης.

Τα υβριδικά συστήματα στην χώρα μας είναι ελάχιστα, διότι ακόμα το κόστος τοποθέτησης τέτοιων σταθμών παραγωγής ρεύματος είναι μεγάλο. Επίσης η τιμή της κιλοβατώρας (KWh) που πουλάει η ΔΕΗ είναι πολύ χαμηλή, με αποτέλεσμα αν είχες την δυνατότητα να έχεις στην περιοχή σου διασύνδεση με την ΔΕΗ τότε θα σε συνέφερε τροφοδοσία από αυτή. Η απόσβεση ενός υβριδικού συστήματος θα ήταν μακροχρόνια. Ένας σημαντικός παράγοντας είναι και ο χώρος που διαθέτεις στο σπίτι σου για την τοποθέτηση είτε φωτοβολταϊκών πλαισίων σταθερών ή όχι, είτε ανεμογεννητριών. Εκτός από τον χώρο πρέπει να υπάρχουν και οι κατάλληλες καιρικές συνθήκες, όπως σταθερός αέρας ή μη σκιερές επιφάνειες για τα φωτοβολταϊκά.

Συμπερασματικά, καταλήγουμε ότι τα υβριδικά συστήματα είναι αποδοτικά με σωστή μελέτη της κατανάλωσης και της παραγωγής του ρεύματος, αλλά με προϋπόθεση ότι πρέπει να έχεις τον χώρο και τις σωστές καιρικές συνθήκες για καλή και λειτουργική απόδοση του όλου συστήματος.

1.5 Συνδεδεμένα με τη ΔΕΗ

Σε μέρη όπου ήδη υπάρχει ηλεκτρικό ρεύμα είναι εφικτή η σύνδεσή του με το φωτοβολταϊκό μας σύστημα, συμπληρώνοντας έτσι τις ανάγκες μας σε ενέργεια και αντικαθιστώντας την χρήση των μπαταριών. Πολλοί ιδιοκτήτες σπιτιών χρησιμοποιούν και τις δύο πηγές ηλεκτρισμού, μειώνοντας έτσι τον λογαριασμό του ηλεκτρικού. Ικανοποιούνται επίσης από το γεγονός ότι δεν μολύνουν το περιβάλλον. Ένας χρήστης φωτοβολταϊκού συστήματος που είναι συνδεδεμένο με το δίκτυο μπορεί επίσης να πουλήσει ρεύμα στην ΑΗΚ. Αυτό επιτυγχάνεται τοποθετώντας ένα μετρητή μεταξύ του συστήματος και του δικτύου. Το ρεύμα που του παρέχει το φωτοβολταϊκό σύστημα διοχετεύεται (ή πωλείται) στο δίκτυο. Για να γίνει αυτό εφικτό χρειάζεται ένας εγκεκριμένος μετατροπέας που μετατρέπει το συνεχές ρεύμα που παράγει το φωτοβολταϊκό σύστημα στο εναλλασσόμενο του δικτύου εξισορροπώντας την τάση, την συχνότητα και την ποιότητά του με ακρίβεια. Σε περίπτωση πτώσης της τάσης του δικτύου, αυτόματι διακόπτες ασφαλείας αποσυνδέουν το φωτοβολταϊκό σύστημα από αυτό. Ένα απλό σχέδιο σύνδεσης φαίνεται παρακάτω.(Εικόνα 1.5)



Εικόνα 1.5

Νομοθεσία

Σύνδεση φωτοβολταϊκών συστημάτων με το δίκτυο της ΔΕΗ Α.Ε.

1. Υποβολή αίτησης σύνδεσης (το ειδικό έντυπο διατίθεται από τη ΔΕΗ) στην τοπική μονάδα της ΔΕΗ (Περιοχή), με επισύναψη των εγγράφων και στοιχείων υπ' αριθμό 1 έως και 9 του εντύπου αίτησης.
2. Έγγραφο διατύπωση της ΔΕΗ προς τον ενδιαφερόμενο των τεχνικών και οικονομικών όρων σύνδεσης.
3. Έγγραφο αποδοχή των όρων σύνδεσης από τον ενδιαφερόμενο με ταυτόχρονη υποβολή αιτήματος κατάρτισης της Σύμβασης Σύνδεσης.
4. Κατάρτιση από τη ΔΕΗ της Σύμβασης Σύνδεσης και τηλεφωνική ειδοποίηση του ενδιαφερόμενου να προσέλθει για την υπογραφή της. Καταβολή της προϋπολογιστικής δαπάνης των έργων σύνδεσης ταυτόχρονα με την υπογραφή της Σύμβασης Σύνδεσης.
5. Έγγραφο αναγγελία της ΔΕΗ προς τον ενδιαφερόμενο της περάτωσης των έργων σύνδεσης.
6. Έγγραφο δήλωση ετοιμότητας της εγκατάστασης από τον ενδιαφερόμενο, προκειμένου να ενεργοποιηθεί η σύνδεση μετά από έλεγχο της ΔΕΗ, αφού προηγουμένως (ή ταυτόχρονα) υποβάλει πλήρη τα στοιχεία υπ' αριθμό 10 έως και 14 του εντύπου αίτησης και έχει υπογράψει συμβόλαιο κατανάλωσης ρεύματος.
7. Τηλεφωνική ειδοποίηση του ενδιαφερόμενου από τη ΔΕΗ για τον ορισμό του χρόνου διενέργειας του αναγκαίου ελέγχου της εγκατάστασης, προ της ενεργοποίησης της σύνδεσης, παρουσία του ενδιαφερόμενου ή του εκπροσώπου του.
8. Ενεργοποίηση της σύνδεσης, μετά από την επιτυχή ολοκλήρωση του ελέγχου.

Τεχνικές παρατηρήσεις.

- Σταθμοί ισχύος μέχρι 100 kW συνδέονται στο δίκτυο χαμηλής τάσης, μέσω μονοφασικής παροχής προκειμένου για ισχύ μέχρι 5 kW και τριφασικής παροχής προκειμένου για ισχύ άνω των 5 kW και μέχρι τα 100 kW.
- Οι προεπιλεγμένες τιμές ρυθμίσεων των προστασιών ορίων τάσεως και συχνότητας θα πρέπει να είναι οι εξής:

	Διασυνδεδεμένο Σύστημα	Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά
Τάση	-20% έως +15% της ονομαστικής	-20% έως +15% της ονομαστικής
Συχνότητα	+/- 0,5 Hz	από 51 Hz έως 47,5 Hz

- Η Ολική Αρμονική Παραμόρφωση (THD) του ρεύματος των αντιστροφών δεν θα πρέπει να υπερβαίνει το 5%.
- Εφόσον οι αντιστροφείς δεν διαθέτουν μετασχηματιστή απομόνωσης, η έγχυση συνεχούς ρεύματος θα πρέπει να περιορίζεται στο 0,5% του ονομαστικού.

- Η προστασία έναντι του φαινομένου της νησιδοποίησης είναι υποχρεωτική. Στο αντίστοιχο πεδίο του εντύπου αίτησης θα περιγράφεται η ακολουθούμενη μέθοδος, η οποία θα είναι σύμφωνη με το πρότυπο VDE 0126.
- Οι ανωτέρω προστασίες θα εμφανίζονται είτε στα τεχνικά εγχειρίδια των αντιστροφών είτε στα πιστοποιητικά τους.

Για την πώληση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, απαιτείται σύμφωνα με τα προβλεπόμενα από τη φορολογική νομοθεσία η έκδοση από τον ενδιαφερόμενο τιμολογίων πώλησης και επομένως θα πρέπει να έχει προβεί στην ανάλογη έναρξη επιτηδεύματος ως παραγωγός ηλεκτρικής ενέργειας.

1.6 Αντικεραυνική προστασία

Ο κίνδυνος άμεσων και έμμεσων κεραυνικών πληγμάτων σε εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι αρκετά υψηλός λόγω του τρόπου εγκατάστασής τους και της εκτεθειμένης επιφάνειάς τους. Για να έχουμε μεγάλη διάρκεια ζωής σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα είναι απαραίτητη μια αποτελεσματική αντικεραυνική προστασία και μια καλή προστασία υπέρτασης.

Η κύρια απειλή είναι οι ηλεκτρικές εκκενώσεις κατά την διάρκεια των καταιγίδων. Οι αιτίες για υπερτάσεις σε φωτοβολταϊκά συστήματα είναι οι επαγωγικές ή χωρητικές τάσεις, οι οποίες προκύπτουν από κεραυνικά πλήγματα, εκφορτίσεις κεραυνών και διακοπτικούς χειρισμούς του συστήματος.

Οι συνέπειες εκτόνωσης του φαινομένου είναι η δημιουργία σοβαρών ζημιών στα φωτοβολταϊκά πλαίσια και στους αντιστροφείς (inverters), με αποτέλεσμα σοβαρές συνέπειες στην λειτουργία του συστήματος, καθώς και στην χειρότερη περίπτωση καταστροφή της όλης εγκατάστασης.

Η στάθμη προστασίας ενός συστήματος αντικεραυνικής προστασίας σχετίζεται με την πιθανότητα με την οποία αυτό προστατεύει ένα χώρο από τις επιπτώσεις του κεραυνού. Η αποτελεσματικότητα του ΣΑΠ μειώνεται πηγαίνοντας από τη στάθμη προστασίας I στη στάθμη προστασίας IV. Σε κάθε στάθμη προστασίας αντιστοιχούν ανώτατα όρια τιμών των παραμέτρων του κεραυνού, οι οποίες έχουν συγκεκριμένη πιθανότητα να μη ξεπεραστούν.

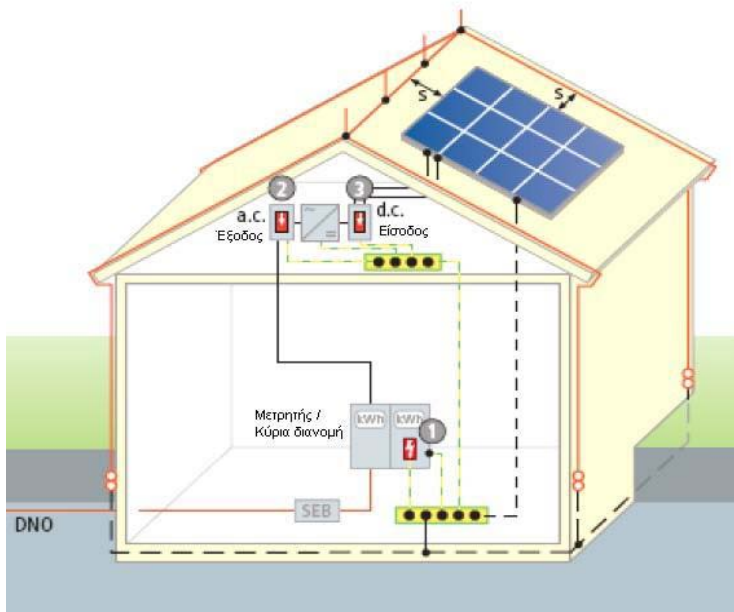
Ποιο συγκεκριμένα στις εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών συστημάτων σε πάρκα, που σε μεγάλη πλειοψηφία τα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι εγκατεστημένα σε απομονωμένες περιοχές καταλαμβάνοντας μεγάλες εκτάσεις με τους συλλέκτες εγκατεστημένους στην ύπαιθρο, ο κίνδυνος να υπάρξει κεραυνός είναι σε μεγαλύτερο ποσοστό. Τα κάτοπτρα είναι εκτεθειμένα από άμεσο κεραυνικό πλήγμα και επιρρεπή σε κρουστικές υπερτάσεις που δημιουργούνται από το κεραυνό ή από χειρισμούς του ηλεκτρικού δικτύου.

Στις περισσότερες εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών δεν τοποθετείται αντικεραυνική προστασία και ένας από τους λόγους είναι το κόστος της όλης μελέτης και εγκατάστασης γειώσεων. Βέβαια ένα πλήγμα από κεραυνό μπορεί να καταστρέψει όλη την εγκατάσταση, στην χειρότερη περίπτωση βέβαια. Στα φωτοβολταϊκά πάρκα λόγω της μεγάλης επένδυσης η γείωση των φωτοβολταϊκών και γενικά η αντικεραυνική προστασία είναι ένα μικρό ποσοστό που σε κάποια περίπτωση εκτόνωσης του φαινομένου μπορεί να τους γλυτώσει από περισσότερα έξοδα από ότι το κόστος μιας αντικεραυνικής προστασίας.

Έτσι όσο αφορά το αντικεραυνικό σύστημα, τα μεταλλικά πλαίσια πάνω στα οποία τοποθετούνται τα φωτοβολταϊκά στοιχεία συνδέονται στο σύστημα γείωσης κάθε 10m. Με το σύστημα γείωσης συνδέονται ισοδυναμικά και οι ράβδοι. Όσο αφορά τα ηλιοτροπικά φωτοβολταϊκά συστήματα, το σωστότερο θα ήταν να έχουν όλα αντικεραυνική προστασία, για τον λόγο ότι βρίσκονται τοποθετημένα σε μεγάλες εκτάσεις, σε κάμπο συνήθως, είναι φορτισμένα λόγω των φωτοβολταϊκών γεννητριών τους, κινούνται και έχουν και μεγάλο ύψος σε σχέση με άλλα αντικείμενα της περιοχής. Ο συνδυασμός όλων αυτών των παραμέτρων, καθιστά

τα περιστροφικά συστήματα φωτοβολταϊκών επικίνδυνα για εκτόνωση κεραυνού. Επομένως για να προστατέψουμε την εγκατάστασή μας θα πρέπει να τοποθετήσουμε το καλώδιο αντικεραυνικής προστασίας περιμετρικά του συνολικού πλαισίου των φωτοβολταϊκών γεννητριών και περνώντας από το εσωτερικό της κάθετης δοκού που συγκρατεί το όλο πλαίσιο να καταλήγει σε χαλύβδινη ράβδο ενός μέτρου στο έδαφος. Βέβαια η γείωση μπορεί να είναι τριγωνικού τύπου για μικρότερη αντίσταση ακόμα και θεμελιακή στα θεμέλια του ηλιοτροπίου. Ο τύπος γείωσης που θα χρειαστεί, θα το επιλέξει ο ηλεκτρολόγος μηχανικός που θα πάρει τις μετρήσεις της αντίστασης του εδάφους για να επιτύχει την χαμηλότερη αντίσταση γείωσης για την ασφάλεια του συστήματος.

Οι πιθανές επιδράσεις του κεραυνού σε φωτοβολταϊκά συστήματα που είναι εγκατεστημένα σε στέγες κτιρίων, μπορούν να επηρεάσουν ολόκληρο το κτίριο. Ένας κεραυνός θα έβρισκε την ευκολότερη (με την μικρότερη αντίσταση) και ενδεχομένως και τη συντομότερη οδό, που θα μπορούσε να είναι το εσωτερικό του σπιτιού. Στην επόμενη εικόνα (εικόνα 1.6.2) είναι ορατά τα σημεία σύνδεσης των στοιχείων, που πρέπει να προστατευθούν, με την γείωση. Βέβαια σε πολλές περιπτώσεις η αντικεραυνική προστασία σε ένα σπίτι το οποίο έχει χαμηλό ύψος στέγης και καλύπτεται από άλλα ψιλότερα σπίτια, είτε σε σπίτια που είναι σε πρόποδες βουνών, είτε κοντά σε ψιλές κεραίες τηλεφωνίας ή μεταφοράς ρεύματος, μπορούμε να μην τοποθετήσουμε την αντικεραυνική προστασία, αν και κανείς δεν μπορεί να μας εγγυηθεί ότι δεν θα υποστεί ποτέ πλήγμα από κεραυνό.



Εικόνα 1.6.2

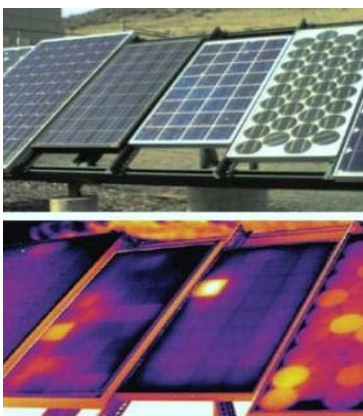
1.7 Συντήρηση και Χρόνος ζωής

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα σταθερού τύπου, δεν χρειάζονται τακτική συντήρηση, πέραν του καθαρισμού των ηλιακών γεννητριών (panels) δυο με τρεις (2-3) φορές το χρόνο, ειδικά αν βρίσκονται σε περιοχή με υπερβολική σκόνη. Πιο συγκεκριμένα υπολογίζεται ότι η βρωμιά επάνω στα πάνελ εκτός από τη μείωση της μακροζωίας του εξοπλισμού, ευθύνεται για ετήσια μείωση της παραγωγής και κατά συνέπεια διαφυγόντα κέρδη της τάξεως του 10%. Τα έξοδα καθαρισμού αποτελούν ένα μικρό μόνο μέρος αυτών των απωλειών. Ο καθαρισμός των φωτοβολταϊκών πάνελ από της πάσης φύσεως επικαθίσεις (γύρη, περιττώματα πουλιών, σκόνη, λάσπη, χιόνι, φερτές ύλες, χημικές ενώσεις, άλατα, αρμύρα και λοιπά), οφείλει να γίνεται, όπως προείπαμε, τουλάχιστον δύο φορές το χρόνο, Μάρτιο ή Απρίλιο (όταν έχουν περάσει οι βροχές) και Αύγουστο ή Σεπτέμβριο (στο τέλος του καλοκαιριού). Στις διαδικασίες καθαρισμού περιλαμβάνονται η κοπή και το κλάδεμα δένδρων η φυτών που δημιουργούν σκιάσεις σε ορίζοντα πενταετίας.

Συνοπτικά, οι διαδικασίες προληπτικού ελέγχου και συντήρησης περιλαμβάνουν :

- Οπτικό έλεγχο όλης της εγκατάστασης (Τριμηνιαίο ή και συχνότερα αν αυτό είναι δυνατόν).
- Εξαμηνιαίο έλεγχο όλων των συσφίξεων (μηχανολογικού και ηλεκτρολογικού εξοπλισμού).
- Εξαμηνιαία λίπανση κινούμενων μερών.
- Εξαμηνιαίος καθαρισμός όλου του εξοπλισμού.
- Εξαμηνιαία αντισκωρική προστασία.
- Αλλαγή, όποτε εντοπισθούν, τυχόν φθαρμένων υλικών.
- Ετήσιο έλεγχος μετασχηματιστή από εξειδικευμένο συνεργείο (εργαστηριακή ανάλυση λαδιού, αν ο μετασχηματιστής είναι λαδιού).
- Ετήσιες μετρήσεις αντίστασης καλωδίων.
- Ετήσιες μετρήσεις αντικεραυνικής προστασίας και μετρήσεις γειώσεων.

Οι μετρήσεις των φωτοβολταϊκών στοιχείων, στοιχειοσειρών, ηλεκτρικών πινάκων, μετατροπέα ρεύματος (inverter) και καλωδιώσεων, γίνονται με την χρήση ειδικών οργάνων. Ένα αξιοσημείωτο ειδικό εργαλείο είναι η θερμική κάμερα που κάνει την θερμογράφηση εξοπλισμού με ειδική θερμοκάμερα FLIR i5, όπου παρέχει τη δυνατότητα ελέγχου όλου του εξοπλισμού μιας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης, εντοπίζοντας διαφορές στην θερμοκρασία που συνήθως υποδηλώνουν πιθανά προβλήματα. Μία εικόνα ένδειξης προβλήματος φωτοβολταϊκών πάνελ με θερμική κάμερα είναι η ακόλουθη. (Εικόνα 1.7)



Εικόνα 1.7

Κεφάλαιο 2

Ανάλυση συστήματος

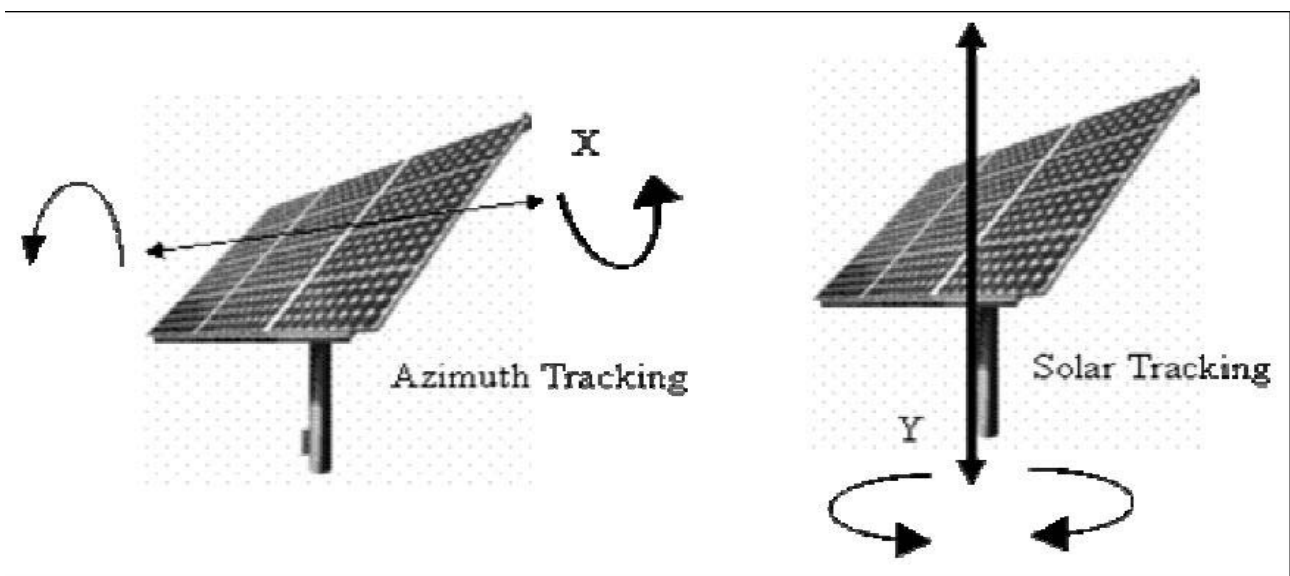
2.1 Εισαγωγή

Για να υλοποιηθεί ο αυτοματισμός του περιστρεφόμενου φωτοβολταϊκού συστήματος χρειάστηκε ο συνδιασμός της ηλεκτροτεχνίας και της μηχανολογίας. Σε μια κατασκευή όπως αυτήν είναι απαραίτητη η ένωση αυτών των δυο επιστημών για να μπορεί να είναι τούτο το σύστημα ενεργό και αποδοτικό.

Η κατασκευή αποτελείται από τα εξής μέρη :

- Την πλατφόρμα του μικροελεγκτή (ελέγχου και εντολών του solar tracker).
- Το φωτοβολταϊκό πάνελ.
- Την συνδεσμολογία των φωτοαντιστάσεων.
- Τα μοτέρ κίνησης (στην κατασκευή μας δυο μοτέρ).
- Την κατασκευή των μηχανικών συνδέσεων και στήριξης.

Μια αρχική εικόνα (εικόνα 2.1) ενός περιστρεφόμενου φωτοβολταϊκού συστήματος με τον σχεδιασμό των κινήσεων στους δυο άξονες.



Εικόνα 2.1

Η κίνηση του περιστρεφόμενου φωτοβολταϊκού συστήματος εξαρτάται από την κίνηση του ήλιου. Αυτός είναι ο στόχος του συστήματος αυτού (η παρακολούθηση της κίνησης του ήλιου), επομένως και της εργασίας. Για να επιτευχθεί αυτός ο στόχος χρησιμοποιούμε αισθητήρες, τις φωτοαντιστάσεις (Ldr's). Οι φωτοαντιστάσεις όταν εκτεθούν στην ακτινοβολία του ήλιου μεταβάλλεται η αντίστασή τους, οπότε και η τάση (volt) στους ακροδέκτες τους. Σε αυτό το σημείο επεμβαίνει ο μικροελεγκτής. Με την κατάλληλη συνδεσμολογία των φωτοαντιστάσεων καταλήγουν καλώδια (εντολών), στις σωστές θέσεις του μικροελεγκτή (pins), που των ενημερώνουν για την διαφορά δυναμικού των φωτοαντιστάσεων. Έχοντας προγραμματίσει τον μικροελεγκτή, όταν δέχεται σήμα (ρεύμα) από τις φωτοαντιστάσεις να δίνει έξοδο με ένα βήμα, που έχουμε ορίσει εμείς, στον κατάλληλο ηλεκτροκινητήρα, έτσι ώστε να κινηθεί δεξιά - αριστερά για την οριζόντια κίνηση ή πάνω – κάτω για την κάθετη κίνηση. Το όλο σύστημα τροφοδοτείται με μόνο μια 9 Volt μπαταρία και η έξοδος του φωτοβολταϊκού συστήματος με βάση την συνδεσμολογία των φωτοβολταϊκών γεννητριών, έχει μέγιστη μετρηθήσα τιμή τάσης 14 Volt. Στην επόμενες ενότητες που ακολουθούν θα γίνει ανάλυση για όλα τα τμήματα του συστήματος περιστροφής.

2.2 Μηχανολογική ανάλυση

Στην χώρα μας τα περιστρεφόμενα φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν να αντιμετωπίσουν τα καιρικά φαινόμενα, όπως είναι δυνατοί άνεμοι, χιόνι, θαλασσινό νερό στις παραθαλάσσιες περιοχές ή νησιά και κεραυνούς. Για να προστατέψουμε το σύστημά μας θα πρέπει να κατασκευαστεί υπολογίζοντας όλες αυτές τις δυνάμεις που μπορεί να δεκτεί από τα καιρικά φαινόμενα. Έτσι ώστε να έχουμε ένα ασφαλές φωτοβολταϊκό σύστημα και μια σίγουρη επένδυση.

Τα ηλιοτροπικά φωτοβολταϊκά, πρέπει να έχουν προσεγμένο και πολύ καλά μελετημένο μηχανολογικό σύστημα μεταφοράς κίνησης. Με ένα σωστά υπολογισμένο σκελετό στήριξης και περιστροφής, το φωτοβολταϊκό σύστημα αποφεύγει την κατανάλωση ποσότητας ενέργειας, δηλαδή ηλεκτρικού ρεύματος, οπότε το σύστημα είναι πιο αποδοτικό και πιο ασφαλές.

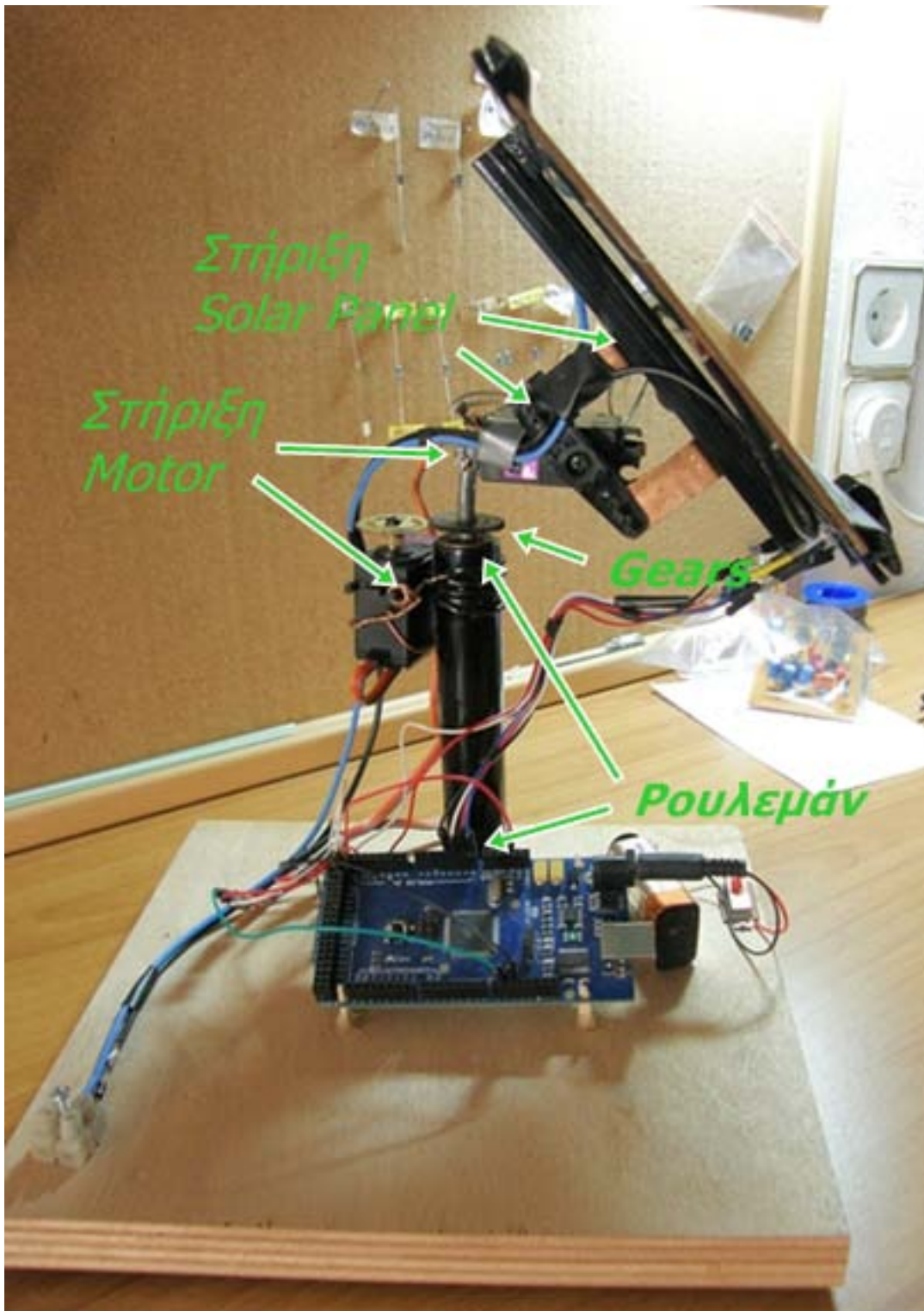
Πιο συγκεκριμένα, κατασκευάσαμε το σύστημα με σκοπό να μπορεί να περιστρέφεται από 0° έως 180° μοίρες, στον οριζόντιο άξονα ψ και από 0° έως 260° μοίρες στον κάθετο άξονα χ . Έτσι ώστε να μπορεί να καλύψει όλες τις πιθανές θέσεις που μπορεί να πάρει ο ήλιος. Με ένα τέτοιο εύρος κίνησης του φωτοβολταϊκού μας πλαισίου επιτυγχάνουμε τον σκοπό μας, ο οποίος είναι η ακολούθηση του ήλιου. Με βάση το πρόγραμμα του μικροελεγκτή θα δίνεται εντολή να περιστραφούν οι ηλεκτροκινητήρες σέρβο. Το μοτέρ που έχουμε τοποθετήσει στον κάθετο σταθερό στήριγμα του συστήματος συνδέεται με τον κάθετο εσωτερικό άξονα περιστροφής με την επαφή των γραναζιών. Δίνοντας παλμό στον ηλεκτροκινητήρα, με αποτέλεσμα το μοτέρ να κινείται δεξιόστροφα και το φωτοβολταϊκό πάνελ αριστερόστροφα, λόγω των γραναζιών. Ο άλλος ηλεκτροκινητήρας συνδεδεμένος πάνω στον κάθετο άξονα περιστροφής, κινεί το φωτοβολταϊκό με μια μεταλλική βάση προσαρμοσμένη πάνω στο μοτέρ για την αποφυγή και άλλων γραναζιών και πολυπλοκότητας του συστήματος, που θα πρόσθεταν και άλλες τριβές.

Βέβαια πέρα από την επίτευξη του στόχου μας, πρέπει να είναι το σύστημα μας αποδοτικό, αλλιώς δεν θα υπάρχει λόγος κατασκευής του σε πραγματικές διαστάσεις. Για το πώς μπορεί να γίνει το περιστρεφόμενο σύστημα αποδοτικό θα το δούμε στην συνέχεια της εργασίας.

2.2.1 Κατασκευή συστήματος και μετάδοση κίνησης

Η στήριξη του συστήματος είναι άλλο ένα από τα σημαντικά τμήματα του περιστροφικού συστήματος. Τα ηλιοτροπικά συστήματα διαθέτουν θεμελίωση, για να είναι σταθερό το έδαφος και να μπορεί να συγκρατήσει το βάρος της κατασκευής, αλλά και για να αντέξει τις δυνάμεις που θα του ασκηθούν από τα καιρικά φαινόμενα. Όταν είναι έτοιμη η θεμελίωση, τότε τοποθετείται η μεταλλική βάση, αφού πρώτα έχει υπολογιστεί το σημείο εκκίνησης της περιστροφής .

Τώρα στο δικό μας περιστροφικό σύστημα (εικόνα 2.2.1) , η κατασκευή ξεκινάει από την σωστή επιλογή των υλικών, αφού πρώτα έχουμε σχεδιάσει το φωτοβολταϊκό σύστημα που θέλουμε να κατασκευάσουμε. Αφού συγκεντρώσουμε τα υλικά, τότε μετράμε τις διαστάσεις των κυψελών και κατασκευάζουμε το φωτοβολταϊκό πλαίσιο από ανθεκτικό πλαστικό. Είναι σημαντικό να ξέρουμε τις διαστάσεις του φωτοβολταϊκού πάνελ, έτσι ώστε να υπολογίσουμε την απόσταση που πρέπει να αφήσουμε κάτω από το πάνελ, για τις φωτοαντιστάσεις και το κενό που χρειάζεται για την εξαγωγή του πιθανού ανέμου. Τελικά, οι διαστάσεις του φωτοβολταϊκού πλαισίου είναι (21,50 x 13,50)cm. Το διάφραγμα που κατασκευάσαμε για τις φωτοαντιστάσεις έχει διάμετρο τρία εκατοστά (3 cm). Επομένως έχουμε να αφήσουμε περιθώριο κενού έξι (6) με εννιά (9) εκατοστά (cm). Στην συνέχεια κόβουμε την χάλκινη σωλήνα (φ16) που θα είναι το κύριο στήριγμα του συστήματος. Στο κάτω μέρος της σωλήνας με τρόπο συγκόλλησης χάλκινων σωληνών, κολλάμε μία άλλη χάλκινη σωλήνα ίδιας διατομής (φ16), που προηγουμένως την είχαμε επεξεργαστή δημιουργώντας τρεις (3) προεξοχές. Οι τρεις προεξοχές της σωλήνας λειγίζονται και κάνουμε μια τρύπα στην κάθε μια. Μόλις έχουμε δημιουργήσει την βάση μας. Πριν βιδώσουμε με τρεις βίδες στις οπές της βάσης περνάμε και σφηνώνουμε τα ρουλεμάν στον μεταλλικό σωλήνα. Ένα στο πάνω μέρος και ένα στο κάτω, στο ύψος της χάλκινης σωλήνας. Τοποθετούμε τον μηχανισμό με τα ρουλεμάν μέσα στον χαλκισωλήνα και σφηνώνουμε τα ρουλεμάν. Τότε παρατηρούμε ότι η σηδραίνια σωλήνα περιστρέφεται πολύ εύκολα. Στο τέλος αυτού του τμήματος βιδώνουμε τις τρεις (3) βίδες στην βάση του συστήματος και ευθυγραμμίζουμε το σωλήνα στήριξης, ώστε να είναι κάθετος στο ξύλο (έδαφος). Το στήριγμα είναι σταθερό και δυνατό. Απομένει η στήριξη των ηλεκτροκινητήρων και του φωτοβολταϊκού πλαισίου. Για να τοποθετήσουμε το μοτέρ που θα περιστρέφει το πλαίσιο δεξιά και αριστερά, δηλαδή στον κάθετο άξονα, κολλάμε με τον ίδιο τρόπο κόλλησης με πριν, στην χάλκινη σωλήνα ένα χάλκινο καλώδιο $2,5 \text{ mm}^2$. (Εικόνα 2.2.2) Τοποθετούμε τα γρανάζια στο μοτέρ και στον σιδεραίνιο άξονα. Βρίσκουμε την σωστή απόσταση του μοτέρ και του σωλήνα στήριξης και προσαρμώζουμε το μοτέρ. Ελέγχουμε αν κάνουν καλή επαφή τα γρανάζια. Έχουμε καταφέρει την κίνηση του άξονα ψ. Τώρα κάνουμε μια κάθετη τομή στον σιδεραίνιο άξονα και μια οριζόντια τρύπα για να περάσει η βίδα που θα συγκρατεί το μοτέρ. Αφού έχει γίνει η τομή τοποθετούμε την βάση του μοτέρ στον άξονα και με την βίδα σφηνώνουμε την βάση του. Έτσι έχουμε τοποθέτηση γερά τον ηλεκτροκινητήρα πάνω στον άξονα. Τέλος βιδώνουμε τα χάλκινα λαμάκια στο φωτοβολταϊκό πλαίσιο και στο πλαστικό κράτημα του μοτέρ. Η όλη κατασκευή έχει ύψος τριάντα (30) εκατοστά.



Εικόνα 2.2.2



Εικόνα 2.2.2

Η μεγάλη επιφάνεια του πλαισίου όταν θα βρίσκεται κάθετη προς το έδαφος θα δέχεται την δύναμη του αέρα, με αποτέλεσμα τα πιο αδύναμα σημεία της κατασκευής, όπως είναι τα κινητά σημεία σύνδεσης και περιστροφής, να τους ασκηθούν μεγαλύτερες πιεστικές δυνάμεις.

Η μετάδοση κίνησης στον κάθετο άξονα ψ γίνεται με την μέθοδο των γραναζιών (εικόνα 2.2.1) Τοποθετούμε ένα γρανάτζι στην υποδοχή του ηλεκτροκινητήρα και το προσαρμόζουμε βιδώνοντας το πάνω στο μοτέρ. Από την άλλη μεριά έχουμε τον κάθετο μεταλλικό άξονα. Τοποθετούμε και σε αυτόν ένα γρανάτζι και προσπαθούμε να εφαρμόσει σωστά και να είναι σταθερό και έτοιμο να αντέξει την δύναμη του ηλεκτροκινητήρα ή ακόμα και την αντίθετη δύναμη που θα ασκηθεί σε αυτό από τον άνεμο.

Στον οριζόντιο άξονα, φυσικά για το συγκεκριμένο σύστημα, τα πράγματα είναι πιο απλά. Σε αυτήν την περίπτωση αντί για γρανάτζια, χρησιμοποιούμε ένα ανθεκτικό πλαστικό, ειδικό για να τοποθετείται και να βιδώνεται πάνω στον ηλεκτροκινητήρα. Παράλληλα σε αυτό το ανθεκτικό πλαστικό θα βρίσκεται το σωτοβολταϊκό πλαίσιο. Για να γίνει η παράλληλη αυτή σύνδεση χρησιμοποιούμε δυο χάλκινα λαμάκια, έτσι ώστε να πετήχουμε και την δυνατή στίριξη του πάνελ. Έτσι βιδώνουμε τα λαμάκια από την μία μεριά με την ανθεκτική πλαστική λαβή του μοτέρ και από την άλλη μεριά με το πλαίσιο του φωτοβολταϊκού.



Εικόνα 2.2.1

Υπάρχουν πολλών ειδών κατασκευές για τα περιστρεφόμενα φωτοβολταϊκά συστήματα και κάθε μέρα εφευρίσκονται και άλλα, είτε πιο αποδοτικά, είτε λιγότερο. Επειδή το περιστρεφόμενο φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται από πολλά τμήματα, για να είναι αποδοτικό πρέπει να εξετάσεις κάθε τμήμα του ξεχωριστά. Γενικά ένα περιστρεφόμενο φωτοβολταϊκό σύστημα, αποτελείται από μηχανικό και ηλεκτρολογικό τμήμα. Το μηχανικό τμήμα διαθέτει πολλές τριβές (ρουλεμάν, γρανάζια) και μεταλλικές συνδέσεις που προσθέτουν επιπλέον βάρος στο όλο σύστημα, με αποτέλεσμα την κατανάλωση περισσότερου ρεύματος από τους ηλεκτροκινητήρες.

2.2.2 Υλικά και εργαλεία κατασκευής

Για να εξασφαλίσουμε ένα ανθεκτικό σύστημα στήριξης, το οποίο είναι και περιστρεφόμενο με μεγάλη επιφάνεια, θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε υλικά από μέταλλο και ανθεκτικό πλαστικό. Αρχίζοντας με την βάση του συστήματος χρησιμοποιούμε ένα κομμάτι χοντρού και ανθεκτικού ξύλου διαστάσεων (22,50 x 20,50) cm, στο οποίο θα τοποθετηθούν όλα τα υλικά (ηλεκτρολογικά και μηχανολογικά), που χρειάζονται για την υλοποίηση του περιστροφικού φωτοβολταϊκού συστήματος. Ο στήλος που στηρίζει το όλο σύστημα είναι από χάλκινη σωλήνα (φ16). Για την βάση του συστήματος χρησιμοποιούμε άλλη μια χάλκινη σωλήνα ίδιας διατομής (φ16). Ένας μεταλλικό (σηδεραίνιο) σωλήνα μικρής διατομής, που θα είναι ο εσωτερικός άξονας περιστροφής. Δύο ρουλεμάν τύπου 626D και 6262 για την αποφυγεί των μεγάλων τριβών. Χάλκινο σήρμα διατομής $2,5 \text{ mm}^2$, για την στήριξη του ενός μοτέρ και βίδας με παξιμάδι για την στήριξη του άλλου ηλεκτροκινητήρα, με τον σηδεραίνιο κάθετο άξονα. Το φωτοβολταϊκό πλαίσιο κατασκευάστηκε από ανθεκτικό πλαστικό για να συγκρατεί τις κυψέλες. Το πλαίσιο αυτό ενώνεται με τον ηλεκτροκινητήρα με χάλκινα λαμάκια. Το διάφραγμα, που είναι η βάση των φωτοαντιστάσεων το κατασκευάσαμε από πλαστικό. Τέλος, χρησιμοποιήθηκαν τρεις (3) βίδες για την βάση, μία για τις κλέμες και έξι (6) βίδες για την στήριξη του φωτοβολταϊκού πλαισίου με τον ηλεκτροκινητήρα. Το τελικό στάδιο της κατασκευής, όσο αφορά το μηχανολογικό τμήμα ήταν το βάψιμο του συστήματος στήριξης, του διαφράγματος και του πλαισίου των κυψελών.

Φωτογραφία από μερικά υλικά που χρησιμοποιήθηκαν.(εικόνα 2.2.2)



Εικόνα 2.2.2

Εργαλεία:

Το περιστρεφόμενο φωτοβολταϊκό σύστημα για να υλοποιηθεί, χρειάζεται τα υλικά που αναφέρθηκαν προηγουμένως, αλλά για να επεξεργαστούμε αυτά τα υλικά χρειάστηκαν κάποια σημαντικά για την κατασκευή εργαλεία. Για την κοπή των χαλκοσωλήνων χρησιμοποιήσαμε ειδικό κόπτη για χαλκοσωλήνες και για την κόλλησή τους, φλόγιστρο υγραερίου, κόλλας καθαρισμού χαλκοσωλήνας και καλάι. Επίσης για την κοπή των χάλκινων σωλήνων και των πλαστικών τμημάτων, χρησιμοποιήσαμε μικρό τροχό-τρυπάνι (electric drimer). Χάρακες, πένσα, κόφτης καλωδίων, κατσαβίδια (σταυροκατσάβιδο, ίσιο, ηλεκτρολογικό), λύμα μετάλλου, κολλητήρι, καλάι, μεγενθυτικός φακός, γράσο, ηλεκτρολογική τσιμπίδα και πολύμετρο fluke multimeter 175.

2.3 Ηλεκτρολογική ανάλυση

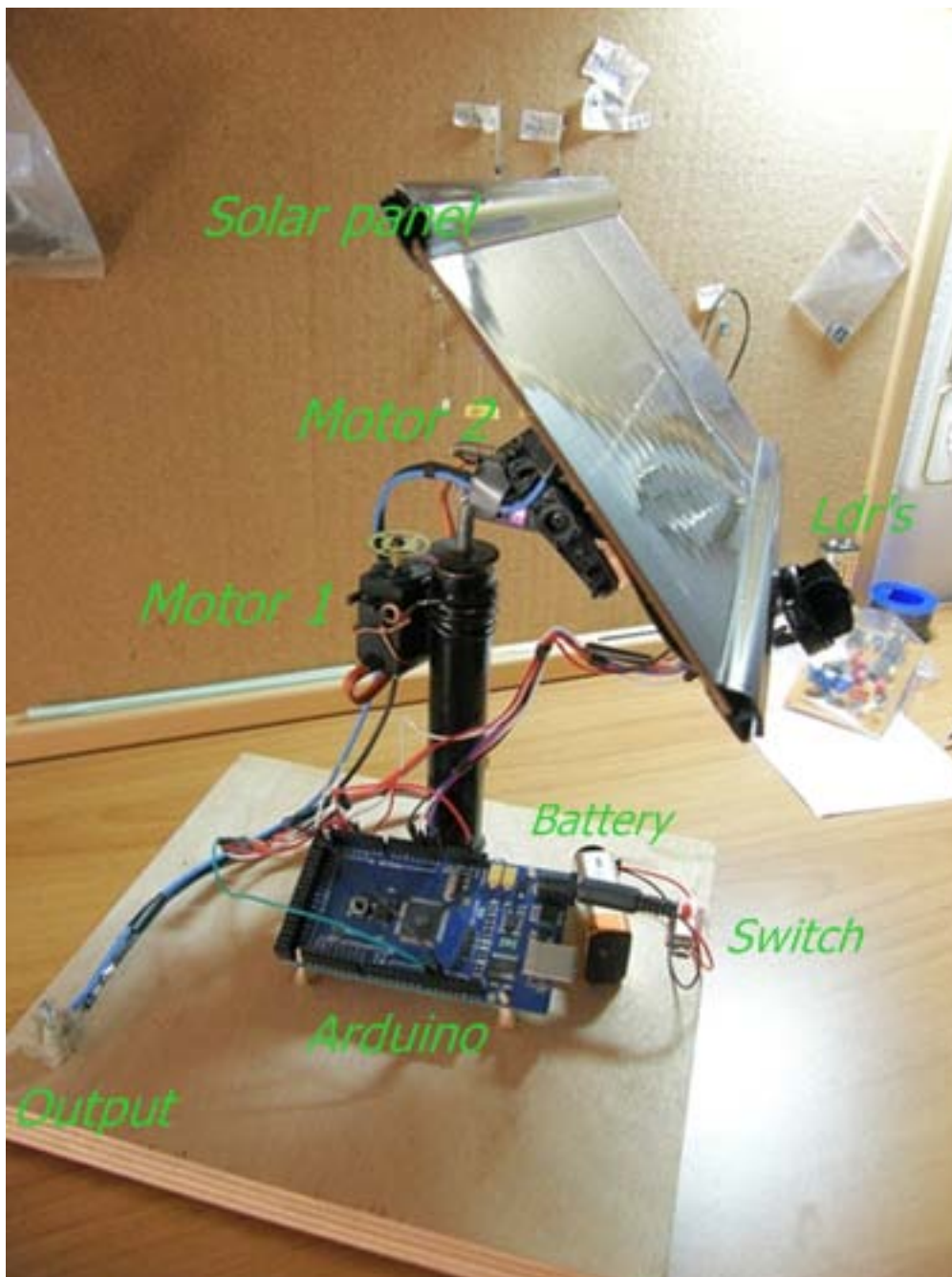
Αυτήν την στιγμή η εταιρίες κατασκευής περιστροφικών φωτοβολταϊκών συστημάτων προγραμματίζουν τους μικροελεγκτές των συστημάτων αυτών, είτε με αστρονομικές συντεταγμένες όπου η κίνησή τους είναι σταθερή και προκαθορισμένη, είτε με αισθητήρες (sensors) φωτοαντιστάσεων (Ldr's).

Στην περίπτωση της πρώτης μεθόδου, το φωτοβολταϊκό σύστημα ακολουθεί την τροχιά του ήλιου χωρίς να υπάρχει ορατή επαφή των φωτοβολταϊκών πλαισίων με τον ήλιο, όπως συμβαίνει πολλές ημέρες του χειμώνα που η ακτινοβολία του ήλιου είναι ασθενή λόγω της συννεφιάς. Αυτό συμβαίνει επειδή ο μικροελεγκτής του συστήματος ακολουθεί συντεταγμένες της τροχιάς του ήλιου και κινεί τους ηλεκτροκινητήρες για την περιστροφή.

Στην δεύτερη περίπτωση, η κίνηση των μοτέρ γίνεται με βάση την ακτινοβολία που δέχονται οι αισθητήρες του συστήματος, δηλαδή οι φωτοαντιστάσεις. Με αυτήν την μέθοδο κατασκευάσαμε και εμείς το φωτοβολταϊκό σύστημα περιστροφής. Αρχικά κατασκευάζουμε μια συνδεσμολογία με τέσσερις (4) αντιστάσεις 10 kOhm και τέσσερις (4) φωτοαντιστάσεις. Η μια αντίσταση συνδέεται σε σειρά με την φωτοαντίσταση, δίνουμε τάση στα άκρα της συνδεσμολογίας αυτής και από το κοινό σημείο (της φωτοαντίστασης και της αντίστασης), καλώδιο καταλήγει στην αναλογική θύρα μηδέν (pin 0) του μικροελεγκτή. Αυτή η φωτοαντίσταση είναι για την δεξιά εντολή του συστήματος περιστροφής. Η απέναντι φωτοαντίσταση που συνδέεται και αυτήν με τον ίδιο τρόπο, όπως και η πρώτη, είναι για την αριστερή εντολή που θα δέχεται ο μικροελεγκτής και συνδέεται στην αναλογική θύρα ένα (pin 1). Έτσι με τον συνδιασμό των δυο σημάτων, που θα δέχεται ο μικροελεγκτής και του προγράμματος, ο επεξεργαστής θα τρέχει το πρόγραμμα και θα δίνει στην κατάλληλη έξοδο την τάση που πρέπει για την κίνηση των ηλεκτροκινητήρων σέρβο. Με αυτόν τον τρόπο επιτύχαμε την περιστροφή του συστήματος στον κάθετο άξονα ψ. Για την κίνηση του άλλου ηλεκτροκινητήρα σέρβο, χρησιμοποιούμε δυο άλλες φωτοαντιστάσεις και αυτές συνδεδεμένες σε σειρά με αντιστάσεις 10 kOhm. Η πάνω φωτοαντίσταση συνδέεται με την αναλογική θύρα δυο (pin 2) και η κάτω φωτοαντίσταση με την αναλογική θύρα τρία (pin 3). Τα σήματα των δυο αυτών φωτοαντιστάσεων βοηθούν τον μικροελεγκτή να δώσει την τάση στον ηλεκτροκινητήρα για την οριζόντια κίνηση του φωτοβολταϊκού συστήματος. Η σύνδεση των φωτοαντιστάσεων φαίνεται λεπτομερώς στην επόμενη ενότητα.

Τέλος, όσο αφορά την σύνδεση των ηλεκτροκινητήρων σέρβο είναι πολύ απλή. Τα μοτέρ έχουν τρεις (3) ακροδέκτες. Δυο από αυτούς είναι για την τροφοδοσία +5volt, Gnd και ο τρίτος για τον παλμό, που καθορίζει το βήμα του κινητήρα. Έτσι για το ζευγάρι των φωτοαντιστάσεων δεξιά – αριστερά (Ldr 1 – Ldr 2) ο επεξεργαστής δίνει παλμό στην PWM έξοδο εννιά (pin 9) για την κάθετη περιστροφική κίνηση του φωτοβολταϊκού συστήματος. Το άλλο ζευγάρι των φωτοαντιστάσεων πάνω και κάτω (Ldr 3 – Ldr 4) ενημερώνει τον μικροελεγκτή για την ένταση της ακτινοβολίας με σκοπό να υπολογίσει την αλλαγή της τιμής της ακτινοβολίας και να δώσει σήμα (ή όχι σε περίπτωση που δεν υπάρχει μεταβολή) στην PWM έξοδο δέκα (pin 10).

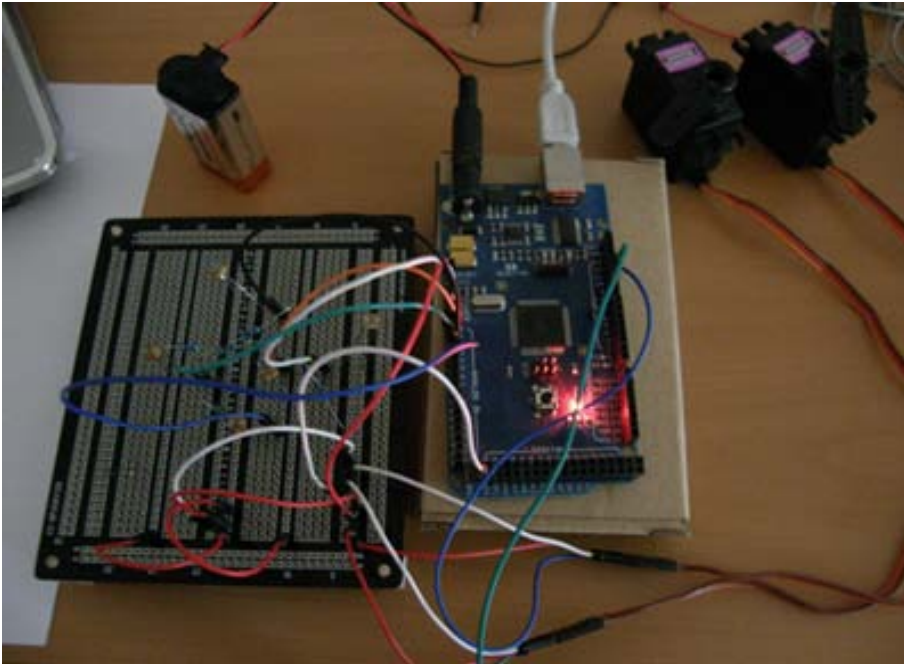
Το περιστρεφόμενο φωτοβολταϊκό σύστημα με τονισμένα τα ηλεκτρολογικά στοιχεία, φαίνεται στην επόμενη εικόνα (Εικόνα 2.3).



Εικόνα 2.3

Παρατηρούμε ότι το σύστημα περιστροφής είναι τελείως αυτόνομο. Δεν υπάρχει συνδεσμολογία με το φωτοβολταϊκό πάνελ, αν και θα μπορούσαμε με έναν ρυθμιστή τάσης να φορτίζουμε την μπαταρία τροφοδοσίας του μικροελεγκτή. Επίσης το σύστημα περιστροφής λειτουργεί μόνο όταν δέχεται ακτινοβολία στους αισθητήρες/φωτοαντιστάσεις. Σε περίπτωση συννεφιάς το σύστημα θα περιστραφεί στην μεγαλύτερη ακτινοβολία που θα λάβουν οι αισθητήρες και σε περίπτωση που δεν υπάρχει μεταβληθείσα τιμή, θα παραμείνει ακίνητο μέχρι να δεχτεί ακτινοβολία.

Στην επόμενη φωτογραφία (Εικόνα 2.3) φαίνεται η όλη συνδεσμολογία που είναι απαραίτητη για την κίνηση του φωτοβολταϊκού συστήματος.

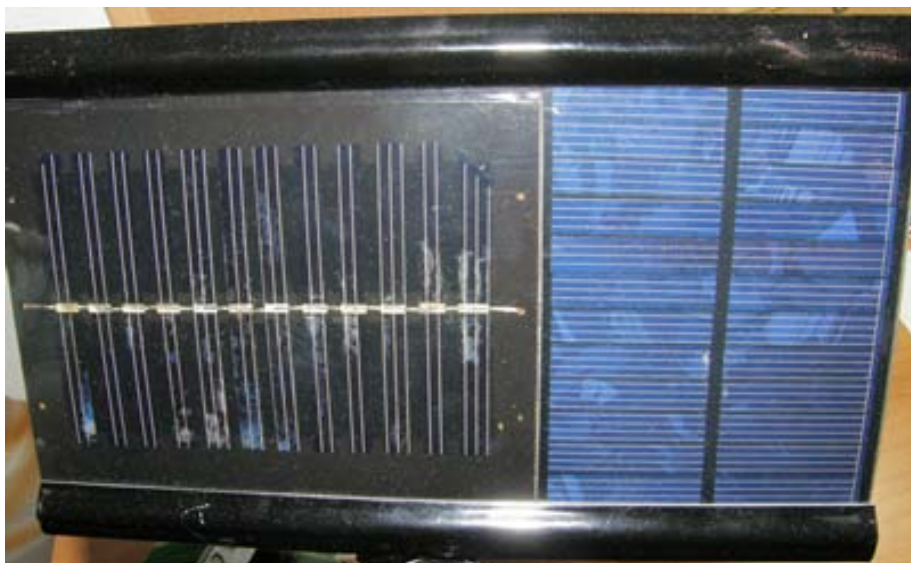


(Εικόνα 2.3)

Τέλος, πρέπει να μετρηθεί η διάρκεια λειτουργίας του κινητήρα σε ένα εικοσιτετράωρο και να υπολογιστούν οι κινήσεις των ηλεκτροκινητήρων για να αποφευχθούν οι άσκοπες κινήσεις, έτσι ώστε να εξοικονομηθεί όσο είναι δυνατόν περισσότερη ενέργεια.

2.3.1 Ηλεκτρολογικά υλικά

Ένα περιστρεφόμενο φωτοβολταϊκό σύστημα για να υλοποιήσει την περιστροφή του και γενικά τον αυτοματισμό του, χρειάζεται κάποια ηλεκτρολογικά στοιχεία. Όπως προείπαμε η παρακολούθηση της τροχιάς του ηλίου θα γίνει με φωτοαντιστάσεις. Επομένως χρειαζόμαστε τέσσερις (4) φωτοαντιστάσεις (Ldr's) τύπου VT935G. Για την επιλογή των συγκεκριμένων φωτοαντιστάσεων θα αναφερθούμε στην συνέχεια. Τα καλώδια που χρειάστηκαν για τις ενώσεις των φωτοαντιστάσεων με τον μικροελεγκτή αλλά και οι συνδέσεις των μοτέρ με τον μικροελεγκτή είχαν της ίδιας διατομής καλώδιο, κατασκευασμένα για μικροελεγκτές, με μικρή αντίσταση λόγω του μικρού ρεύματος που διέρχεται από αυτά. Τα καλώδια συνδεσμολογίας των κυψελών αλλά και των εξόδων του πάνελ έχουν διατομή 1 mm^2 . Στην έξοδο του φωτοβολταϊκού πλαισίου τοποθετούμε δυο κλεμες, για να μπορούμε να συνδέσουμε το φορτίο μας. Ο μικροεπεξεργαστής είναι μία πλατφόρμα της εταιρίας Arduino και πιο συγκεκριμένα είναι η πλατφόρμα ArduinoATmega1280. Περισσότερες πληροφορίες για τον μικροελεγκτή και τον επεξεργαστή του θα δούμε στην επόμενη ενότητα. Για την τροφοδοσία του μικροελεγκτή χρησιμοποιούμε μια μπαταρία 9 volt και για να διακόψουμε την τροφοδοσία του και να σταματήσει το όλο ηλεκτρολογικό σύστημα να λειτουργεί, τοποθετούμε έναν διακόπτη στον θετικό ακροδέκτη της μπαταρίας έτσι ώστε να μην διέρχεται ρεύμα από την μπαταρία στον μικροελεγκτή. Όσο αφορά την κίνηση του για την περιστροφή του φωτοβολταϊκού συστήματος στους δυο άξονες, δίνεται από δυο ηλεκτρικούς κινητήρες servo, η ανάλυσή τους θα γίνει στην συνέχεια. Επίσης το φωτοβολταϊκό πάνελ (εικόνα 2.3.1) αποτελείται από δυο κυψέλες τύπου μονοκρυσταλλικού πυριτίου, τάσης 6volt και ρεύματος 220 mA η μια και 150 mA η άλλη. Στην έξοδο του φωτοβολταϊκού πάνελ, στον θετικό ακροδέκτη, τοποθετούμε μια δίοδο. Τέλος, για την σύνδεση των φωτοαντιστάσεων και των αντιστάσεων 10 KOhm χρησιμοποιήσαμε την ηλεκτρολογική πλακέτα δοκιμών (breadboard). Στην συνέχεια της ενότητας θα δούμε κάποια απαραίτητα χαρακτηριστικά των ηλεκτρολογικών υλικών που χρησιμοποιήθηκαν για την περιστροφή του φωτοβολταϊκού συστήματος.



Εικόνα 2.3.1

Ένα από τα κριτήρια επιλογής των φωτοαντιστάσεων ήταν ο χρόνος αντίδρασής τους, δηλαδή η ευαισθησία τους, αλλά και η περιοχή λειτουργίας τους, όσο αφορά την θερμοκρασία. Επειδή το φωτοβολταϊκό σύστημα πρέπει να λειτουργεί σε συνθήκες με δύσκολο καιρό, μικρές θερμοκρασίες τον χειμώνα, αλλά και υψηλές θερμοκρασίες το καλοκαίρι, οι φωτοαντιστάσεις θα μπορέσουν να ανταποκριθούν σε αυτές τις θερμοκρασίες του καιρού, όπως βλέπουμε και στον πίνακα 2.3.2.

Μερικά από τα χαρακτηριστικά των φωτοαντιστάσεων (Ldr's) που χρησιμοποιήσαμε είναι τα ακόλουθα:

Τύπος Χαρακτηριστικού	Αξία Χαρακτηριστικού
Type	CdS
Resistance Ranges	10 kΩ
Voltage Rating Vac Vdc	100 (100)
Power Dissipation	80mW
Package	Radial
Operating Temperature Range	-40 → +75°C
Rise/Fall Time	35/5 ms

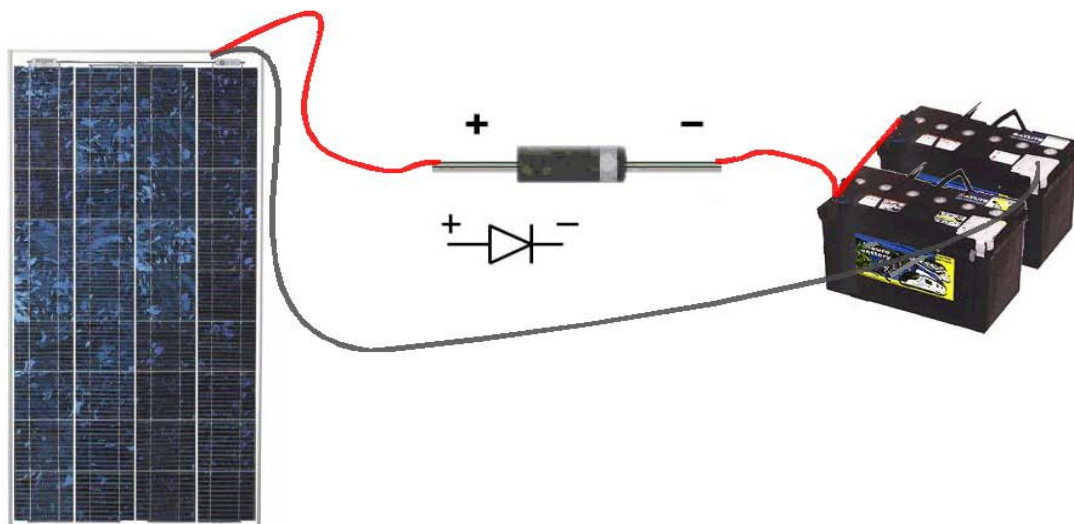
Πίνακας 2.3.2 VT935G Ldr's

Με βάση την φορά περιστροφής του ήλιου γύρω από τον πλανήτη μας, που έχει καταγραφεί από τους επιστήμονες, έχουμε την δυνατότητα να υπολογίσουμε της μοίρες που χρειάζεται να κινηθεί το περιστρεφόμενο φωτοβολταϊκό σύστημα σε όλες τις εποχές του χρόνου. Οι μοίρες κίνησης θα μας βοηθήσουν να επιλέξουμε και τον κατάλληλο βηματικό ηλεκτρικό κινητήρα. Όπως αναφέρω και πιο πάνω, η κίνηση του ήλιου στον άξονα ψ είναι μόνο 70⁰ μοίρες, οπότε έχω επιλέξει ηλεκτρικό κινητήρα με μειωτήρα στροφών κίνησης 0 έως 180⁰ μοίρες έτσι ώστε να μπορεί να καλύψει πλήρως τις απαραίτητες μοίρες της κάθετης κίνησης. Για τον οριζόντιο άξονα χ, η κίνηση από την ανατολή προς την δύση είναι 180⁰ μοίρες, αλλά με την αλλαγή των εποχών ο ήλιος μετακινείται 80⁰ μοίρες, οπότε αθροιστικά η μέγιστη σε μοίρες κίνηση του ηλεκτροκινητήρα μας θα είναι 260⁰ μοίρες. Έτσι τοποθέτησα για την κίνηση του περιστροφικού φωτοβολταϊκού συστήματος στον οριζόντιο άξονα χ ένα βηματικό ηλεκτροκινητήρα κίνησης 180⁰ μοιρών και με την σωστή μηχανολογική αναλογία των γραναζιών προστέθηκαν και οι 80⁰ μοίρες για την μεταφορά της ανατολής του ήλιου των 80⁰ μοιρών. Οι ηλεκτροκινητήρες που χρησιμοποίησα είναι MG996R με ενσωματωμένα τα γρανάζια μείωσης των στροφών .

Χαρακτηριστικά που πρέπει να γνωρίζουμε για τους ηλεκτροκινητήρες.

- Ισχύς τροφοδοσίας: Μέσω εξωτερικό προσαρμογέα.
- Σταθερό και απορροφά τους κραδασμούς – Διπλά ρουλεμάν .
- Διαστάσεις : 40 mm x 19 mm x 43 mm.
- Βάρος : 55 gr.
- Ταχύτητα λειτουργίας : 0,17 sec / 60 degrees (4,8 Volt χωρίς φορτίο)
- Ταχύτητα λειτουργίας : 0,13sec / 60 degrees (6,0 Volt χωρίς φορτίο)
- Stall ροπή : 13 kgr -cm (180,5 oz-in) με τάση 4,8 Volt.
- Stall ροπή : 15 kgr - cm (208,3 oz-in) με τάση 6 Volt.
- Τάση λειτουργίας : 4,8 – 7,2 Volt.
- Τύπος γραναζιών : Όλα τα γρανάζια είναι μεταλλικά.
- Καλώδιο σύνδεσης: Heavy Duty 11,81" (300 mm).

Τοποθέτηση της διόδου IN5919 στον θετικό ακροδέκτη της συστοιχίας του φωτοβολταϊκού πάνελ, για την προστασία του από αντίστροφο ρεύμα του φορτίου, που θα συνδέσουμε στην έξοδο του πάνελ. Όπως ακριβώς δείχνει και η εικόνα (εικόνα 2.3.3).

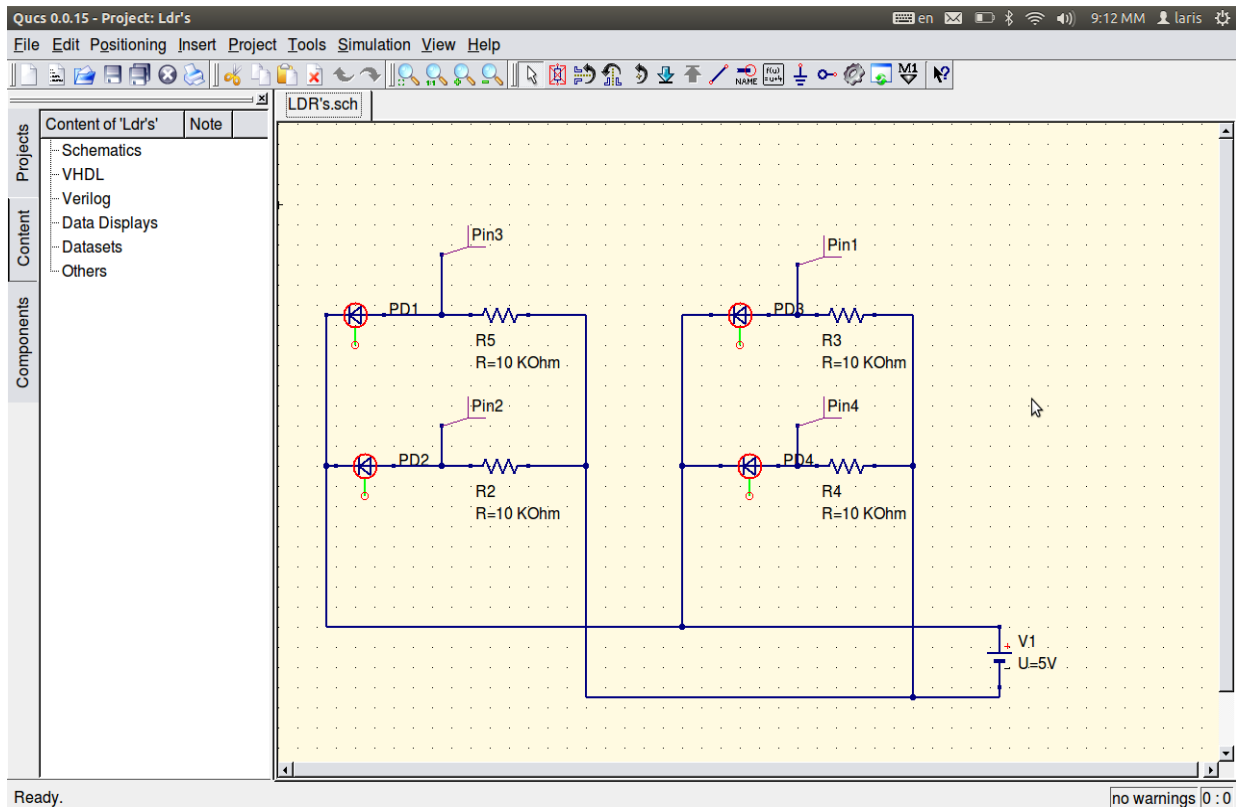


5

Εικόνα 2.3.3

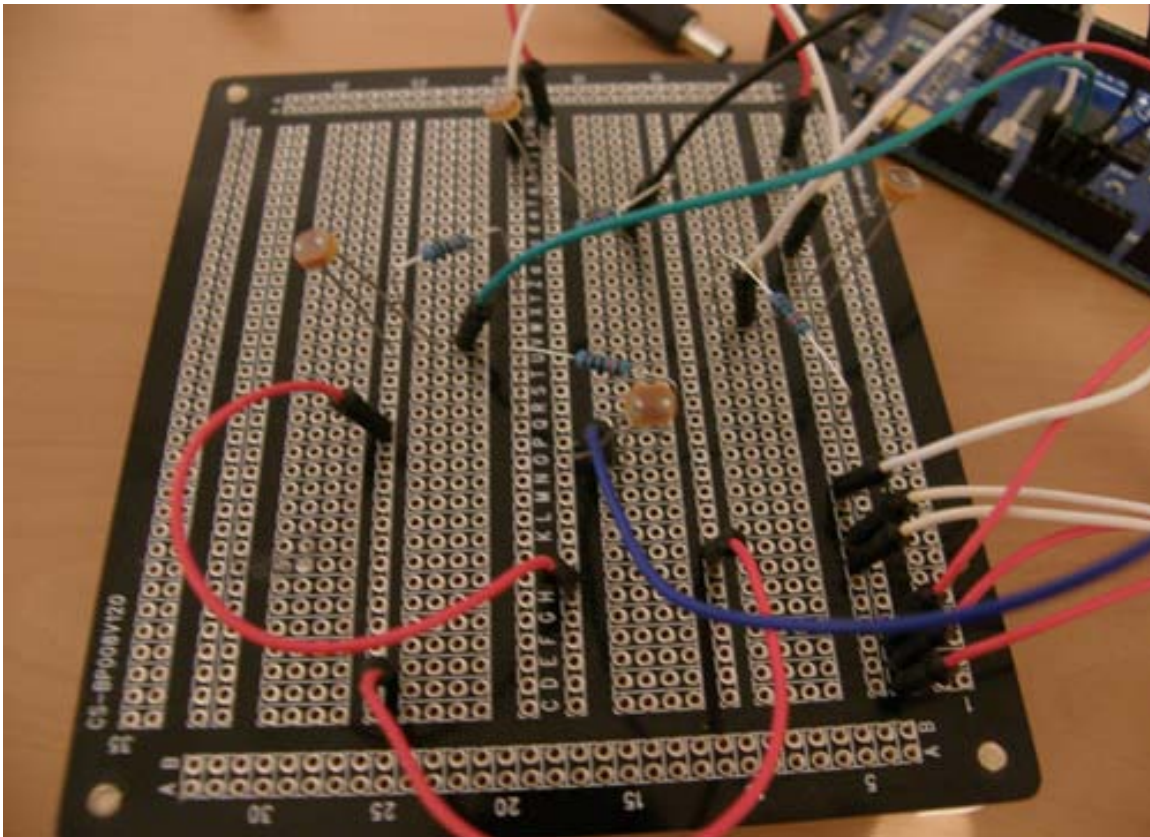
2.3.2 Κατασκευή ηλεκτρολογικού σχεδίου (breadboard)

Με την βοήθεια του προγράμματος κατασκευής και εξομοίωσης ηλεκτρικών κυκλωμάτων Qucs των Linux κατασκευάσαμε το σκαρίφημα για την συνδεσμολογία των φωτοαντιστάσεων. Το κύκλωμα φαίνεται στην επόμενη εικόνα. (Εικόνα 2.3.2)



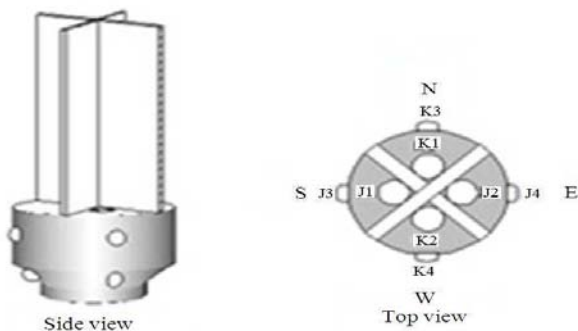
Εικόνα 2.3.2 Ηλεκτρολογικό σχέδιο φωτοαντιστάσεων.

Για να συνδεθούν οι φωτοαντιστάσεις με τον μικροελεγκτή πρέπει να έχουν την διάταξη της προηγούμενης εικόνας του προγράμματος (εικόνα 2.3.2). Ουσιαστικά είναι μια φωτοαντίσταση σε σειρά με μια αντίσταση 10 KOhm. Στο ένα άκρο της φωτοαντίστασης συνδέεται το καλώδιο της τροφοδοσίας (pin +5volt), στο άλλο άκρο συνδέεται το ένα άκρο της αντίστασης, αλλά και ένα καλώδιο το οποίο θα στέλνει το σήμα στον μικροελεγκτή για την αλλαγή της ομικής αντίστασης από την ακτινοβολία του ήλιου. Το καλώδιο αυτό θα καταλήγει σε μια από τις αναλογικές θύρες του μικροελεγκτή (analog pin). Τέλος, το άλλο άκρο της αντίστασης είναι η επιστροφή και θα συνδεθεί με την γείωση του μικροελεγκτή (pin GND). Στην ακόλουθη φωτογραφία απεικονίζεται η συνδεσμολογία που μόλις αναλύσαμε. (Εικόνα 2.3.3)

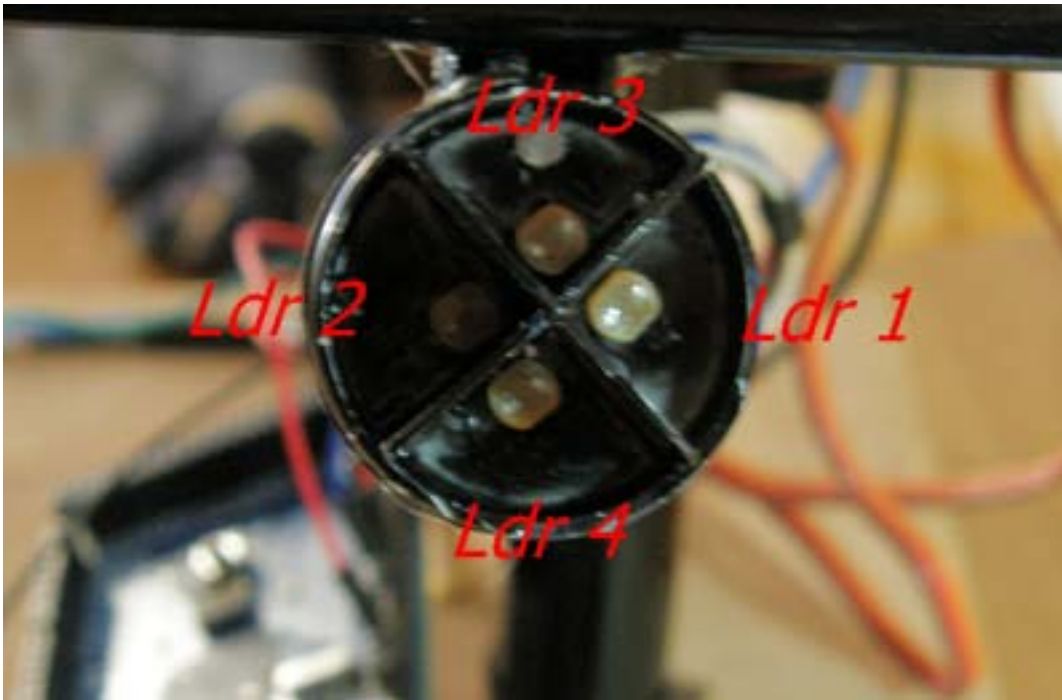


Εικόνα 2.3.3

Αφού κατασκευάσαμε το ηλεκτρολογικό κύκλωμα των φωτοαντιστάσεων και διαπιστώσαμε ότι οι ηλεκτροκινητήρες ανταποκρίνονται, δηλαδή η κίνηση του μοτέρ την στιγμή που δεχεται ακτινοβολία οι φωτοαντίστασεις, θα πρέπει να κατασκευάσουμε την βάση των φωτοαντιστάσεων. Η βάση είναι πολύ σημαντική για την σωστή λειτουργία του συστήματος. Επειδή το πρόγραμμα/κώδικας που γράψαμε, υπολογίζει το μέσω όρο των τιμών των δυο φωτοαντιστάσεων και έπειτα κάνει σύγκριση με την παλιά (ή την αρχική τιμή που έχουμε δώσει) τιμή της, πρέπει τα ζευγάρια των φωτοαντιστάσεων να χωρίζονται από ένα φράγμα (εικόνα 2.3.4), έτσι ώστε η γωνία σκίασης των φωτοαντιστάσεων να είναι μεγαλύτερη. Η εικόνα του διαφράγματος φαίνεται παρακάτω. (Εικόνα 2.3.5)



Εικόνα 2.3.4



Εικόνα 2.3.5

Οι φωτοαντιστάσεις λειτουργούν ως ζευγάρια. Δηλαδή για την περιστροφή του συστήματος στον κάθετο άξονα ψ , οι φωτοαντιστάσεις που δίνουν την πληροφορία στον μικροεπεξεργαστή είναι η δεξιά (Ldr 1) και η αριστερή (Ldr 2). Αντίστοιχα για τον οριζόντιο άξονα χ , είναι οι πάνω (Ldr 3) και κάτω (Ldr 4) φωτοαντιστάσεις. Ο μικροελεγκτής με βάση τον κώδικα παίρνει την εντολή από το ζευγάρι των φωτοαντιστάσεων δεξιά και αριστερά και δίνει εντολή στον ηλεκτροκινητήρα που κινεί το φωτοβολταϊκό σύστημα στον κάθετο άξονα ψ . Αντιστοίχως και για το άλλο ζευγάρι φωτοαντιστάσεων που κινεί το μοτέρ για τον οριζόντιο άξονα.

2.3.3 Μικροελεγκτής

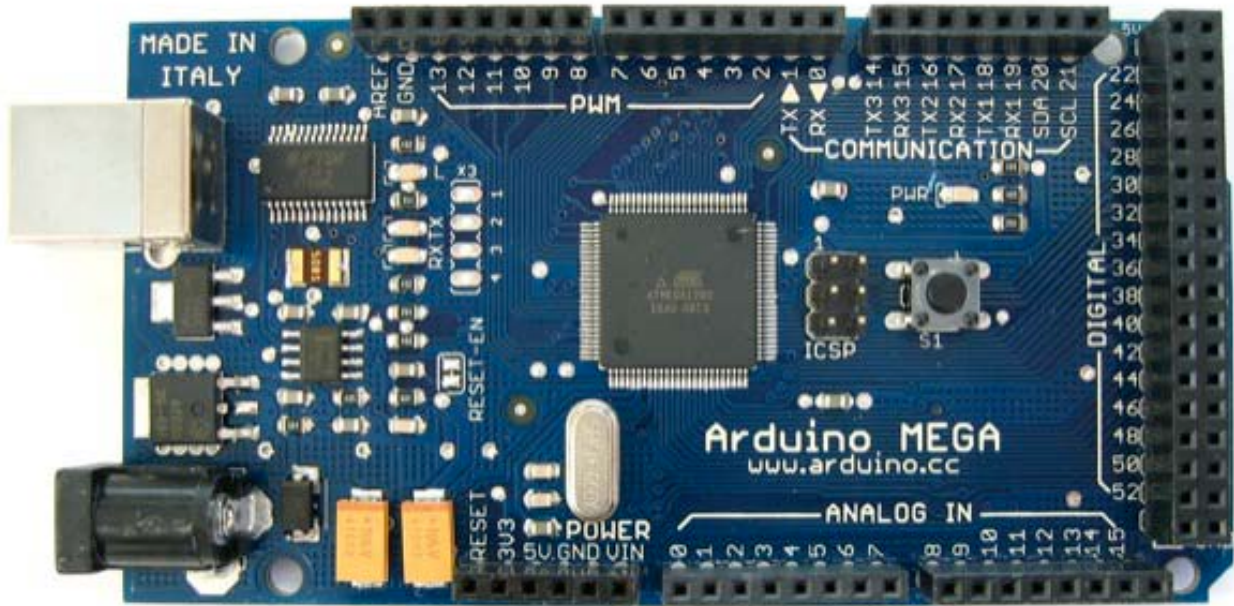
Στο εμπόριο υπάρχουν πολλών ειδών μικροελεγκτές (microcontrollers) από πολλές εταιρίες, για την διευκόλυνση των προγραμματιστών, ηλεκτρολόγων, είτε απλών χρηστών, με σκοπό την επιτυχή υλοποίηση της δουλειάς του κάθε χρήστη, αλλά και την εξέλιξη της τεχνολογίας.

Στο φωτοβολταϊκό σύστημά μας ο μικροελεγκτής είναι το κυριότερο τμήμα του, διότι μέσα στον επεξεργαστή της πλακέτας βρίσκονται όλες οι λογικές πράξεις που πρέπει να υπολογίσει, έτσι ώστε να οδηγήσει τα αποτελέσματα των πράξεων στις σωστές εξόδους και να έχουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα. Ο μικροελεγκτής στον οποίο αναφέρομαι είναι μια από τις πλατφόρμες της εταιρίας Arduino.

Το Arduino είναι μια ηλεκτρονική πλατφόρμα ανοικτού κώδικα (open-source), που βασίζεται σε εύηλεκτο και εύκολο στη χρήση υλικό και λογισμικό. Η πλατφόρμα αυτή περιέχει αναλογικές, ψηφιακές και PWM εισόδους και εξόδους για την περάτωση ηλεκτρονικών πλακετών που στοχεύουν σε συστήματα ελέγχου, αυτοματισμού, είτε πειραματικά συστήματα με εκπαιδευτικό σκοπό.

Ο μικροελεγκτής που χρησιμοποίησα για την επίτευξη του αυτοματισμού είναι ο μικροελεγκτής (microcontroller) Arduino ATmega1280, (εικόνα 2.3.3) με επεξεργαστή της εταιρίας Atmel. Ο μικροελεγκτής έχει 54 ψηφιακές (digital) εισόδους/εξόδους (input/output pins), 14 έξοδοι PWM, 16 αναλογικές (analog), 4 σειριακές UARTs (hardware serial ports) και 16 Mhz crystal oscillator (ταλαντωτές). Επίσης ο μικροελεγκτής περιλαμβάνει μια επαφή (USB) σύνδεσης με τον υπολογιστή, μια θύρα για τροφοδοσία 5 Volt, ICSP header, δηλαδή με το πρόγραμμα αυτό μπορείς να προγραμματίζεις τον επεξεργαστή (chip) του μικροελεγκτή με όλα τα είδη των προγραμμάτων που ήδη υπήρχαν κατά την φόρτωση της εκκίνησης (the boot loader). Τέλος, πάνω στην πλακέτα υπάρχει το κουμπί της επανεκκίνησης (reset button) που σβήνει το πρόγραμμα που είχαμε ανεβάσει.

Οτιδήποτε χρειάζεται κάποιος, το υποστηρίζει ο μικροελεγκτής. Απλή σύνδεση με τον υπολογιστή, μέσω καλωδίου USB και απλός τρόπος τροφοδοσίας του, που είτε συνδέοντας μετασχηματιστή AC-DC 5volt, είτε τροφοδοτώντας τον με μπαταρία 9 Volt. Ο μικροελεγκτής αυτός χρησιμοποιείτε σε άλλες χώρες για την εκπαίδευση και εξοικείωση των μαθητών και φοιτητών με την κατασκευή ηλεκτρονικών μικροεφαρμογών καθώς και την πρακτική τους εξάσκηση στο προγραμματιστικό μέρος του μικροελεγκτή.



Εικόνα 2.3.3

Στοιχεία που πρέπει να γνωρίζουμε για την λειτουργία του μικροελεγκτή.

Microcontroller	ATmega1280
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 14 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	128 KB of which 4 KB used by boot loader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz

2.3.4 Προγραμματισμός Μικροελεγκτή

Το λογισμικό της εταιρίας Arduino είναι ένα εύκολο σε χρήση πρόγραμμα με μόνο μια σοβαρή απαίτηση προς τους χρήστες του, την γνώση της γλώσσας προγραμματισμού C ή C++. Βέβαια υπάρχουν πολλά ελεύθερα προγράμματα (κώδικες) στο διαδίκτυο που έχουν ανεβαστεί από την εταιρία , είτε από άλλους χρήστες - λάτρεις του μικροελεγκτή arduino για την εύκολη εκμάθηση του. Η γλώσσα προγραμματισμού C++, είναι από τις εύκολες γλώσσες προγραμματισμού και όποιος έχει λίγες γνώσεις προγραμματισμού η εταιρία Arduino με απλά παραδείγματα σε βοηθάει να εξελίξεις τις ικανότητες σου στο προγραμματιστικό μέρος.

Το λογισμικό που διαθέτη η εταιρία Arduino είναι το arduino-0022 (εικόνα 2.3.4). Είναι από τις τελευταίες εκδόσεις μαζί με το arduino-0023.



Εικόνα 2.3.4

Το πρόγραμμα/κώδικας που ανέβασα στον μικροελεγκτή του συστήματος μέσω του λογισμικού, είναι το ακόλουθο:

```
#include <Servo.h>

//Declare servos
Servo servo1;
Servo servo2;

//Servo PWM pin
int pinServo1 = 9;  // Servo Vertical
int pinServo2 = 10; // Servo Horizontal

//Map LDR's to IO Pins
int ldr1 = 0;    // Right Sensor IO Pin analog
int ldr2 = 1;    // Left Sensor IO Pin analog
int ldr3 = 2;    // Up Sensor IO Pin analog
int ldr4 = 3;    // Down Sensor IO Pin analog

//Initial values for LDRs
int leftValue = 0;  // The left Sensor Value
int rightValue = 0; // The right Sensor Value
int upValue = 0;   // The up Sensor Value
int downValue = 0; // The down Sensor Value

//Deviation Horizontal and Vertical
int devLR = 0;     // The Deviation between the 2 sensors [Left - Right]
int devUD = 0;     // The Deviation between the 2 sensors [Up - Down]
int devhAVG = 0;   // Deviation Horizontal Average
int devvAVG = 0;   // Deviation Vertical Average
```

```

int deadband = 10;    // Range for which to do nothing with output 10 = -10 to +10

int minPos = 0;      //Min Position
int maxPos = 180;    //Max Position

//Initial output Position
float outputLR = (maxPos - minPos) /2;
float outputUD = (maxPos - minPos) /2;

void setup()
{
Serial.begin(9600);

servo1.attach(pinServo1);    // Attach servo1 to digital pin 9
servo1.write(outputLR);      // Set initial position as 90 degrees

servo2.attach(pinServo2);    // Attach servo2 to digital pin 10
servo2.write(outputUD);      // Set initial position as 90 degrees

//Declare LDRs as input
pinMode(ldr1, INPUT);
pinMode(ldr2, INPUT);
pinMode(ldr3, INPUT);
pinMode(ldr4, INPUT);

}

void loop() {
//Input Reading

```

```

leftValue = analogRead(ldr1);
rightValue = analogRead(ldr2);
upValue = analogRead(ldr3);
downValue = analogRead(ldr4);

// Calculate Horizontal
devLR = leftValue - rightValue;
devhAVG = (devhAVG + devLR) / 2;
float newOutputLR = outputLR + getTravel(devhAVG);

// Calculate Vertical
devUD = upValue - downValue;
devvAVG = (devvAVG + devUD) / 2;
float newOutputUD = outputUD + getTravel(devvAVG);

if (newOutputLR > maxPos) { // Horizontal
    newOutputLR = maxPos;
    outputUD = moveVertical(newOutputUD);
}
else {
    if (newOutputLR < minPos) {
        newOutputLR = minPos;
    }
    outputUD = moveVertical(newOutputUD);
}

//Output Writing
servo1.write(newOutputLR);
outputLR = newOutputLR;

//outputUD = moveVertical(newOutputUD);

```

```

}

int getTravel(int avg) {
    // -1 = Left; +1 = Right
    if (avg < (deadband * -1)) {
        return 1;
    }
    else {
        if (avg > deadband){
            return -1;
        }
        else {
            //Do not move within deadband
            return 0;
        }
    }
}

float moveVertical(float newOutUD){
    float outUD;
    if (newOutUD > maxPos) { // Vertical Max Position
        newOutUD = maxPos;
    }
    else {
        if (newOutUD < minPos) { // Vertical Min Position
            newOutUD = minPos;
        }
    }
}

```

```
//Output Writing

servo2.write(newOutUD);

outUD = newOutUD;

return outUD;

}
```

Ανάλυση των εντολών του κώδικα.

Η εντολή # include κάνει αναφορά σε μια βιβλιοθήκη του λογισμικού του arduino για τον χειρισμό των ηλεκτρικών κινητήρων σέρβο. Επιτρέπει βασικά μια τιμή να αναγράφεται στον ηλεκτροκινητήρα σέρβο και στη συνέχεια φροντίζει για την διαμόρφωση πλάτους του παλμού, που χρησιμοποιείται για να ρυθμίσετε η θέση του ηλεκτροκινητήρα σέρβο.

Ο καθορισμός της αλλαγής κατεύθυνσης αριστερά - δεξιά ή πάνω - κάτω ή να μην κάνει τίποτα (ακινήσια), γίνεται από την εντολή getTravel (). Στην ουσία επιστρέφει απλά -1 ή +1 ή 0 , που στην συνέχεια προστίθεται στην τρέχουσα θέση πριν να δοθεί η τελική τιμή στην έξοδο των σέρβο κινητήρων μέσω των επαφών 9 και 10 (pins) της πλατφόρμας του μικροελεγκτή.

Η σειριακή βιβλιοθήκη καλωδίωσης (Wiring serial library), επιτρέπει την εύκολη ανάγνωση και εγγραφή δεδομένων σε εξωτερικές μηχανές. Η σειριακή θύρα (serial port) αποτελείται από εννέα (pins) θύρες I/O, που υπάρχουν στους περισσότερους υπολογιστές και μπορούν να υιοθετηθούν και μέσω USB σε Macintosh με τη Keyspan USB Serial Adaptor. Η εντολή begin(rate) serial.begin(9600) , πρέπει να τοποθετηθεί μέσα στη εντολή setup().

Η λέξη int είναι δείκτης σε συνάρτηση που επιστρέφει ακέραιο. Ο τύπος void καθορίζει ένα κενό σύνολο τιμών. Χρησιμοποιείται σαν τύπος δεδομένων που επιστρέφουν οι συναρτήσεις που δεν παράγουν τιμή. Η εντολή if else είναι η γνωστή σε όλους, αν τότε.

Ο προγραμματισμός του μικροελεγκτή γίνεται με βάση την λογική. Πρέπει να γνωρίζουμε την λογική του φωτοβολταϊκού περιστρεφόμενου συστήματος για να μπορέσουμε να υλοποιήσουμε τις σωστές εντολές στον κώδικά μας. Αφού έχουμε μελετήσει τις κινήσεις που πρέπει να κάνει το σύστημά μας και έχουμε επιλέξει τα σωστά υλικά, τότε ξεκινάμε την υλοποίηση του κώδικα. Ο μικροελεγκτής έχει συγκεκριμένες θέσεις, τις επονομαζόμενες θύρες (pins), που είναι για σύνδεση καλωδίων για τον έλεγχο παλμών των ηλεκτροκινητήρων και άλλες για την μεταφορά ακέραιων τιμών, όπως χρειαζόμαστε από τις τιμές των φωτοαντιστάσεων. Αρχικά αφού έχουμε κατασκευάσει τις καλωδιώσεις πρέπει να βρούμε σε ποιές θύρες θα τοποθετήσουμε τους ακροδέκτες από τις φωτοαντιστάσεις και από τα σέρβο μοτέρ. Αφού έχουμε τοποθετήσει τα καλώδια στις σωστές θύρες του μικροελεγκτή και έχουμε ολοκληρώσει όλες τις συνδέσεις που χρειάζονται, τότε ξεκινάμε το κομμάτι του προγραμματισμού. Ο κώδικάς μας όπως και κάθε κώδικας είναι χωρισμένος σε κομμάτια, έτσι ώστε να είναι πιο κατανοητός αλλά και να μπορεί να

διαβαστεί και να διορθωθεί από ένα άλλο άτομο που θα έχει πρόσβαση σε αυτόν. Στα τμήματα αυτά του κώδικα έχουμε την δήλωση των μεταβλητών, τις λογικές πράξεις για τις φωτοαντιστάσεις, άλλες λογικές πράξεις για τους σερβοκινητήρες και σε άλλο τμήμα άλλες εντολές για την εμφάνιση των αποτελεσμάτων ή των μηνυμάτων που θέλουμε να μας εμφανίζονται.

Επομένως, όπως έχει επικρατήσει από τους προγραμματιστές στην αρχή γίνεται η δήλωση των μεταβλητών και ο καθορισμός αυτών, δηλαδή αν είναι ακέραιοι, δεκαδικοί, εκφράσεις. Επίσης πρέπει να καταχωρίσουμε σε ποιες θύρες του μικροελεγκτή, θα πηγαίνουν αυτές οι τιμές των μεταβλητών. Για παράδειγμα, η εντολή `int pinServo1 = 9;` εννοεί ότι στην θύρα 9 του μικροελεγκτή βάλε ακέραιες τιμές από τον σερβοκινητήρα 1. Οπότε ότι συνδεσμολογία έχουμε κάνει θα πρέπει να την δηλώσουμε, αλλά και ότι αποτελέσματα θέλουμε να έχουμε από αυτές τις συνδέσεις θα πρέπει να τις έχουμε δηλώσει. Επίσης κάποιες από τις μεταβλητές πρέπει να τις δώσουμε αρχικές τιμές. Κάθε επεξεργαστής ξεκινάει να διαβάζει το πρόγραμμα από την αρχή προς το τέλος, έτσι για να εκκινήσει το πρόγραμμα να παίρνει τιμές από τις μεταβλητές και να αρχίζει να υπολογίζει μέσω των λογικών πράξεων που του έχουμε δώσει, θα πρέπει να διαβάσει το πρόγραμμα μια φορά. Για να γίνουν οι λογικές πράξεις, πρέπει να έχουν κάποιες τιμές οι μεταβλητές. Έτσι βάζουμε αρχικές τιμές και με τον τρόπο αυτό ορίζουμε και την αρχική θέση του φωτοβολταϊκού πάνελ. Δηλαδή με τις αρχικές τιμές που έχουμε ορίσει στις μεταβλητές των σερβοκινητήρων το φωτοβολταϊκό πλαίσιο είναι στραμμένο στην ανατολή περιμένοντας την ανατολή του ήλιου.

Επίσης με κάποιες εντολές μπορείς να καλέσεις βιβλιοθήκες από το πρόγραμμα για διάφορες ενέργειες που θέλεις να κάνεις. Η εταιρία έχει έτοιμους κώδικες που ρυθμίζουν το βήμα των ηλεκτροκινητήρων. Αυτήν είναι μια βοήθεια που σου προσφέρεται για την ευκολότερη κατασκευή του κώδικα που θέλεις να κατασκευάσεις.

Κεφάλαιο 3

Συμπεράσματα & Προτάσεις Βελτίωσης

3.1 Συμπεράσματα

Συμπερασματικά, υπάρχουν αρκετοί παράμετροι που θα πρέπει κανείς να σταθμίσει για να προχωρήσει στην επιλογή ενός σταθερού συστήματος στήριξης σε σχέση με ένα περιστρεφόμενο σύστημα.

Η αύξηση απόδοσης ξεκινάει από 10% τις εκατό, για συστήματα μονού άξονα και τα ποσοστά ανεβαίνουν στα συστήματα με δυο άξονες έως 40% τις εκατό, αλλά για κάποιες μόνο εποχές του χρόνου. Γενικά τα σταθερά συστήματα πλεονεκτούν σε σχέση με τα ηλιοτροπικά φωτοβολταϊκά συστήματα (tracker), στην απλότητα της κατασκευής, στο κόστος εγκατάστασης, στην ταχύτητα εγκατάστασης, στο κόστος συντήρησης, στην μεγαλύτερη ανεξάρτηση του επενδυτή από τον κατασκευαστή και σε θέματα αξιοπιστίας. Όμως το πλεονέκτημα των περιστροφικών συστημάτων (tracker) είναι ότι η άμεση ακτινοβολία (direct irradiation) προσπίπτει στα πάνελ κάθετα, με αποτέλεσμα την αυξημένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Τα συστήματα αυτά πλεονεκτούν συνολικά στην απόδοση της επένδυσης του φωτοβολταϊκού συστήματος και αποδίδουν μεγαλύτερα οικονομικά οφέλη. Υπάρχει ένα αυξημένο κόστος γενικότερα στην κατασκευή και την εγκατάσταση, αλλά οι ηλιακές γεννήτριες μπορούν να αυξήσουν αρκετά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Θα πρέπει όμως να αναφερθούν κάποιοι πολύ σημαντικοί περιορισμοί που αφορούν την εγκατάσταση των περιστρεφόμενων πλαισίων:

- Το αυξημένο κόστος της επένδυσης.
- Η ύπαρξη κινητών μερών η οποία αυξάνει την πολυπλοκότητα του συστήματος.
- Η ανάγκη για αυτοκατανάλωση κάποιας ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας για την περιστροφή (κίνηση) των συστημάτων.
- Το αυξημένο κόστος συντήρησης.
- Η μεγαλύτερη ανάγκη για απομακρυσμένο (τηλεπικοινωνιακά) έλεγχο του συστήματος μιας και η πιθανότητα αστοχίας είναι μεγαλύτερη.
- Μεγαλύτερος κίνδυνος καταστροφής σε περίπτωση ακραίων καιρικών φαινομένων. Υπάρχει σημαντικός περιορισμός όσον αφορά στην λειτουργία των πλαισίων λόγω των ανέμων που πνέουν σε μια περιοχή. Η τεχνολογία των περιστρεφόμενων πλαισίων είναι ευαίσθητη σε ισχυρούς ανέμους, που έχουν σαν αποτέλεσμα την στροφή των πλαισίων εντελώς παράλληλα με το έδαφος για την αποφυγή βλάβης και στην ακραία περίπτωση

στην διακοπή την παραγωγή ενέργειας.

- Ο χώρος που χρειάζεται για την εγκατάστασή τους είναι αυξημένος κατά 50% τις εκατό από τον απαραίτητο χώρο για την εγκατάσταση των σταθερών πλαισίων.
- Τα περιστρεφόμενα πλαίσια χρειάζονται επιπλέον ειδική θεμελίωση, γιατί υψώνονται έως και πέντε (5) μέτρα πάνω από το έδαφος. Η ανάγκη σταθερότητας λοιπόν είναι αυξημένη κάτι που σημαίνει ότι το έδαφος της περιοχής πρέπει να επιτρέπει τέτοιου είδους θεμελίωση.

Η τεχνολογία της περιστροφής έχει ως αποτέλεσμα αύξηση στην παραγόμενη ενέργεια κατά περίπου 28% τις εκατό, από την ενέργεια που θα παρήγαγε ένα σταθερό πλαίσιο της ίδιας τεχνολογίας. Εκτός όμως από την αύξηση στην παραγωγή ενέργειας έχουμε ταυτόχρονη αύξηση του κόστους της τάξης του 12 έως 15% τις εκατό. Είναι φανερό μετά από αυτούς τους συσχετισμούς μεταξύ των σταθερών και περιστρεφόμενων πλαισίων, ότι υπάρχει σοβαρό κίνητρο για την εγκατάσταση των ηλιοτροπικών συστημάτων, γιατί τελικά η αύξηση στο κόστος καλύπτεται από την αύξηση της παραγόμενης ενέργειας και ουσιαστικά τα έσοδα από την πώληση της. Όλα τα μειονεκτήματα που αναφέραμε για τους μηχανικούς δεν είναι μεγάλο ζήτημα να τα εξαλείψουν. Οι εταιρίες εγκατάστασης ηλιοτροπικών φωτοβολταϊκών συστημάτων καθημερινά εξελίσσονται και δημιουργούν σωστά και γερά συστήματα, για την εξασφάλιση των επενδύσεων. Πλέον, ο επενδυτής μέσω των ηλεκτρονικών συσκευών που υπάρχουν μπορεί να βλέπει την όλη πορεία του φωτοβολταϊκού συστήματος του από το σπίτι του και οι εταιρίες συντήρησης μπορούν να αντιληφθούν τυχόν πρόβλημα στο σύστημα από πολύ μακριά, χωρίς να χρειάζεται συχνή επίσκεψη στο φωτοβολταϊκό πάρκο.

Τέλος, μετά από όσα έχουν ειπωθεί καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι τα περιστρεφόμενα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι μια τεχνολογία, που και αν έχει ανακαλυφθεί πολλά χρόνια πριν τώρα αρχίζει και εξελίσσεται. Έχει αρκετά σοβαρά μειονεκτήματα, αλλά έχει ένα ισχυρό πλεονέκτημα, την μεγαλύτερη απόδοση, που προκαλεί τους επιστήμονες και μηχανικούς να φέρουν βελτίωση σε αυτό το σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Με την εξέλιξη της τεχνολογίας τα προβλήματα που υπάρχουν θα μειωθούν και θα ελαχιστοποιηθεί το κόστος παραγωγής και τότε θα είναι ξεκάθαρη η επιλογή των ηλιοτροπικών φωτοβολταϊκών συστημάτων.

3.2 Προτάσεις βελτίωσης και εξέλιξης

Οι προτάσεις για βελτίωση της κατασκευής είναι αρκετές, καθώς πολλές από τις παραμέτρους είναι μεταβαλλόμενες από εποχή σε εποχή και λόγω περιορισμένου χρόνου δεν είναι δυνατή η μελέτη τους. Μια εξέλιξη που συστήματος αυτού θα ήταν η κατασκευή του σε μεγάλες διαστάσεις με μεγαλύτερους βηματικούς κινητήρες, τοποθέτηση αισθητήριων για την κλιματική αλλαγή, για την υπερθέρμανση των φωτοβολταϊκών κυψελών, για τυχόν πρόβλημα περιστροφής στο σύστημα. Σε ένα μεγαλύτερο σύστημα θα μπορούσαν να προστεθούν περισσότερα ηλεκτρολογικά κομμάτια, συν ότι θα ήταν και μεγαλύτερος ο κώδικας προγραμματισμού.

Γενικά υπάρχουν πολύ μηχανολογικοί τρόποι για την κατασκευή του περιστρεφόμενου συστήματος. Στο σύστημά μας θα μπορούσε να επιτευχθεί διαφορετική στήριξη των ηλεκτροκινητήρων και των πάνελ. Επίσης, στην μετάδοση της κίνησης στον οριζόντιο άξονα χ , θα μπορούσε να γίνει με άλλων τρόπος, όπως με ιμάντα μετάδοσης κίνησης, είτε με γρανάζια διαφορικού συστήματος, είτε με υδραυλικό σύστημα όπως υπάρχει και σε πολλά μεγάλα εγκαταστημένα περιστρεφόμενα φωτοβολταϊκά συστήματα. Τα ίδια μηχανολογικά συστήματα κίνησης μπορούν να εφαρμοστούν και για τον κάθετο άξονα ψ . Διαφορετικό σύστημα μείωσης τριβών. Αντί για ρουλεμάν σύστημα μπίλιας με μεγαλύτερη γωνία περιστροφής.

Στο ηλεκτρολογικό τμήμα του συστήματος, θα μπορούσε να προστεθούν αισθητήρες στις εισόδους του μικροελεκτή, για τον έλεγχο του συστήματος. Οι αισθητήρες θα μπορούσαν να ακινητοποιήσουν το σύστημα για να μην συμβεί κάποια βλάβη από κάποιο καιρικό φαινόμενο, όπως και σε εγκατεστημένα ηλιοτροπικά συστήματα, υπάρχει ανεμόμετρο και σε περίπτωση ισχυρού ανέμου ο μικροελεγκτής, είτε μπλοκάρει το σύστημα κίνησης, είτε φέρνει σε παράλληλη με το έδαφος θέση, για να αποφευχθούν πιθανές βλάβες στο σύστημα. Επίσης, υπάρχουν μικροελεγκτές άλλων εταιριών που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για τον αυτοματισμό του φωτοβολταϊκού συστήματος, όπως: AVR, 8051, PIC, PLC, DSP, ARM, MSP430, TTL logic.

Βιβλιογραφία

Η ΓΛΩΣΣΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ C BRIAN W. KERNIGHAN & DENNIS M. RITCHIE

ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΣ ΜΕ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΖΟΜΕΝΟΥΣ ΕΛΕΓΚΤΕΣ ΣΤΑΥΡΟΥ ΡΟΥΜΠΗ

http://www.heliatek.com/?page_id=107&lang=en

<http://www.arduino.cc/>

<http://www.codeproject.com/KB/system/ArduinoLightTrack.aspx>

<http://solar.com.gr/el/controllers.asp>

<http://www.eshops.gr/index.php?act=viewCat&catId=16>

<http://www.solarpanel.co.za/solar-power-calculator.htm>

<http://cogeneration.net/hybrid-solar-systems/>

<http://www.selasenergy.gr/interconnected.php>

<http://www.solarpanelinfo.com/solar-panels/inverters/>

<http://www.koutsikossolar.com/etalambdaiotaomicronsigmaataualphatauetasigma-tr---11.html>



**PHOTOCONDUCTIVE
CdS CELL
VT935G**

MAY 27 0 1964

FEATURES

- Low cost
- Exceptional temperature stability
- Fast response time
- Excellent chopping capability

PRODUCT DESCRIPTION

This photocell consists of a thin film of photoconductive material on a ceramic substrate. A unique method of lead wire attachment provides metallurgical bonding of the wire to the electrode and rigid anchoring of the lead in the ceramic, thus eliminating the need for conductive pastes. A thin plastic coating provides protection for the active surface.

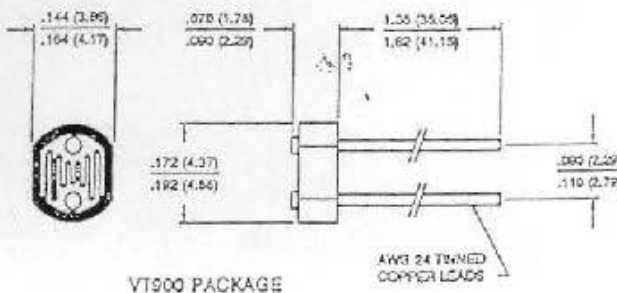
ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

PARAMETER	SYMBOL	RATING	UNITS
CONTINUOUS POWER DISSIPATION DERATE ABOVE 25° C	P _D	80 1.0	mW mW/°C
MAXIMUM VOLTAGE	V _{MAX}	100	V, PEAK
TEMPERATURE RANGE, OPERATING AND STORAGE	T _A	- 50 to + 75	°C

ELECTRO-OPTICAL CHARACTERISTICS @ 25° C (16 HRS. LIGHT ADAPT, MIN.)

PARAMETER	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNITS
RESISTANCE @ 10 lux, 2850 K	R _L				kΩ
GROUP A		10		27	
GROUP B		20		38	
GROUP C		31		50	
DARK RESISTANCE (10 sec. after removal of 10 lux)	R _D	1.0			MΩ
SENSITIVITY $\frac{\log (R_D/R_L)}{\log (100/10)}$	γ		0.9		
PEAK SPECTRAL RESPONSE (TYPE 3)	λ _P		550		nm

PACKAGE DIMENSIONS inch (mm)



VT900 PACKAGE

Typical Resistance vs. Illumination Characteristics

