



Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης

Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών σπουδών

«Προηγμένα Συστήματα Παραγωγής, Αυτοματισμού και Ρομποτικής»

Μεταπτυχιακή Εργασία

Design and construction of a small photovoltaic tracker



Μεταπτυχιακός Φοιτητής

Παπούλιας Γεώργιος

Επιβλέπων καθηγητής

Καραπιδάκης Εμμανουήλ

Αναπληρωτής Καθηγητής

Ηράκλειο 2015

Περίληψη

Η συγκεκριμένη μεταπτυχιακή εργασία αποσκοπεί στη σχεδίαση και κατασκευή ενός φωτοβολταϊκού ηλιοστάτη δύο αξόνων. Αφορά ένα αυτοματοποιημένο σύστημα ανίχνευσης της θέσης του ήλιου (γνωστό παγκοσμίως ως solar tracker) βάση αισθητηρίων μέτρησης της φωτεινότητας. Ο έλεγχος του συστήματος γίνεται με την βοήθεια του μικροελεγκτή arduino Uno. Επιπρόσθετα, κατασκευάστηκε σε γλώσσα προγραμματισμού delphi ένα περιβάλλον (user interface), ώστε ο χρήστης να μπορεί να ελέγχει το σύστημα με δύο τρόπους, χειροκίνητα και αυτόματα. Επίσης, ο χρήστης έχει μια σειρά από δυνατότητες όπως να εισάγει την ώρα, να κινεί το φωτοβολταϊκό σύστημα στην σταθερή θέση που εγκαθίστανται τα φωτοβολταϊκά στην Ελλάδα (φορά προς νότο με κλίση 35°), να ελέγχει ανά πάσα στιγμή τις τιμές των αισθητηρίων και με τους δύο τρόπους χειρισμού και τέλος να βλέπει τις ώρες της ανατολής και δύσης του ήλιου ανάλογα το γεωγραφικό μήκος και πλάτος της περιοχής. Τέλος, με τη χρήση τερματικών διακοπών και περιφερειακών συσκευών επιτυγχάνεται αναγνώριση σφαλμάτων όπως παύση της κίνησης των DC κινητήρων από υπερεντάσεις ή επειδή ξεπεράστηκαν κάποια προκαθορισμένα εύρη κινήσεων.

Abstract

This certain thesis has got a target to design and construction of a photovoltaic tracker system of two axes. It concerns an automatic system of detection the position of the sun (known worldwide as solar tracker) based on sensors of measuring the lightness. The control of the system is achieved with the help of a microcontroller arduino Uno. In addition, it is created in Delphi computer language an environment so that the user can control the system in two ways, manually and automatically. Also the user has a series of possibilities as that of inserting the hour, to move the photovoltaic system in its stable position where the photovoltaics in Greece are established (inclination towards south 35°), to check the indications every moment and in two ways of manipulation and final to watch the hours of sunrise and sunset according to latitude and longitude of the area. Finally, with the use of terminal switches and peripheral devices the error recognition is achieved, as the movement pause of DC motors from over-currents or predefined widths of movements were surpassed.

Ευχαριστίες

Πρώτον από όλους, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον φίλο και συνάδελφο Νικόλαο Μηντσιδίη που ήταν δίπλα μου σε όλη την διάρκεια εκπόνησης αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας και που παρόλες τις αναποδιές που συνάντησα δεν σταμάτησε να με συμβουλεύει και να με ενθαρρύνει. Επίσης, ευχαριστώ τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Μανώλη Καραπιδάκη για την ανάθεση της συγκεκριμένης εργασίας και για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε στον περιορισμένο χρόνο που είχα για να την τελειώσω. Θέλω επίσης να ευχαριστήσω τον Στέλιο Μηντσιδίη για την βοήθεια του στο προγραμματισμό του GUI και τον Κώστα Φρουδαράκη ο οποίος με βοήθησε στον σχεδιασμό της κατασκευής στο Creo parametric 2.0. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και τους φίλους μου που ο καθένας τους με τον δικό του τρόπο με στήριξε έως και την τελευταία στιγμή αυτών των δύο ετών του μεταπτυχιακού.

Περιεχόμενα

Περίληψη	3
Ευχαριστίες	5
Περιεχόμενα	6
Εισαγωγή	9
Κεφάλαιο 1 Φωτοβολταϊκό φαινόμενο	9
1.1 Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο και η φωτοβολταϊκή τεχνολογία	11
1.2 Κατηγορίες φωτοβολταϊκών συστημάτων	13
1.3 Η ηλιακή ακτινοβολία.....	16
1.4 Μελέτη θέσης του ήλιου	20
1.5 Παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση των φωτοβολταϊκών συστημάτων	25
1.6 Μέρη φωτοβολταϊκού συστήματος.....	28
Κεφάλαιο 2 Φωτοβολταϊκοί Ηλιοστάτες.....	34
2.1 Θεωρία φωτοβολταϊκού ηλιοστάτη.....	34
2.2 Είδη και χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκών ηλιοστατών	35
2.3 Τεχνικές ανίχνευσης βέλτιστης απόδοσης.....	38
Κεφάλαιο 3 Ελεγκτής συστήματος	40
3.1 Μικροελεγκτής Arduino	40
3.2 Πλεονεκτήματα – Δυνατότητες – Εφαρμογές	41
3.3 Hardware.....	43
3.4 Software	45
Κεφάλαιο 4 Κατασκευή solar tracker	50
4.1 Κινητήρες συνεχούς ρεύματος.....	51
4.1.1 Κινητήρας αζιμουθίου	54
4.1.2 Κινητήρας κλίσης	55
4.2 Τερματοδιακόπτες και μηχανικός διακόπτης κίνησης.....	56
4.3 Φωτοβολταϊκό πλαίσιο.....	57
4.4 Αισθητήρια φωτός.....	58
4.4.1 Φωτο-αντιστάσεις	59
4.4.2 Φωτο-τρανζίστορ	61
T.E.I. Κρήτης	6
ΔΠΜΣ <<Προηγμένα συστήματα παραγωγής, αυτοματισμού και ρομποτικής>>	

4.5 Πλακέτα αισθητηρίων.....	64
4.6 Σύστημα μετάδοσης κίνησης.....	65
4.7 Arduino shield-πλακέτα σταθεροποίησης τροφοδοσίας και σήματος PWM.....	67
4.8 Οδήγηση των κινητήρων με PWM.....	68
4.9 Καθορισμός αναλογικών και ψηφιακών εισόδων/εξόδων συστήματος.....	70
4.10 Ρυθμιστής τάσης/φόρτισης μπαταρίας.....	71
4.11 Συσσωρευτής.....	72
4.12 Bluetooth HC-06.....	73
4.13 H-bridge.....	74
4.14 Αισθητήριο ρεύματος AC5712ELC-20A.....	75
4.15 Κύκλωμα εξαρισμού.....	76
4.16 Ηλεκτρονικά σχέδια συστήματος.....	76
4.17 Σχέδιο κατασκευής.....	81
Κεφάλαιο 5 Τεχνική εύρεσης θέσης ήλιου και πρόγραμμα ελέγχου του συστήματος.....	84
5.1 Τεχνική εύρεσης θέσης ήλιου.....	84
5.2 Διαδικασία αρχικοποίησης.....	86
5.3 Αναγνώριση σφαλμάτων.....	87
5.4 Graphic User interface.....	87
5.5 Βιβλιοθήκες sunrise,timedate, και softwareserial και η συμβολή τους στον αυτοματισμό του συστήματος.....	90
5.6 Διάγραμμα ροής.....	91
5.7 Συμπεράσματα.....	93
Βιβλιογραφία.....	94
Αναφορά ΙΚΥ.....	95
Παραρτήματα κώδικα Arduino.....	96
Τεχνικά εγχειρίδια.....	105

Εισαγωγή

Σε μία εποχή η οποία χαρακτηρίζεται από έντονο ενεργειακό πρόβλημα λόγω της πετρελαϊκής κρίσης είναι αναγκαία η ανάπτυξη εναλλακτικών πηγών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτές οι μορφές ενέργειας πρέπει να είναι φιλικές προς το περιβάλλον αφού η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αυξάνει σε μεγάλο βαθμό τη ρύπανση του περιβάλλοντος και ταυτόχρονα θα πρέπει να μην εξαντλούν τους φυσικούς πόρους της γης. Μία μορφή ανανεώσιμης πηγής ενέργειας (όπως ονομάζονται αυτές οι εναλλακτικές μορφές ενέργειας) για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι η φωτοβολταϊκή τεχνολογία. Η φωτοβολταϊκή τεχνολογία χρησιμοποιεί την ηλιακή ακτινοβολία για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Το μεγάλο της πλεονέκτημα είναι ότι η ηλιακή ακτινοβολία είναι σταθερή και πρακτικά ανεξάντλητη για το σχετικό χρόνο παρουσίας του ανθρώπου πάνω στη γη το οποίο συνδυάζεται με πλήθος άλλων πλεονεκτημάτων τα οποία την καθιστούν ιδιαίτερα ελκυστική εναλλακτική μορφή ενέργειας. Μερικά από τα κυριότερα πλεονεκτήματά της είναι τα εξής :

- Είναι τεχνολογία φιλική προς το περιβάλλον, κάτι το οποίο ουσιαστικά σημαίνει πως δε δημιουργούνται ρύποι κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.
- Η ηλιακή ενέργεια διατίθεται παντού και δεν στοιχίζει απολύτως τίποτα.
- Αθόρυβη λειτουργία.
- Σχεδόν μηδενικές απαιτήσεις συντήρησης για τα σταθερά φωτοβολταϊκά συστήματα.
- Μεγάλη διάρκεια ζωής το οποίο αποδεικνύεται από το γεγονός πως οι κατασκευαστές εγγυώνται χαρακτηριστικά απόδοσης για 20-30 χρόνια λειτουργίας.
- Εύκολη επέκταση αν χρειαστεί.

Η φωτοβολταϊκή τεχνολογία σήμερα παρέχει πλέον τη δυνατότητα ανάπτυξης ολοκληρωμένων λύσεων σε περιοχές που είναι δυσπρόσιτες , σε περιοχές που είναι εντελώς εκτός δικτύου ή σε περιοχές και περιπτώσεις όπου το κόστος επέκτασης του δικτύου είναι πολύ μεγαλύτερο από τη πλήρη εγκατάσταση ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος. Παραδείγματα τέτοιων εφαρμογών είναι :

- Ηλεκτροδότηση εξοχικών κατοικιών με χαμηλές ηλεκτρικές απαιτήσεις.
- Εγκαταστάσεις αφαλάτωσης (σε νησιά κυρίως) και αντλιοστάσια υδροδότησης.
- Κεραίες κινητής τηλεφωνίας, φάροι, κεραίες τηλεόρασης και ραδιοφώνου στην ύπαιθρο.
- Αγροτικές γεωτρήσεις και συστήματα ανίχνευσης πυρκαγιάς (ή κινδύνου πυρκαγιάς) στα δάση.
- Φωτισμός δρόμων σε επαρχιακές περιοχές μακριά από το δίκτυο.
- Βοηθητική ηλεκτροδότηση σε πλοία.
- Παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε διαστημικές εφαρμογές και πολλά άλλα.

Το βασικότερο μειονέκτημα της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας είναι το κόστος της. Παρά τη ραγδαία μείωση των τιμών τα τελευταία χρόνια, εξακολουθεί να είναι αρκετά ακριβότερη σε σύγκριση με τις παραδοσιακές μεθόδους παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος, οι οποίες όμως έχουν μεγάλο μερίδιο ευθύνης για την εκπομπή διαφόρων ρύπων όπως αερίων του θερμοκηπίου.

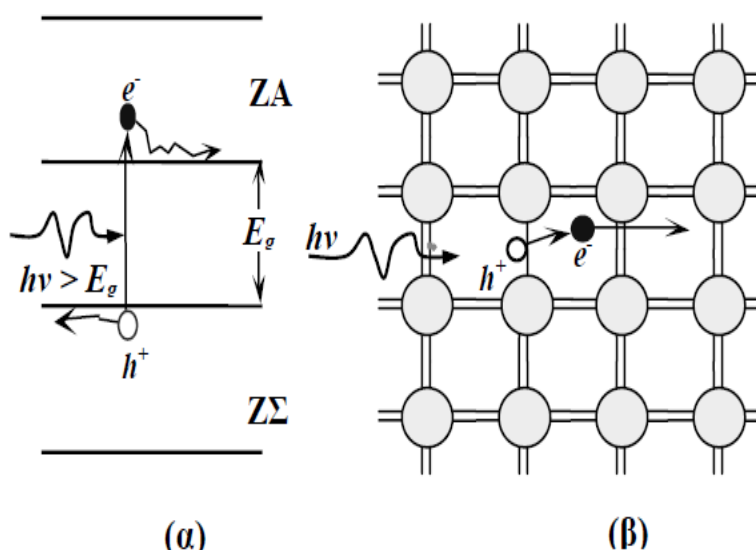
Κεφάλαιο 1-Φωτοβολταϊκό φαινόμενο

1.1 Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο και η φωτοβολταϊκή τεχνολογία

Η μετατροπή της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας, που απορροφάται στο εσωτερικό μίας διάταξης υλικών τα οποία βρίσκονται σε επαφή, σε ηλεκτρική ονομάζεται φωτοβολταϊκό φαινόμενο και η διάταξη ονομάζεται φωτοβολταϊκό στοιχείο. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία κατασκευάζονται από ημιαγώγιμα υλικά όπως το πυρίτιο (Si) και το γερμάνιο (Ge) αλλά και από ενώσεις όπως το αρσενικούχο γάλλιο (GaAs) και το θειούχο κάδμιο (CdS).

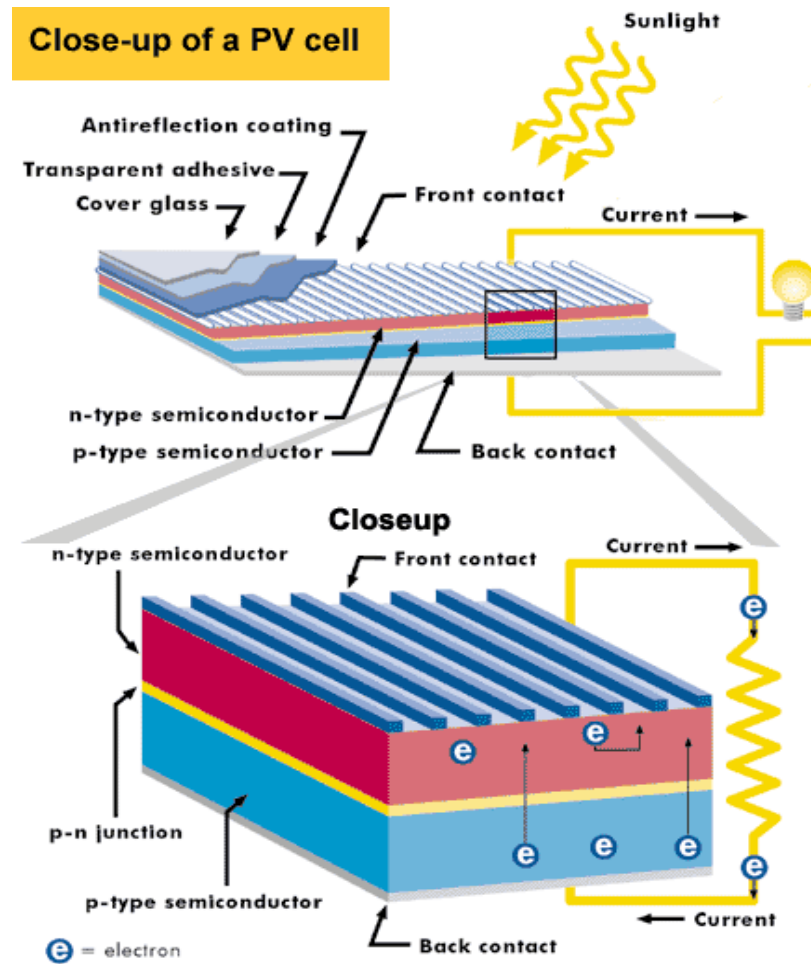
Όπως και στην παραγωγή των περισσότερων ηλεκτρονικών εξαρτημάτων έτσι και εδώ, το πυρίτιο είναι το κυρίως χρησιμοποιούμενο ημιαγώγιμο υλικό. Σε έναν κρύσταλλο πυριτίου τα τέσσερα ηλεκτρόνια που βρίσκονται στην εξωτερική στοιβάδα κάθε ατόμου σχηματίζουν δεσμούς με τα ηλεκτρόνια των γειτονικών ατόμων. Όταν για οποιοδήποτε λόγο, π.χ. εξαιτίας των θερμικών δονήσεων του πλέγματος ή της απορρόφησης ενός φωτονίου, ένα από αυτά τα ηλεκτρόνια πάρει ενέργεια ίση με το ενεργειακό χάσμα του πυριτίου ($E_g = 1.12\text{eV}$ για το πυρίτιο στη θερμοκρασία δωματίου), τότε αφήνει τη ζώνη σθένους και διεγείρεται στη ζώνη αγωγιμότητας (σχήμα 1) αφήνοντας πίσω του μια περιοχή θετικά φορτισμένη η οποία ονομάζεται οπή. Η πιθανότητα να συμβεί κάτι τέτοιο έχει να κάνει με το μέγεθος του ενεργειακού χάσματος και τη θερμοκρασία T και έχει τιμή ανάλογη με τον συντελεστή Boltzman $e(-E_g/2kT)$. Κάθε οπή μπορεί να εξουδετερωθεί είτε αν δεχθεί ένα ηλεκτρόνιο από τη ζώνη αγωγιμότητας το οποίο χάνει την ενέργειά του είτε αν δεχθεί ένα ηλεκτρόνιο γειτονικό, από τη ζώνη σθένους. Στη δεύτερη περίπτωση ουσιαστικά συμβαίνει μετακίνηση της οπής αφού μια άλλη οπή δημιουργείται δίπλα σ' αυτή που εξουδετερώθηκε. Σε θερμοκρασία δωματίου το πυρίτιο έχει περίπου 1.6×10^{10} φορείς του ηλεκτρικού ρεύματος οι οποίοι είναι ουσιαστικά τα ηλεκτρόνια στη ζώνη αγωγιμότητας και οι οπές ανά cm^3 . Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι συμπεριφέρεται περίπου σαν μονωτής αφού συγκριτικά, στα μέταλλα αυτός ο αριθμός είναι της τάξης του 10^{22} περίπου. Όταν όμως μέσα στον κρύσταλλο υπάρχουν προσμίξεις στοιχείων με διαφορετικό αριθμό ηλεκτρονίων στην εξωτερική τους στοιβάδα από το πυρίτιο, τότε η αγωγιμότητα του στοιχείου αυξάνει. Συγκεκριμένα σε έναν κρύσταλλο πυριτίου με προσμίξεις αρσενικού (πεντασθενές – πέντε ηλεκτρόνια στην εξωτερική του στοιβάδα) το παραπανίσιο ηλεκτρόνιο στο άτομο του αρσενικού αποκτά το ρόλο του ηλεκτρονίου αγωγιμότητας. Ένας ημιαγωγός τέτοιου είδους ονομάζεται τύπου n (από τη λέξη

negative). Αντίστοιχα σε έναν κρύσταλλο με πρόσμιξη Βορίου (τρισθενές – τρία ηλεκτρόνια στην εξωτερική του στοιβάδα) υπάρχει θέση η οποία μπορεί να υποδεχθεί ηλεκτρόνιο με αποτέλεσμα τη δημιουργία μίας οπής. Ο ημιαγωγός αυτός όπου το πλήθος των οπών είναι μεγαλύτερο από το πλήθος των ηλεκτρονίων αγωγιμότητας ονομάζεται τύπου p (από τη λέξη positive).



Σχήμα 1. (α) Διέγερση ηλεκτρονίου από τη ζώνη σθένους στη ζώνη αγωγιμότητας μετά από απορρόφηση φωτονίου με ενέργεια μεγαλύτερη του ενεργειακού χάσματος του πυριτίου. (β) Όταν ένα φωτόνιο σπάσει το δεσμό Si – Si δημιουργείται ένα ζεύγος ηλεκτρονίου – οπής.

Όταν ένας ημιαγωγός τύπου n έρθει σε επαφή με έναν ημιαγωγό τύπου p υπάρχει διάχυση ηλεκτρονίων από τον πρώτο στον δεύτερο και οπές από τον δεύτερο στον πρώτο. Γύρω από τη διεπιφάνεια που δημιουργείται στο σημείο επαφής των δύο ημιαγωγών οι οπές και τα ηλεκτρόνια επανασυνδέονται κάτι το οποίο έχει σαν αποτέλεσμα την εξουδετέρωσή τους. Αυτό όμως προκαλεί τη δημιουργία ηλεκτρικού πεδίου (περίπου 0.3-0.5V) εξ' αιτίας αυτής της ύπαρξης ακίνητων ιόντων, κάτι το οποίο αποτρέπει την περαιτέρω διάχυση. Αν όμως η επαφή p-n ακτινοβοληθεί με φωτόνια που φέρουν ενέργεια υψηλότερη του ενεργειακού χάσματος E_g τότε θα δημιουργηθούν φορείς οι οποίοι θα διαχωριστούν λόγω του ηλεκτροστατικού πεδίου. Το αποτέλεσμα είναι η εμφάνιση διαφοράς δυναμικού μεταξύ των ακροδεκτών της επαφής. Αν οι ακροδέκτες συνδεθούν αγώγιμα τότε θα παραχθεί ηλεκτρικό ρεύμα, κάτι που φαίνεται και στο σχήμα 2.



Σχήμα 2. Βασική δομή ενός ηλιακού κελιού.

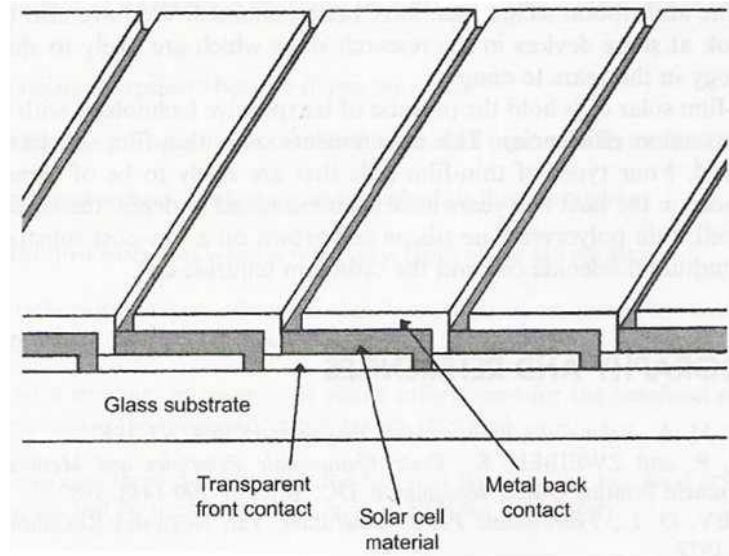
1.2 Κατηγορίες φωτοβολταϊκών συστημάτων

Υπάρχουν διάφορες κατηγορίες φωτοβολταϊκών στοιχείων τα οποία κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τα υλικά που χρησιμοποιούνται αλλά και τις αντίστοιχες τεχνολογίες με τις οποίες κατασκευάζονται. Αποτέλεσμα αυτού του πλήθους των διαφορετικών στοιχείων είναι η ύπαρξη μεγάλης ποικιλίας στην απόδοση και στα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά τους.

Οι βασικές κατηγορίες των φωτοβολταϊκών στοιχείων (ηλιακών κελιών) είναι οι εξής :

- I. **Μονοκρυσταλλικό πυρίτιο.** Τα κελιά μονοκρυσταλλικού πυριτίου κατασκευάζονται από έναν μεγάλο κρυσταλλικό δίσκο (wafer) πυριτίου με μία διαδικασία γνωστή ως διαδικασία "Czochralski". Η απόδοσή τους είναι της τάξης του 15-18% και θα μπορούσε να χαρακτηριστεί σχετικά υψηλή. Διαθέτουν όμως μεγάλο κόστος. Τα ηλιακά κελιά κατασκευάζονται σε κυκλικό ή τετραγωνικό σχήμα. Τα κυκλικά ηλιακά κελιά είναι φθηνότερα από τα υπόλοιπα και ο λόγος

- είναι ότι τα υπολείμματα είναι λιγότερα κατά την κατασκευή τους. Ωστόσο δε χρησιμοποιούνται συχνά στην κατασκευή φωτοβολταϊκών πάνελ. Ο λόγος είναι γιατί όταν τοποθετείται το ένα δίπλα στο άλλο με σκοπό τη δημιουργία μίας ευρείας επιφάνειας υπάρχουν μεγάλα κενά μεταξύ τους και έτσι η κατασκευή δεν είναι αποδοτική. Πρόκειται όμως για μία καλή προοπτική στην περίπτωση ενσωμάτωσης σε κτίρια όταν είναι απαραίτητη η μερική διαπερατότητα στο φως. Το χρώμα τους είναι συνήθως από βαθύ μπλε έως μαύρο όταν υπάρχει αντί-ανακλαστική επίστρωση ή γκρι όταν δεν υπάρχει αυτή η αντί-ανακλαστική επίστρωση.
- II. **Πολυκρυσταλλικό πυρίτιο.** Τα κελιά πολυκρυσταλλικού πυριτίου είναι οικονομικότερα από αυτά του μονοκρυσταλλικού πυριτίου όπως όμως και λιγότερο αποδοτικά. Καθώς προκύπτει και από την ονομασία, κατασκευάζονται από δίσκους (wafers) που κόβονται από τετραγωνισμένους ράβδους πολυκρυσταλλικού πυριτίου. Η μέθοδος κατασκευής ενός πολυκρυσταλλικού κελιού δεν απαιτεί πολύ μεγάλη ακρίβεια και το κόστος είναι σαφώς χαμηλότερο σε σχέση με τα μονοκρυσταλλικά κελιά. Η απόδοση τους κυμαίνεται μεταξύ 13% και 16% και κατασκευάζονται συνήθως σε τετράγωνικό σχήμα. Το χρώμα τους είναι συνήθως μπλε (με αντί-ανακλαστική επίστρωση) ή γκρι-ασημί (χωρίς αντί-ανακλαστική επίστρωση).
- III. **Τεχνολογίες λεπτού υμενίου (thin-film solar cell technology).** Τα τελευταία χρόνια διεξάγεται μεγάλη έρευνα για την τελειοποίηση των μεθόδων κατασκευής ηλιακών κελιών με ημιαγωγούς που το πάχος τους δεν ξεπερνά τα λίγα μικρόμετρα. Στόχος είναι η επίτευξη μίας σχετικά καλής απόδοσης με τη μικρότερη δυνατή χρήση ποσότητας υλικού. Η απόδοση των κελιών αυτών είναι μικρότερη σε σχέση με τα κελιά κρυσταλλικού πυριτίου (της τάξης του 5-7%) αλλά και με πολύ χαμηλότερο κόστος, γεγονός το οποίο τα κάνει αρκετά ανταγωνιστικά και πολλά υποσχόμενα. Βασικός λόγος που είναι οικονομικότερα είναι γιατί παρέχουν τη δυνατότητα κατασκευής μονάδων σε ολοκληρωμένη μορφή χωρίς να απαιτούνται διασυνδέσεις των ανεξάρτητων κυψελών οι οποίες είναι αρκετά ακριβές. Στο σχήμα 3 παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο γίνεται μία ολοκληρωμένη διασύνδεση στη μονάδα τεχνολογίας λεπτού υμενίου.



Σχήμα 3. Εσωτερικά διασυνδεδεμένη μονάδα.

Συνήθως χαρακτηρίζονται από το σχεδόν μαύρο χρώμα τους. Παρακάτω παρουσιάζονται οι κυριότεροι αντιπρόσωποι αυτής της κατηγορίας:

1. **Κελιά άμορφου πυριτίου (amorphous-Si).** Αποτελούν την πιο διαδεδομένη μορφή και χρησιμοποιούνται πολύ σε ηλεκτρονικά προϊόντα ευρείας κατανάλωσης (π.χ. υπολογιστές τσέπης). Το άμορφο πυρίτιο (η μη-κρυσταλλική μορφή του πυριτίου) μπορεί να εναποτεθεί σε μορφή λεπτού υμενίου σε ένα υπόστρωμα το οποίο είναι αγώγιμο δημιουργώντας με αυτό τον τρόπο ένα κελί τεχνολογίας λεπτού υμενίου. Η διαδικασία τοποθέτησης δίνει τη δυνατότητα στο άμορφο πυρίτιο να έχει λιγότερο από 1% του πάχους ενός κρυσταλλικού κελιού. Επιπλέον, τα κελιά άμορφου πυριτίου παρέχουν τη δυνατότητα κατασκευής εύκαμπτων φωτοβολταϊκών πάνελ.
2. **Κελιά καδμίου-τελλουρίου (CdTe).** Η κρυσταλλική ένωση καδμίου-τελλουρίου (CdTe) διαθέτει ιδανικά χαρακτηριστικά για ηλιακή απορρόφηση. Αυτά τα χαρακτηριστικά την καθιστούν εξαιρετική για την κατασκευή φωτοβολταϊκών στοιχείων. Ένα πολύ βασικό μειονέκτημα αποτελεί η χρήση του σπάνιου μετάλλου τελλουρίου. Επιπλέον, η χρησιμοποίηση του καδμίου καθιστά επιβεβλημένη την ανακύκλωση τους μετά το τέλος της ζωής τους ενώ και η κατασκευή τους αποτελεί ένα δύσκολο εγχείρημα

3. **Copper indium diselenide cells.** Πρόκειται για κυψέλες αποτελούμενες από υλικό το οποίο παρουσιάζει άμεση οπτική απορρόφηση με εξαιρετικά υψηλό συντελεστή απορρόφησης. Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του εξαρτώνται κυρίως από την αναλογία χαλκού/ίνδιου αλλά και από τον ακριβή έλεγχο της στοιχειομετρίας κατά τη διαδικασία παραγωγής. Τα συγκεκριμένα κελιά έχουν επιδείξει αποδόσεις της τάξης του 20%, η οποία αποτελεί την υψηλότερη για κελιά αυτής της τεχνολογίας.

IV. **Άλλοι τύποι κελιών.** Εκτός των παραπάνω, κάποιος μπορεί να συναντήσει και τους παρακάτω τύπους κελιών είτε σε μικρό βαθμό είτε σε εργαστηριακό επίπεδο:

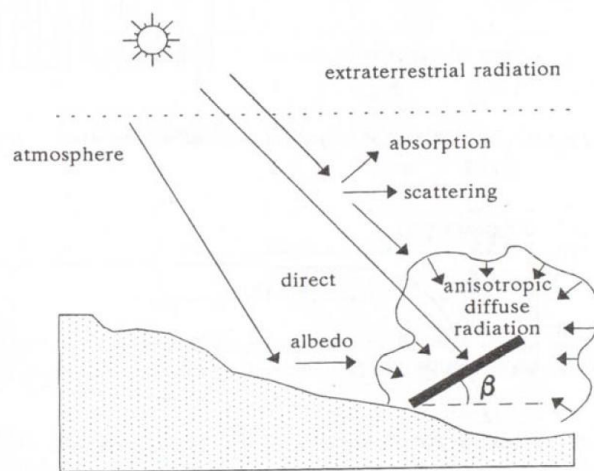
1. **Κελιά Αρσενικούχου - Γαλλίου (GaAs).** Αποτελούν κελιά υψηλής απόδοσης (έως και 36%), αλλά είναι ιδιαίτερος ακριβά.
2. **Κελιά που συνδυάζουν οργανικά υλικά με πολυμερή.** Αποτελούν μία σχετικά καινούρια τεχνολογία. Τα οργανικά κελιά κάπως διαφορετικά σε σχέση με τις άλλες τεχνολογίες. Τα οργανικά κελιά χρησιμοποιούν οργανικά υλικά που λειτουργούν ως δέκτες και δότες ηλεκτρονίων αντί για ημιαγώγιμες p-n επαφές. Το μεγάλο πλεονέκτημα χρήσης οργανικών υλικών έγκειται στο γεγονός ότι επιτρέπουν την μεγάλης κλίμακας κατασκευή εύκαμπτων ηλιακών κελιών χαμηλής-θερμοκρασίας σε υποστρώματα πλαστικών. Η απόδοση των οργανικών κελιών σήμερα είναι της τάξης του 5-6%, ωστόσο η αύξηση της πρόκειται να μειώσει σημαντικά το κόστος παραγωγής ηλιακών κελιών.

1.3 Η ηλιακή ακτινοβολία

Μετά την ανάλυση του φωτοβολταϊκού φαινομένου και των χαρακτηριστικών τα οποία διέπουν τη λειτουργία των φωτοβολταϊκών στοιχείων, σειρά έχει η μελέτη της ισχύος της ακτινοβολίας που προσπίπτει στην επιφάνειά τους από τον ήλιο. Μία τέτοια μελέτη είναι απαραίτητη για τη βελτιστοποίηση του φωτοβολταϊκού πάνελ, αφού για την καλύτερη δυνατή απόδοσή του απαιτείται η όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας να προσπίπτει άμεσα στα φωτοβολταϊκά στοιχεία τα οποία απαρτίζουν το φωτοβολταϊκό πάνελ αλλά και για όσο το δυνατό μεγαλύτερο χρονικό διάστημα στη διάρκεια της ημέρας και κατ' επέκταση στη διάρκεια ενός έτους. Το πρόβλημα του σωστού προσανατολισμού της φωτοβολταϊκής μονάδας έχει να κάνει με τη θέση της ως προς τον ορίζοντα, το γεωγραφικό πλάτος της τοποθεσίας, τη θέση του ήλιου, τις

μετεωρολογικές συνθήκες, το υψόμετρο, την περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε υγρασία κ.α.

Η ανάλυση της ηλιακής ακτινοβολίας, που προσπίπτει πάνω σε μια επιφάνεια είναι αρκετά πολύπλοκη. Υπάρχουν δυο ειδών προβλήματα στην εκπόνηση αυτής της εργασίας. Το ένα, είναι η συλλογή των μετεωρολογικών δεδομένων και το άλλο είναι η επιλογή, με βάση τα δεδομένα αυτά, της σωστότερης μεθόδου υπολογισμού της ακτινοβολίας. Στο σχήμα 4 φαίνονται οι διαφορετικοί τύποι της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτουν στην επιφάνεια της γης.



Σχήμα 4. Είδη ηλιακής ακτινοβολίας

Η ακτινοβολία που προσπίπτει στην επιφάνεια ενός δέκτη που είναι τοποθετημένος έξω από την ατμόσφαιρα της γης (εξωγήινη ακτινοβολία, extraterrestrial radiation) αποτελείται αποκλειστικά και μόνο από την ακτινοβολία που ταξιδεύει σε μια ευθεία γραμμή από τον ήλιο προς στην επιφάνεια αυτή. Κάτι τέτοιο συμβαίνει διότι το διάστημα είναι κενό, δεν υπάρχουν δηλαδή υλικά πάνω στα οποία η ακτινοβολία είναι πιθανό να σκεδαστεί ή να ανακλαστεί. Όταν η ακτινοβολία του ήλιου εισέρχεται στη γήινη ατμόσφαιρα τροποποιείται από διάφορα στοιχεία που συναντώνται σε αυτή. Κάποια από αυτά, όπως είναι τα σύννεφα, προκαλούν ανάκλαση της ακτινοβολίας ενώ μερικά άλλα, όπως για παράδειγμα το όζον, ο άνθρακας, το οξυγόνο, και το εξατμισμένο νερό, την απορροφούν. Επίσης η σκόνη και τα σταγονίδια του νερού προκαλούν σκέδαση της ακτινοβολίας. Τέλος, κάποια ποσότητα ακτινοβολίας καθώς φτάνει στο έδαφος

απορροφάται ενώ κάποια άλλη ποσότητα ανακλάται στην ατμόσφαιρα. Το αποτέλεσμα όλων των παραπάνω είναι η διάσπαση της ηλιακής ακτινοβολίας σε διαφορετικά είδη:

1. Την απευθείας ακτινοβολία (direct radiation) η οποία οφείλεται σε εκείνες τις ακτίνες του φωτός που ταξιδεύουν σε μια ευθεία γραμμή από τον ήλιο προς στην επιφάνεια της γης.
2. Την διάχυτη ακτινοβολία (diffuse radiation) η οποία προέρχεται από τον ουρανό, αλλά όχι από τον ηλιακό δίσκο, όπως για παράδειγμα είναι οι ακτίνες που έχουν σκεδαστεί στην ατμόσφαιρα.
3. Την ακτινοβολία η οποία ανακλάται στο έδαφος (albedo radiation).

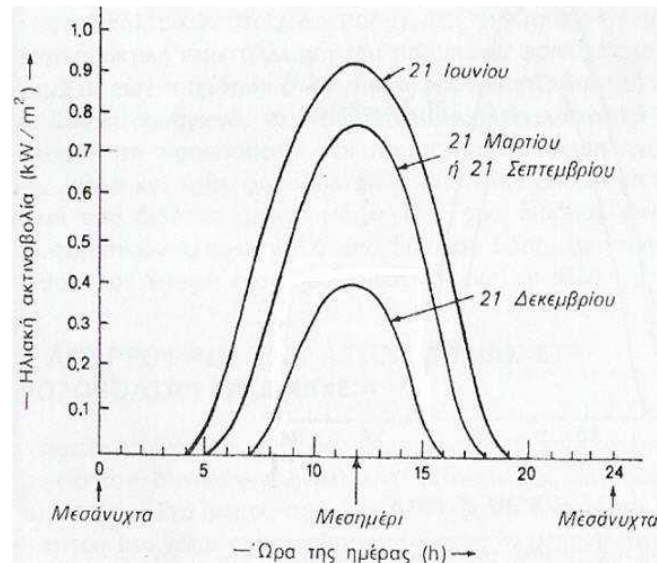
Το άθροισμα αυτών των τριών τύπων ακτινοβολίας δίνει την ολική ακτινοβολία που προσπίπτει σε μια επιφάνεια (global radiation).

Οι ιδιότητες της διάχυτης ακτινοβολίας εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τη μορφή, τη θέση και τη σύνθεση που έχουν τα σύννεφα. Η γωνιακή κατανομή της διάχυτης ακτινοβολίας πρόκειται γενικά για μια σύνθετη λειτουργία που ποικίλλει με το χρόνο. Η διάχυτη ακτινοβολία είναι ουσιαστικά ανισοτροπική. Παρόλα αυτά, σε μερικές ειδικές περιπτώσεις (όπως για παράδειγμα, σε έναν εντελώς συννεφιασμένο ουρανό) είναι σχεδόν ισοτροπική.

Στο ποσοστό της ακτινοβολίας η οποία ανακλάται από το έδαφος διαδραματίζει τεράστιο ρόλο η φύση του εδάφους, το οποίο εμφανίζει μεγάλη ποικιλία (π.χ χιόνι, βλάστηση, νερό, κ.λ.π). Σε ορισμένες περιπτώσεις το έδαφος χρωματίζεται σκόπιμα με λευκό χρώμα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση του ποσοστού της ακτινοβολίας που ανακλάται από το έδαφος και με αυτό τον τρόπο συμβάλλει σημαντικά στην αύξηση της συνολικής ακτινοβολίας.

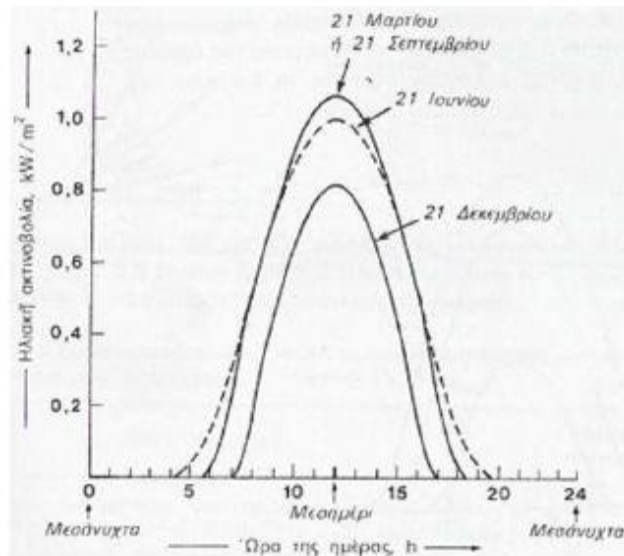
Ένα από τα βασικά προβλήματα που υπάρχουν στη χρήση της ηλιακής ακτινοβολίας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι ότι παρουσιάζει έντονη διακύμανση. Αυτό σημαίνει, απότομες αλλά και απρόβλεπτες μεταβολές με την πάροδο του χρόνου σε σχέση με άλλα συστήματα μετατροπής ενέργειας. Στο σχήμα 5 φαίνεται ένα διάγραμμα στο οποίο μπορεί να παρατηρηθεί η διακύμανση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας σε μία οριζόντια επιφάνεια υπό καθαρό ουρανό για διαφορετικές ενδεικτικές ημερομηνίες (ηλιοστάσια και ισημερίες).

Σχεδίαση και Κατασκευή Μικρού Φωτοβολταϊκού Ηλιοστάτη (Solar Tracker)



Σχήμα 5. Διακύμανση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας σε χρόνο μίας ημέρας με τον συλλέκτη να είναι στο οριζόντιο επίπεδο.

Όταν η επιφάνεια η οποία δέχεται την ακτινοβολία τεθεί υπό κλίση παρατηρείται αύξηση στην ένταση της ακτινοβολίας η οποία ορίζεται ως η ισχύς ανά μονάδα επιφάνειας και έχει μονάδες W/m^2 . Στο σχήμα 6 είναι ορατή η μεταβολή του παραπάνω σχήματος όταν ο συλλέκτης βρίσκεται υπό σωστή κλίση.



Σχήμα 6. Διακύμανση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας σε χρόνο μίας ημέρας με τον συλλέκτη σε κλίση ίση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου.

Ένας άλλος τρόπος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη βελτίωση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται η φωτοβολταϊκή μονάδα είναι η τοποθέτησή της πάνω σε διάταξη κινητού πλαισίου το οποίο περιστρέφεται σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα, παρακολουθώντας την πορεία του ήλιου στον ουρανό. Με αυτό τον τρόπο εξασφαλίζεται η κάθετη πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια των φωτοβολταϊκών στοιχείων, γεγονός που έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση στην παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος. Οι διατάξεις αυτές ονομάζονται φωτοβολταϊκοί ηλιοστάτες (solar trackers). Με τη χρήση του φωτοβολταϊκού ηλιοστάτη επιτυγχάνεται η αύξηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος μεν, αλλά απαιτείται σημαντική κατανάλωση ισχύος για την κίνηση της παρακολουθήσεως του ήλιου δε. Από τον υπολογισμό της διαφοράς αυτών των τιμών ισχύος μπορεί να βγει το συμπέρασμα αν η χρήση των φωτοβολταϊκών ηλιοστατών είναι ενεργειακά αποδοτική. Βέβαια υπάρχουν και άλλα σημαντικά κριτήρια για την επιλογή ενός συστήματος ηλιοστάτη όπως είναι το κόστος του, η συχνότητα ανάγκης για συντήρηση και η δυνατότητα σύντομης απόσβεσης του επιπλέον κόστους που αυτή εισάγει στο φωτοβολταϊκό σύστημα.

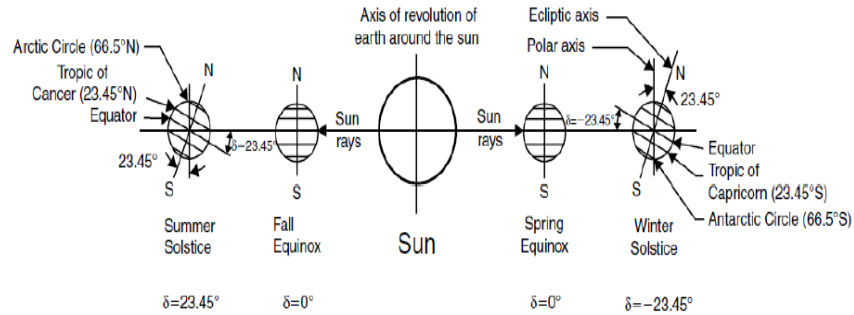
1.4 Μελέτη θέσης του ήλιου

Αν και η αλλαγή της θέσης του ήλιου σε σχέση με ένα σταθερό σημείο στη γη είναι πολύ γνωστή, τα μαθηματικά που περιγράφουν αυτή τη μετακίνηση είναι αρκετά σύνθετα.

Η γη περιστρέφεται γύρω από τον ήλιο όπως είναι γνωστό σε μια ελλειπτική τροχιά. Το επίπεδο στο οποίο περιέχεται αυτή η τροχιά ονομάζεται ελλειπτικό επίπεδο και ο χρόνος που χρειάζεται η γη για να ολοκληρώσει αυτήν την τροχιά καθορίζει το γήινο έτος.

Ταυτόχρονα, η γη περιστρέφεται γύρω από τον κεντρικό της άξονα ο οποίος ονομάζεται πολικός άξονα και η κίνηση αυτή καθορίζει τη γήινη ημέρα. Ο πολικός άξονας έχει μία τροχιά γύρω από τον ήλιο, διατηρώντας πάντα σταθερή γωνία 23.45° με το ελλειπτικό επίπεδο, με τρόπο ώστε η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ του ισημερινού επιπέδου και μιας ευθείας γραμμής η οποία εκτείνεται από το κέντρο της γης μέχρι το κέντρο του ήλιου να αλλάζει συνεχώς. Αυτή η γωνία καλείται ηλιακή απόκλιση δ και μπορεί να θεωρηθεί σχεδόν σταθερή κατά τη διάρκεια μιας οποιασδήποτε ημέρας. Η μέγιστη μεταβολή της γωνίας δ μέσα σε 24 ώρες είναι λιγότερο από 0.5° . Στο σχήμα 7 φαίνεται η θέση του άξονα της γης σε σχέση με τον ήλιο ανάλογα με τις εποχές.

Σχεδίαση και Κατασκευή Μικρού Φωτοβολταϊκού Ηλιοστάτη (Solar Tracker)



Σχήμα 7. Θέση του άξονα της γης ως προς τον ήλιο στις διάφορες εποχές.

Ο υπολογισμός της γωνίας ηλιακής απόκλισης δ μπορεί να γίνει με μεγάλη ακρίβεια για οποιαδήποτε ημέρα του έτους χρησιμοποιώντας την παρακάτω σχέση :

$$\delta = [0,006918 - 0,399912 * \cos(\Gamma) + 0,070257 * \sin(\Gamma) - 0,006758 * \cos(2\Gamma) + 0,000907 * \sin(2\Gamma) - 0,002697 * \cos(3\Gamma) + 0,00148 * \sin(3\Gamma)] * \frac{180}{\pi} \quad (1)$$

Όπου Γ (σε rad) δίνεται από τη σχέση :

$$\Gamma = 2 * \pi * \frac{d_n - 1}{365} \quad (2)$$

όπου d_n ο αριθμός της μέρας αρχίζοντας τη μέτρηση από την αρχή του έτους. Δηλαδή το d_n παίρνει τιμές από 1 στις 1 Ιανουαρίου ως 365 στις 31 Δεκεμβρίου. Σύμφωνα με την ελλειπτική τροχιά της γης η απόσταση μεταξύ ήλιου και γης κατά τη διάρκεια του έτους παίρνει τιμές σύμφωνα με την παρακάτω σχέση :

$$\varepsilon_0 = (r_0/r)^2 = 1,0011 + 0,034221 * \cos(\Gamma) + 0,001280 * \sin(\Gamma) + 0,000719 * \cos(2\Gamma) + 0,000077 * \sin(2\Gamma) \quad (3)$$

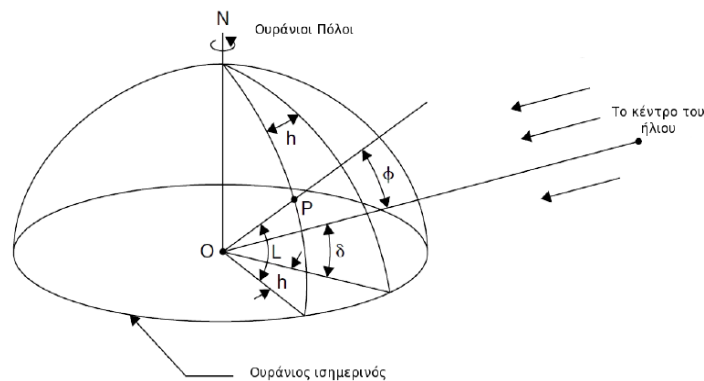
όπου: r είναι η απόσταση μεταξύ ήλιου και γης και r_0 η μέση τιμή του r που είναι ίση με 149.600.000Km.

Οι σχέσεις (1) και (3) λαμβάνουν υπόψη τη γωνιακή ταχύτητα της γης. Σε πολλές εφαρμογές της εφαρμοσμένης μηχανικής η γωνιακή ταχύτητα είναι δυνατό να θεωρηθεί σταθερή, προσεγγιστικά. Η θεώρηση αυτή είναι σχετικά ακριβής και συνάμα βολική. Σε αυτή τη περίπτωση οι εξισώσεις (1) και (3) αντικαθίστανται από τις παρακάτω :

$$\delta = 23,45 * \sin \left(\frac{360}{365} * (d_n + 284) \right) \quad (4)$$

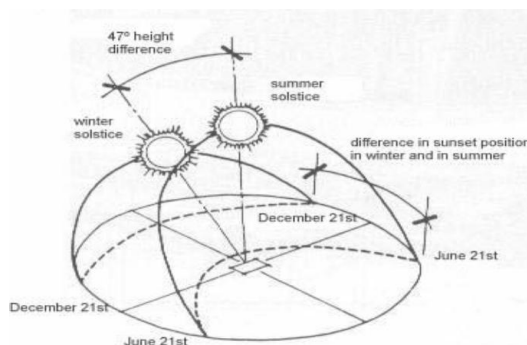
$$\varepsilon_0 = 1 + 0,033 * \cos \left(360 * \frac{d_n}{284} \right) \quad (5)$$

Ένας πολύ κλασικός τρόπος για την αναπαράσταση του ουρανού είναι ως μία σφαίρα η οποία κεντροθετείται σε ένα καθορισμένο σημείο τη γης, όπως παρουσιάζεται και στο σχήμα 8. Αυτό το μοντέλο αποκαλείται «ουράνια σφαίρα». Κάθε σημείο του, αντιπροσωπεύει μια πορεία με κατεύθυνση προς τον ουρανό όπως αυτή φαίνεται από τη γη.



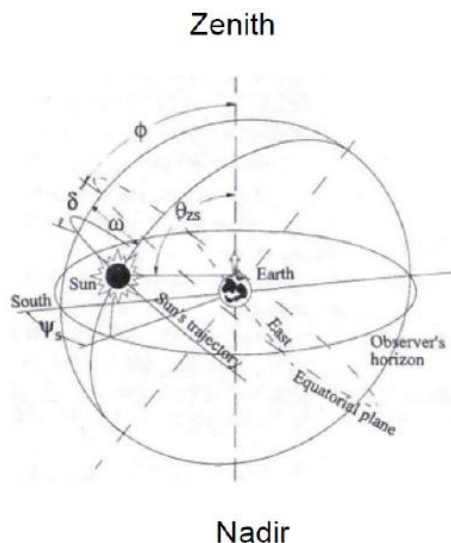
Σχήμα 8. Αναπαράσταση του μοντέλου της ουράνιας σφαίρας.

Αν χρησιμοποιηθεί το συγκεκριμένο μοντέλο αναπαράστασης τότε η μετακίνηση της γης γύρω από τον ήλιο θα μπορεί να μετασχηματιστεί ουσιαστικά σε μια μετακίνηση του ήλιου ως προς τη γη η οποία λαμβάνεται σαν σταθερή όπως φαίνεται και στο σχήμα 9. Σε αυτή τη περίπτωση ο ήλιος ονομάζεται ελλειπτικός και σχηματίζει γωνία 23,45° με τον ουράνιο ισημερινό. Ο ήλιος ολοκληρώνει έναν τέτοιο κύκλο μία φορά το χρόνο ενώ η ουράνια σφαίρα περιστρέφεται γύρω από τη γη (που θεωρείται σταθερή) μία φορά την ημέρα. Κατά τον τρόπο αυτό, ο ήλιος διαγράφει έναν κύκλο γύρω από τη γη. Η διάμετρος αυτού του κύκλου αλλάζει μέρα με τη μέρα, φτάνοντας το μέγιστο στις ισημερίες και το ελάχιστο στα ηλιοστάσια.



Σχήμα 9. Θέση του ήλιου στον ουρανό κατά τη διάρκεια του έτους.

Εάν από οποιοδήποτε σημείο της γης τραβηχτεί μία κατακόρυφος, αυτή θα τέμνει την ουράνια σφαίρα σε σημεία γνωστά ως ζενίθ και ναδίρ. Η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της κατακόρυφου αυτής και του πολικού άξονα ορίζει το γεωγραφικό πλάτος ϕ το οποίο θεωρείται θετικό στο βόρειο ημισφαίριο και αρνητικό στο νότιο ημισφαίριο. Ο τοπικός μεσημβρινός πρόκειται για τον μεγάλο κύκλο στη γη ο οποίος περιέχει τους πόλους, ζενίθ και ναδίρ και παρουσιάζεται στο σχήμα 10.



Σχήμα 10. Σχηματική αναπαράσταση του Ζενίθ και του Ναδίρ.

Για τον καθορισμό της θέσης ενός σημείου όπως για παράδειγμα του ηλίου στην ουράνια σφαίρα σε σχέση με ένα σημείο στη γη γίνεται χρήση δύο συντεταγμένων. Η πρώτη είναι η γωνία ζενίθ, θ_z , η οποία σχηματίζεται μεταξύ της κατακόρυφου και μιας γραμμής από τη γη στο συγκεκριμένο σημείο. Η δεύτερη είναι το αζιμούθιο ψ_s , που σχηματίζεται μεταξύ των μεσημβρινών του σημείου και της θέσης του.

Το συμπλήρωμα της γωνίας θ_z είναι γνωστό ως ανύψωση γ . Το αζιμούθιο θεωρείται θετικό προς τη δύση και αρνητικό προς την ανατολή. Ο κύκλος ο οποίος αντιστοιχεί στο γεωμετρικό τόπο των σημείων που έχουν $\gamma = 0$ ονομάζεται ορίζοντας. Η γωνία ζενίθ (θ_z) και το αζιμούθιο (Ψ_s) σε οποιαδήποτε δεδομένη στιγμή, υπολογίζονται από τις σχέσεις :

$$\cos(\theta_z) = \sin\delta * \sin\varphi * \cos\delta * \cos\varphi * \cos\omega = \sin\gamma \quad (6)$$

$$\cos(\Psi) = \frac{(\sin\gamma * \sin\varphi - \sin\delta)}{(\cos\gamma * \cos\varphi)} \quad (7)$$

όπου το ω είναι μια ποσότητα που καλείται πραγματικός ηλιακός χρόνος ή ηλιακή ώρα. Στο μεσημέρι κάθε ημέρας το ω παίρνει την τιμή 0, το πρωί λαμβάνεται ως αρνητικό και το απόγευμα ως θετικό.

Το σύστημα που μόλις περιγράφηκε, δίνει τις γωνίες θ_z και Ψ_s σε σχέση με μια οριζόντια επιφάνεια. Στην πραγματικότητα όμως, οι περισσότερες πρακτικές εφαρμογές απαιτούν τον καθορισμό της θέσης του ήλιου σχετικά με ένα κεκλιμένο επίπεδο. Ο προσανατολισμός μιας επιφάνειας μπορεί να περιγραφεί γενικά από την κλίση β η οποία είναι η γωνία που διαμορφώνεται με το οριζόντιο επίπεδο και το αζιμούθιο α της κάθετης στην επιφάνεια. Η γωνία της ηλιακής πρόσπτωσης μεταξύ των ακτινών του ήλιου και της κάθετης στην επιφάνεια μπορεί είναι δυνατό να υπολογιστεί από τη σχέση :

$$\begin{aligned} \cos(\theta_z) = & \sin\delta * \sin\varphi * \cos\beta * \cos\varphi - \sin\delta * \cos\varphi * \sin\beta * \cos\alpha + \\ & \cos\delta * \cos\varphi * \cos\beta * \cos\omega + \cos\delta * \cos\alpha * \cos\omega * \sin\varphi * \sin\beta + \sin\alpha * \\ & \sin\omega * \sin\beta * \cos\delta \quad (8) \end{aligned}$$

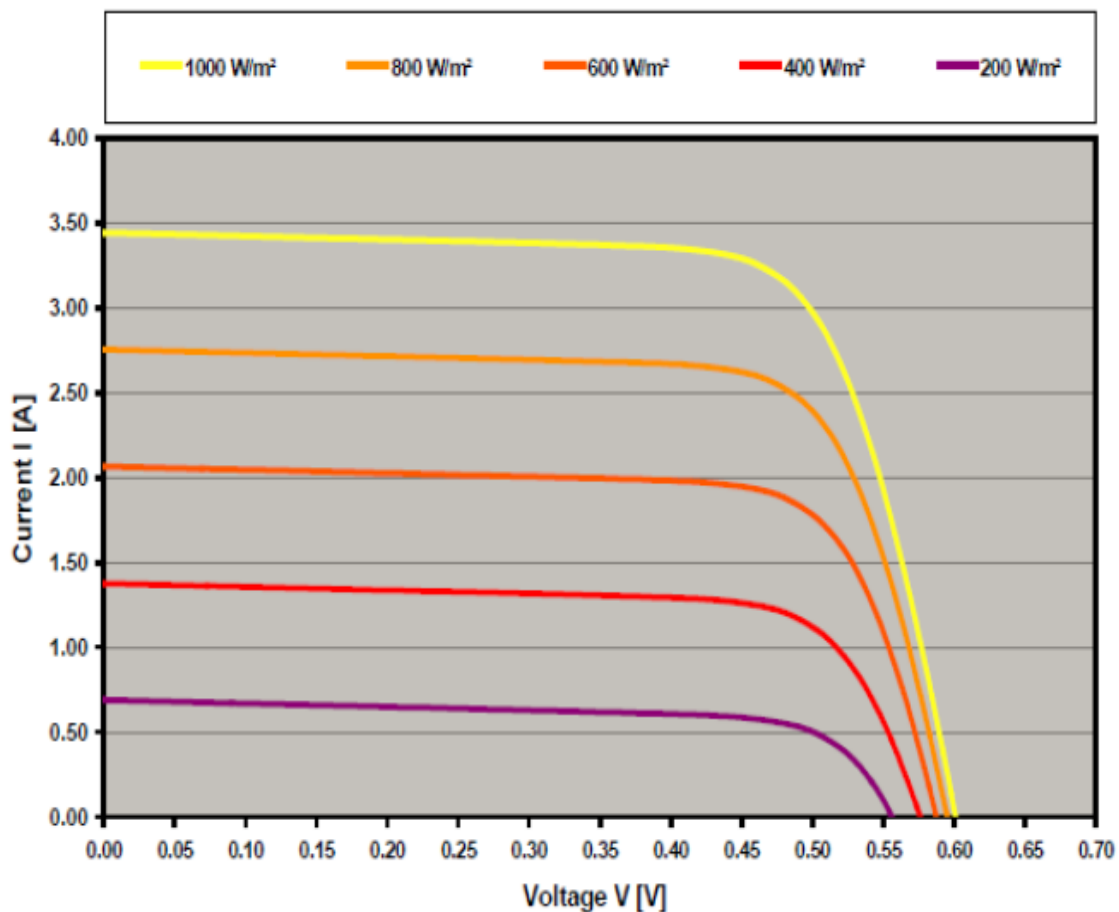
Η σχέση 8 πρόκειται για μία πολύ χρήσιμη σχέση η οποία σε πολλές περιπτώσεις απλοποιείται σημαντικά όπως για παράδειγμα στην περίπτωση επιφανειών προσανατολισμένων προς το νότο που παίρνει την παρακάτω μορφή :

$$\cos(\theta_z) = \sin\delta * \sin(\varphi - \beta) + \cos\delta * \cos(\varphi - \beta) * \cos\omega \quad (9)$$

1.5 Παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση των φωτοβολταϊκών συστημάτων

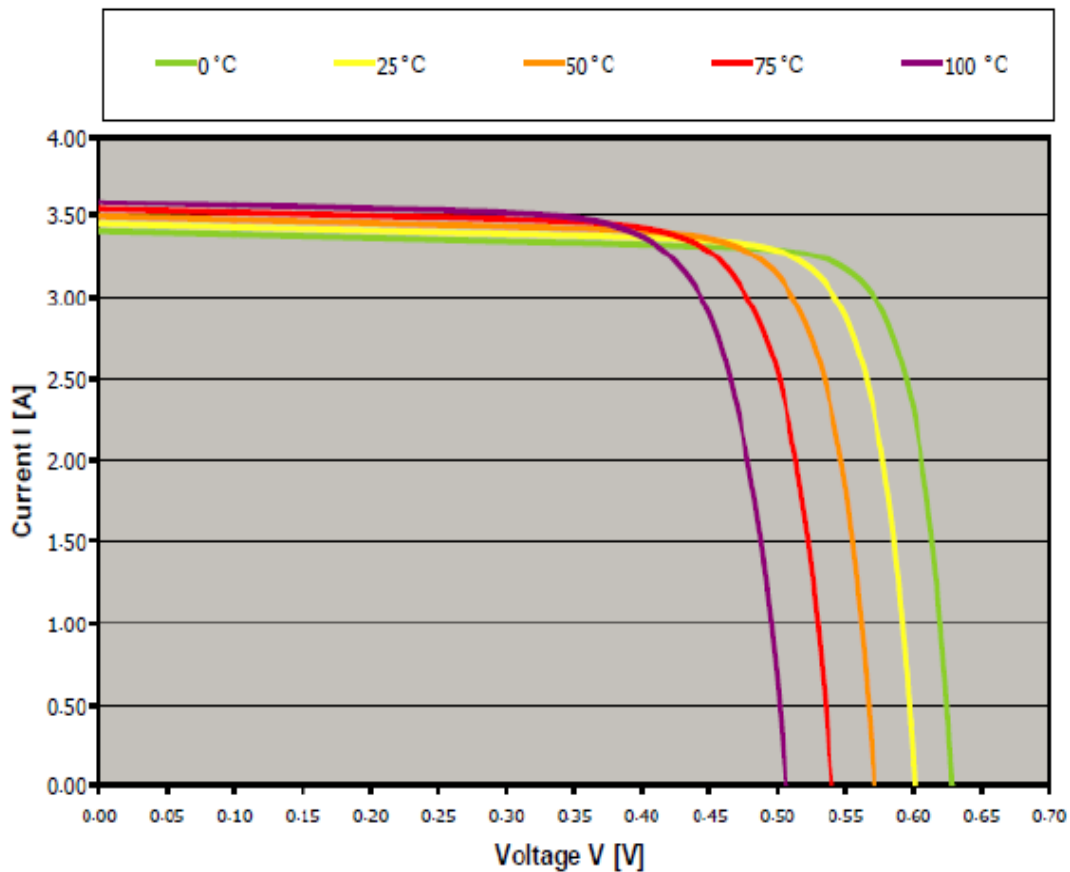
Υπάρχουν πολλοί παράγοντες οι οποίοι μπορούν να επηρεάσουν την απόδοση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος. Οι τρεις κυριότεροι από αυτούς είναι η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, η θερμοκρασία και η σκίαση (ή αλλιώς η επίδραση των νεφών).

Με την αύξηση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας παρατηρείται έντονη, σχεδόν γραμμική, αύξηση στο ρεύμα βραχυκύκλωσης του κελιού, ενώ η τάση ανοιχτού κυκλώματος αυξάνεται ελαφρά αλλά όχι γραμμικά. Αποτέλεσμα όλων αυτών είναι η σχεδόν αναλογική σχέση που υπάρχει ανάμεσα στην ισχύ του κελιού και την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, όταν βέβαια η θερμοκρασία του κελιού διατηρείται σταθερή όπως φαίνεται και στο σχήμα 11.



Σχήμα 11. Επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας στη χαρακτηριστική I – V ενός ηλιακού κελιού.

Η θερμοκρασία επηρεάζει κυρίως την τάση του ηλιακού κελιού. Πιο συγκεκριμένα, με πτώση της θερμοκρασίας παρατηρείται σημαντική αύξηση της τάσης ανοιχτού κυκλώματος, ενώ μειώνεται σε μικρό βαθμό το ρεύμα βραχυκύκλωσης. Συνολικά, η ισχύς του ηλιακού κελιού μειώνεται καθώς αυξάνει η θερμοκρασία, όπως φαίνεται και στο σχήμα 12, γεγονός που πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψη κατά το σχεδιασμό ενός συστήματος.

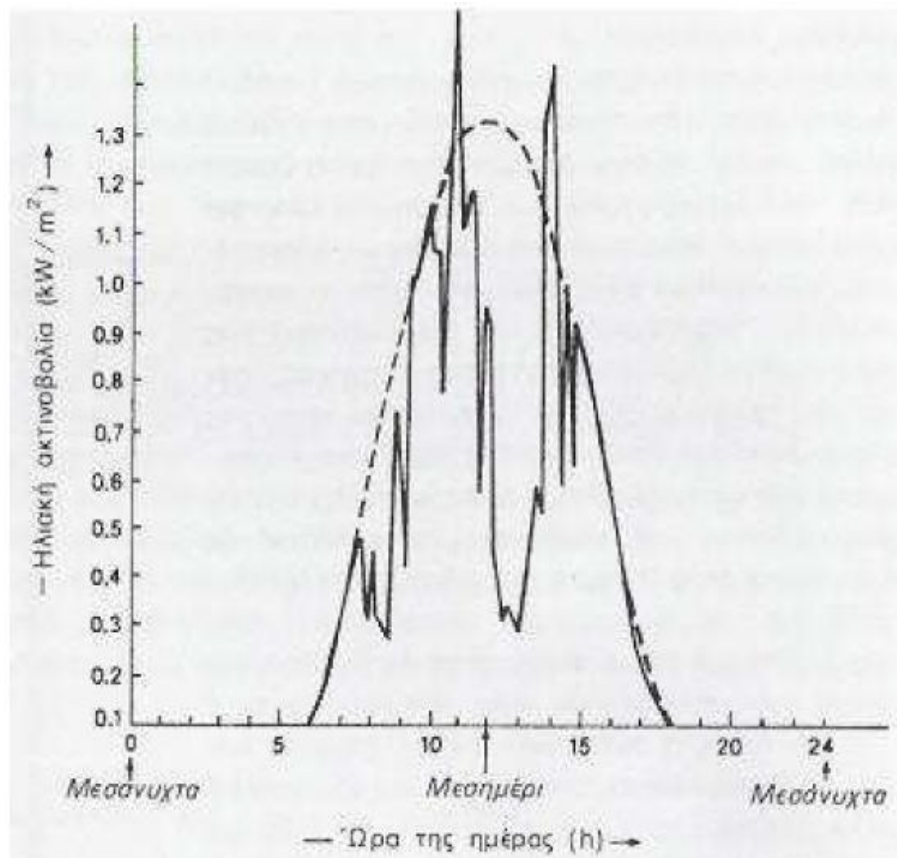


Σχήμα 12. Επίδραση της θερμοκρασίας στη χαρακτηριστική I – V ενός ηλιακού κελιού.

Η σκίαση δημιουργείται συνήθως είτε από την παρουσία φυσικών εμποδίων (π.χ. δένδρα, στύλοι, κ.λπ.), είτε από παροδικά φαινόμενα (π.χ. σύννεφα) είτε λόγω περιορισμένης έκτασης της εγκατάστασης. Οι συνέπειες της σκίασης μπορεί να είναι πολύ σημαντικές και για το λόγο αυτό χαρακτηρίζεται αναγκαίος ο λεπτομερής προσδιορισμός των απωλειών που μπορεί να προκαλέσουν. Η επιλογή της θέσης όπου θα εδράζεται η φωτοβολταϊκή συστοιχία θα πρέπει να γίνεται με τρόπο ο οποίος θα

εξασφαλίζει την κατά το δυνατόν απουσία σκιασμών σε όλη τη διάρκεια του έτους και ειδικά στις ώρες υψηλής ηλιακής ακτινοβολίας.

Η παρουσία νεφώσεων όπως είναι λογικό, έχει επιδρά καταλυτικά στην ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας η οποία εισέρχεται και προσπίπτει στην επιφάνεια της γης. Πιο συγκεκριμένα, η ύπαρξη σχετικά αραιών νεφών στην ατμόσφαιρα εξασθενεί την απευθείας ακτινοβολία οποία εισέρχεται στην ατμόσφαιρα αλλά αυξάνει μερικώς τη διάχυτη. Σε περιπτώσεις πυκνών νεφώσεων είναι πιθανή η αποκοπή του μεγαλύτερου μέρους της ακτινοβολίας. Στο σχήμα 13 παρουσιάζεται η επίπτωση των νεφών στην ένταση της ακτινοβολίας.



Σχήμα 13. Διακύμανση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας σε διάστημα μίας ημέρας με μερική νέφωση (συνεχής καμπύλη) – Διακύμανση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας σε διάστημα μίας ημέρας με καθαρό ουρανό (ασυνεχής καμπύλη).

Άλλοι παράγοντες η οποίοι μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά την απόδοση των φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι η ταχύτητα σε συνδυασμό με την κατεύθυνση του ανέμου, η ρύπανση της ατμόσφαιρας, η γήρανση και οι απώλειες του φωτοβολταϊκού συστήματος.

Η ταχύτητα και η κατεύθυνση του ανέμου σχετίζονται άμεσα με τη θερμοκρασία λειτουργίας των φωτοβολταϊκών. Μεγαλύτερες ταχύτητες συνεπάγονται, όπως είναι λογικό, χαμηλότερες θερμοκρασίες. Επίσης και οι βόρειοι άνεμοι συνεπάγονται χαμηλότερες θερμοκρασίες, ενώ το αντίθετο συμβαίνει με τους νότιους.

Η ρύπανση μειώνει την απόδοση των φωτοβολταϊκών εξαιτίας της επικάλυψης διαφόρων ρυπαντικών στοιχείων στις επιφάνειες των πάνελ. Για το λόγο αυτό είναι αναγκαίος οτακτικός καθαρισμός των φωτοβολταϊκών πλαισίων.

Αναμένεται ότι θα παρουσιάζεται φθορά των φωτοβολταϊκών στοιχείων ενός φωτοβολταϊκού συστήματος με την πάροδο του χρόνου λόγω της γήρανσης, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε πτώση της παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος μέχρι περίπου 1% ετησίως.

Όταν γίνεται λόγος για τις απώλειες του φωτοβολταϊκού συστήματος εννοούνται ουσιαστικά οι ηλεκτρικές απώλειες στους αγωγούς των διαφόρων συνδέσεων, αλλά και οι συνδέσεις με διάφορα άλλα μέρη του συστήματος. Οι απώλειες αυτές μπορεί να αποτελέσουν μέχρι και το 30% της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.

1.6 Μέρη φωτοβολταϊκού συστήματος

Ένα πλήρες φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται από μερικά υποσυστήματα τα οποία είναι τα εξής :

1. Η φωτοβολταϊκή γεννήτρια μαζί με τη μηχανική της στήριξη και σε πολλές περιπτώσεις ένα σύστημα παρακολούθησης της ηλιακής τροχιάς.
2. Το υποσύστημα αποθήκευσης της ενέργειας.
3. Ο εξοπλισμός ελέγχου και προσαρμογής ισχύος καθώς και συστήματα μετρήσεων και παρακολούθησης αν αυτά είναι αναγκαία.
4. Βοηθητικό σύστημα παροχής ισχύος (για παράδειγμα, γεννήτρια πετρελαίου) για περιπτώσεις ανάγκης.

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία λόγω της μικρής απόδοσης που έχουν, ενώνονται ώστε να δημιουργηθούν οι φωτοβολταϊκές μονάδες (PV modules), οι οποίες συνδεόμενες μεταξύ τους δημιουργούν τους συλλέκτες γνωστούς στην αγορά και ως πάνελ (PV panel). Σε μεγάλες εγκαταστάσεις παροχής ηλεκτρικού ρεύματος από φωτοβολταϊκή τεχνολογία υπάρχουν πάνελ συνδεδεμένα μεταξύ τους πάνω σε μεγάλες μεταλλικές κατασκευές που καλούνται φωτοβολταϊκές συστοιχίες (PV arrays). Ανάλογα με το μέγεθος της

κατασκευής, η φωτοβολταϊκή γεννήτρια του φωτοβολταϊκού συστήματος μπορεί να είναι μία φωτοβολταϊκή μονάδα, ένα φωτοβολταϊκό πάνελ ή μία φωτοβολταϊκή συστοιχία.

Η αποθήκευση της ενέργειας είναι τεράστιας σημασίας για τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Υπάρχουν πολλοί τρόποι αποθήκευσης της ενέργειας, μερικοί εκ των οποίων παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα :

Energy Stored	Technology	Remarks
	Pumped water	1. Common utility use as large-scale energy storage 2. PV pumping
Mechanical	Compressed air Flywheel	Demonstrated technology for large scale storage Under investigation for small systems
Electromagnetic	Electric current in superconducting ring	New development potential using 'high-temperature' super conducting materials
Chemical	Batteries Hydrogen Production	Mainly used for energy storage

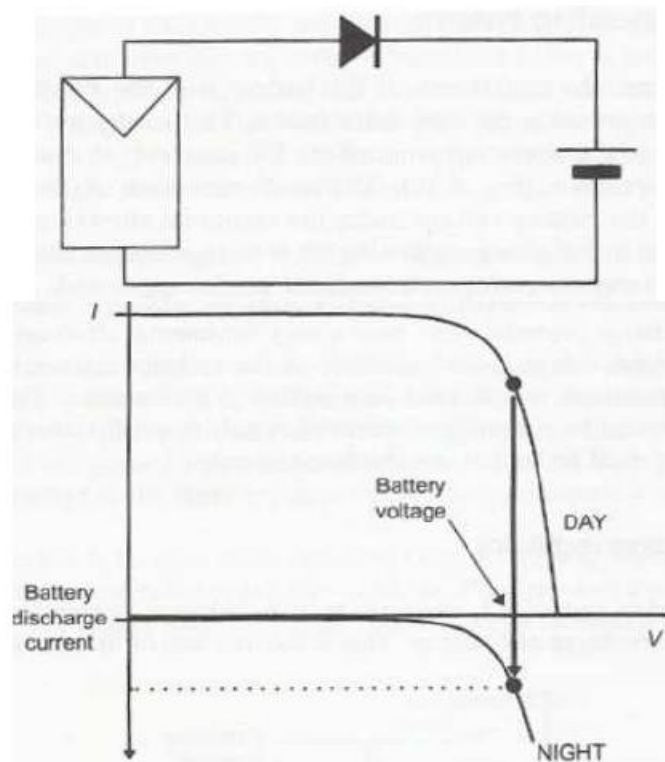
Πίνακας 1. Συστήματα αποθήκευσης της ενέργειας.

Τα περισσότερα συστήματα μέχρι σήμερα χρησιμοποιούν μπαταρίες (συσσωρευτές) και συγκεκριμένα, τύπου lead – acid. Η ισχύς που μπορεί να αποθηκευτεί σε μία μπαταρία (δηλαδή η χωρητικότητα) μετριέται σε αμπερώρια (Ah). Γνωρίζοντας την ονομαστική τάση της μπαταρίας είναι δυνατός ο υπολογισμός της μέγιστης δυνατής αποθήκευσης ενέργειας.

Οι φορτισμένες μπαταρίες (συσσωρευτές) αυτοεκφορτίζονται με ένα ρυθμό της τάξης του 2-5% το μήνα. Το πλέον σημαντικό εδώ είναι το βάθος εκφόρτισης της μπαταρίας από το οποίο εξαρτάται η διάρκεια της χρήσιμης ζωής της. Μία μπαταρία με βάθος εκφόρτισης 10% πρέπει να χρησιμοποιεί μόλις το 10% της ονομαστικής της χωρητικότητας ώστε να αποφευχθεί η πρόωρη καταστροφή της.

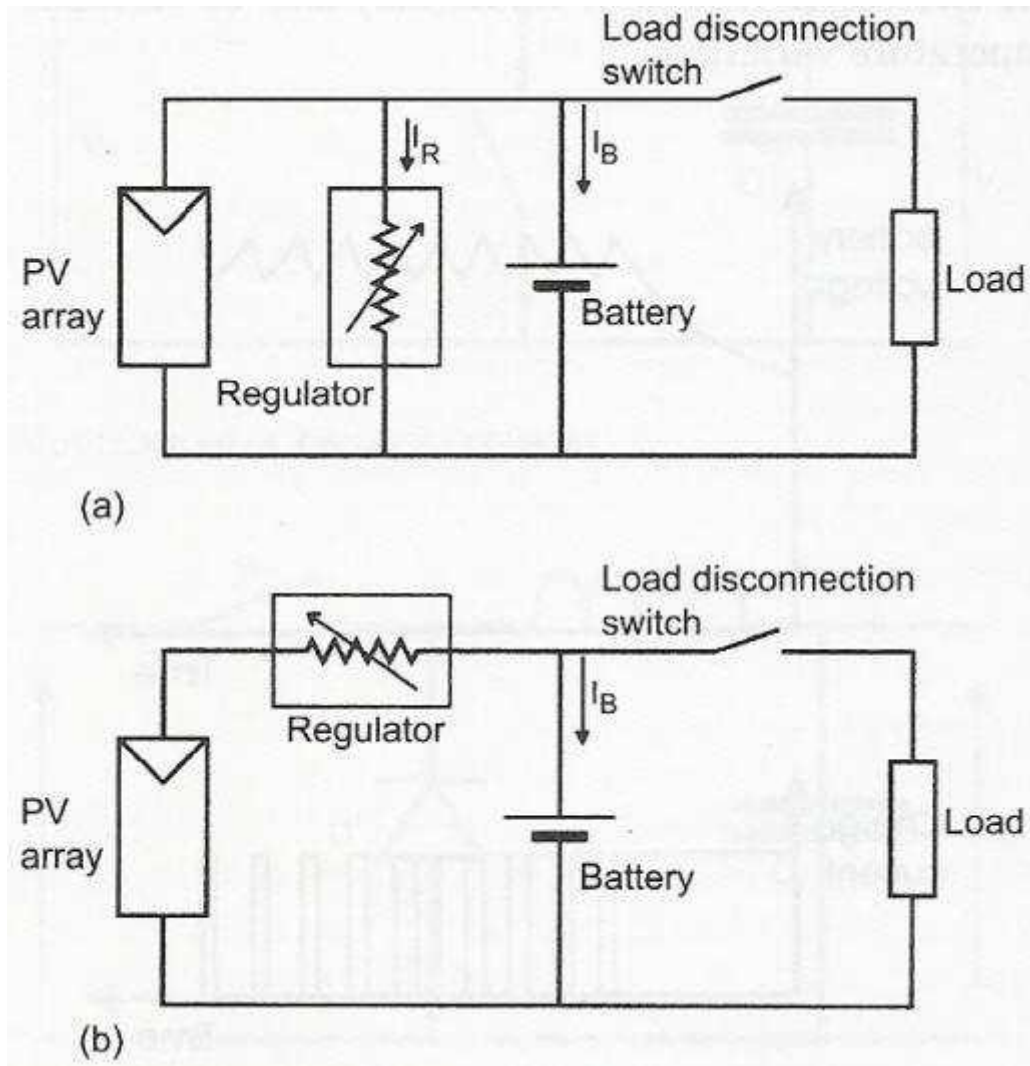
Ο εξοπλισμός ελέγχου αποτελείται από διάφορα υποσυστήματα τα οποία αναφέρονται εν συντομία παρακάτω :

A. Δίοδος φραγής (blocking diode) : Επειδή τα φωτοβολταϊκά στοιχεία συμπεριφέρονται ως δίοδοι στο σκοτάδι, γίνεται τοποθέτηση μίας διόδου φραγής ανάμεσα στο στοιχείο και τη μπαταρία ώστε να αποτρέπεται η αποφόρτισή της (σχήμα 14).



Σχήμα 14. Η λειτουργία της διόδου φραγής

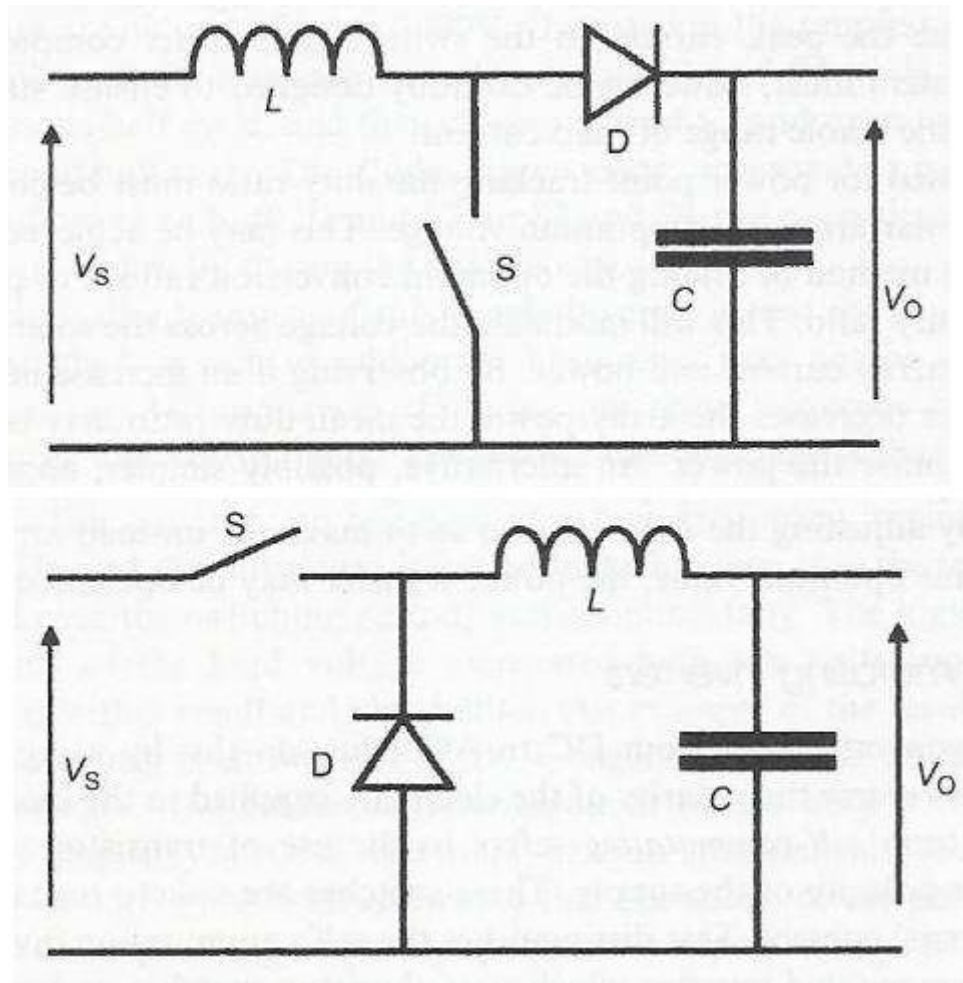
B. Ρυθμιστής φόρτισης (charge regulator) : Ο ρυθμιστής φόρτισης αποτρέπει την υπερφόρτωση της μπαταρίας περιορίζοντας τη μέγιστη τάση. Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι ρυθμιστών όπως φαίνεται και στο σχήμα 15. Ο ρυθμιστής εν σειρά και ο ρυθμιστής εν παραλλήλω.



Σχήμα 15. Ρυθμιστές φόρτισης εν παραλλήλω (a) και εν σειρά (b).

Γ. Διατάξεις MPPT (Maximum Power Point Trackers) : Υπάρχει ένα σημαντικό πρόβλημα στα φωτοβολταϊκά το οποίο έχει να κάνει με το ότι η μέγιστη ισχύς δεν μπορεί να επιτευχθεί από ένα δεδομένο φορτίο για κυμαινόμενη ακτινοβολία. Αυτό το πρόβλημα είναι δυνατό να αντιμετωπιστεί με τη χρήση ρυθμιστικών διατάξεων (Maximum Power Point Trackers) που φέρνουν συνεχώς την τάση και το ρεύμα σε ευνοϊκές τιμές για τις εκάστοτε συνθήκες.

Δ. Μετατροπείς συνεχούς / συνεχούς ρεύματος (DC/DC converters) : Η ισχύς του φωτοβολταϊκού πάνελ μετατρέπεται σε συνεχής άλλης στάθμης. Οι πιο βασικές τοπολογίες είναι οι buck και boost converters οι οποίες φαίνονται στο σχήμα 16.

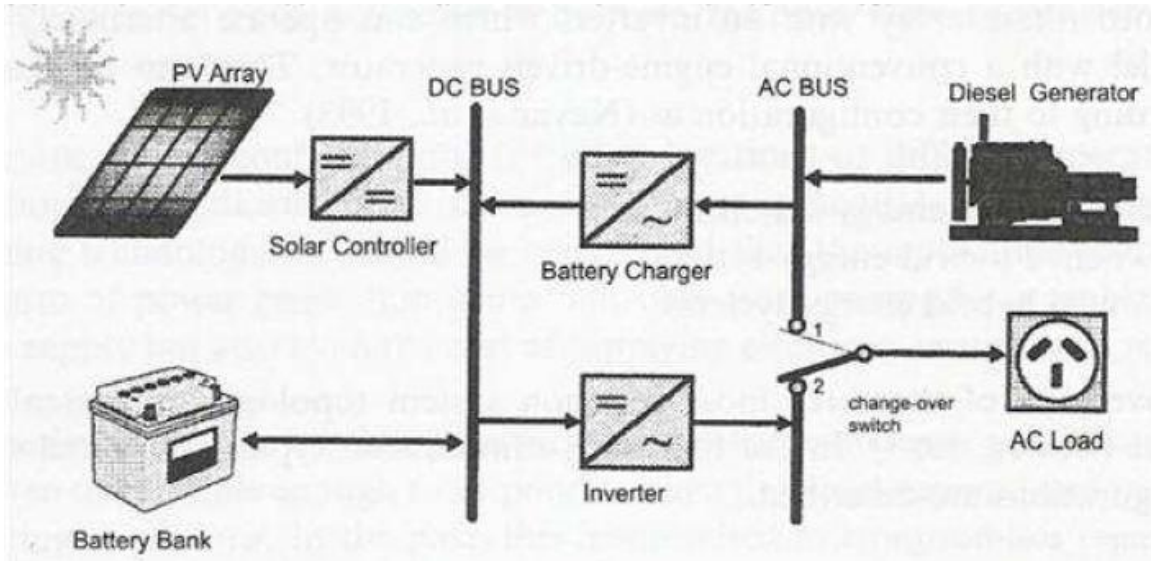


Σχήμα 16. Boost converter (πάνω) – Buck converter (κάτω)

Ε. Μετατροπείς συνεχούς / εναλλασσόμενου ρεύματος (DC/AC converters): Η χρήση τους είναι επιβεβλημένη όταν υπάρχει απαίτηση σύνδεσης εναλλασσόμενου φορτίου στο φωτοβολταϊκό σύστημα. Αν ο μετατροπέας λειτουργεί στην ονομαστική του ισχύ μπορεί να φτάσει σε απόδοση το 97%. Η απόδοσή του μπορεί να μειωθεί σημαντικά αν λειτουργεί υπό μερικό φορτίο.

Ολοκληρώνοντας την περιγραφή των μερών ενός φωτοβολταϊκού συστήματος, στο σχήμα 17 παρουσιάζεται μία πλήρως αυτόνομη και ολοκληρωμένη εγκατάσταση φωτοβολταϊκού συστήματος με γεννήτρια πετρελαίου και μπαταρίες.

Σχεδίαση και Κατασκευή Μικρού Φωτοβολταϊκού Ηλιοστάτη (Solar Tracker)



Σχήμα 17. Ολοκληρωμένη εφαρμογή αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος.

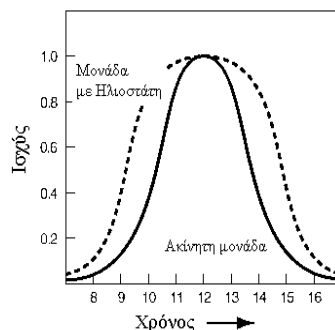
Κεφάλαιο 2-Φωτοβολταϊκού ηλιοστάτες

2.1 Θεωρία φωτοβολταϊκού ηλιοστάτη

Όπως είναι φανερό από το προηγούμενο κεφάλαιο τα συστήματα ηλιακής ενέργειας αποτελούν, τα τελευταία χρόνια τουλάχιστον, μια βιώσιμη πηγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Πλέον χρησιμοποιούνται ευρέως για διάφορες βιομηχανικές και οικιακές εφαρμογές. Τα συστήματα αυτά βασίζονται σε έναν ηλιακό συλλέκτη ο οποίος είναι σχεδιασμένος για να συλλέγει την ηλιακή ακτινοβολία και να την μετατρέπει σε ηλεκτρική ή θερμική.

Σε γενικές γραμμές, το ρεύμα ή η ισχύς που παράγεται σε τέτοιες εφαρμογές εξαρτάται σε τεράστιο βαθμό από την ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που λαμβάνεται από τον ηλιακό συλλέκτη. Ο στόχος των φωτοβολταϊκών ηλιοστατών (solar trackers) είναι να εντοπίζουν τη θέση του ήλιου πάνω στον ουρανό με σκοπό να μεγιστοποιούν την ποσότητα άρα και την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στην επιφάνεια του φωτοβολταϊκού πάνελ. Αυτός είναι και ο λόγος που η ανάπτυξη τέτοιων συστημάτων παρακολούθησης τα οποία είναι ικανά να ακολουθούν την τροχιά του ήλιου καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας έχει ερευνηθεί και συνεχίζει να ερευνάται σε μεγάλο βαθμό.

Έρευνες έχουν δείξει, ότι χρησιμοποιώντας μαθηματικά μοντέλα με σκοπό τη βελτιστοποίηση του προσανατολισμού του ηλιακού συλλέκτη και της γωνίας κλίσης, είναι δυνατό να επιτευχθεί μια ετήσια αύξηση στη λαμβανόμενη ακτινοβολία πάνω από 5% εν συγκρίσει με τα συστήματα όπου ο συλλέκτης είναι σταθερός, κάτι το οποίο απεικονίζεται σχηματικά στο σχήμα 18.



Σχήμα 18. Ισχύς μονάδας φωτοβολταϊκών κατά τη διάρκεια μίας ημέρας.

2.2 Είδη και χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκών ηλιοστατών

Με τη ραγδαία πρόοδο της τεχνολογίας στους υπολογιστές και στα συστήματα ελέγχου κατά τις τελευταίες δεκαετίες, πολλά εξελιγμένα συστήματα παρακολούθησης του ήλιου, τα οποία έχουν σχεδιαστεί για να μεγιστοποιούν την απόδοση των θερμικών και ηλιακών φωτοβολταϊκών συστημάτων, περιλαμβάνονται πλέον στη βιβλιογραφία. Τα συστήματα αυτά ταξινομούνται ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας τους σε συστήματα κλειστού και ανοιχτού βρόγχου.

Τα συστήματα κλειστού βρόγχου βασίζονται στην αρχή της επίβλεψης και της ανατροφοδότησης. Με λίγα λόγια, σε αυτά τα συστήματα υπάρχει ένα πλήθος από αισθητήρες οι οποίοι μετρούν διάφορες ποσότητες και στη συνέχεια μεταδίδουν τα δεδομένα αυτά σε έναν ελεγκτή, ο οποίος με τη σειρά του τα επεξεργάζεται και λαμβάνει απόφαση για το ποια θα είναι η επόμενη κίνηση που θα ακολουθήσουν οι συλλέκτες.

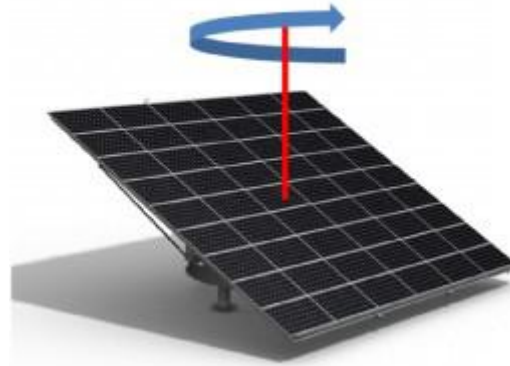
Τα συστήματα ανοιχτού βρόγχου υπολογίζουν την ενέργεια που θα κάνουν, μόνο με βάση την παρούσα κατάσταση και έναν αλγόριθμο. Σε αυτά τα συστήματα δε χρησιμοποιείται ανατροφοδότηση ώστε να έχουν τη δυνατότητα να διαπιστώσουν αν έχουν πετύχει την επιθυμητή ενέργεια. Είναι πιο απλά και φθηνά συστήματα σε σχέση με αυτά του κλειστού βρόγχου. Ουσιαστικά δεν έχουν τη δυνατότητα να παρατηρούν το αποτέλεσμα της ενέργειας τους και γι' αυτό το λόγο δεν είναι σε θέση να αντιληφθούν πιθανά λάθη που μπορεί συμβαίνουν κατά την λειτουργία τους. Τα συστήματα ανοιχτού βρόγχου χρησιμοποιούν ένα μοντέλο το οποίο μπορεί να υπολογίζει την κίνηση του ήλιου.

Ένας άλλος τρόπος ταξινόμησης των φωτοβολταϊκών ηλιοστατών είναι με βάση το είδος της κίνησης που εκτελούν. Χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες, στα συστήματα μονού άξονα και στα συστήματα διπλού άξονα.

Τα συστήματα μονού άξονα είναι συστήματα στα οποία η κίνηση των πάνελ γίνεται μόνο σε έναν άξονα, αυτόν της Ανατολής-Δύσης. Τα συστήματα αυτά διακρίνονται σε δύο υποκατηγορίες, το αζιμουθιακό ηλιοτρόπιο και το πολικό ηλιοτρόπιο.

Το σύστημα αζιμουθιακού ηλιοτροπίου περιστρέφεται ως προς κατακόρυφο άξονα, με σκοπό οι ακτίνες του ήλιου να προσπίπτουν κάθετα στο συλλέκτη. Παρακολουθεί με λίγα λόγια, την αζιμουθιακή κίνηση του ήλιου. Οι συλλέκτες τοποθετούνται με συγκεκριμένη

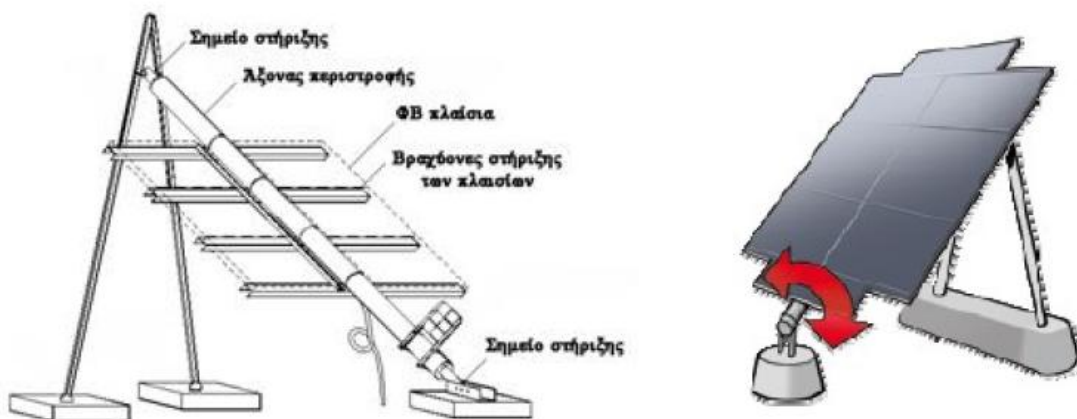
αλλά και σταθερή γωνία η οποία επιλέγεται βάση του γεωγραφικού πλάτους όπως φαίνεται και στο σχήμα 19.



Σχήμα 19. Αζιμουθιακό ηλιοτρόπιο.

Η χρήση τους είναι ευρεία σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας διότι αυξάνουν σημαντικά την παραγωγή ενέργειας. Η αύξηση ισχύος είναι σε γενικές γραμμές της τάξης του 20-30%. Εξαρτάται όμως σε μεγάλο βαθμό από την τοποθεσία, τον τρόπο ελέγχου της κίνησης αλλά και την ποιότητα του συστήματος.

Το σύστημα πολικού ηλιοτροπίου περιστρέφεται ως προς άξονα τοποθετημένο σε γωνία η οποία είναι ίση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου στον οποίο είναι εγκατεστημένο και παράλληλα με τον πολικό άξονα της γης όπως φαίνεται στο σχήμα 20. Έτσι, ο ήλιος βρίσκεται σε μόνιμη βάση στο επίπεδο που είναι κάθετο στο συλλέκτη.



Σχήμα 20. Πολικό ηλιοτρόπιο.

Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούνται κυρίως τόσο σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, όσο και σε θερμικούς σταθμούς. Η παραγόμενη ενέργεια αυξάνεται μέχρι και 35% ανάλογα με την εποχή του έτους. Η κατασκευή τους καθώς και ο έλεγχος που απαιτείται είναι αρκετά απλά. Βασικό τους μειονέκτημα αποτελεί η μειωμένη αντοχή τους σε ισχυρούς ανέμους. Για να προστατευθούν απαιτείται η κατασκευή ισχυρών συστημάτων πέδησης. Επίσης, τα πλαίσια τοποθετούνται σε τριγωνικό σχηματισμό έτσι ώστε να μην εφάπτονται με το έδαφος το πρωί και το απόγευμα. Σε περίπτωση που δεν εφαρμοστεί ο συγκεκριμένος τρόπος τοποθέτησης, αρκετός χώρος μένει ανεκμετάλλετος. Είναι πολλές οι περιπτώσεις στις οποίες γίνεται τοποθέτηση κατόπτρων ώστε να υπάρξει αύξηση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στους συλλέκτες.

Τα συστήματα διπλού άξονα είναι συστήματα στα οποία η ρύθμιση της κλίσης των πάνελ είναι δυνατό να ρυθμιστεί και ως προς τον οριζόντιο άξονα όπως φαίνεται και στο σχήμα 21. Η δυνατότητα αυτή αυξάνει θεαματικά την απόδοση του ηλιοστάτη μεταξύ 35%-45% σε σύγκριση με τα συστήματα σταθερών βάσεων.



Σχήμα 21. Σύστημα διπλού άξονα.

Η κίνηση των φωτοβολταϊκών ηλιοστατών γίνεται συνήθως με ηλεκτρο-μηχανικά ή ηλεκτρο-υδραυλικά μέσα. Αυτό έχει σα συνέπεια, όλα τα συστήματα αυτά να χαρακτηρίζονται από ιδιοκαταναλώσεις, οι οποίες είναι μικρές αφού η κίνηση είναι περιοδική (μία ανά δέκα λεπτά περίπου). Ωστόσο, καλό είναι η ενέργεια αυτή να προέρχεται από το δίκτυο της ΔΕΗ και όχι από τα φωτοβολταϊκά πάνελ λόγω της διαφοράς στην τιμή.

Λόγω της ύπαρξης της ανάγκης για κίνηση ενός σημαντικού αριθμού από πάνελ, οι φωτοβολταϊκοί ηλιοστάτες χαρακτηρίζονται από επίπεδες επιφάνειες οι οποίες είναι τοποθετημένες σε μία κάθετη ως προς το έδαφος βάση στήριξης (εκτός από τα πολικά ηλιοτρόπια). Αυτό οδηγεί σε κατασκευές μεγάλου ύψους το οποίο κυμαίνεται από 2,5 έως 12 μέτρα, ανάλογα με την κατασκευή. Όσο αυξάνει η επιφάνεια των φωτοβολταϊκών πάνελ τόσο αυξάνει και το ύψος της κατασκευής. Σήμερα τα συστήματα αυτά κατασκευάζονται με σκοπό να φέρουν ισχύ πάνελ μεταξύ 2 kWp και 33kWp το καθένα.

Το μεγάλο μέγεθος της κατασκευής κάνει αρκετά δυσκολότερη και την έδραση. Συνήθως χρησιμοποιείται οπλισμένο σκυρόδεμα μεγάλου σχετικά όγκου (από 2-3 έως και περίπου 20-30 m³) στο οποίο εδράζονται οι βάσεις στήριξης με σκοπό να επιτευχθεί η στατική επάρκεια. Είναι προφανές, ότι το κόστος εγκατάστασης αυξάνεται συγκριτικά με τα συστήματα σταθερών βάσεων. Το μεγάλο μέγεθος των συστημάτων αυτών και ειδικά το ύψος τους δημιουργεί μεγάλες απαιτήσεις σε χώρο σχετικά με ένα σύστημα σταθερών βάσεων εξαιτίας της μεγαλύτερης απόστασης που απαιτείται να υπάρχει μεταξύ τους για να αποφεύγονται οι σκιάσεις. Αυτό το αναγκαία μεγάλο μέγεθος των συστημάτων αυτών τα καθιστά περισσότερο ευάλωτα (σε σχέση με τα συστήματα σταθερών βάσεων) στους δυνατούς ανέμους. Η πιο διαδεδομένη τεχνική για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος είναι με τη χρήση ενός ανεμόμετρου. Όταν η ταχύτητα του ανέμου ξεπεράσει ένα όριο για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, το σύστημα που ελέγχει την κίνηση παίρνει εντολή να θέσει την επιφάνεια των πάνελ σχεδόν παράλληλα με το έδαφος με σκοπό να προστατεύσει τα φωτοβολταϊκά πάνελ.

2.3 Τεχνικές ανίχνευσης βέλτιστης απόδοσης

Όπως έχει αναφερθεί παραπάνω, στόχος των φωτοβολταϊκών ηλιοστατών είναι να βρίσκουν τη θέση του ήλιου στον ουρανό με σκοπό να μεγιστοποιούν την ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας η οποία προσπίπτει στην επιφάνεια του φωτοβολταϊκού πάνελ. Η ανίχνευση της εκάστοτε θέσης του ήλιου μπορεί να επιτευχθεί με δύο τρόπους. Ο

πρώτος τρόπος είναι με χρήση ηλιακών αισθητήρων, οι οποίοι είναι σε θέση να αντιλαμβάνονται τη θέση του ήλιου ανά πάσα στιγμή. Ο δεύτερος τρόπος χρησιμοποιεί ένα μοντέλο της κίνησης του ήλιου το οποίο εξαρτάται από τις γεωγραφικές συντεταγμένες της περιοχής και είναι αποθηκευμένο στη μνήμη ενός υπολογιστή. Είναι απαραίτητο επίσης ένα πρόγραμμα το οποίο είναι υπεύθυνο να εκτελεί έναν αλγόριθμο που προβλέπει τις διαδοχικές θέσεις του ήλιου με βάση τη μέγιστη ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, ενεργοποιώντας στη συνέχεια τα μοτέρ κίνησης.

Η λειτουργία του αλγορίθμου που βρίσκει το μέγιστο της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας χρησιμοποιεί τη λογική μίας τεχνικής η οποία σαρώνει τον ουρανό στους δύο άξονες κίνησης των μοτέρ του φωτοβολταϊκού ηλιοστάτη. Ουσιαστικά, πρόκειται για την οριζόντια αζιμουθιακή κίνηση (Δύση / Ανατολή) και την ζενιθιακή κίνηση (Βορράς / Νότος). Πρόκειται για ένα πρόβλημα εύρεσης του μέγιστου το οποίο είναι κυρτό πρόβλημα δύο μεταβλητών. Η κυρτότητα οφείλεται στη φύση του γεωμετρικού προβλήματος κάτι το οποίο σημαίνει ότι η εύρεση του μέγιστου σε αυτή την περίπτωση ταυτίζεται με το πρόβλημα εύρεσης τοπικού μέγιστου αφού όπως είναι γνωστό, στα κυρτά προβλήματα το τοπικό ακρότατο είναι και ολικό ακρότατο. Η αναζήτηση του μέγιστου μπορεί να αναλυθεί σε δύο βήματα :

1. Αναζήτηση και εύρεση του μέγιστου στον άξονα της αζιμουθιακής κίνησης (Δύση / Ανατολή) το οποίο ορίζεται ως max_{we} .
2. Αναζήτηση και εύρεση του μέγιστου του max_{we} στον άξονα της ζενιθιακής κίνησης (Βορράς / Νότος) το οποίο ορίζεται ως max_{ud} .

Η θεωρία των κυρτών προβλημάτων αναζήτησης ακρότατων αποδεικνύει ότι :

$$Max_{total} = max_{ud} = max(max_{we}) \quad (10)$$

Με λίγα λόγια αυτό που γίνεται αντιληπτό από τη σχέση (10) είναι ότι ο προσανατολισμός της μέγιστης έντασης της ακτινοβολίας μπορεί να εντοπιστεί με τον εξής απλό τρόπο. Αν αρχικά το σύστημα, κινούμενο αζιμουθιακά (δεξιά / αριστερά ή Ανατολή / Δύση) για κάποια σταθερή γωνία ανύψωσης εντοπίσει το αρχικό μέγιστο και στη συνέχεια σταματώντας σε αυτό το σημείο αρχίσει να κινείται ζενιθιακά (πάνω / κάτω ή Βορράς / Νότος) μέχρι να βρει το μέγιστο του μέγιστου.

Κεφάλαιο 3-Ελεγκτής συστήματος

3.1 Μικροελεγκτής Arduino

Οι πλατφόρμες Arduino κατασκευάζονται κατά κύριο λόγο από την εταιρία Smart Project. Ωστόσο, το Arduino έκανε την εμφάνισή του όταν ο καθηγητής Massimo Banzi το 2005 στο Ινστιτούτο Αλληλεπίδρασης Σχεδίασης στην πόλη Ivrea, της Ιταλίας θέλησε να κάνει ευκολότερη για τους μαθητές τη μάθηση των ηλεκτρονικών. Στόχος του ήταν να τους δώσει τη δυνατότητα να μπορούν να ανακαλύπτουν οι ίδιοι πράγματα αξιοποιώντας τις δυνατότητες και τις ευκαιρίες που είναι σε θέση να προσφέρει το ελεύθερο λογισμικό, αντί να τα ακούν θεωρητικά χωρίς ουσιαστικά να κάνουν κάτι.

Ο Arduino είναι ένα εργαλείο το οποίο βασίζεται στο σχετικά εύκολο στη χρήση του hardware και software το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί από όποιον διαθέτει λίγη προγραμματιστική εμπειρία και στοιχειώδεις γνώσεις ηλεκτρονικών. Ουσιαστικά είναι ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα το οποίο βασίζεται στον μικροελεγκτή ATmega της Atmel. Όλα τα σχέδια αλλά και το software το οποίο απαιτείται για τη λειτουργία του, διανέμονται ελεύθερα και δωρεάν στο διαδίκτυο. Αφού κατασκευαστεί έχει τη δυνατότητα να συμπεριφέρεται σαν ένας πολύ μικρός υπολογιστής, αφού ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να συνδέσει επάνω του πολλαπλές μονάδες εισόδου / εξόδου και να προγραμματίσει τον μικροελεγκτή έτσι ώστε να δέχεται δεδομένα από τις μονάδες εισόδου και αφού τα επεξεργάζεται να στέλνει κατάλληλες εντολές στις μονάδες εξόδου. Στο σχήμα 22 παρουσιάζονται η μπροστά και η πίσω όψη μίας πλακέτας Arduino.



Σχήμα 22. Μπροστά (αριστερά) και πίσω (δεξιά) όψη πλακέτας Arduino.

3.2 Πλεονεκτήματα – Δυνατότητες – Εφαρμογές

Το μεγάλο πλεονέκτημα του Arduino είναι η πολύ μεγάλη κοινότητα η οποία το υποστηρίζει και έχει δημιουργήσει καθώς και επεκτείνει μία πολύ μεγάλη μεγέθους online γνωστική βάση. Αυτό βέβαια έχει γίνει γιατί ο Arduino παρουσιάζει τα εξής πλεονεκτήματα σε σχέση με άλλους μικροελεγκτές :

- Οι πλακέτες του Arduino είναι οι φθηνότερες σε σύγκριση με τις άλλες πλατφόρμες μικροελεγκτών που κυκλοφορούν. Πιο συγκεκριμένα, με τα σχηματικά τα οποία κυκλοφορούν στο Internet κάποιος μπορεί αν θέλει να κατασκευάσει εύκολα και γρήγορα τη φθηνότερη εκδοχή ενός Arduino. Ακόμα όμως και αν προμηθευτεί την έτοιμη (μονταρισμένη πλακέτα) το κόστος της θα είναι πολύ χαμηλό και άρα προσιτό.
- Τρέχει σε διάφορα Λειτουργικά Συστήματα. Το περιβάλλον προγραμματισμού του Arduino κάνει για Windows, Machinstoh OSX και Linux την ίδια ώρα που τα περισσότερα συστήματα ανάπτυξης μικροελεγκτών περιορίζονται μόνο στα Windows.
- Διαθέτει ένα πολύ απλό και ξεκάθαρο προγραμματιστικό περιβάλλον το οποίο ενδείκνυται για αρχάριους, αλλά ταυτόχρονα είναι και ευέλικτο για πιο προχωρημένους χρήστες.
- Το software του Arduino διανέμεται στο διαδίκτυο έχοντας τη μορφή εργαλείων ανοιχτού λογισμικού και είναι διαθέσιμο προς επέκταση για έμπειρους προγραμματιστές. Η γλώσσα προγραμματισμού του έχει τη δυνατότητα να επεκταθεί με τη χρήση των βιβλιοθηκών της C++ ενώ εκείνοι που θέλουν να ασχοληθούν περισσότερο με τους μικροελεγκτές έχουν τη δυνατότητα να περάσουν από τον Arduino στην AVR-C. Η AVR-C είναι η γλώσσα στην οποία βασίστηκε το λογισμικό του Arduino και χρησιμοποιείται για προγραμματισμό των μικροελεγκτών Atmel. Κατά τον ίδιο τρόπο μπορεί κάποιος αν θέλει να προσθέσει κώδικα της AVR-C στο πρόγραμμα που έχει γράψει για τον Arduino.
- Ο Arduino βασίζεται κυρίως στους δύο μικροελεγκτές της Atmel ATMEGA368 και ATMEGA168. Οι έμπειροι χρήστες είναι σε θέση να κατασκευάσουν το δικό τους αναπτυξιακό, εξελίσσοντας αυτό που ήδη υπάρχει χωρίς να έχουν νομικά προβλήματα αφού τα σχηματικά για τα αναπτυξιακά είναι υπό την άδεια της Creative Commons. Ταυτόχρονα, στους πιο άπειρους χρήστες παρέχεται η

δυνατότητα να επιδιώξουν να αντιγράψουν και να κατασκευάσουν την πλακέτα σε ράστερ με σκοπό να κατανοήσουν τη λειτουργία ενός Arduino.

- Προσφέρει τη δυνατότητα τροφοδοσίας από εξωτερικό τροφοδοτικό, από θύρα usb του υπολογιστή αλλά και από μπαταρία των 9V.

Αν και πολύ μικρός (διαστάσεις 7x5 cm²) προσφέρει πάρα πολλές δυνατότητες. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε αυτοματισμούς και ειδικότερα σε εφαρμογές ρομποτικής καταφέροντας με αυτό τον τρόπο πολλά ενδιαφέροντα πράγματα, όπως την κίνηση servo, stepper και DC κινητήρων, την αμφίδρομη σειριακή επικοινωνία μεταξύ Arduino και ηλεκτρονικού υπολογιστή χρησιμοποιώντας γλώσσες προγραμματισμού (όπως Java και python), τη λήψη πληροφοριών από διάφορους αισθητήρες (θερμοκρασίας, υπερύθρων, υγρασίας, κ.α), καθώς και την αναπαραγωγή / αντίληψη ήχων. Η πλακέτα Arduino, μέχρι σήμερα, είναι διαθέσιμη σε 12 βασικές παραλλαγές οι οποίες απευθύνονται σε διαφορετικές χρήσεις η κάθε μια, ανάλογα με τις ανάγκες της εκάστοτε εφαρμογής.

Έχουν αναπτυχθεί διάφορες εφαρμογές με τον μικροελεγκτή Arduino σε διάφορους τομείς όπως η μουσική, ο μοντελισμός, το σπίτι, και η ρομποτική.

Στον τομέα τις μουσικής η πιο γνωστή εφαρμογή του Arduino είναι το laser harp το οποίο είναι ουσιαστικά ένα μουσικό όργανο που παράγει μουσική μέσω της αλληλεπίδρασης του φωτός. Στον τομέα του μοντελισμού χρησιμοποιείται ευρέως για την κατασκευή τηλεκατευθυνόμενων οχημάτων. Ο Arduino μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για τη διευκόλυνση του τρόπου ζωής των ανθρώπων μέσα στο σπίτι. Έχει τη δυνατότητα να συνδυαστεί με ένα πλήθος αισθητήρων με σκοπό να λειτουργεί ως ένας συναγερμός σπιτιού ανιχνεύοντας την κίνηση σε συγκεκριμένες πόρτες ή παράθυρα ή ακόμα και τη θερμοκρασία σε περίπτωση πυρκαγιάς. Στον τομέα της ρομποτικής μία ομολογουμένως εντυπωσιακή ρομποτική κατασκευή που χρησιμοποιεί έναν Arduino έχει να κάνει με την κατασκευή ενός ρομπότ το οποίο θα ανταποκρίνεται σύμφωνα με την επιθυμία του ανθρώπου χωρίς αυτός να χρειάζεται να πατήσει κάποιο κουμπί. Τέλος αξίζει να αναφερθεί πως υπάρχουν πλήθος άλλων εφαρμογών του Arduino και σε άλλους τομείς όπως η ζωγραφική, η διακόσμηση και τα παιχνίδια.

3.3 Hardware

Μία πλακέτα Arduino αποτελείται από ένα μικροελεγκτή Atmel AVR 8-bit, με συμπληρωματικά στοιχεία ώστε να διευκολύνει το χρήστη στον προγραμματισμό και την ενσωμάτωση σε άλλα κυκλώματα. Τα βασικά χαρακτηριστικά ενός Arduino είναι τα εξής:

- Ακροδέκτες του μικροελεγκτή Arduino. Ο Arduino έχει 14 ψηφιακούς ακροδέκτες Εισόδου/Εξόδου. Αυτοί γίνονται να τεθούν ως είσοδοι ή ως έξοδοι με τις συναρτήσεις-εντολές `pinMode()`, `digitalWrite()`, και `digitalRead()`. Λειτουργούν στα 5 Volts και έχουν την δυνατότητα να παρέχουν ή να καταβυθίζουν ένταση της τάξεως των 40mA. Σε κάθε pin υπάρχει εσωτερικά ένας Pull-up αντιστάτης στα 20-50KΩ. Επιπλέον, έχει 6 αναλογικούς ακροδέκτες Εισόδου. Αυτοί έχουν τη δυνατότητα να διαβάσουν αναλογικές τιμές όπως για παράδειγμα την τάση μιας μπαταρίας, και να τις μετατρέψουν σε έναν αριθμό ο οποίος παίρνει τιμές από 0-1023. Έξι από τους δεκατέσσερις ψηφιακούς ακροδέκτες οι P3, P5, P6, P9, P10 και P11 μπορούν να προγραμματιστούν με σκοπό να λειτουργούν ως αναλογικές Έξοδοι. Μερικοί από αυτούς τους 14 ψηφιακούς ακροδέκτες έχουν και δεύτερη λειτουργία. Πιο συγκεκριμένα :
 - Σειριακή Λειτουργία: 0 (RX) και 1 (TX). Χρησιμοποιούνται για λήψη (RX) και εκπομπή (TX) TTL σειριακών δεδομένων.
 - Εξωτερικές Διακοπές: 2 και 3. Αυτοί οι ακροδέκτες μπορούν να ενεργοποιούν διακοπές σε περίπτωση που ανιχνευθεί παλμός χαμηλής τάσης. Με τη χρήση της συνάρτησης `attachInterrupt()` ο σκανδαλισμός των διακοπών μπορεί να γίνεται στο λογικό 0,1.
 - PWM: 3, 5, 6, 9, 10, και 11 pins. Παρέχουν Έξοδο 8-bit PWM με την συνάρτηση `analogWrite()`.
 - SPI: 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK). Επιτρέπουν την επικοινωνία SPI, η οποία αν και είναι διαθέσιμη από το hardware δεν παρέχεται ακόμα στη γλώσσα προγραμματισμού του Arduino.
 - LED: 13. Στον ακροδέκτη 13 υπάρχει ενσωματωμένο ένα LED. Όταν ο ακροδέκτης λαμβάνει τιμή HIGH, το LED ανάβει ενώ όταν το pin είναι λαμβάνει τιμή LOW δεν ανάβει.
- Σειριακή θύρα. Χρησιμοποιείται για την επίτευξη της επικοινωνίας μεταξύ της πλατφόρμας Arduino και ενός υπολογιστή ή ακόμα και με άλλες συσκευές. Αυτό σημαίνει ότι όλες οι πλακέτες έχουν τουλάχιστον μια σειριακή θύρα. Επικοινωνεί

με τις ψηφιακές ακίδες 0 (RX) και 1 (TX), ενώ με τον υπολογιστή επικοινωνεί μέσω USB. Σε περίπτωση που χρησιμοποιείται αυτή η λειτουργία (USB), δεν μπορούν ταυτόχρονα να χρησιμοποιηθούν οι ακίδες 0 και 1 για ψηφιακή είσοδο ή έξοδο. Επίσης πρέπει να αναφερθεί σε αυτό το σημείο η ύπαρξη της ενσωματωμένης σειριακής οθόνης στο περιβάλλον του Arduino η οποία χρησιμοποιείται για επικοινωνία με την πλακέτα Arduino.

- Βασικές μνήμες. Η κάθε πλατφόρμα Arduino διαθέτει τις εξής τρεις βασικές μνήμες:
 - Flash memory (32 Kbytes). Εδώ κάθε φορά τοποθετείται το πρόγραμμα που είναι προς εκτέλεση καθώς και ο φορτωτής εκκίνησης που κάνει ευκολότερη την διαδικασία του προγραμματισμού της πλατφόρμας.
 - SRAM memory (στατική μνήμη τυχαίας προσπέλασης των 2 Kbytes). Αυτού του είδους η μνήμη χρησιμοποιείται για να αποθηκεύει προσωρινά τα στατικά και τα μεταβλητά δεδομένα του προγράμματος το οποίο εκτελείται.
 - EEPROM memory (1 Kbytes). Σε αυτό το είδος μνήμης αποθηκεύονται οι τιμές που παίρνουν οι μεταβλητές όταν η πλατφόρμα απενεργοποιηθεί (OFF). Χρησιμοποιείται για την αποθήκευση ρυθμίσεων και άλλων παραμέτρων ανάμεσα στα Reset του Arduino.

Η μνήμη Flash και η μνήμη EEPROM είναι σταθερές το οποίο σημαίνει ότι οι πληροφορίες παραμένουν μετά την απενεργοποίηση του ρεύματος κάτι το οποίο δε συμβαίνει και με τη μνήμη SRAM η οποία είναι ασταθής και οι πληροφορίες χάνονται όταν εναλλάσσεται το ρεύμα.

- Τροφοδοσία. Ο Arduino τροφοδοτείται είτε από κάποια εξωτερική τροφοδοσία η οποία παρέχεται, είτε απευθείας από την θύρα USB του υπολογιστή. Η επιλογή της πηγής γίνεται αυτόματα από το αναπτυσσόμενο. Η εξωτερική τροφοδοσία είναι ουσιαστικά μια μπαταρία ή ένας μετασχηματιστής. Η μπαταρία έχει τη δυνατότητα να συνδεθεί στις υποδοχές Vin και GND του Arduino όπου τοποθετούνται ο θετικός και ο αρνητικός πόλος αντίστοιχα. Από την άλλη σε περίπτωση που η τροφοδοσία γίνεται με μετασχηματιστή πρέπει απλώς το βύσμα να τοποθετηθεί στην υποδοχή η οποία υπάρχει με τον θετικό πόλο στο κέντρο. Η πλακέτα έχει τη δυνατότητα να λειτουργήσει με εξωτερική πηγή από 6 έως 20 Volts. Σε περίπτωση όμως που τροφοδοτηθεί με λιγότερα από 7 Volts τα

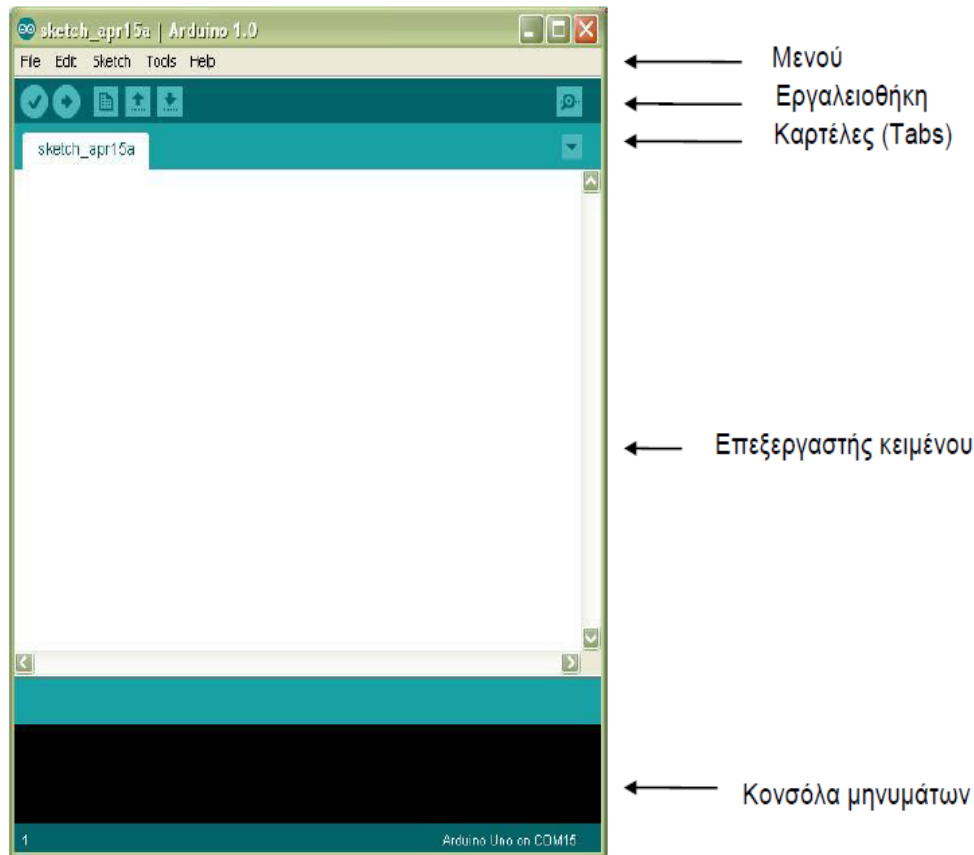
pin εξόδου 5 Volts δε θα είναι σε θέση να εξάγουν τάση 5 Volts. Αντίθετα, σε περίπτωση που δοθούν πάνω από 12 Volts ο σταθεροποιητής τάσης στην πλακέτα θα υπερθερμανθεί και πιθανότατα θα καταστραφεί. Άρα, μια ιδανική τάση θα μπορούσαν να είναι τα 9 Volts. Οι ακροδέκτες τροφοδοσίας είναι οι εξής:

- **VIN**. Ακροδέκτης για μη σταθεροποιημένη τάση. Συνήθως σε αυτόν συνδέεται μια εξωτερική πηγή τροφοδοσίας.
- **5V**. Ακροδέκτης σταθεροποιημένης τάσης 5 Volts. Πρόκειται για τη ρυθμιζόμενη παροχή ηλεκτρικού ρεύματος η οποία χρησιμοποιείται για την τροφοδοσία του μικροελεγκτή ή διαφόρων άλλων ηλεκτρονικών στοιχείων της πλακέτας
- **3V3**. Μέγιστη κατανάλωση ρεύματος είναι 50mA.
- **GND**. Γειωμένες ακίδες.

3.4 Software








Το ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης (IDE) του Arduino πρόκειται για μία εφαρμογή η οποία είναι γραμμένη σε Java και λειτουργεί σε πολλές πλατφόρμες. Προέρχεται από το περιβάλλον ανάπτυξης της γλώσσας προγραμματισμού processing και το σχέδιο Wiring. Περιλαμβάνει ένα πρόγραμμα που επεξεργάζεται τον κώδικα και διαθέτει χαρακτηριστικά όπως είναι ο συνδυασμός αγκύλων, η επισήμανση σύνταξης, και η αυτόματη εσοχή. Τα προγράμματα Arduino είναι γραμμένα στις γλώσσες προγραμματισμού C ή C++. Το Arduino IDE έρχεται με μία βιβλιοθήκη λογισμικού που ονομάζεται «Wiring» από το αρχικό σχέδιο Wiring, κάτι το οποίο καθιστά πολλές κοινές λειτουργίες εισόδου / εξόδου πολύ πιο εύκολες.

Το περιβάλλον ανάπτυξης Arduino περιέχει μια περιοχή στην οποία είναι δυνατή η επεξεργασία του κειμένου για τη συγγραφή κώδικα, μια περιοχή γραφής μηνυμάτων, μια γραμμή εργαλείων με κουμπιά που απευθύνονται σε κοινές λειτουργίες καθώς και ένα κλασσικό μενού όπως φαίνεται στο σχήμα 23.



Σχήμα 23. Ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης (IDE) του Arduino.

Όταν ένα πρόγραμμα ολοκληρωθεί συνήθως ονομάζεται sketch. Αυτό το sketch έχει γραφτεί με το πρόγραμμα επεξεργασίας κειμένου και παρέχει δυνατότητες που αφορούν την αντιγραφή/επικόλληση και την αναζήτηση/αντικατάσταση κειμένου. Η κονσόλα απεικονίζει την έξοδο του κειμένου από το περιβάλλον Arduino συμπεριλαμβάνοντας πλήρη μηνύματα σε περιπτώσεις λάθους αλλά και διάφορες άλλες πληροφορίες. Τα κουμπιά που βρίσκονται στη γραμμή εργαλείων παρέχουν τη δυνατότητα ελέγχου και ανεβάσματος των προγραμμάτων, τη δημιουργία ενός νέου sketch, το άνοιγμα και την αποθήκευση αυτών των sketch καθώς και άνοιγμα της σειριακής οθόνης που αναφέρθηκε παραπάνω. Οι βασικές λειτουργίες του IDE φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

	Έλεγχος του κώδικα για λάθη.
	Τερματισμός της σειριακής κονσόλας.
	Δημιουργία νέου έργου (sketch).
	Παρουσίαση μενού με όλα τα αποθηκευμένα έργα. Πατώντας σε ένα από αυτά ανοίγει για επεξεργασία.
	Αποθήκευση του έργου.
	Μεταγλώττιση του κώδικα και ανέβασμα του στο Arduino.
	Εμφάνιση της σειριακής κονσόλας. Αποστολή και λήψη δεδομένων που στάλθηκαν μέσω της σειριακής θύρας,

Πίνακας 2. Βασικές λειτουργίες του IDE.

Ένα τυπικό πρόγραμμα του Arduino έχει την εξής δομή:

```
// δηλώσεις μεταβλητών
```

```
void setup() {
```

```
    // αρχικοποιήσεις
```

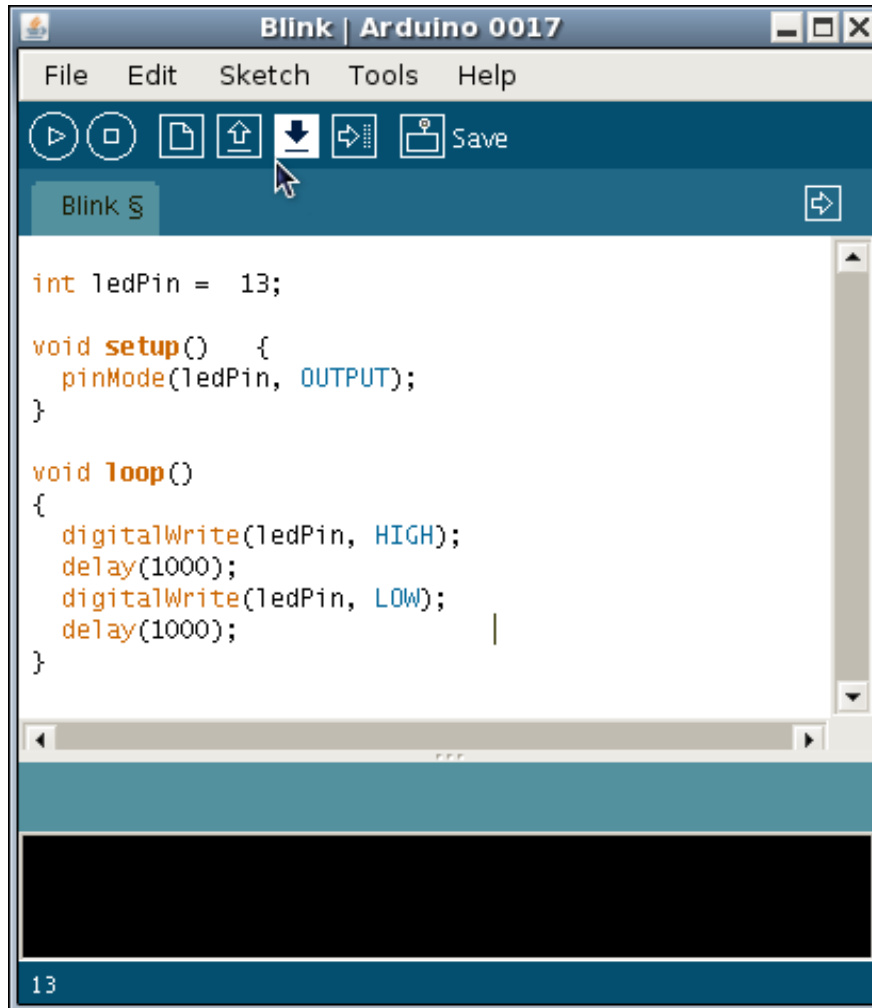
```
}
```

```
void loop() {
```

```
    // ...
```

```
}
```

Ένα παράδειγμα τα τέτοιου προγράμματος παρουσιάζεται στο σχήμα 24.



Σχήμα 24. Τυπικό πρόγραμμα του Arduino.

Όπως φαίνεται υπάρχουν δυο βασικές συναρτήσεις σε ένα τυπικό πρόγραμμα. Η συνάρτηση `setup()` εκτελείται μόνο μία φορά στην αρχή του προγράμματος όταν αυτό ξεκινά. Χρησιμοποιείται για να κάνει τις αρχικοποιήσεις των μεταβλητών, τις δηλώσεις των pins (αν θα είναι είσοδος ή έξοδος) αλλά και τις αρχικοποιήσεις των βιβλιοθηκών. Η συνάρτηση `loop()` καλείται διαδοχικά επιτρέποντας έτσι στο πρόγραμμα να ανταποκριθεί. Πιο απλά, ο κώδικας που γράφεται μέσα στη συνάρτηση αυτή επαναλαμβάνεται ξανά και ξανά δίνοντας με αυτό τον τρόπο την δυνατότητα στο πρόγραμμα να αλλάζει τιμές και το Arduino να ανταποκρίνεται ανάλογα. Είναι απολύτως απαραίτητο να περιλαμβάνονται και οι δυο συναρτήσεις στο sketch, ακόμα και σε περίπτωση που δεν περιέχουν κάτι και να είναι κενές.

Για τη συγγραφή ενός προγράμματος Arduino όπως και σε όλες τις περιπτώσεις προγραμματισμού χρησιμοποιούνται μεταβλητές, πίνακες, σταθερές, αριθμητικοί τελεστές(+,-,/,*), τελεστές σύγκρισης και λογικοί τελεστές (λογικό «όχι», λογικό «και», λογικό «ή»). Στον πίνακα 3 παρουσιάζονται οι τελεστές σύγκρισης στον Arduino.

$x == y$	το x είναι ίσο με το y
$x != y$	το x είναι άνισο του y
$x < y$	το x είναι μικρότερο με το y
$x > y$	το x είναι μεγαλύτερο με το y
$x <= y$	το x είναι μικρότερο ή ίσο με το y
$x >= y$	το x είναι μεγαλύτερο ή ίσο με το y

Πίνακας 3. Τελεστές σύγκρισης του Arduino.

Κεφάλαιο 4-Κατασκευή solar tracker

Τα κύρια μέρη του ολοκληρωμένου συστήματος solar tracker διακρίνονται στο σχήμα 25 και είναι το φωτοβολταϊκό πάνελ, η πλακέτα των αισθητηρίων φωτεινότητας, το κιβώτιο αυτοματισμών-συνδέσεων και οι κινητήρες αξιμούθιου και κλίσης. Οι άξονες κίνησης είναι από υλικό σιδήρου, όπως και η κωνική βάση της η οποία στηρίζεται σε βίδες με μεταβλητό ύψος ώστε να στήνεται και να προσαρμόζεται σε εδάφη με κλίση. Η κατασκευή που πραγματοποιήθηκε έχει δύο άξονες κίνησης, έναν για το αξιμούθιο και έναν για την κλίση του πάνελ. Τα όρια της αξιμουθιακής κίνησης είναι μεταξύ 0° ~ 360° ενώ για την κλίση του πάνελ από 0° (οριζοντίωση) ~ 80° .

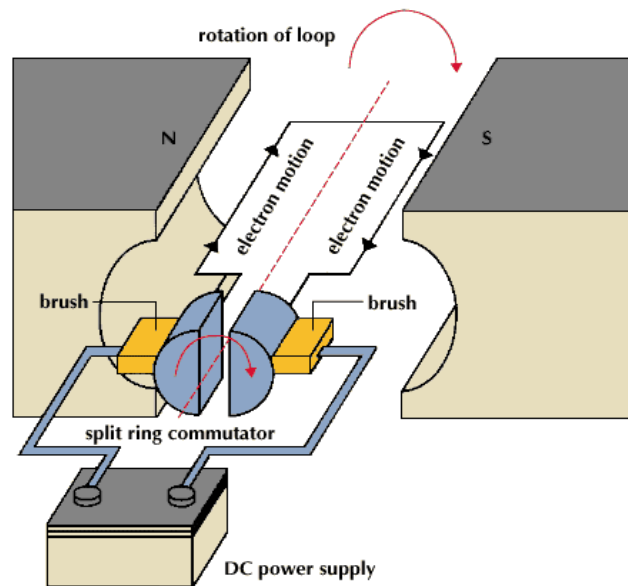


Σχήμα 25. Το ολοκληρωμένο sun-tracking σύστημα.

4.1 Κινητήρες συνεχούς ρεύματος

Ένας ηλεκτρικός κινητήρας χρησιμοποιεί την ηλεκτρική ενέργεια με σκοπό να παράγει μηχανική ενέργεια. Όταν ηλεκτρικό ρεύμα διαρρέει έναν αγωγό ο οποίος βρίσκεται μέσα σε μαγνητικό πεδίο, τότε αυτό ασκεί μία δύναμη στον αγωγό η οποία τείνει να τον κινήσει. Αυτή η δύναμη είναι ανάλογη της έντασης του μαγνητικού πεδίου, της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος αλλά και του μήκους του αγωγού. Η φορά της δύναμης η οποία ασκείται στον αγωγό είναι δυνατό να αντιστραφεί είτε αλλάζοντας τη φορά του ηλεκτρικού ρεύματος είτε αντιστρέφοντας την πόλωση του μαγνητικού πεδίου.

Ένας κινητήρας συνεχούς ρεύματος κατά τη λειτουργία του παρέχει ηλεκτρική ενέργεια στο τύλιγμα του τυμπάνου το οποίο αποτελεί το βασικό τύλιγμα της μηχανής. Με αυτό τον τρόπο προσφέρεται μηχανική ενέργεια εξόδου σε μία άτρακτο η οποία περιστρέφεται (σχήμα 26). Ένα ρεύμα έντασης I οδηγείται από μία εξωτερικά επιβαλλόμενη διαφορά δυναμικού τάσης V στο τύλιγμα του τυμπάνου και κινείται αντίθετα ως προς μία αντιηλεκτρεγερτική δύναμη έντασης E η οποία επάγεται εσωτερικά. Με αυτό τον τρόπο, το τύλιγμα του τυμπάνου μπορεί να απορροφά ηλεκτρική ενέργεια με ένα συγκεκριμένο ρυθμό ο οποίος είναι ανάλογος του E και του I .



Σχήμα 26. Αρχή λειτουργίας ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος.

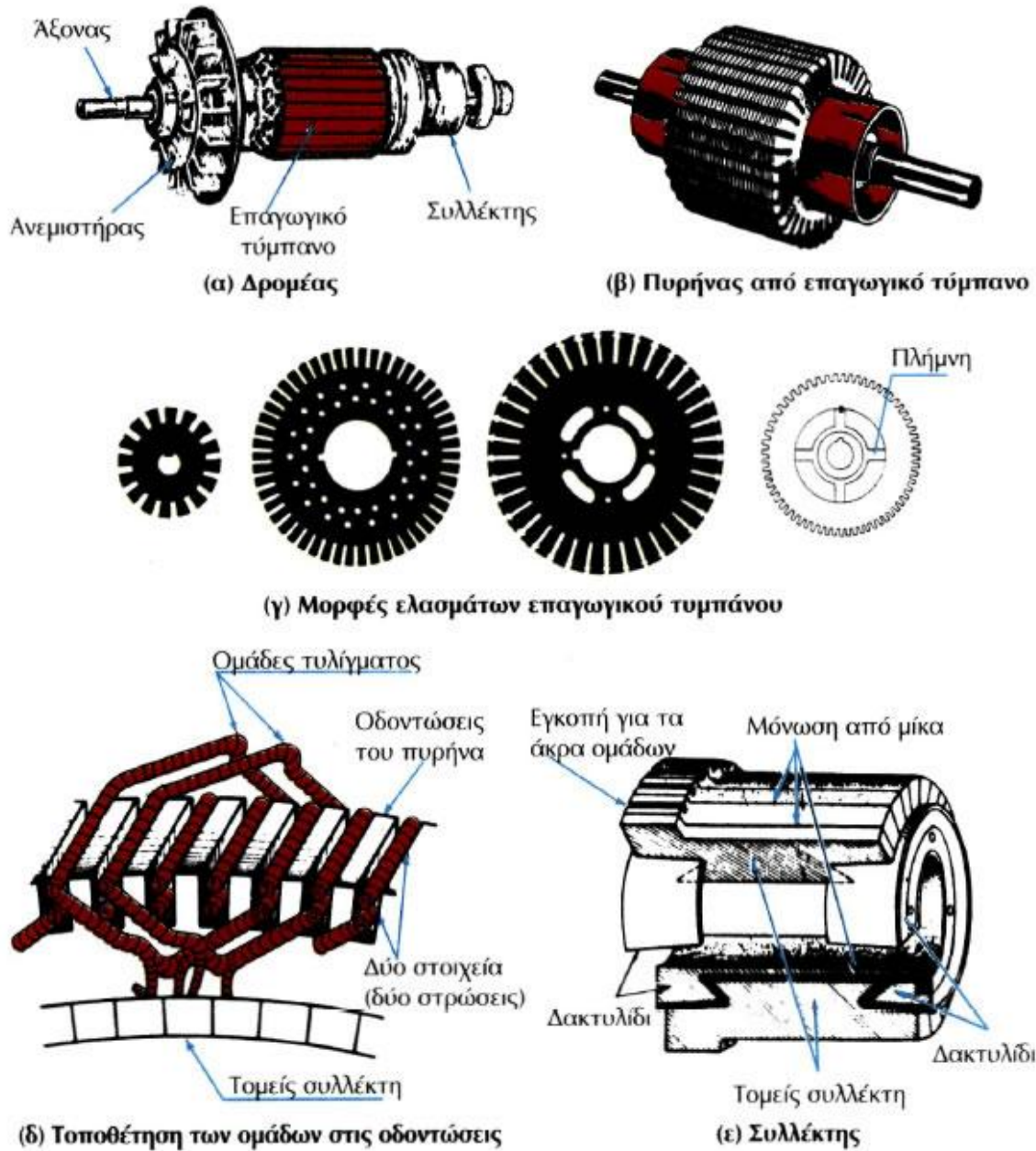
Στο τύλιγμα του τυμπάνου αναπτύσσεται μία ηλεκτρεγερτική δύναμη (ΗΕΔ), κάτι που σημαίνει πως χρειάζεται ένα μαγνητικό πεδίο διέγερσης το οποίο τελικά παρέχεται είτε από τυλίγματα πεδίου είτε από τυλίγματα διεγέρσεως.,

Οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος χωρίζονται στις εξής δύο κατηγορίες :

1. **Κινητήρες με μόνιμο μαγνήτη.** Εδώ η μαγνητική ροή είναι σταθερή σε όλο το εύρος ταχυτήτων του κινητήρα. Οι χαρακτηριστικές καμπύλες έντασης ρεύματος / ροπής αλλά και ταχύτητας / ροπής είναι γραμμικές.
2. **Κινητήρες με τύλιγμα διέγερσης.** Εδώ υπάρχουν τρεις υποκατηγορίες. Οι κινητήρες διέγερσης σε σειρά, οι κινητήρες παράλληλης διέγερσης και οι κινητήρες σύνθετης διέγερσης. Η διαφορά σε αυτές τις τρεις κατηγορίες κινητήρων με τύλιγμα διέγερσης έγκειται στη σύνδεση του τυλίγματος διέγερσης με το τύλιγμα του επαγωγικού τυμπάνου. Πιο συγκεκριμένα, στους κινητήρες διέγερσης σε σειρά το τύλιγμα διέγερσης είναι συνδεδεμένο σε σειρά με το τύλιγμα του επαγωγικού τυμπάνου ενώ αντίστοιχα στους κινητήρες παράλληλης διέγερσης, αυτά συνδέονται μεταξύ τους παράλληλα. Στους κινητήρες σύνθετης διέγερσης υπάρχουν δύο τυλίγματα, το τύλιγμα σε σειρά και το παράλληλο τύλιγμα, για κάθε κύριο μαγνητικό πόλο.

Οι ηλεκτροκινητήρες αποτελούνται από ένα σταθερό μέρος το οποίο ονομάζεται στάτης (stator) και περιστρεφόμενο το οποίο ονομάζεται συλλέκτης (rotor). Ο στάτης είναι ουσιαστικά ένας κούφιος κύλινδρος μέσα από τον οποίο περνά ο δρομέας ο οποίος είναι ένας συμπαγής κύλινδρος και μεταξύ τους χωρίζονται από ένα πολύ μικρό διάκενο αέρα.

Στους κινητήρες συνεχούς ρεύματος οι τροφοδοσία ρεύματος επιτυγχάνεται με τη βοήθεια μίας διάταξης που ονομάζεται συλλέκτης (σχήμα 27). Κατά τη διάρκεια λειτουργίας ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος, ρεύμα έντασης I το οποίο διοχετεύεται μέσω του συλλέκτη και των ψηκτρών, διαρρέει τις σπείρες του τυλίγματος οι οποίες βρίσκονται εντός του μαγνητικού πεδίου της μηχανής. Εξαιτίας του φαινομένου της επαγωγής, στους δύο αγωγούς που συνιστούν μία σπείρα, αναπτύσσεται ένα ζεύγος δυνάμεων ίδιας φοράς το οποίο τείνει να περιστρέψει το επαγωγικό τύμπανο. Η συνισταμένη του αθροίσματος των ροπών, οι οποίες προκαλούνται από όλα τα ζεύγη δυνάμεων που αναπτύσσονται σε όλες τις σπείρες τυλίγματος του τυμπάνου ενός κινητήρα περιστρέφει το τύμπανο. Με αυτό τον τρόπο γίνεται δυνατή η παραγωγή μηχανικής ενέργειας από έναν κινητήρα συνεχούς ρεύματος.



Σχήμα 27. Μέρη ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος.

Στους κινητήρες συνεχούς ρεύματος είναι ιδιαίτερα εύκολο να ελεγχθεί η ταχύτητα του άξονά τους με αποτέλεσμα να προσφέρουν σημαντική αξιοπιστία στον έλεγχο των κινήσεων εκείνων των βιομηχανικών μηχανισμών οι οποίοι τους χρησιμοποιούν. Επίσης, για μία δεδομένη τιμή ισχύος μπορούν να αναπτύξουν μεγάλη ροπή στον άξονά τους κάτι που τους καθιστά τους πλέον κατάλληλους για να ελέγχουν τις κινήσεις βιομηχανικών μηχανισμών οι οποίοι διαχειρίζονται μεγάλα μηχανικά φορτία.

4.1.1 Κινητήρας αζιμούθιου

Ο κινητήρας αζιμούθιου είναι της εταιρίας Bosch έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά και απεικονίζεται στο σχήμα 28.

Ισχύς : 60W

Τάση : 12V/24V

Στροφές χωρίς φορτίο : 50rpm μετά τη μηχανική μείωση (μειωτήρας)

Μέγιστη ροπή χωρίς φορτίο : 35Nm

Ονομαστική ροπή : 8Nm

Ρεύμα φορτίου: 5A στα 12V

Βάρος : 2 kg



Σχήμα 28. Ο κινητήρας του αζιμούθιου του πραγματικού συστήματος.

4.1.2 Κινητήρας κλίσης

Ο κινητήρας κλίσης της εταιρίας hyundai που χρησιμοποιείται ως γραμμικός επενεργητής (linear actuator) έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά και απεικονίζεται στο σχήμα 29.

Ισχύς : 30W

Τάση λειτουργίας : 12V

Μέγιστο ρεύμα : 2.5A

Βάρος : 805g

Έκταση κεραίας : 19cm

Ταχύτητα : 10mm/sec



Σχήμα 29. Ο Κινητήρας κλίσης του πραγματικού συστήματος.

4.2 Τερματοδιακόπτες και μηχανικός διακόπτης

Στην κατασκευή έχουν χρησιμοποιηθεί τρεις τερματοδιακόπτες οι οποίοι απενεργοποιούν τις κινήσεις των εκάστοτε κινητήρων. Για την περιοχή του αζιμούθιου (σχήμα 30α) έχει χρησιμοποιηθεί ένας τερματοδιακόπτης ο οποίος ενεργοποιείται όταν πατήσει σε ένα υπερυψωμένο σίδερο το οποίο στήνεται εξαρχής προς την ανατολή. Ο τερματικός διακόπτης του αζιμούθιου είναι καρφωμένος πάνω σε ειδική βάση με σφικτήρα. Για την περιοχή της κλίσης, χρησιμοποιούνται δύο τερματοδιακόπτες οι οποίοι ενεργοποιούνται όταν πατήσουν σε αυτοσχέδια stops με βίδες(σχήμα 30β). Επίσης, στην περιοχή της κλίσης χρησιμοποιείται ένας μηχανικός διακόπτης ο οποίος χρησιμεύει και ως μηχανικό stop αλλά και αλφαδιάζει την οριζόντια θέση του πάνελ.



Σχήμα 30. α) Τερματοδιακόπτης αζιμουθίου πάνω στο υπερυψωμένο σίδερο β) Τερματοδιακόπτες κλίσης και μηχανικός διακόπτης.

4.3 Φωτοβολταϊκό πλαίσιο

Το φωτοβολταϊκό πλαίσιο που χρησιμοποιήθηκε για την εκπόνηση της εργασίας είναι της εταιρίας Luxor και έχει τα παρακάτω στοιχεία :

P_{mpp} : 10W ($\pm 3\%$)

U_{mpp} : 17.39V

I_{mpp} : 0.58A

V_{oc} : 21.60V

I_{sc} : 0.64A

Διαστάσεις : 35.4cm*29.4cm*3,5cm




Βάρος : 2,5 kgr



Σχήμα 31. Το φωτοβολταϊκό πλαίσιο του πραγματικού συστήματος.

4.4 Αισθητήρια φωτός

Τα φωτο-αισθητήρια ανήκουν στην κατηγορία των ποσοτικών ανιχνευτών διότι ενεργοποιούνται ανάλογα με την ποσότητα της φωτεινής ακτινοβολίας. Οι ανιχνευτές αυτοί λειτουργούν κυρίως στην περιοχή του φάσματος από την υπεριώδη έως το μέσον της υπέρυθρης ακτινοβολίας του φωτός. Τέτοιου είδους αισθητήρια είναι οι φωτο-δίοδοι, τα φωτο-τρανζίστορ και οι φωτο-αντιστάσεις. Στην κατασκευή ενσωματώθηκαν δύο είδη φωτο-αισθητηρίων, φωτο-τρανζίστορ και φωτο-αντιστάσεις. Παρακάτω ακολουθεί ένας ενδεικτικός πίνακας με τις δυνατότητες που παρουσιάζουν οι τρεις παραπάνω τύποι.

Device	Photo resistor	Photo diode	Photo transistor
Referenced part #	PDV-P500X	Everlight DTD-15	Everlight DPT-092
			
Accuracy	Not guaranteed	Not guaranteed	± 75%
Current (1000 lux)	Varies	3 μA	2.6 mA (70 klux)
Range	1 to 100 lux	7 to 50 klux	1 k to 100 klux
Response time	55 ms	6 ns	15 μs
Enable function	No	No	No

Πίνακας 4. Ενδεικτικές δυνατότητες ποσοτικού τύπου αισθητηρίων.

4.4.1 Φωτο-αντιστάσεις

Οι φωτο-αντιστάσεις ανήκουν στην κατηγορία των μη γραμμικών αντιστάσεων. Η αρχή λειτουργίας τους βασίζεται στο γεγονός ότι η αγωγιμότητα ενός ημιαγωγικού υλικού μεταβάλλεται με την ένταση της προσπίπτουσας σε αυτό ακτινοβολίας. Ο λόγος που γίνεται κάτι τέτοιο είναι επειδή τα φωτόνια που προσπίπτουν στην επιφάνεια του ημιαγωγού διεγείρουν ηλεκτρόνια από τη ζώνη σθένους στη ζώνη αγωγιμότητας τα οποία ουσιαστικά συμπεριφέρονται σαν ελεύθερα ηλεκτρόνια μέσα στο υλικό με αποτέλεσμα η αντίσταση του φωτοαγωγικού υλικού να μειώνεται.

Τα βασικότερα χαρακτηριστικά μιας φωτο-αντίστασης είναι τα ακόλουθα:

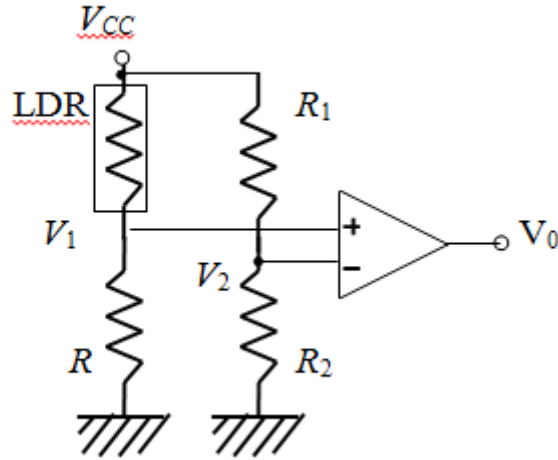
α) Η τιμή σκότους η οποία είναι η τιμή της αντίστασης σε απουσία φωτός. Η τιμή μίας φωτοαντίστασης στο σκοτάδι είναι πολύ μεγάλη. Όταν όμως, αυτή συνδέεται σε ένα κύκλωμα, αναπτύσσεται δηλαδή μία διαφορά δυναμικού, εμφανίζεται μία μικρή ποσότητα ρεύματος η οποία οφείλεται στην τυχαία διέγερση ηλεκτρονίων από τη ζώνη σθένους στη ζώνη αγωγιμότητας του ημιαγωγού με αποτέλεσμα την ύπαρξη του ρεύματος σκότους (dark current). Όταν η φωτο-αντίσταση εκτεθεί σε φως, τότε η τιμή της μειώνεται κατά μερικές δεκάδες ή ακόμα και εκατοντάδες Ohm. Η αντίσταση μίας οποιασδήποτε φωτο-αντίστασης του εμπορίου είναι της τάξης των 10 Ohm όταν βρίσκεται υπό φωτισμό ενώ φτάνει μέχρι και τα 20 kiloOhm εάν βρεθεί συνθήκες σκότους.

β) Η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή ($R_{max} - R_{min}$) οι οποίες ορίζουν το εύρος μεταβολής της αντίστασης με την επίδραση του φωτός.

γ) Ο χρόνος που απαιτείται ώστε να σταθεροποιηθεί η αντίσταση από τη στιγμή που συμβεί κάποια αλλαγή στον φωτισμό.

Οι φωτο-αντιστάσεις, λόγω της μεγάλης μεταβολής της αντίστασης τους, συνήθως χρησιμοποιούνται για να ενεργοποιούν ή να απενεργοποιούν μία διάταξη όπως για παράδειγμα στον φωτισμό διαφόρων οδών, σε φωτογραφικές μηχανές ώστε να ρυθμίζεται αυτόματα το διάφραγμα ανάλογα με την ένταση της υπάρχουσας ακτινοβολίας, σε κυκλώματα πυρασφάλειας κ.α. Ο πιο απλός τρόπος σύνδεσής μίας φωτο-αντίστασης είναι σε ένα διαιρέτη τάσης όπως φαίνεται στο σχήμα 32. Ο διαιρέτης αυτός έχει τη δυνατότητα να συγκρίνεται με μία σταθερή τιμή τάσης V_2 με τη βοήθεια

ενός τελεστικού ενισχυτή και έτσι με αυτό τον τρόπο η έξοδος του τελευταίου να βρίσκεται είτε σε θετική είτε σε αρνητική τάση κόρου.



Σχήμα 32. Σύνδεση φωτοαντίστασης σε διαιρέτη τάσης.

Στο κύκλωμα του σχήματος 22 η τάση εξόδου (V_0) γίνεται θετική όταν υπάρχει παρουσία φωτός και ο αισθητήρας λειτουργεί ως ανιχνευτής για το φως. Σε περίπτωση αλλαγής των θέσεων της φωτο-αντίστασης και της αντίστασης R , ο αισθητήρας λειτουργεί σαν ανιχνευτής σκότους. Ως εκ τούτου στην κατασκευή χρησιμοποιήθηκαν φωτο-αντιστάσεις τύπου ημιαγωγού με προσμίξεις και συγκεκριμένα η φωτο-αντίσταση GL5537. Αναλυτικές λεπτομέρειες της σειράς GL φωτο-αντιστάσεων παρατίθενται στα τεχνικά χαρακτηριστικά.

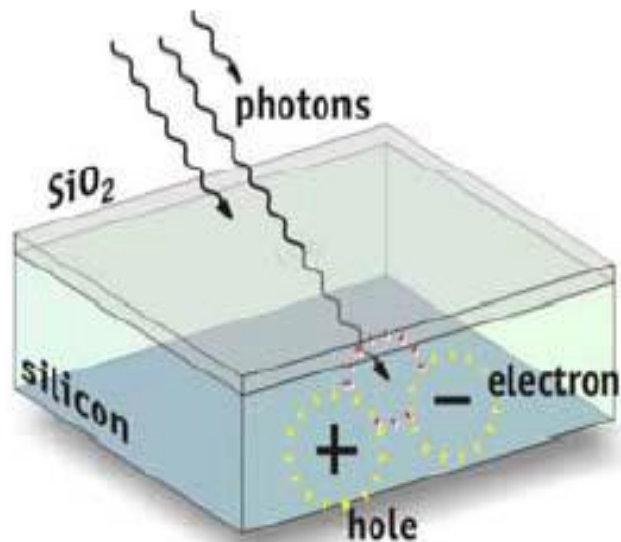


Σχήμα 33. Φωτο-αντίσταση GL5537

4.4.2 Φωτο-τρανζίστορ

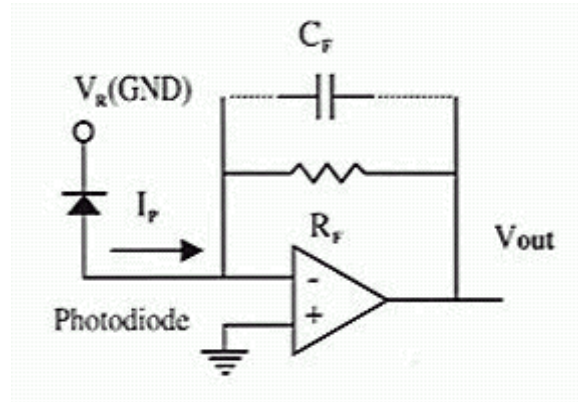
Τα φωτο-τρανζίστορ είναι τα κύρια είδη των φωτοβολταϊκών ανιχνευτών. Δημιουργούν ρεύμα το οποίο ονομάζεται φωτόρευμα (photocurrent) και είναι ανάλογο της έντασης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Τα φωτο-τρανζίστορ ουσιαστικά είναι φωτο-δίοδοι με μόνη διαφορά ότι ενισχύουν το δημιουργούμενο ρεύμα. Έτσι η αρχή λειτουργίας τους είναι ίδια με αυτήν των φωτοδίοδων.

Οι φωτο-δίοδοι αποτελούνται από μία φωτοευαίσθητη δίοδο πυριτίου, ουσιαστικά πρόκειται για μία p-n επαφή η οποία στο πάνω μέρος της διαθέτει ένα φωτοαγωγίμο στρώμα. Όταν φως προσπίπτει στην επιφάνειά τους δημιουργούνται ζεύγη ηλεκτρονίων-οπών στην περιοχή της επαφής (σχήμα 34) κάτι το οποίο έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία μίας μικρής ποσότητας ρεύματος (φωτόρευμα). Η ποσότητα αυτή του φωτορεύματος είναι σχεδόν αμελητέα εν συγκρίσει με τα ρεύματα τα οποία διαρρέουν τις φωτοδίοδους όταν αυτές έχουν πολωθεί ορθά και άγουν ως κανονικές δίοδοι. Στην περίπτωση όμως που οι φωτοδίοδοι πολωθούν ανάστροφα, το φωτόρευμα γίνεται σημαντικό και έτσι επιτρέπει τη μέτρηση της έντασης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.



Σχήμα 34. Διάσπαση ζεύγους ηλεκτρονίου – οπής λόγω της επίδρασης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.

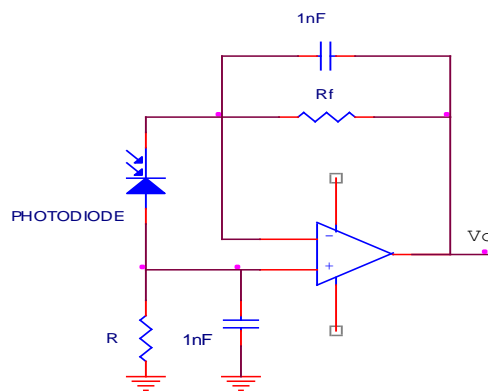
Η φωτο-δίοδος έχει τη δυνατότητα να λειτουργήσει όντας ανάστροφα πολωμένη όπως φαίνεται και στο σχήμα 35. Σε αυτή την περίπτωση η σύνδεση λέγεται σύνδεση φωτοαγωγιμότητας (photoconductive, PC mode).



Σχήμα 35. Σύνδεση φωτοαγωγιμότητας.

Ο Τελεστικός ενισχυτής μετατρέπει το φωτόρευμα σε τάση. Η τάση V_{out} στην έξοδο του κυκλώματος είναι ανάλογη του φωτορεύματος. Ο πυκνωτής χρησιμοποιείται για να αντισταθμίσει τη διαφορά φάσης ανάμεσα στην είσοδο και την έξοδο σε περίπτωση που υπάρχει τέτοια.

Μία άλλη δυνατή συνδεσμολογία είναι όταν η φωτο-δίοδος είναι μη-πολωμένη και λέγεται σύνδεση φωτοτάσης (photovoltaic, PV mode). Σε αυτή την περίπτωση η ένταση της ακτινοβολίας προκαλεί την εμφάνιση φωτοβολταϊκής τάσης στα άκρα της φωτο-δίοδου, η οποία ενισχύεται κίόλας από τον ενισχυτή διαφοράς όπως φαίνεται και στο σχήμα 36.



Σχήμα 36. Σύνδεση φωτοτάσης.

Είναι γνωστό ότι η ανάστροφη πόλωση απομακρύνει τις οπές και τα ηλεκτρόνια από την επαφή p-n, κάτι το οποίο έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση της χωρητικότητας της επαφής. Το γεγονός αυτό προκαλεί την ταχύτερη απόκριση λόγω της μικρής χωρητικότητας της επαφής. Η ανάστροφη πόλωση από τη άλλη πλευρά, δημιουργεί ρεύμα σκότους το οποίο είναι ανεπιθύμητο αφού εισάγει θόρυβο μέσα στην επαφή με αποτέλεσμα τη μικρότερη ευαισθησία. Κατά ανάλογο τρόπο, σε περίπτωση που η φωτοδίοδος δεν είναι πολωμένη (λειτουργία φωτοτάσης), η απόκρισή της, από τη μία είναι βραδύτερη αλλά η ευαισθησία της, από την άλλη είναι μεγαλύτερη.

Όταν η δίοδος είναι σε λειτουργία φωτοτάσης, δηλαδή είναι μη-πολωμένη, η γραμμικότητα υποβαθμίζεται, επειδή το μέγεθος το οποίο εισάγεται στο κύκλωμα ελέγχου είναι η τάση που αναπτύσσεται στα άκρα της διόδου. Αυτή η τάση εξαρτάται λογαριθμικά από το φωτόρευμα και όχι γραμμικά με αποτέλεσμα η σχέση της έντασης της ακτινοβολίας και της τάσης να μην είναι γραμμική.

Οι φωτο-αντιστάσεις έχουν χρόνους απόκρισης που είναι της τάξης των 100 msec, πολύ μεγαλύτερους δηλαδή σε σχέση με τις φωτο-διόδους οι οποίες έχουν χρόνους απόκρισης μικρότερους από 1 μ sec. Οι φωτο-αντιστάσεις και οι φωτο-διόδοι εμφανίζουν μέγιστη ευαισθησία στο εγγύς υπέρυθρο ενώ οι φωτο-αντιστάσεις διαθέτουν μεγαλύτερο δυναμικό εύρος (dynamic range) από τις φωτο-διόδους, κάτι το οποίο σημαίνει ότι μπορούν να ανιχνεύσουν μεγαλύτερη περιοχή τιμών έντασης ακτινοβολίας, αλλά ταυτόχρονα εμφανίζουν και μικρότερη γραμμικότητα από αυτές. Οι δυνατότητες των φωτο-διόδων πολλαπλασιάζονται όταν αντικατασταθούν από φωτο-τρανζίστορ, αφού αυτά έχουν τη δυνατότητα να ενισχύουν το φωτόρευμα που δημιουργείται στη φωτοευαίσθητη p-n επαφή. Με αυτό τον τρόπο γίνεται να μετρηθούν μικρότερες τιμές έντασης της ακτινοβολίας κάτι που ουσιαστικά σημαίνει ότι αυξάνει το δυναμικό εύρος του αισθητήρα. Στην παρούσα κατασκευή χρησιμοποιήθηκαν τα φωτοτρανζίστορ SP213F. Η επιλογή των συγκεκριμένων φωτο-τρανζίστορ έγινε βάση της μεγάλης ευαισθησίας που παρέχουν, της μεγάλης γωνίας που μπορούν να καλύψουν (180°) και το μεγάλο εύρος που καλύπτουν στο φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας (560nm~980nm).

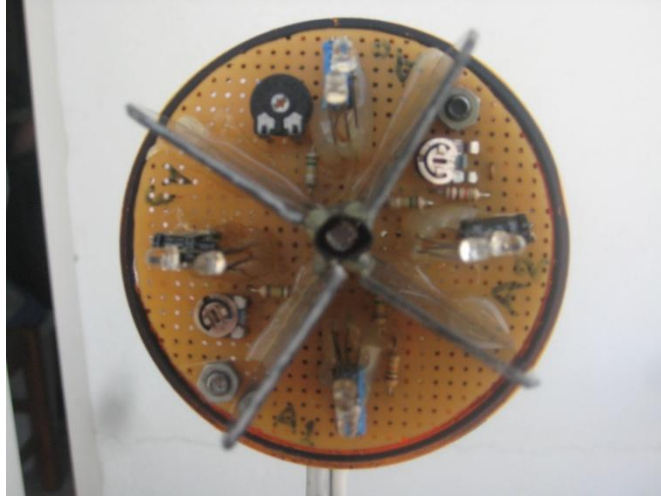


Εικόνα 37. Φωτο-τρανζίστορ SP213F.

4.5 Πλακέτα αισθητηρίων

Η πλακέτα των αισθητηρίων αποτελείται από 8 φωτοτρανζίστορες NPN SP213F και μια φωτο-αντίσταση G5537 η οποία βρίσκεται στο κέντρο της πλακέτας. Στην πλακέτα προστέθηκαν δύο αισθητήρια για κάθε σημείο του ορίζοντα ώστε να καλύψουν ακόμα μεγαλύτερο εύρος γωνιών από την εισερχόμενη ακτινοβολία. Το κάθε ζεύγος των φωτο-τρανζίστορ χωρίζεται με σκιάδια ώστε να μην υπάρχει αλληλεπίδραση μεταξύ τους. Στην πλακέτα επίσης, ενσωματώθηκαν pull-up αντιστάσεις (1KΩ) λόγω της φύσης των συγκεκριμένων φωτο-τρανζίστορες ώστε να διατηρείται το δυναμικό στα φωτο-τρανζίστορ.

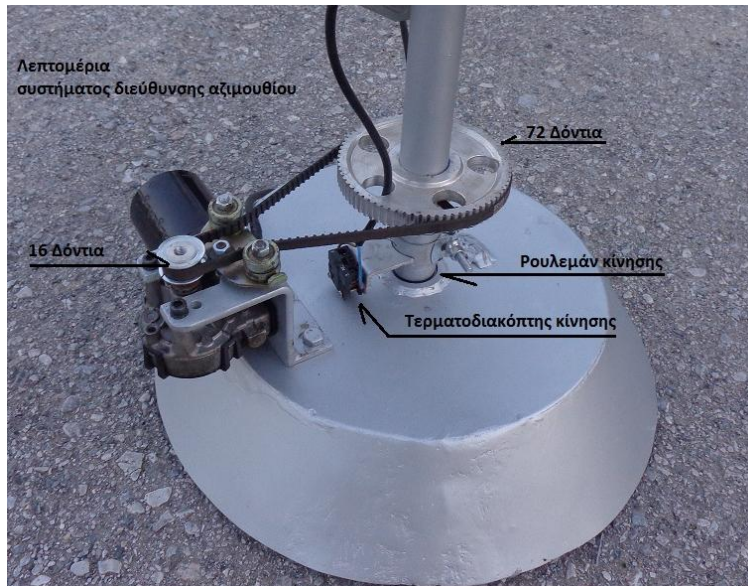
Για να γίνονται μικρορυθμίσεις (καλιμπραρίσματα) στα σήματα που στέλνουν τα αισθητήρια στον μικροελεγκτή χρησιμοποιήθηκαν ποτενσιόμετρα (4,7KΩ και 1KΩ) και επιπλέον αντιστάσεις (150KΩ). Τέλος, χρησιμοποιήθηκαν πυκνωτές 10μF για εξομάλυνση του σήματος.



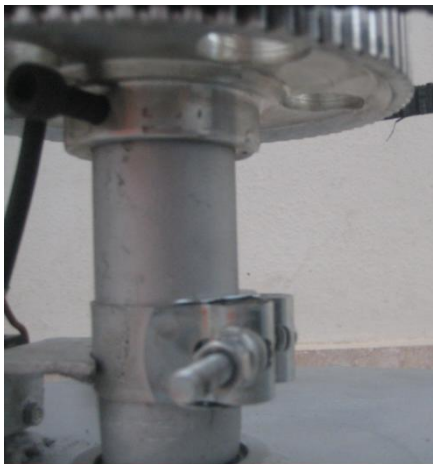
Σχήμα 38. Η πλακέτα των αισθητηρίων του συστήματος.

4.6 Σύστημα μετάδοσης κίνησης

Το σύστημα μετάδοσης κίνησης αποτελείται από δύο τροχαλίες έναν ιμάντα χρονισμού και από τον τεντωτήρα, ο οποίος δημιουργήθηκε με την βοήθεια ρουλεμάν. Η σχέση μετάδοσης λοιπόν προκύπτει από τον λόγο των δοντιών της τροχαλίας που μεταδίδει την κίνηση προς το άλλο οπότε προκύπτει : $\text{Λόγος μετάδοσης} = \frac{16}{72} = 0.22$. Ο συγκεκριμένος λόγος μετάδοσης ήταν ο μικρότερος δυνατός που μπορούσε να βρεθεί για τις ανάγκες της συγκεκριμένης κατασκευής καθώς απαιτούνται χαμηλές στροφές και υψηλή ροπή (υψηλή δύναμη για να γυρίσει ο άξονας). Προς ελάφρυνση της όλης κατασκευής οι δύο τροχαλίες επιλέχθηκαν να είναι υλικού αλουμινίου και επιπρόσθετα ανοίχτηκαν τρύπες. Όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα για να επιτευχθεί το τέντωμα του ιμάντα δημιουργήθηκε μια βάση με βίδες για το μοτέρ. Η τροχαλία με τα 72 δόντια στηρίζεται πάνω σε ένα δαχτυλίδι περιφερειακά του άξονα κίνησης του αζιμούθιου η οποία στηρίζεται με αλενόβιδες. Η τροχαλία κίνησης με τα 16 δόντια είναι βιδωμένη πάνω στον άξονα του μοτέρ.

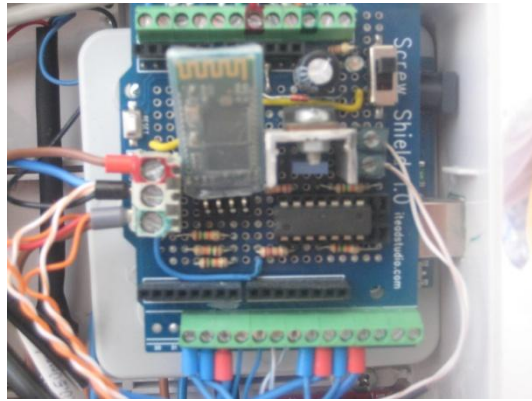
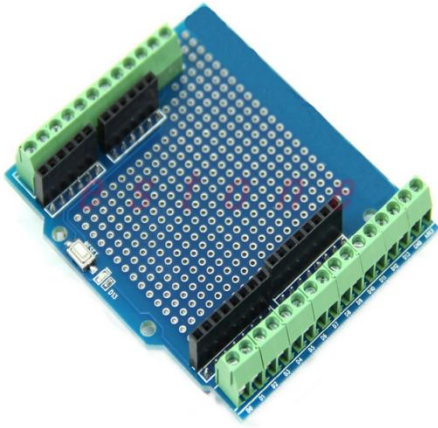


Σχήμα 39. Το σύστημα μετάδοσης κίνησης.



Σχήμα 40. Δαχτυλίδι στήριξης τροχαλίας.

4.7 Arduino shield-πλακέτα σταθεροποίησης τροφοδοσίας και σήματος PWM



Σχήμα 41. α. Arduino shield. β. το arduino shield της πραγματικής διάταξης

Γνωρίζοντας ότι θα αντιμετωπιστούν προβλήματα με τις καλωδιώσεις στις θηλυκές πινοσιρές του Arduino συν ότι έπρεπε να δημιουργηθεί έναν κύκλωμα σταθεροποίησης της τροφοδοσίας του Arduino και ένα μέρος ενσωμάτωσης του bluetooth, χρησιμοποιήθηκε το proto screw shield board. Το συγκεκριμένο εξάρτημα είναι περιφερειακό του arduino στο οποίο οι θηλυκές πινοσιρές (ψηφιακά I/O, αναλογικές εισοδοι, τροφοδοσία και γείωση) του arduino συνδέονται αντίστοιχα με κλέμες κάτι το οποίο διευκολύνει την προσβάση και διασφαλίζει την καλή επαφή των καλωδίων στις εκάστοτε εισόδους/εξόδους του μικροελεγκτή. Επιπλέον δίνει την δυνατότητα κατασκευής επιπρόσθετων ηλεκτρονικών κυκλωμάτων στην επιφάνεια του. Πάνω στην επιφάνεια του arduino shield της συγκεκριμένης εργασίας κατασκευάστηκε, με την βοήθεια κολλητηριού, καλάι και κρέμας καθαρισμού, ένα κύκλωμα σταθεροποίησης 5V της τροφοδοσίας του μικροελεγκτή με δύο πυκνωτές 100μF και 100nF, και το ολοκληρωμένο 7805 και μία δίοδο προστασίας. Το ολοκληρωμένο αυτό δέχεται στην είσοδο του μια μη σταθεροποιημένη σταθερή τάση και δίνει τάση εξόδου προς τον μικροελεγκτή 5V αρκετά σταθερά (4,8min/typical 5/max 5,2).

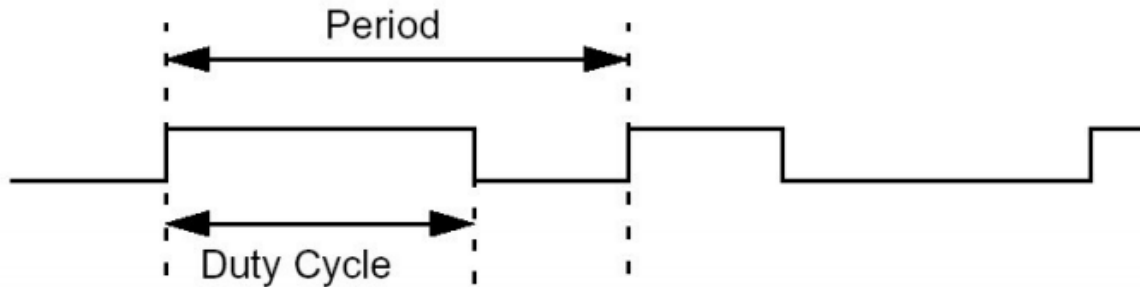
Επίσης, ενσωματώθηκε το ολοκληρωμένο 74LS00 το οποίο είναι μια τετραπλή λογική πύλη NAND (quadruple logic NAND gate), την τροφοδοσία του και την γείωση. Το συγκεκριμένο ολοκληρωμένο πάνω στο shield χρησιμοποιείται ως αντιστροφέας (NOT), λόγο του ότι τα pins 9 και 11 του arduino που χρησιμοποιούνται για την δημιουργία παλμών pwm, για την οδήγηση των γεφυρών-Η των κινητήρων, το δυναμικό από τα pins (ποδαράκια) του arduino δεν παραμένει σταθερό όταν ο χρήστης πιέζει το κουμπί reset.

Από τη στιγμή της επανεκκίνησης (Reset), μέχρι ο μικροελεγκτής να διαμορφώσει ξανά τις εξόδους – εισόδους (IO setting), όλα τα ποδαράκια (Pins) βρίσκονται σε λογικό μη καθορισμένο (Floating), με αποτέλεσμα να το αντιλαμβάνεται η γέφυρα-H ως λογικό 1 και να ξεκινάει τους κινητήρες άσκοπα και επικίνδυνα. Με την ενσωμάτωση του (βάση του πίνακα αληθείας της πύλης NAND) ουσιαστικά γίνεται σταθεροποίηση του σήματος στην έξοδο ως λογικό 0. Επιπροσθέτως, έχουν κολληθεί 2 pull-up αντιστάσεις στα pwm σήματα ώστε να διασφαλιστεί η παροχή λογικού 1 στην είσοδο και 0 στην έξοδο του αντιστροφέα.

Επίσης πάνω στο shield υπάρχουν, ένα led και η αντίσταση λειτουργίας του, 7 αντιστάσεις pull-down για την διασφάλιση του λογικό 0 στις υπόλοιπες εισόδους, ένας διακόπτης παροχής τροφοδοσίας, δύο κλέμες (μία για την συλλογή των pwm από τα h-bridge και μια για τον διαχωρισμό της τροφοδοσίας των 5V του τροφοδοτικού, των 12V της μπαταρίας και της γείωσης) και δύο δίοδοι για προστασία από ανάστροφα ρεύματα στο ανεμιστηράκι. Σε όλα τα καλώδια της κατασκευής χρησιμοποιούνται άκρα τέρματος τα οποία διαφέρουν ανάλογα με τη διατομή του καλωδίου.

4.8 Οδήγηση των κινητήρων μέσω PWM παλμού

Όπως προαναφέρθηκε η κινήσεις των κινητήρων γίνονται μέσω PWM (pulse width modulation) τα οποία είναι παλμοί μεταβλητού πλάτους. Οι κυματομορφές αυτών των παλμών χωρίζονται σε δύο τμήματα. Το τμήμα ON στο οποίο η κυματομορφή έχει την μέγιστη τιμή της και το τμήμα OFF στο οποίο έχει την τιμή 0. Το ON τμήμα ονομάζεται duty cycle και μετριέται είτε σε μονάδες χρόνου (ms,us κλπ) είτε σε ποσοστό (%) επί της περιόδου. Εφαρμόζοντας μια PWM κυματομορφή στην τροφοδοσία ενός φορτίου ουσιαστικά επιτυγχάνεται να ελεγχθεί το ποσοστό της ισχύος που πέφτει πάνω στο φορτίο. Στην περίπτωση της εργασίας το φορτίο είναι οι δύο κινητήρες με συνεπαγωγή των έλεγχου των στροφών τους.



Σχήμα 42. Χαρακτηριστική pwm κυματομορφή.

Η γλώσσα προγραμματισμού του arduino διευκολύνει τον χρήστη ώστε να μπορεί να μεταβάλλει το duty cycle επιλέγοντας απλά συγκεκριμένα pins (για το arduino UNO 3,5,6,9,10 και 11) και καθορίζοντας την τιμή του duty cycle από 0-255. Τα duty cycle των κινητήρων για τις διάφορες κινήσεις φαίνονται στον πίνακα 4. Παρ' όλα αυτά στο ολοκληρωμένο atmega328 που χρησιμοποιεί το arduino Uno, το οποίο όπως προαναφέρθηκε έχει 6 pwm εξόδους, μπορεί να γίνει περαιτέρω έλεγχος χειρισμού από το να μεταβληθεί μόνο από το duty cycle. Ο έλεγχος αυτός καθορίζει ουσιαστικά την συχνότητα δημιουργίας των παλμών και πραγματοποιείται μέσω της απευθείας επικοινωνίας στον επεξεργαστή του arduino μέσω συγκεκριμένων εντολών στους timers (0,1,2 για το arduino Uno). Για την συγκεκριμένη εργασία ύστερα από πειραματισμούς, επιλέχθηκε ως συχνότητα δημιουργίας παλμών για τους συγκεκριμένους κινητήρες τα 30,64 Hz.

Κινητήρας αζιμούθιου			Κινητήρας κλίσης	
Κίνηση αριστερά	Κίνηση δεξιά	Γρήγορη κίνηση κατά την αρχικοποίηση	Κίνηση άνω	Κίνηση κάτω
0.0181 sec	0.0181 sec	0.0219 sec	0.0075 sec	0.0062 sec

Πίνακας 5. Πίνακας των duty cycle.

4.9 Καθορισμός Αναλογικών και ψηφιακών εισόδων/εξόδων του μικροελεγκτή

Αναλογικά I/O

Αναλογική είσοδος0 → Άνω ζεύγος φωτο-αισθητηρίων

Αναλογική είσοδος1 → Κάτω ζεύγος φωτο-αισθητηρίων

Αναλογική είσοδος2 → Αριστερό ζεύγος φωτο-αισθητηρίων

Αναλογική είσοδος3 → Δεξιό ζεύγος φωτο-αισθητηρίων

Αναλογική είσοδος4 → Κεντρική φωτο-αντίσταση

Αναλογική είσοδος5 → Αισθητήριο ρεύματος

Ψηφιακά I/O

Ψηφιακή είσοδος/έξοδος0 → Σειριακή επικοινωνία με υπολογιστή Tx.

Ψηφιακή είσοδος/έξοδος1 → Σειριακή επικοινωνία με υπολογιστή Rx.

Ψηφιακή είσοδος/έξοδος2 → Interrupt 0.

Ψηφιακή είσοδος/έξοδος3 → Interrupt 1.

Ψηφιακή είσοδος/έξοδος4 → Τερματικός διακόπτης αζιμούθιου.

Ψηφιακή είσοδος/έξοδος5 → Bluetooth TX.

Ψηφιακή είσοδος/έξοδος6 → Bluetooth RX.

Ψηφιακή είσοδος/έξοδος7 → Φορά περιστροφής κινητήρα κλίσης.

Σχεδίαση και Κατασκευή Μικρού Φωτοβολταϊκού Ηλιοστάτη (Solar Tracker)

Ψηφιακή είσοδος/έξοδος8 → Φορά περιστροφής κινητήρα αζιμούθιου.

Ψηφιακή είσοδος/έξοδος9 → Δημιουργία παλμού κίνησης αζιμούθιου.

Ψηφιακή είσοδος/έξοδος10 → Κάτω τερματικός διακόπτης κλίσης.

Ψηφιακή είσοδος/έξοδος11 → Δημιουργία παλμού κίνησης κλίσης.

Ψηφιακή είσοδος/έξοδος12 → Άνω τερματικός διακόπτης κλίσης.

Ψηφιακή είσοδος/έξοδος13 → Ένδειξη σφάλματος από το led του arduino.

4.10 Ρυθμιστής τάσης/φορτιστής μπαταρίας



Σχήμα 43. Ο ρυθμιστής τάσης/φόρτισης μπαταρίας του συστήματος.

Στην συγκεκριμένη συσκευή συνδέονται τα καλώδια του φωτοβολταϊκού πάνελ, της μπαταρίας και των κινητήρων όπως φαίνεται στο σχήμα 25. Όπως υποδηλώνει και το όνομα της, η συσκευή αυτή φορτίζει την μπαταρία μέσω του φωτοβολταϊκού πάνελ ενώ ταυτόχρονα μπορεί να τροφοδοτήσει τα φορτία (κινητήρες) μέσω της μπαταρίας. Παράλληλα έχει ενσωματωμένο κύκλωμα προστασίας από υπερεντάσεις, βραχυκυκλώματα όπως και από υπερτάσεις και πτώσεις τάσεις. Βασικά στοιχεία της είναι τα ακόλουθα:

Τάση λειτουργίας : 12V/24V

Όριο έντασης ρεύματος : 20A

Θερμοκρασία λειτουργίας : -20 °C ~ 50°C

Διαστάσεις : 10.3cm*9.5cm*4cm/ 4.06*3.74*1.57"

Σχεδίαση και Κατασκευή Μικρού Φωτοβολταϊκού Ηλιοστάτη (Solar Tracker)

Η ορθή λειτουργία του ρυθμιστή τάσης/φορτιστή μπαταρίας είναι η εξής :

1ον) Είσοδος καλωδίων μπαταρίας

2ον) Είσοδος καλωδίων φωτοβολταϊκού πάνελ

3ον) Είσοδος καλωδίων φορτίου.

ενώ κατά την αποσύνδεση η σειρά γίνεται ανάποδα.

4.11 Συσσωρευτής

Ο συσσωρευτής που χρησιμοποιήθηκε στην κατασκευή είναι 12V και χωρητικότητας 9AH της εταιρίας KAGE. Η μπαταρία αυτή, φαίνεται στο παρακάτω σχήμα, φορτίζεται από το ρεύμα εξόδου του φωτοβολταϊκού πάνελ ενώ παράλληλα τροφοδοτεί με κατάλληλο ρεύμα και τους δύο κινητήρες αλλά και τον μικροελεγκτή. Επιπλέον, έχει προστεθεί, προς ασφάλεια του κυκλώματος, στο καλώδιο του θετικού πόλου της ασφάλεια 15A σε περίπτωση υπερέντασης.



Σχήμα 44. Φωτογραφία συσσωρευτή και ασφάλεια 15A.

4.12 Bluetooth HC-06

Η συσκευή αυτή εμπεριέχει 4 εισόδους την τροφοδοσία, την γείωση, την συλλογή και την μεταφορά των δεδομένων (Vcc, GND, RXD, TXD αντίστοιχα). Επίσης έχει ενσωματωμένο ένα led το οποίο αναβοσβήνει όταν δεν είναι σε κατάσταση σύνδεσης με άλλη συσκευή (unpaired) ενώ όταν συνδεθεί με μια άλλη συσκευή (paired) μένει μόνιμα αναμμένο. Τα βασικά στοιχεία του είναι τα ακόλουθα:

Τάση λειτουργίας : 3.6V~6V

Ρεύμα ζεύξεως (συνδεδεμένο με άλλη συσκευή) : 10mA

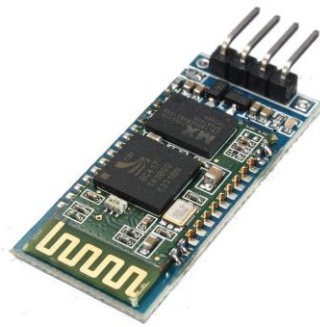
Ρεύμα απόξευξης (αποσυνδεδεμένο) : 30mA

Ασφαλή εύρος σύνδεσης με συσκευή θεωρούνται τα 10m. Σε περίπτωση μεγαλύτερης απόστασης, η επικοινωνία μπορεί να μην χαθεί αλλά η ποιότητα επικοινωνίας δεν εγγυάται.

Υποστηρίζεται από AT εντολές με τις οποίες μπορούν να αλλαχθούν:

- α) το baud rate (ταχύτητα επικοινωνίας)
- β) τον κωδικό πρόσβασης
- γ) την ονομασία ανίχνευσης του

Διαστάσεις: 3.57cm*1.52cm



Σχήμα 45. Το bluetooth HC-06 που χρησιμοποιήθηκε στην κατασκευή.

4.13 H-bridge

Η γέφυρα-H ή γνωστή με την ξένη ορολογία H-bridge είναι ηλεκτρικά κυκλώματα με τα οποία υπάρχει η δυνατότητα αλλαγής φοράς περιστροφής σε DC κινητήρες. Η συγκεκριμένη γέφυρα-H χρησιμοποιεί το ολοκληρωμένο L298N μέσω του οποίου γίνεται η αλλαγή φοράς περιστροφής των κινητήρων του συστήματος. Κάθε γέφυρα-H έχει 2 κανάλια (OUTPUT A και OUTPUT B), δηλαδή μπορεί να ελέγξει δύο κινητήρες. Υπάρχει η δυνατότητα να παραλληλιστούν οι έξοδοι των καναλιών και οι λογικοί εισόδοι, δημιουργώντας μια γέφυρα μονού πλέον καναλιού, με διπλάσια ισχύ λειτουργίας. Επειδή οι κινητήρες που χρησιμοποιήθηκαν είχαν υψηλά ρεύματα λειτουργίας λόγω των απαιτήσεων της κατασκευής, επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθούν 2 παραλληλισμένες γέφυρες-H, μια για κάθε κινητήρα. Η συγκεκριμένη γέφυρα-H είναι κατασκευασμένη για εφαρμογές με μικροελεγκτές και χρησιμοποιεί ψήκτρα για την απορρόφηση της θερμοκρασίας που αναπτύσσει το ολοκληρωμένο L298N. Για τις ανάγκες της κατασκευής λοιπόν, κρίθηκε υποχρεωτικό λόγω των φορτίων των κινητήρων, να παραλληλιστούν οι έξοδοι OUTPUT A και OUTPUT B ώστε να διπλασιαστεί το εύρος του μέγιστου ρεύματος. Πίνακας αληθείας των λογικών εισόδων της συγκεκριμένης γέφυρας-H για κάθε κανάλι παρατίθενται παρακάτω:

Είσοδοι	Λογικές τιμές			
ENA	0	1	1	1
IN1	X	1	0	1
IN2	X	0	1	1
Αποτέλεσμα	Ελεύθερο σταμάτημα	Αριστερόστροφη κίνηση	Δεξιόστροφη κίνηση	Δυναμικό σταμάτημα

Πίνακας 6. Πίνακας αληθείας των λογικών εισόδων του H-bridge.

Μέγιστο στιγμιαίο ρεύμα (peek current): 3A/κανάλι

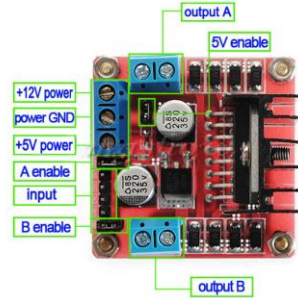
Ρεύμα συνεχούς λειτουργίας : 2A/κανάλι

Παροχή ισχύος : 25W/κανάλι

Τάση οδήγησης : 5V~35V

Ανοχή θερμοκρασίας : -20C°~135 C°

Μέγεθος : 43mm*43mm*27mm



Σχήμα 46. Γέφυρά-H οδήγησης των κινητήρων του συστήματος.

4.14 Αισθητήριο ρεύματος ACS712ELC-25A

Το αισθητήριο ρεύματος ACS712ELC-25A είναι μια συσκευή για εφαρμογές με μικροελεγκτές και παρέχει τη δυνατότητα μέτρησης του ρεύματος εύρους -25A~+25A. Η συσκευή διαθέτει τρεις εισόδους, την τροφοδοσία του, την γείωση και το σήμα το οποίο καταλήγει στον μικροελεγκτή. Βασίζεται στο φαινόμενο hall και η έξοδος του έχει την αντιστοίχιση 100mV/A. Στην παρούσα εργασία ο ρόλος του αισθητηρίου ήταν διακοπτικός δηλαδή στην περίπτωση που για οποιοδήποτε λόγο το ρεύμα ξεπεράσει τα 12A (μέγιστο ρεύμα ανοχής των H-bridge) τότε διακόπτεται η λειτουργία των κινητήρων. Βασικά στοιχεία του αισθητηρίου ρεύματος παρατίθενται παρακάτω:

Τάση τροφοδοσίας : 5V

Μέγεθος : 31mm*13 mm



Σχήμα 47. Αισθητήριο ρεύματος.

4.15 Κύκλωμα εξαερισμού

Το κύκλωμα εξαερισμού αποτελείται από ένα ανεμιστηράκι DC 12V και 1.62W από όπου εξάγεται ο αέρας από το κιβώτιο αυτοματισμών - συνδέσεων και από μια τρύπα η οποία ανοίχθηκε στα πλάγια του κιβωτίου αυτοματισμών - συνδέσεων από όπου εισάγεται ο αέρας. Το κύκλωμα εξαερισμού δημιουργήθηκε κατά κύριο λόγο για να την ψύξη των γεφυρών - Η και του τροφοδοτικού των 5V του μικροελεγκτή τα οποία θερμαίνονται.

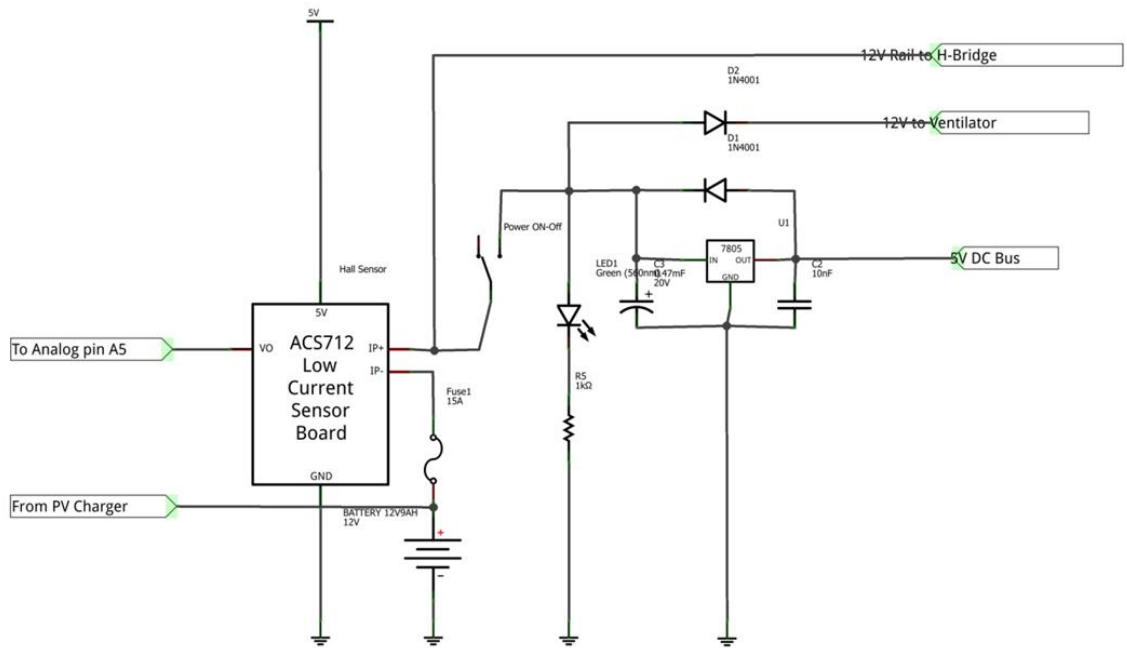


Σχήμα 48. Φωτογραφία κυκλώματος εξαερισμού.

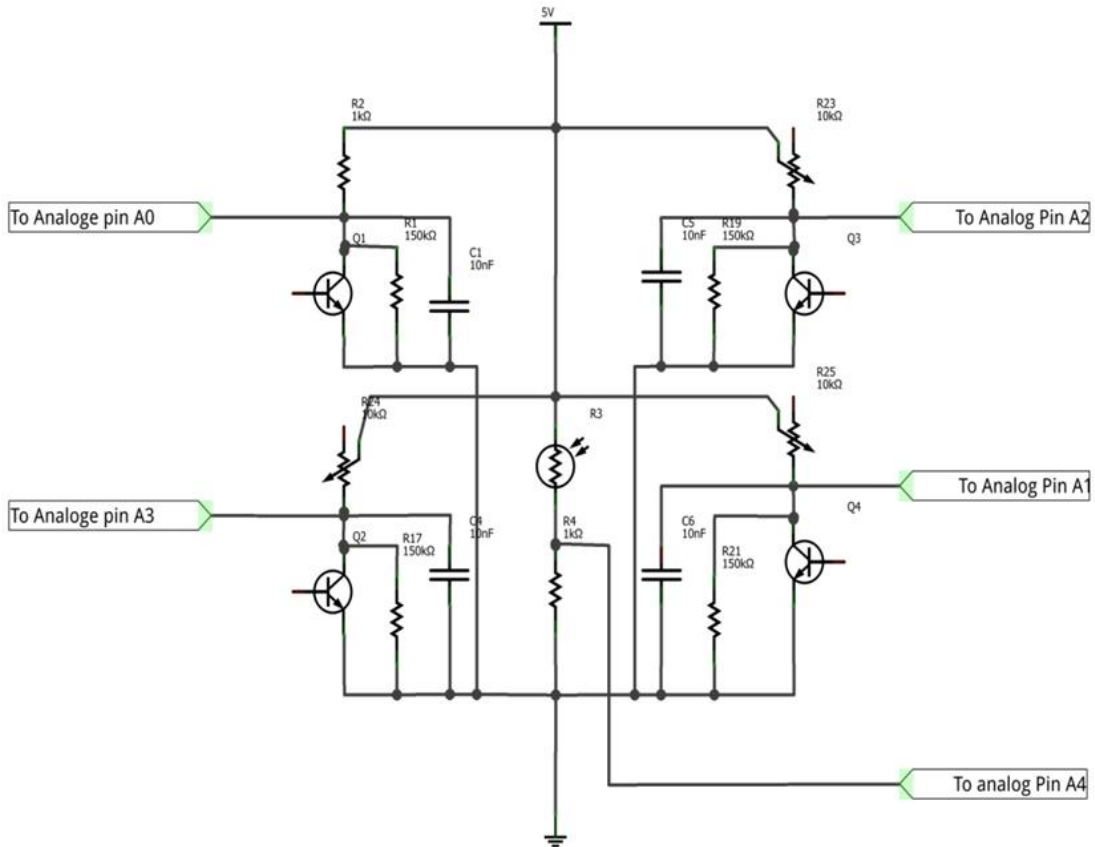
4.16 Ηλεκτρονικά σχέδια συστήματος

Τα τέσσερα σχέδια κατασκευάστηκαν στο πρόγραμμα fritzing και αποτελούν το ηλεκτρονικό κομμάτι της διάταξης και παρουσιάζονται παρακάτω:

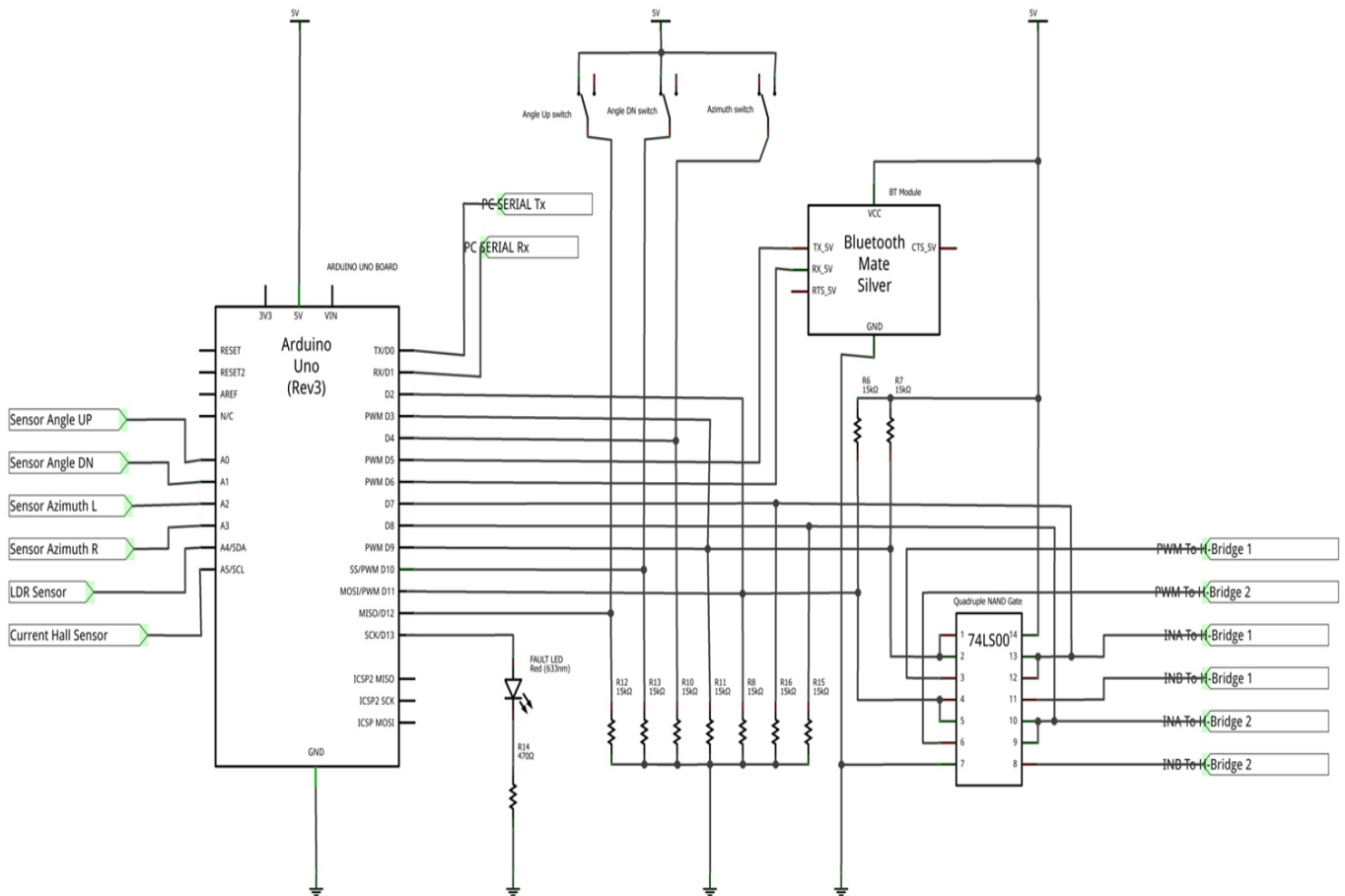
Κύκλωμα παροχής ισχύος



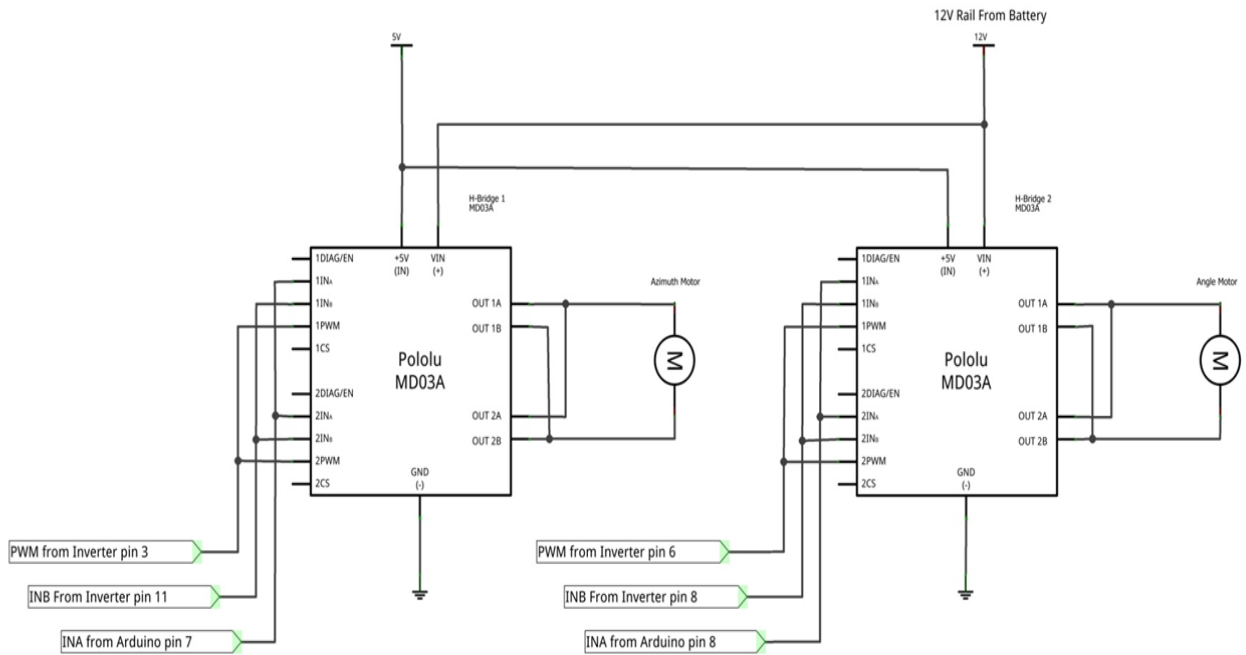
Πλακέτα αισθητήριων



Σύνδεση ελεγκτή, τερματικοί διακόπτες, bluetooth, ολοκληρωμένο 74LS00

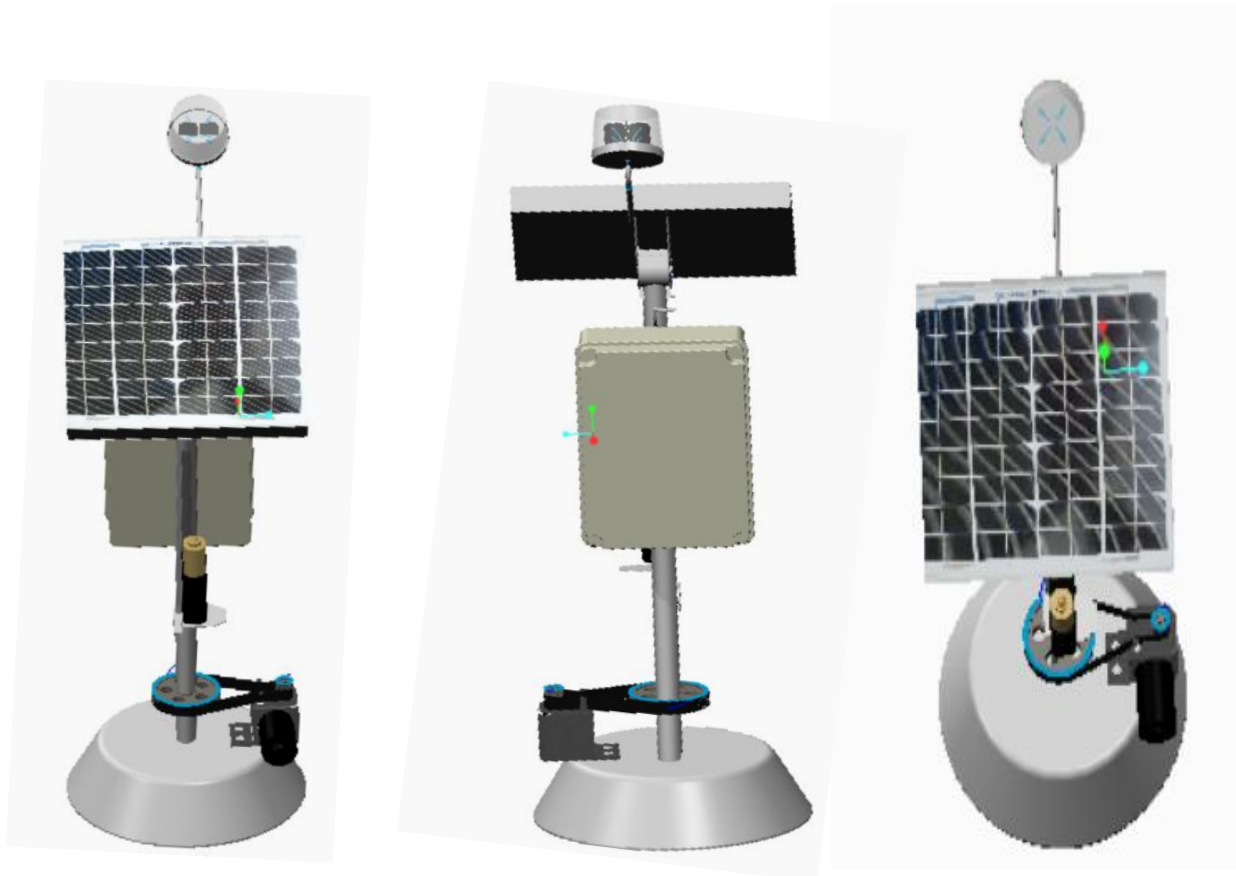


H-bridges

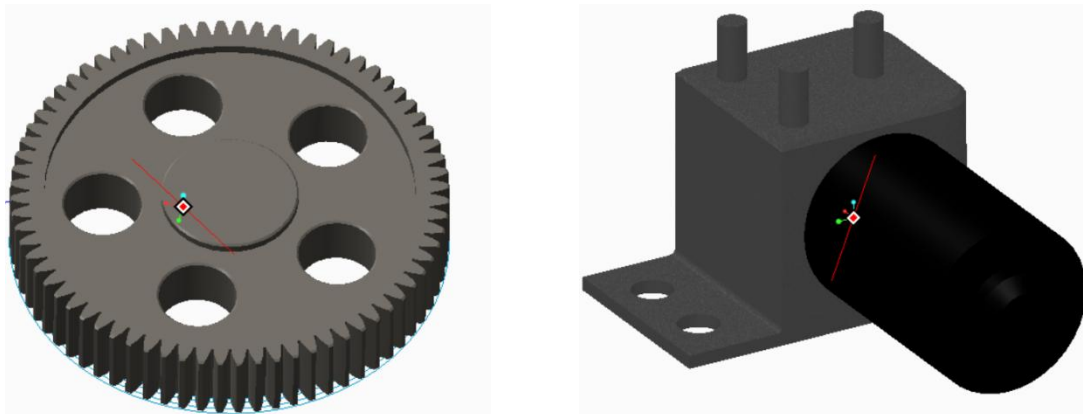


4.17 Σχέδιο κατασκευής

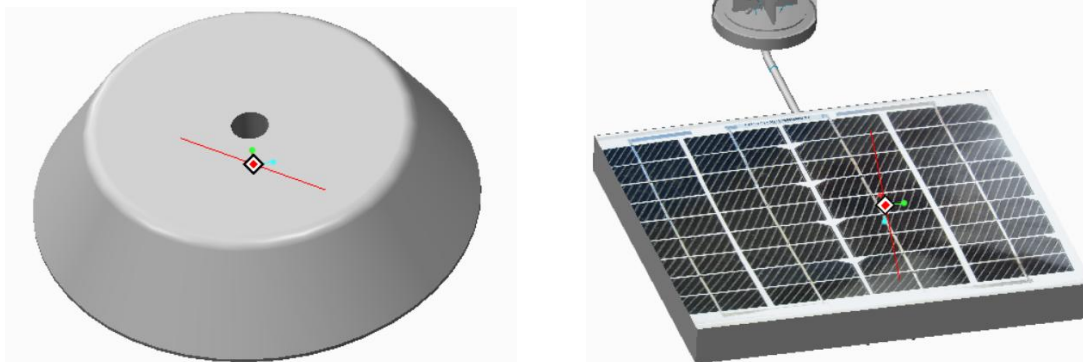
Το σχέδιο της κατασκευής πραγματοποιήθηκε στο Creo Parametric 2.0 στο οποίο και έγινε η προσομοίωση του πραγματικού συστήματος. Παρακάτω παρατίθενται εικόνες από διαφορετικές γωνίες του σχεδίου και των επιμέρους τμημάτων του.



Σχήμα 49. Το ολοκληρωμένο σχέδιο της κατασκευής.

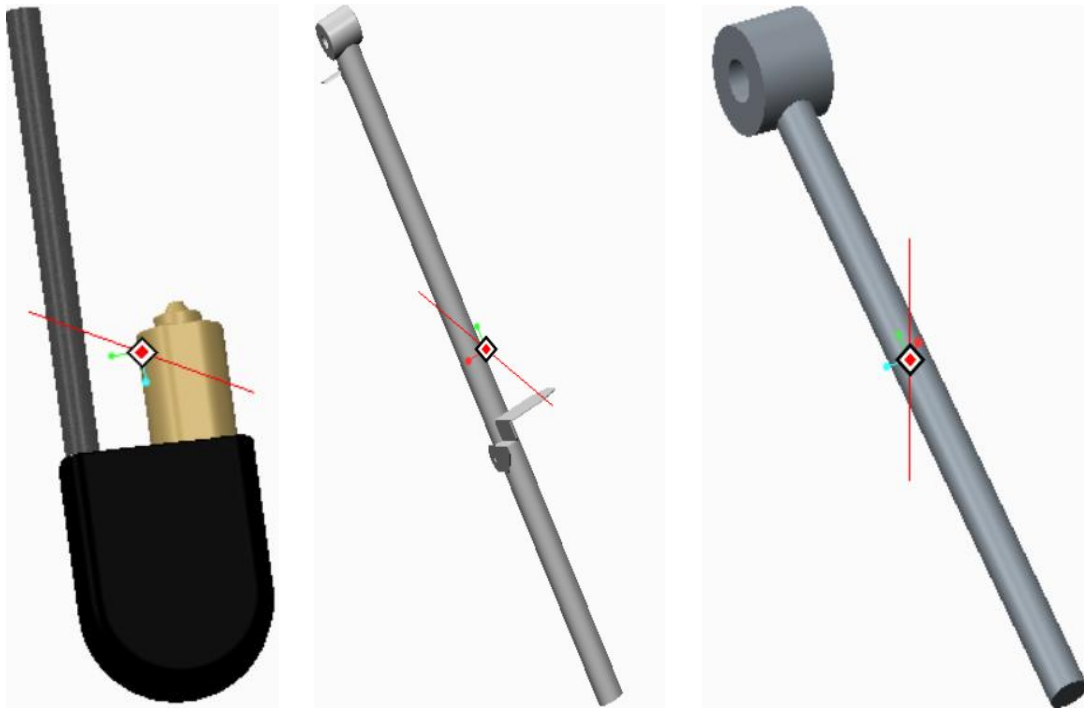


Σχήμα 50. α) Τροχαλία 72 δοντιών β) κινητήρας αξιμούθιου

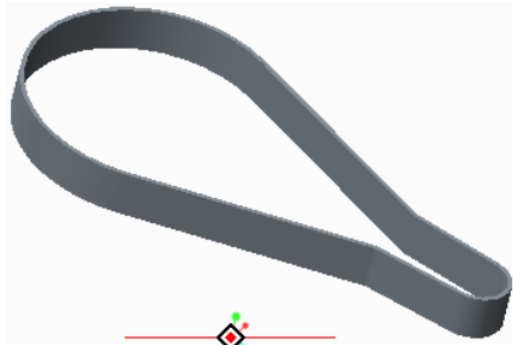


Σχήμα 51. α) Η βάση της κατασκευής β) Φωτοβολταϊκό πλαίσιο και πλακέτα φωτο-αισθητήρων

Σχεδίαση και Κατασκευή Μικρού Φωτοβολταϊκού Ηλιοστάτη (Solar Tracker)



Σχήμα 52. α)Κινητήρας κλίσης β) Περιστρεφόμενος άξονας αζιμούθιου γ) Άξονας ανόδου και καθόδου του κινητήρα κλίσης.



Σχήμα 53. α)Ιμάντας χρονισμού β) Κουτί ελέγχου αυτοματισμών

Κεφάλαιο 5-Τεχνική εύρεσης θέσης ήλιου και πρόγραμμα ελέγχου του συστήματος

5.1 Τεχνική εύρεσης θέσης ήλιου

Η εύρεση θέσης του ήλιου βάση του προγράμματος βασίζεται σε δύο κύρια στάδια α) στον εντοπισμό αρχικά του ήλιου βάση των ενδείξεων των ζευγών των φωτο-τρανζίστορ και β) στην εύρεση μεγαλύτερης ένδειξης φωτεινότητας βάση του κεντρικού αισθητήρα (φωτο-αντίσταση). Η επίτευξη του πρώτου σταδίου αρχικά επιζητούσε χειροκίνητη εστίαση του φωτοβολταϊκού πλαισίου και στην συνέχεια καλιμπράρισμα των φωτο-τρανζίστορ με την βοήθεια των ποτενσιόμετρων στην πλακέτα των αισθητηρίων, ώστε να επιτευχθούν οι καλύτερες δυνατές ενδείξεις των φωτο-τρανζίστορ. Οι ενδείξεις των φωτο-τρανζίστορς λόγω της 10bit ανάλυσης των αναλογικών εισόδων του atmega328 κυμαίνονται από 0-1023. Το εύρος αυτό είναι αρκετά μεγάλο και δημιούργησε προβλήματα στον έλεγχο γι' αυτό και ελαχιστοποιήθηκε η ανάλυση στα 250 [map(0,1023, 0, 250);]. Ο έλεγχος του πρώτου σταδίου επιτυγχάνεται μέσω ανισοτήτων. Όταν δηλαδή οι ενδείξεις των ζευγών των φωτο-αισθητηρίων Βορρά - Νότου, Ανατολής - Δύσης γίνουν ίσες ή αν όχι ίσες με μια μικρή απόκλιση(λόγω γεωμετρίας και προσαρμογής τους πάνω στην πλακέτα) γίνεται παύση της κίνησης των κινητήρων. Παρατηρήθηκε ότι, όσο πιο μικρές τιμές παίρνουν τα φωτο-αισθητήρια που αυτό αντιστοιχίζεται σε μεγάλη φωτεινότητα τόσο πιο μικρές αποκλίσεις έχουν μεταξύ τους ενώ όσο πιο μεγάλες τιμές παίρνουν τα φωτο-αισθητήρια που αυτό αντιστοιχίζεται σε μικρή φωτεινότητα τόσο πιο μεγάλες αποκλίσεις έχουν μεταξύ τους. Με λίγα λόγια τα συγκεκριμένα φωτο-αισθητήρια ανταποκρίνονται καλύτερα στο έντονο φως από τι στο σκοτάδι.

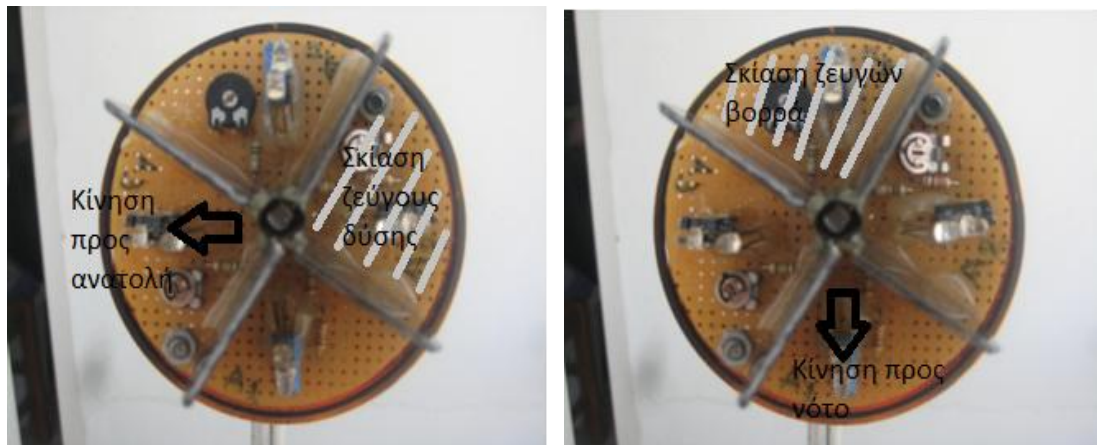
Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίστηκε από το πρόγραμμα βρίσκοντας αρχικά τον μέσο όρο και των 4 ενδείξεων που εξήγαγαν τα φωτο-τρανζίστορ και βάση αυτού προστίθενται μια αποκλίνουσα τιμή (offset) στην ισότητα των ζευγών βορρά-νότου, ανατολής-δύσης η οποία καθορίζεται από τον μέσο όρο όλων των φωτο-τρανζίστορ. Οι τιμές των offset που καταγράφονται στον παρακάτω πίνακα προέκυψαν από συνεχόμενους πειραματισμούς για διάφορες καιρικές συνθήκες.

Μέσος όρος ενδείξεων φωτο-αισθητηρίων	Αποκλίνουσα τιμή (offset)
<35	2
>=35 και <60	6
>=60 και <100	15
>=100 και <150	25
>=150	40

Πίνακας 7. Αντιστοίχιση μέσου όρου ενδείξεων ζευγών φωτο-αισθητηρίων και αποκλίνουσας τιμής.

Το δεύτερο στάδιο ελέγχου, προσπαθεί να βελτιώσει το πρώτο με την βοήθεια του κεντρικού φωτο-αισθητηρίου (φωτο-αντίστασης) με το οποίο βάση του προγράμματος λαμβάνονται και συγκρίνονται τιμές με κάποια καθυστέρηση (70ms) αποκλειστικά και μόνο από αυτό έως ότου εντοπιστεί η μέγιστη τιμή του. Αφού εντοπιστεί η μέγιστη τιμή

του κεντρικού αισθητηρίου το φωτοβολταϊκό πάνελ παραμένει σταθερό μέχρι οι τιμές των φωτο-αισθητηρίων να ξεπεράσουν την τιμή (offset). Οι τιμές που επιλέχθηκαν για τις συγκρίσεις μεταξύ των ζευγών των αισθητηρίων προήλθαν από συνεχόμενους πειραματισμούς σε διάφορες καιρικές συνθήκες. Ο ρόλος του κεντρικού αισθητήρα πέρα από το δεύτερο στάδιο ελέγχου, είναι να οριζοντιώνει το πάνελ σε περίπτωση που η ένδειξη που δείχνει κατέβει μιας προκαθορισμένης τιμής, που προέκυψε ύστερα από έκθεση του πάνελ σε συννεφιασμένο καιρό, περίπτωση διάχυτης ακτινοβολίας. Οι κινήσεις των κινητήρων γίνονται με βάση τις ενδείξεις των φωτο-αισθητηρίων. Συγκεκριμένα, στο πρώτο στάδιο ελέγχου οι κινήσεις των κινητήρων πραγματοποιούνται προς στην κατεύθυνση εκείνη του ζεύγους των φωτο-αισθητηρίων με την μικρότερη ένδειξη. Βάση του προγράμματος πρώτα τίθεται σε λειτουργία ο κινητήρας του αζιμούθιου και μετά ο κινητήρας της κλίσης. Το πρόγραμμα υπολογίζει συνεχώς τον μέσο όρο των ενδείξεων όλων των φωτο-αισθητηρίων και σταματάει τον έλεγχο αυτών, όταν οι ενδείξεις από τα ζεύγη βορρά-νότου και ανατολής-δύσης εξισωθούν ή έχουν τουλάχιστον μικρότερη απόκλιση τιμής (offset) η οποία αναφέρεται στον παραπάνω πίνακα. Τότε το πρόγραμμα εισέρχεται στο δεύτερο στάδιο ελέγχου, όπου συνεχίζεται η φορά της τελευταίας κίνησης που είχε πραγματοποιηθεί, ψάχνοντας τη μέγιστη τιμή που μπορεί να λάβει ο κεντρικός αισθητήρας (φωτο-αντίσταση). Δημιουργείται και ένας μετρητής 30 τιμών. Μετά το πέρας των 30 τιμών αν οι ενδείξεις αυτές δεν έχουν λάβει τη μέγιστη τιμή ξεκινάει νέος κύκλος ελέγχου. Ειδάλλως αν υπάρχει μεγιστοποίηση, τότε σταματάει η εκτελούμενη κίνηση.



Σχήμα 54. Ενδεικτικοί μέθοδοι κίνησης συστήματος βάση των ζευγών με τις φωτεινότερες ενδείξεις.

5.2 Διαδικασία αρχικοποίησης

Για λόγους ευχρηστίας και διευκόλυνσης αλλά και για εκκίνηση εύρεσης του ήλιου από την ανατολή, δημιουργήθηκε ένα σημείο αρχικοποίησης (προσανατολίζεται εξαρχής προς την ανατολή) του συστήματος το οποίο εκτελείται σε δύο στάδια :

1ο) Ο κινητήρας του αζιμούθιου εκτελεί αριστερόστροφη κίνηση έως ότου πατηθεί ο τερματικός διακόπτης του αζιμούθιου.

2ο) Ο κινητήρας της κλίσης κινείται έως ότου πατηθεί ο κάτω τερματικός διακόπτης κλίσης.



Σχήμα 55. Θέση αρχικοποίησης συστήματος.

5.3 Αναγνώριση σφαλμάτων

Το σύστημα σταματάει την κανονική του λειτουργία και βγαίνει σε κατάσταση σφάλματος για έξι διαφορετικούς λόγους:

1. Όταν υπάρχει κίνηση και για τους δύο άξονες για πάνω από 15 δευτερόλεπτα.
2. Όταν το αισθητήριο του ρεύματος ξεπεράσει την τιμή των 12 Ampere(ανώτατο όριο λειτουργίας των H-bridge).
3. Όταν δεν υπάρχει καμία κίνηση στους δύο άξονες και το ρεύμα του αισθητηρίου ξεπεράσει το 1 Ampere.
4. Όταν δεν γίνεται αρχικοποίηση.
5. Η κίνηση του αζιμουθίου είναι λανθασμένη (ξεπεράσει τις 270°).
6. Όταν ο χρήστης δεν εισάγει την ώρα με προκαθορισμένο τρόπο.

Για κάθε μία από αυτές τις περιπτώσεις ανάβει αυτόματα το λαμπάκι που βρίσκεται στην πλακέτα του arduino, η ένδειξη fault στο GUI γίνεται κόκκινη και το φωτοβολταϊκό πάνελ μένει ακίνητο έως ότου ο χρήστης πιέσει το κουμπί reset από το shield του arduino.

5.4 Graphic User Interface

Δημιουργήθηκε σε γλώσσα προγραμματισμού Delphi ένα GUI (graphic user interface) το οποίο δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να ορίζει και να ελέγχει καθορισμένες παραμέτρους του συστήματος μέσω του bluetooth. Η επικοινωνία μεταξύ του bluetooth και του προγράμματος (GUI) επιτυγχάνεται με την βοήθεια του προγράμματος Real Term. Το Real Term είναι ένα τερματικό πρόγραμμα το οποίο επιτρέπει την ασύρματη λήψη και αποστολή δεδομένων. Στο περιβάλλον που αναπτύχθηκε ο χρήσης μπορεί :

- ✓ Να θέτει το σύστημα σε αυτόματη λειτουργία (εύρεση θέσης του ήλιου αυτόματα).
- ✓ Να θέτει το σύστημα σε χειροκίνητη λειτουργία (χειροκίνητη ελεύθερη κίνηση του πάνελ από τον χρήστη).
- ✓ Να αρχικοποιήσει το σύστημα.
- ✓ Να ορίσει την ώρα.
- ✓ Να σταθεροποιήσει το φωτοβολταϊκό στην στατική θέση των 35° με κατεύθυνση προς τον Νότο.

Ο χρήστης ανά πάσα στιγμή (real time) έχει την δυνατότητα να βλέπει :

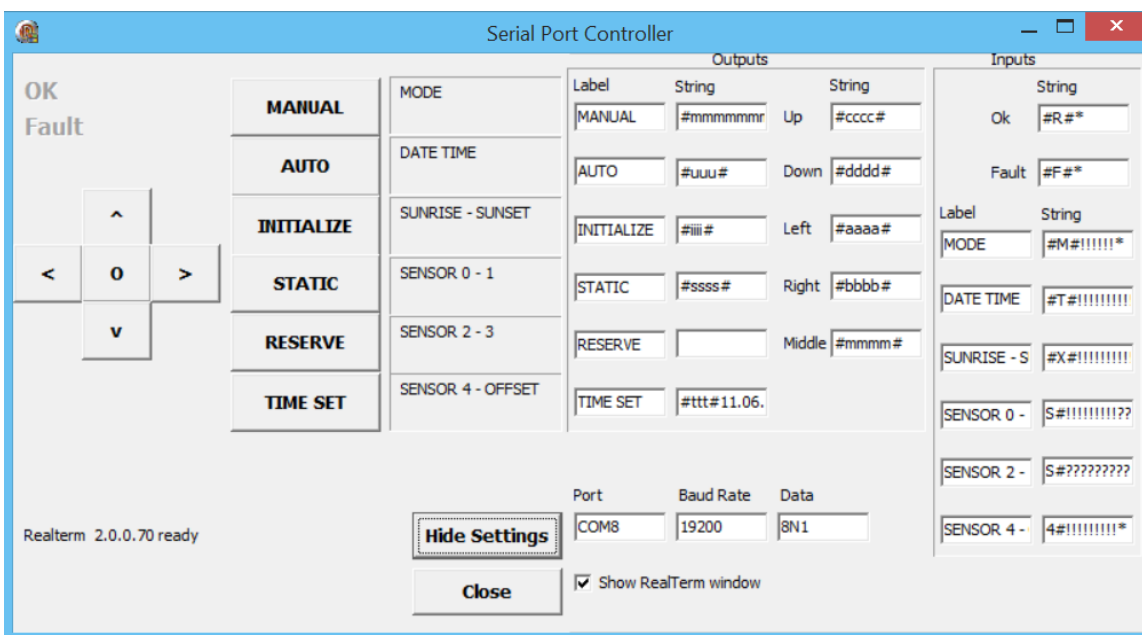
- Την κατάσταση λειτουργίας (χειροκίνητη-αυτόματη)
- Την ημερομηνία και ώρα την οποία όρισε.
- Την ώρα της ανατολής και δύσης του ήλιου για την περιοχή που ορίζεται με συντεταγμένες (για την παρούσα του Ηρακλείου). Η πληροφορία αυτή παρέχεται μέσω της sunrise βιβλιοθήκης.
- Την ένδειξη των αισθητηρίων Βορρά – Νότου.
- Την ένδειξη των αισθητηρίων Ανατολής - Δύσης.
- Την ένδειξη του κεντρικού αισθητήρα και την αντίστοιχη απόκλιση (offset) που ορίζεται βάση της μέσης τιμής των αισθητηρίων.



Σχήμα 56. Το γραφικό περιβάλλον (GUI).

Βάση του προγράμματος, μπορεί να επιλεγεί μια σειρά χαρακτήρων ASCII string που θα αντιπροσωπεύει και την ανάλογη εντολή, για παράδειγμα, εάν ο χρήστης θελήσει να θέσει το σύστημα σε χειροκίνητο mode πατώντας το πλήκτρο MANUAL, η εντολή τύπου string η οποία στέλνεται από το bluetooth στο arduino είναι η #mmm#. Η ταχύτητα επικοινωνίας μεταξύ bluetooth και arduino η οποία έχει επιλεγεί είναι η 19200 (baud rate). Σημαντική λεπτομέρεια για τον χρήστη είναι να εισάγει τον σωστό αριθμό της θύρας που βρίσκεται κάτω από το label Port. Ο αριθμός της θύρας που θα πρέπει να εισάγει ο χρήστης για να υπάρξει η σωστή επικοινωνία της συσκευής του με το bluetooth, βρίσκεται στις ρυθμίσεις bluetooth → θύρες COM και στην συνέχεια επιλέγει την θύρα που έχει την κατεύθυνση εξερχόμενα και όνομα Tracker 'DevB'.

Βασική και απαραίτητη προϋπόθεση για την εκκίνηση της επικοινωνίας bluetooth,arduino - προγράμματος (GUI) αλλά και εν γέννη εκκίνηση της λειτουργίας του solar tracker είναι η εισαγωγή της ώρας από τον χρήστη. Για την εισαγωγή της ώρας ο χρήστης θα πρέπει να δώσει ιδιαίτερη προσοχή και διότι ο τρόπος εισαγωγής της ώρας είναι καθορισμένος. Συγκεκριμένα, ο τρόπος εισαγωγής καθορίστηκε πληκτρολογώντας τα πέντε πρώτα ψηφία θα πρέπει να είναι τα εξής #TTTT#. Στην συνέχεια ορίζεται η ημερομηνία και η ώρα (με την ψηφιακή μέθοδο) με τελείες στα ενδιάμεσα. Το επεκταμένο πρόγραμμα (GUI) απεικονίζεται στο σχήμα (σχ.57) και χωρίζεται σε εισόδους και εξόδους. Οι εξόδοι αποτελούν τους χαρακτήρες τους οποίους στέλνει το πρόγραμμα (GUI) μέσω του RealTerm στο bluetooth-arduino και εκτελούνται οι αντίστοιχες κινήσεις. Οι εισόδοι είναι τα δεδομένα εκείνα τα οποία ανανεώνονται συνεχώς και τυπώνονται στο πρόγραμμα (GUI).



Σχήμα 57. Το επεκταμένο γραφικό περιβάλλον.

#mmm#	Χειροκίνητη λειτουργία
#uuu#	Αυτόματη λειτουργία
#aaa#	Αριστερόστροφη κίνηση
#bbb#	Δεξιόστροφη κίνηση
#ccc#	Κίνηση άνω
#ddd#	Κίνηση κάτω
#iii#	Αρχικοποίηση
#ttt#	Καθορισμός ώρας
#sss#	Σταθεροποίηση συστήματος στις 35° με φορά προς τον νότο

Πίνακας 8. Χαρακτήρες string αποστολής και εκτέλεσης αντίστοιχης λειτουργίας.

5.5 Βιβλιοθήκες sunrise, timedate και softwareserial και η συμβολή τους στον αυτοματισμό του συστήματος

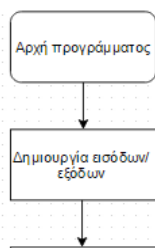
Το περιβάλλον του arduino μπορεί να επεκταθεί με την χρήση των βιβλιοθηκών όπως οι περισσότερες πλατφόρμες προγραμματισμού. Οι βιβλιοθήκες παρέχουν επιπρόσθετες λειτουργίες και εντολές για τον προγραμματιστή, όπως τον χειρισμό δεδομένων και λειτουργιών του hardware του arduino. Λειτουργίες οι οποίες ο χρήστης δεν θα μπορούσε να χρησιμοποιήσει εάν δεν εμπειρείχε συγκεκριμένες βιβλιοθήκες στο πρόγραμμα του και θα έπρεπε να τις γράψει μόνος του με γλώσσα χαμηλότερου επιπέδου (low level programming). Για τις ανάγκες της κατασκευής χρησιμοποιήθηκαν οι εξής βιβλιοθήκες :

- Βιβλιοθήκη timedate: Η χρήση της βιβλιοθήκης timedate δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να διαχειρίζεται την ώρα και δημιουργεί με βάση τον κύκλο ρολογιού (clock cycle) του Arduino, ρολόι πραγματικού χρόνου RTC (real time clock) χωρίς την απαίτηση εξωτερικού ηλεκτρονικού κυκλώματος. Μπορεί βάση εντολών να καλύψει χρονικά διαστήματα από χιλιοστά του δευτερολέπτου έως χρόνια. Το μοναδικό μειονέκτημα της συγκεκριμένης βιβλιοθήκης είναι ότι αν τροποποιηθεί ο χρονισμός του TCCR0 (timer 0), με τον οποίο είναι δεμένη, για οποιονδήποτε λόγο πχ για δημιουργία PWM στο συγκεκριμένο χρονιστή, η πραγματική ώρα δε θα λειτουργήσει σωστά.
- Βιβλιοθήκη sunrise: Η χρήση της βιβλιοθήκης sunrise δίνει την πληροφορία, βάση εντολών, της ώρας δύσης και ανατολής του ήλιου μιας περιοχής παγκοσμίως, δίνοντας της ως δεδομένο το γεωγραφικό μήκος, πλάτος και timezone της επιθυμητής αυτής περιοχής.
- Βιβλιοθήκη softwareserial: Με την χρήση της βιβλιοθήκης softwareserial ο χρήστης έχει την δυνατότητα να αναπτύξει σειριακή επικοινωνία στα ψηφιακά ποδαράκια (pins) του arduino, πέρα των προκαθορισμένων από την αρχιτεκτονική (hardware) 0 και 1 για το arduino Uno.

Με την χρήση των παραπάνω βιβλιοθηκών έγινε εφικτή η παρακάτω σειρά από αυτοματισμούς στο sun tracking σύστημα:

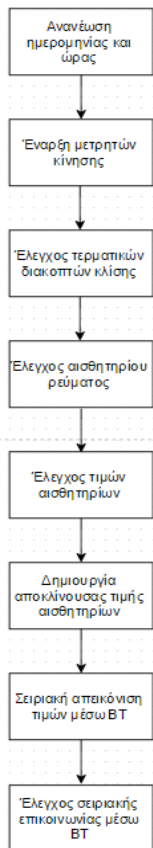
- Σταμάτημα οποιοδήποτε κινήσεων του συστήματος στην ώρα δύσης του ήλιου.
- Την στιγμή που γίνονται μεσάνυχτα το σύστημα κάνει αρχικοποίηση και περιμένει τον ήλιο στην ανατολή για την επόμενη μέρα.
- Βάση των νόμων ελέγχου του συστήματος εάν και εφόσον δεν υπάρξει μεταβολή στις τιμές των φωτο-αισθητήριων ώστε να τεθεί το σύστημα εκ νέου σε λειτουργία, μετά το πέρας 10 λεπτών το σύστημα τίθεται σε λειτουργία αυτόματα με την χρήση μετρητή.
- Όπως προαναφέρθηκε στην πρώτη περίπτωση σφάλματος όταν υπάρχει κίνηση και για τους δύο άξονες για πάνω από 15 δευτερόλεπτα σταματάνε αυτόματα οι κινήσεις και των δύο κινητήρων.

5.6 Διάγραμμα ροής

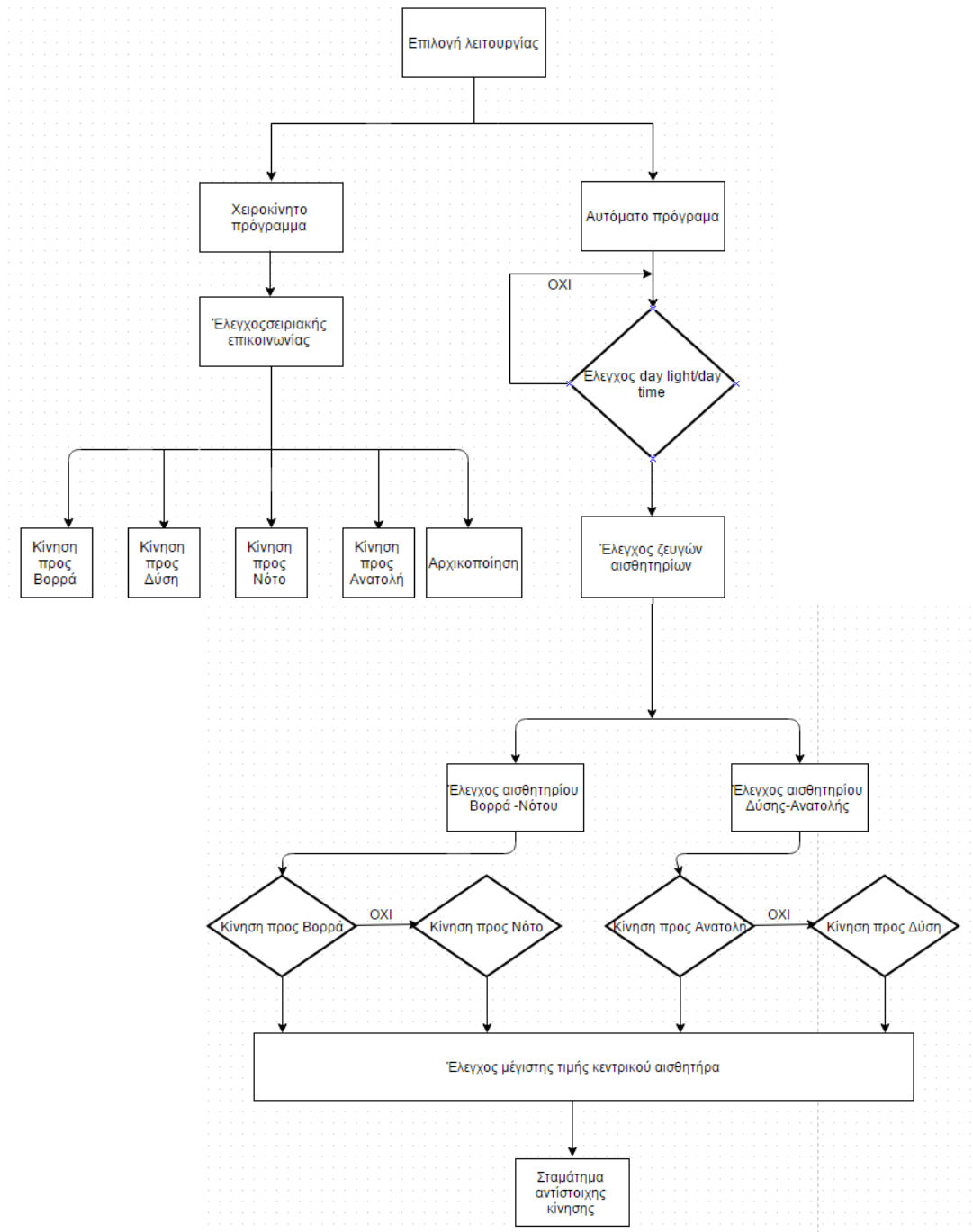


ιστήματα παραγωγής, αυτοματισμού και ρομποτικής>>

Σχεδίαση και Κατασκευή Μικρού Φωτοβολταϊκού Ηλιοστάτη (Solar Tracker)



Σχεδίαση και Κατασκευή Μικρού Φωτοβολταϊκού Ηλιοστάτη (Solar Tracker)



5.7 Συμπεράσματα

Η συγκεκριμένη μεταπτυχιακή εργασία είχε ως στόχο την μελέτη και κατασκευή ενός φωτοβολταϊκού ηλιοστάτη. Τα σημεία λοιπόν στα οποία δόθηκε ιδιαίτερη βαρύτητα ήταν προπαντός η κατασκευή η οποία αποτελούνταν από τις ηλεκτρικές, ηλεκτρονικές και μηχανολογικές διατάξεις καθώς και ο έλεγχος με τον οποίο επιτυγχάνεται η εύρεση θέσης του ήλιου. Επιπλέον, δόθηκε βαρύτητα στην δημιουργία ενός γραφικού περιβάλλοντος με το οποίο θα επιτυγχάνεται ο απομακρυσμένος έλεγχος του καθώς και η εξακρίβωση σφαλμάτων. Κάτι το οποίο προτείνεται και δεν επιτεύχθηκε λόγω περιορισμένου χρόνου είναι η καταγραφή μετρήσεων σε στατική λειτουργία (κλίση 35° με φορά προς τον νότο) και σε αυτόματη λειτουργία ώστε να γίνει μια ολοκληρωμένη μελέτη για την αποδοτικότητα του συστήματος.

5.8 Βιβλιογραφία

- [1] Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία, Κ. Καγκαράκη.
- [2] Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές, Μ.Π.Παπαδόπουλος.
- [3]Markvart Tomas, «Practical handbook of photovoltaics: Fundamentals and applications», 2003.
- [4] Hughes, R.O. Effects of tracking errors on the performance of point focusing solar collectors. Sol. Energ. 1980, 24, 83-92.
- [5] Badescu, V. Theoretical derivation of heliostat tracking error distribution. Sol. Energ. 2008, 82,1192-1197.
- [6] Agarwal, A.K. Two axis tracking system for solar concentrators. Renew. Energ. 1992, 2, 181-182.Sensors 2009, 9 3889.
- [7] Enslin, J.H.R. Maximum power point tracking: a cost saving necessity in solar systems. Renew. Energ. 1992, 2, 543-549.
- [8] Kalogirou, S.A. Design and construction of a one-axis sun-tracking system. Sol. Energ. 1996, 57, 465-469.
- [9] Roth, P.; Georgieg, A.; Boudinov, H. Design and construction of a system for suntracking, Renew. Energ. 2004, 29, 393-402.
- [10] Berenguel, M.; Rubio, F.R.; Valverde, A.; Lara, P.J.; Arahall, M.R.; Camacho, E.F.; López, M. An artificial vision-based control system for automatic heliostat positioning offset correction in a central receiver solar power plant. Sol. Energ. 2004, 76, 563-575.
- [11] Δρ. Βολογιαννίδης Σταύρος (2009). Ευφυής Έλεγχος, Θεωρία και Εφαρμογής.
- [12] Banzi, M. (2009). Getting Started with Arduino. O'Reilly.

«Η ολοκλήρωση της μεταπτυχιακής εργασίας συγχρηματοδοτήθηκε μέσω του Έργου «Υποτροφίες ΙΚΥ» από πόρους του ΕΠ «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση», του Ευρωπαϊκού Κοινωνικού Ταμείου (ΕΚΤ) του ΕΣΠΑ, 2007–2013

Παράρτημα Κώδικα Arduino

```
#include <Time.h>
#include <Sunrise.h>
#include <SoftwareSerial.h>

//-----LIBRARIES END HERE-----//

const int azimuthdir = 8;
const int azimuthpwm = 9;
const int angledir = 7;
const int anglepwm = 11;
const int fault = 13;
const int azimuthswitch = 4;
const int angleDNswitch = 10;
const int angleUPswitch = 12;
const int currentsensor = A5;
volatile long int coutazimuth = 0;
volatile long int coutangleUP = 0;
volatile long int coutangleDN = 0;
volatile int riseh;
volatile int risem;
volatile int seth;
volatile int setm;
volatile int AllOk = 0;
volatile int resolution = 0;
volatile int offsetvalue = 0;
long int sensorValue[5] = {0, 0, 0, 0, 0};
unsigned long a = 0;
unsigned long b = 0;
unsigned long c = 0;
unsigned long d = 0;
unsigned long x = 0;
unsigned long y = 0;
int mapValue[4] = {0, 0, 0, 0};
int valueNow[7] = {0, 0, 0, 0, 0, 0, 0};
int refresh = 0;
int da, mo, t, ha, ya, mi = 0;
boolean movementazimuthL = false;
boolean movementazimuthR = false;
boolean movementangleUP = false;
boolean movementangleDN = false;
boolean toggleangle = false;
boolean toggleazimuth = false;
boolean manual = false;
char command[5] = {0, 0, 0, 0, 0};

SoftwareSerial BTSerial(6, 5); // RX, TX
Sunrise mySunrise(40.28, 22.50, 2); //katerini
//Sunrise mySunrise(35.34, 25.14, 2); //Hrakleio

//-----GLOBALS END HERE-----//

void setup() {
  pinMode(anglepwm, OUTPUT);
  digitalWrite(anglepwm, HIGH);
  pinMode(azimuthpwm, OUTPUT);
  digitalWrite(azimuthpwm, HIGH);
  pinMode(angledir, OUTPUT);
  pinMode(azimuthdir, OUTPUT);
  pinMode(fault, OUTPUT);
  pinMode(azimuthswitch, INPUT);
  pinMode(angleDNswitch, INPUT);
  pinMode(angleUPswitch, INPUT);
  pinMode(A0, INPUT);
  pinMode(A1, INPUT);
  pinMode(A2, INPUT);
  pinMode(A3, INPUT);
  pinMode(A4, INPUT);
  pinMode(A5, INPUT);
  digitalWrite(angledir, LOW);
  digitalWrite(azimuthdir, LOW);
}
```


Σχεδίαση και Κατασκευή Μικρού Φωτοβολταϊκού Ηλιοστάτη (Solar Tracker)

```
digitalWrite(fault, LOW);
TCCR1B = TCCR1B & 0b11111000 | 0x05;
TCCR2B = TCCR2B & 0b11111000 | 0x07;
delay(500);
Serial.begin(9600);
BTSerial.begin(19200);
delay(500);
attachInterrupt(0, counterazimuth, FALLING);
attachInterrupt(1, counterangle, FALLING);
while (!BTSerial);
initialize(3);
//setTime(8, 16, 20, 10, 06, 2015);
if (timeStatus() == timeNotSet) Serialprint(6);
initialize(2);
// initialize(0);
manual = true;
refresh = now() / 60;
Serialprint(3);
Serialprint(4);
BTSerial.println("#R#");
}

//-----SETUP ENDS HERE-----//

void counterazimuth() {
  if (movementazimuthR) coutazimuth ++;
  else if (movementazimuthL) coutazimuth --;
}

void counterangle() {
  if (movementangleUP) coutangleUP ++;
  else if (movementangleDN) coutangleUP --;
}

//-----ISR END HERE-----//

void loop() {
  int analogInPin = 0;

  if ((hour() == 0) && (minute() == 0) && (second() == 10)) {
    delay(1000);
    initialize(0);
    initialize(2);
    Serialprint(3);
    Serialprint(4);
  }
  if (refresh != now() / 60) {
    Serialprint(3);
    Serialprint(4);
    refresh = now() / 60;
  }
  if (movementazimuthL || movementazimuthR) {
    b = millis();
    Serialprint(2);
  }
  if (movementangleUP || movementangleDN) {
    d = millis();
    Serialprint(2);
  }

  if ((digitalRead(angleUPswitch) == LOW) && movementangleUP) moveangle(0, 1);
  if ((digitalRead(angleDNswitch) == LOW) && movementangleDN) moveangle(0, 0);

  int meanValue = 0;
  resolution = 250;

  for (analogInPin = 0; analogInPin < 4; analogInPin++) {
    sensorValue[analogInPin] = analogRead(analogInPin);
    mapValue[analogInPin] = map(sensorValue[analogInPin], 20, 1023, 0, resolution);
    meanValue = mapValue[analogInPin] + meanValue;
    if (valueNow[analogInPin] != mapValue[analogInPin]) {
      valueNow[analogInPin] = mapValue[analogInPin];
      Serialprint(1);
    }
  }
}
```

Σχεδίαση και Κατασκευή Μικρού Φωτοβολταϊκού Ηλιοστάτη (Solar Tracker)

```
}
meanValue = (meanValue / 4);
Serial.println(meanValue);

sensorValue[4] = analogRead(A4);
if (valueNow[4] != sensorValue[4]) {
  Serialprint(0);
  valueNow[4] = sensorValue[4];
}

if (meanValue < 35) offsetvalue = 2;
if ((meanValue >= 35) && (meanValue < 60)) offsetvalue = 6;
if ((meanValue >= 60) && (meanValue < 100)) offsetvalue = 15;
if ((meanValue >= 100) && (meanValue < 150)) offsetvalue = 25;
if (meanValue >= 150) offsetvalue = 40;

if (valueNow[5] != offsetvalue) {
  Serialprint(5);
  valueNow[5] = offsetvalue;
}

if (BTSerial.available()) {
  BTSerial.readBytes(command, 4);
  char k1 = command[2];
  char k2 = command[3];
  if (k1 == k2) SerialCom(command[2]);
  //else SerialCom('m');
  for (int j = 0; j < 5; j++) command[j] = ' ';
}

if (AllOk == 0) {
  if (!manual) {

    if (((riseh * 100) + risem) <= ((hour() * 100) + minute())) && ((seth * 100) + setm + 30) > ((hour() * 100) + minute())) {
      if ((sensorValue[4] >= 500)) {
        if (movementazimuthR || movementazimuthL) {
          if (abs(mapValue[2] - mapValue[3]) <= offsetvalue) { //if (mapValue[2] == mapValue[3])
            if (movementangleUP || movementangleDN) moveangle(0, 1);
            int reg1 = 0;
            int reg2 = 0;
            int count = 0;
            int flag = -1;
            if (movementazimuthL) flag = 0;
            else if (movementazimuthR) flag = 1;
            while ((reg1 <= reg2) && (count <= 50)) { //&& (analogRead(A4) >= 600)
              moveazimuth(0, 0, 0);
              reg1 = analogRead(A4);
              delay(70);
              if (flag == 0) moveazimuth(1, 1, 0);
              else if (flag == 1) moveazimuth(1, 0, 0);
              reg2 = analogRead(A4);
              delay(90);
              count ++;
            }
            moveazimuth(0, 1, 0);
            toggleazimuth = true;
          }
        }
        //int p = 0;
        if (!movementazimuthR && !movementazimuthL) {
          int offsetazimuth = abs(mapValue[2] - mapValue[3]);
          if (offsetazimuth > offsetvalue) toggleazimuth = false;
        }

        if (!toggleazimuth) { //|| (abs(mapValue[2] - mapValue[3]) > offsetvalue + 2)
          if ((mapValue[2] < mapValue[3]) && !movementazimuthL) a = moveazimuth(1, 1, 0);
          if ((mapValue[2] > mapValue[3]) && !movementazimuthR) a = moveazimuth(1, 0, 0);
        }

        if (movementangleUP || movementangleDN) {
          if (abs(mapValue[0] - mapValue[1]) <= offsetvalue) { //if (mapValue[0] == mapValue[1])
            if (movementazimuthR || movementazimuthL) moveazimuth(0, 1, 0);
            int reg3 = 0;
            int reg4 = 0;
          }
        }
      }
    }
  }
}
```

Σχεδίαση και Κατασκευή Μικρού Φωτοβολταϊκού Ηλιοστάτη (Solar Tracker)

```
int count = 0;
int flag = -1;
if (movementangleUP) flag = 0;
else if (movementangleDN) flag = 1;
while ((reg3 <= reg4) && (count <= 20)) { //&& (analogRead(A4) >= 600)
  moveangle(0, 0);
  reg3 = analogRead(A4);
  delay(70);
  if (flag == 0) moveangle(1, 1);
  else if (flag == 1) moveangle(1, 0);
  reg4 = analogRead(A4);
  delay(70);
  count ++;
}
moveangle(0, 1);
toggleangle = true;
}
}

if (!movementangleUP && !movementangleDN) {
  int offsetangle = abs(mapValue[0] - mapValue[1]);
  if (offsetangle > offsetvalue) toggleangle = false;
}

if (!toggleangle) { //|| (abs(mapValue[0] - mapValue[1]) > ((offsetvalue / 2) + 2))
  if ((mapValue[0] < mapValue[1]) && !movementangleUP && (digitalRead(angleUPswitch) == HIGH)) c = moveangle(1, 1);
  if ((mapValue[0] > mapValue[1]) && !movementangleDN && (digitalRead(angleDNswitch) == HIGH)) c = moveangle(1, 0);
}
}

else if ((sensorValue[4] < 500) && (digitalRead(angleUPswitch) == HIGH) && !movementangleUP && !movementangleDN) {
  c = moveangle(1, 1);
  moveazimuth(0, 0, 0);
}

if (!toggleangle || !toggleazimuth) x = millis();
if (toggleangle && toggleazimuth) y = millis();
if (y >= x + 300000) {
  toggleangle = false;
  toggleazimuth = false;
}
}
}

else if (AllOk > 0) {
  moveangle(0, 0);
  moveazimuth(0, 0, 0);
  faults(AllOk);
}

if ((b > a + 15000) || (d > c + 15000)) {
  a = b;
  c = d;
  AllOk = 1;
}

if (coutazimuth > 500) {
  coutazimuth = 499;
  AllOk = 2;
}

if (!movementazimuthR && !movementazimuthL && !movementangleUP && !movementangleDN && (currentsense() > 1)) AllOk = 3;
if (currentsense() > 12) AllOk = 4;
}

//-----LOOP ENDS HERE-----//

void SerialCom(char k) {

  Serial.println(command[1]);

  if (k == 'u') manual = false;
  else if (k == 'm') {
    moveangle(0, 0);
    moveazimuth(0, 0, 0);
    toggleangle = false;
    toggleazimuth = false;
  }
}
```

Σχεδίαση και Κατασκευή Μικρού Φωτοβολταϊκού Ηλιοστάτη (Solar Tracker)

```
    manual = true;
    AllOk = 0;
    a = 0;
    b = 0;
    c = 0;
    d = 0;
    digitalWrite(fault, LOW);
    BTSerial.print("#R#");
}
if (AllOk == 0) {
if (manual) {
switch (k) {
case 'a':
    if (!movementangleUP && !movementangleDN) {
        if (!movementazimuthL && !movementazimuthR) a = moveazimuth(1, 1, 0);
        else if (movementazimuthL || movementazimuthR) moveazimuth(0, 1, 0);
    }
    break;
case 'b':
    if (!movementangleUP && !movementangleDN) {
        if (!movementazimuthL && !movementazimuthR) a = moveazimuth(1, 0, 0);
        else if (movementazimuthR || movementazimuthL) moveazimuth(0, 1, 0);
    }
    break;
case 'c':
    if (!movementazimuthR && !movementazimuthL) {
        if (!movementangleUP && !movementangleDN) c = moveangle(1, 1);
        else if (movementangleUP) moveangle(0, 1);
    }
    break;
case 'd':
    if (!movementazimuthL && !movementazimuthR) {
        if (!movementangleUP && !movementangleDN) c = moveangle(1, 0);
        else if (movementangleDN) moveangle(0, 1);
    }
    break;
case 'i':
    initialize(0);
    break;
case 'T':
    initialize(3);
    initialize(2);
    break;
case 's':
    initialize(0);
    moveazimuth(1, 0, 1);
    while (coutazimuth < 146);
    moveazimuth(0, 0, 0);
    moveangle(1, 1);
    while (coutangleUP < 100);
    moveangle(0, 0);
    break;
}
BTSerial.flush();
//command[1] = ' ';
}
}
else return;
}
```

```
unsigned long moveazimuth(int k, int v, int z) {
switch (k) {
case 0:
    digitalWrite(azimuthpwm, HIGH);
    movementazimuthR = false;
    movementazimuthL = false;
    return millis();
    break;
case 1:
    if (v == 1) { //-----<ARISTERI KINISIS
        digitalWrite(azimuthpwm, HIGH);
        delay(50);
        digitalWrite (azimuthdir, HIGH);
```

Σχεδίαση και Κατασκευή Μικρού Φωτοβολταϊκού Ηλιοστάτη (Solar Tracker)

```
    if (z == 0) analogWrite(azimuthpwm, 110);
    else if (z == 1) analogWrite(azimuthpwm, 80);
    movementazimuthL = true;
    movementazimuthR = false;
}
if (v == 0) { //-----<DEKSIA KINISIS
digitalWrite(azimuthpwm, HIGH);
delay(50);
digitalWrite(azimuthdir, LOW);
analogWrite(azimuthpwm, 110);
movementazimuthR = true;
movementazimuthL = false;
}
return millis();
break;
}
}

//-----MOVEAZIMUTH() ENDS HERE-----//

unsigned long moveangle(int k, int v) {
switch (k) {
case 0:
digitalWrite(anglepwm, HIGH);
movementangleUP = false;
movementangleDN = false;
return millis();
break;
case 1:
if (v == 1) { //-----<ANAVASIS
if (digitalRead(angleUPswitch) == HIGH) {
digitalWrite (anglepwm, HIGH);
delay(50);
digitalWrite (angledir, LOW);
analogWrite(anglepwm, 195);
movementangleUP = true;
movementangleDN = false;
}
else if (digitalRead(angleUPswitch) == LOW) {
digitalWrite (anglepwm, HIGH);
movementangleUP = false;
}
}
else if (v == 0) { //-----<KATAVASIS
if (digitalRead(angleDNswitch) == HIGH) {
digitalWrite (anglepwm, HIGH);
delay(50);
digitalWrite(angledir, HIGH);
analogWrite(anglepwm, 205);
movementangleDN = true;
movementangleUP = false;
}
else if (digitalRead(angleDNswitch) == LOW) {
digitalWrite (anglepwm, HIGH);
movementangleDN = false;
}
}
}
return millis();
break;
}
}

//-----MOVEANGLE() ENDS HERE-----//

void initialize(int v) {
unsigned long m = 0;
unsigned long n = millis();

switch (v) {
case 0:
moveazimuth(1, 1, 1);
while ((digitalRead(azimuthswitch) == LOW) && (m < n + 13000)) {
m = millis();
digitalRead(azimuthswitch);
}
}
}
```

Σχεδίαση και Κατασκευή Μικρού Φωτοβολταϊκού Ηλιοστάτη (Solar Tracker)

```
}
moveazimuth(0, 1, 0);
n = millis();
moveangle(1, 0);
while ((digitalRead(angleDNswitch) == HIGH) && (m < n + 13000)) {
  m = millis();
  digitalRead(angleDNswitch);
}
moveangle(0, 0);
if ((digitalRead(azimuthswitch) == HIGH) && digitalRead(angleDNswitch) == LOW) {
  coutazimuth = 0;
  coutangleUP = 0;
  coutangleDN = 0;
  AllOk = 0;
}
else AllOk = 5;
Serialprint(1);
break;
case 1:
return;
BTSerial.flush();
BTSerial.println("PLEASE SET THE DATE & TIME");
do {
  BTSerial.println("GIVE DATE (01 - 31):");
  int d = choose(2);
  BTSerial.println(d);
  BTSerial.println("GIVE MONTH (01 - 12):");
  int mo = choose(2);
  BTSerial.println(mo);
  BTSerial.println("GIVE YEAR xxxx:");
  int y = choose(4);
  BTSerial.println(y);
  BTSerial.println("GIVE HOUR (00 - 23):");
  int h = choose(2);
  BTSerial.println(h);
  BTSerial.println("GIVE MINUTE (00 - 59):");
  int mi = choose(2);
  BTSerial.println(mi);
  if (d > 0 && mo > 0 && y > 2014 && h > 0 && mi > 0) setTime(h, mi, 20, d, mo, y);
} while (timeStatus() == timeNotSet);
break;
case 2:
da = day();
mo = month();
mySunrise.Civil();
t = mySunrise.Rise(mo, d); // (month,day)
riseh = mySunrise.Hour();
risem = mySunrise.Minute();
t = mySunrise.Set(mo, d);
seth = mySunrise.Hour();
setm = mySunrise.Minute();
AllOk = 0;
if (timeStatus() == timeNotSet) AllOk = 6;
break;
case 3:
while (BTSerial.available() == 0);
da = BTSerial.parseInt();
mo = BTSerial.parseInt();
ya = BTSerial.parseInt();
ha = BTSerial.parseInt();
mi = BTSerial.parseInt();
if (da > 0 && mo > 0 && ya > 2014 && ha > 0 && mi > 0) setTime(ha, mi, 20, da, mo, ya);
Serial.print(day());
Serial.print("/");
Serial.print(month());
Serial.print("/");
Serial.print(year());
Serial.print(" ");
Serial.print(hour());
Serial.print(":");
Serial.print(minute());
BTSerial.flush();
break;
}
}
```

Σχεδίαση και Κατασκευή Μικρού Φωτοβολταϊκού Ηλιοστάτη (Solar Tracker)

```
//-----INITIALIZE() ENDS HERE-----//

float currentsense() {
  int i = analogRead(currentsensor);
  float f = ((0.049 * i) - 24.99);
  if (f > 16) AllOk = 4;
  return f;
}

//-----CURRENTSENSE() ENDS HERE-----//

unsigned int choose(int v) {
  unsigned int num2 = 0;
  int multiplier = 1;
  char o[v];
  for (int f = 1; f <= (v - 1); f++) multiplier = multiplier * 10;
  for (int f = 0; f <= (v - 1); f++) {
    while (BTSerial.available() == 0);
    o[f] = BTSerial.read();
    int num1 = o[f] - '0';
    num1 = num1 * multiplier;
    multiplier = multiplier / 10;
    num2 = num1 + num2;
    BTSerial.flush();
  }
  return num2;
}

//-----CHOOSE() ENDS HERE-----//

void faults(int f) {
  digitalWrite(fault, HIGH);
  BTSerial.println("#F#");
  switch (f) {
    case 1:
      BTSerial.println("movement time out");
      break;
    case 2:
      BTSerial.println("Azimuth movement is Wrong");
      break;
    case 3:
      BTSerial.println("Current leakage");
      break;
    case 4:
      BTSerial.println("DANGER OVERCURRENT");
      break;
    case 5:
      BTSerial.println("NOT INITIALIZED");
      break;
    case 6:
      BTSerial.println("ERROR TIMING Press RESET Button");
      break;
  }
  AllOk = -1;
}

//-----FAULTS() ENDS HERE-----//

void Serialprint(int z) {
  switch (z) {
    case 0:
      BTSerial.print("4#");
      if (sensorValue[4] < 1000) BTSerial.print(0);
      //if ((sensorValue[4] > 99) && sensorValue[4] <= 100) BTSerial.print("00");
      BTSerial.print(sensorValue[4]);
      BTSerial.print("#");
      break;
    case 1:
      BTSerial.print("S#");
      if (mapValue[0] < 100) BTSerial.print(0);
      BTSerial.print(mapValue[0]);
      BTSerial.print(" - ");
      if (mapValue[1] < 100) BTSerial.print(0);
```

Σχεδίαση και Κατασκευή Μικρού Φωτοβολταϊκού Ηλιοστάτη (Solar Tracker)

```
BTSerial.print(mapValue[1]);
BTSerial.print(" ");
if (mapValue[2] < 100) BTSerial.print(0);
BTSerial.print(mapValue[2]);
BTSerial.print(" - ");
if (mapValue[3] < 100) BTSerial.print(0);
BTSerial.print(mapValue[3]);
BTSerial.print("*");
break;
case 2:
Serial.print("5 = ");
Serial.print(coutazimuth);
Serial.print(" / ");
Serial.print("6 = ");
Serial.println(coutangleUP);
break;
case 3:
BTSerial.print("#T#");
if (day() < 10) BTSerial.print(0);
BTSerial.print(day());
BTSerial.print("/");
if (month() < 10) BTSerial.print(0);
BTSerial.print(month());
BTSerial.print("/");
BTSerial.print(year());
BTSerial.print(" ");
if (hour() < 10) BTSerial.print(0);
BTSerial.print(hour());
BTSerial.print(":");
if (minute() < 10) BTSerial.print(0);
BTSerial.print(minute());
BTSerial.print("*");
break;
case 4:
BTSerial.print("#X#");
if (riseh < 10) BTSerial.print(0);
BTSerial.print(riseh);
BTSerial.print(".");
if (risem < 10) BTSerial.print(0);
BTSerial.print(risem);
BTSerial.print(" ");
if (seth < 10) BTSerial.print(0);
BTSerial.print(seth);
BTSerial.print(".");
if (setm < 10) BTSerial.print(0);
BTSerial.print(setm);
BTSerial.print("*");
break;
case 5:
BTSerial.print("5#");
//if (resolution == 100) BTSerial.print("LOW ");
if (resolution == 250) BTSerial.print("MEDIUM ");
if (resolution == 400) BTSerial.print("HIGH ");
if (offsetvalue < 10) BTSerial.print(0);
BTSerial.print(offsetvalue);
BTSerial.print("#");
Serial.println(offsetvalue);
break;
case 6:
BTSerial.print("#T#");
BTSerial.print("** Time not set **");
BTSerial.print("*");
break;
}
}
```


Παραρτήματα

Τεχνικά εγχειρίδια

(DATASHEETS)

a)74LS00

b)LM7805

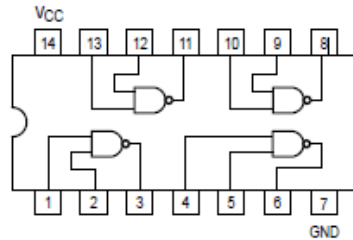
c)ACS712

d)GL55 series photoresistor

a)74LS00

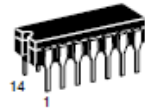
 **MOTOROLA**
QUAD 2-INPUT NAND GATE

- ESD > 3500 Volts



SN54/74LS00

**QUAD 2-INPUT NAND GATE
LOW POWER SCHOTTKY**



**J SUFFIX
CERAMIC
CASE 632-08**



**N SUFFIX
PLASTIC
CASE 646-08**



**D SUFFIX
SOIC
CASE 751A-02**

ORDERING INFORMATION

SN54LSXXJ Ceramic
SN74LSXXN Plastic
SN74LSXXD SOIC

GUARANTEED OPERATING RANGES

Symbol	Parameter		Min	Typ	Max	Unit
V _{CC}	Supply Voltage	54	4.5	5.0	5.5	V
		74	4.75	5.0	5.25	
T _A	Operating Ambient Temperature Range	54	-55	25	125	°C
		74	0	25	70	
I _{OH}	Output Current — High	54, 74			-0.4	mA
I _{OL}	Output Current — Low	54			4.0	mA
		74			8.0	

Σχεδίαση και Κατασκευή Μικρού Φωτοβολταϊκού Ηλιοστάτη (Solar Tracker)

DC CHARACTERISTICS OVER OPERATING TEMPERATURE RANGE (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Limits			Unit	Test Conditions	
		Min	Typ	Max			
V _{IH}	Input HIGH Voltage	2.0			V	Guaranteed Input HIGH Voltage for All Inputs	
V _{IL}	Input LOW Voltage	54		0.7	V	Guaranteed Input LOW Voltage for All Inputs	
		74		0.8			
V _{IK}	Input Clamp Diode Voltage		-0.65	-1.5	V	V _{CC} = MIN, I _{IN} = -18 mA	
V _{OH}	Output HIGH Voltage	54	2.5	3.5	V	V _{CC} = MIN, I _{OH} = MAX, V _{IN} = V _{IH} or V _{IL} per Truth Table	
		74	2.7	3.5	V		
V _{OL}	Output LOW Voltage	54, 74		0.25	0.4	I _{OL} = 4.0 mA	V _{CC} = V _{CC} MIN, V _{IN} = V _{IL} or V _{IH} per Truth Table
		74		0.35	0.5	I _{OL} = 8.0 mA	
I _{IH}	Input HIGH Current			20	μA	V _{CC} = MAX, V _{IN} = 2.7 V	
				0.1	mA	V _{CC} = MAX, V _{IN} = 7.0 V	
I _{IL}	Input LOW Current			-0.4	mA	V _{CC} = MAX, V _{IN} = 0.4 V	
I _{OS}	Short Circuit Current (Note 1)	-20		-100	mA	V _{CC} = MAX	
I _{CC}	Power Supply Current Total, Output HIGH			1.6	mA	V _{CC} = MAX	
				4.4			
	Total, Output LOW						

Note 1: Not more than one output should be shorted at a time, nor for more than 1 second.

AC CHARACTERISTICS (T_A = 25°C)

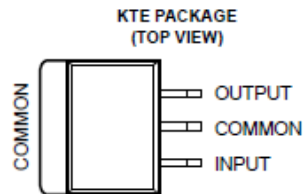
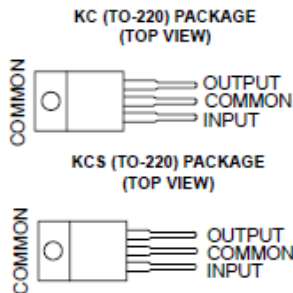
Symbol	Parameter	Limits			Unit	Test Conditions
		Min	Typ	Max		
t _{PLH}	Turn-Off Delay, Input to Output		9.0	15	ns	V _{CC} = 5.0 V C _L = 15 pF
t _{PHL}	Turn-On Delay, Input to Output		10	15	ns	

b)LM7805

μΑ7800 SERIES
POSITIVE-VOLTAGE REGULATORS

SLVS056J – MAY 1976 – REVISED MAY 2003

- 3-Terminal Regulators
- Output Current up to 1.5 A
- Internal Thermal-Overload Protection
- High Power-Dissipation Capability
- Internal Short-Circuit Current Limiting
- Output Transistor Safe-Area Compensation



description/ordering information

This series of fixed-voltage integrated-circuit voltage regulators is designed for a wide range of applications. These applications include on-card regulation for elimination of noise and distribution problems associated with single-point regulation. Each of these regulators can deliver up to 1.5 A of output current. The internal current-limiting and thermal-shutdown features of these regulators essentially make them immune to overload. In addition to use as fixed-voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable output voltages and currents, and also can be used as the power-pass element in precision regulators.

ORDERING INFORMATION

T _J	V _{O(NOM)} (V)	PACKAGE†		ORDERABLE PART NUMBER	TOP-SIDE MARKING
0°C to 125°C	5	POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	μA7805CKTER	μA7805C
		TO-220 (KC)	Tube of 50	μA7805CKC	μA7805C
		TO-220, short shoulder (KCS)	Tube of 20	μA7805CKCS	
	8	POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	μA7808CKTER	μA7808C
		TO-220 (KC)	Tube of 50	μA7808CKC	μA7808C
		TO-220, short shoulder (KCS)	Tube of 20	μA7808CKCS	
	10	POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	μA7810CKTER	μA7810C
		TO-220 (KC)	Tube of 50	μA7810CKC	μA7810C
	12	POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	μA7812CKTER	μA7812C
		TO-220 (KC)	Tube of 50	μA7812CKC	μA7812C
		TO-220, short shoulder (KCS)	Tube of 20	μA7812CKCS	
	15	POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	μA7815CKTER	μA7815C
TO-220 (KC)		Tube of 50	μA7815CKC	μA7815C	
TO-220, short shoulder (KCS)		Tube of 20	μA7815CKCS		
24	POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	μA7824CKTER	μA7824C	
	TO-220 (KC)	Tube of 50	μA7824CKC	μA7824C	

† Package drawings, standard packing quantities, thermal data, symbolization, and PCB design guidelines are available at www.ti.com/sc/package.



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

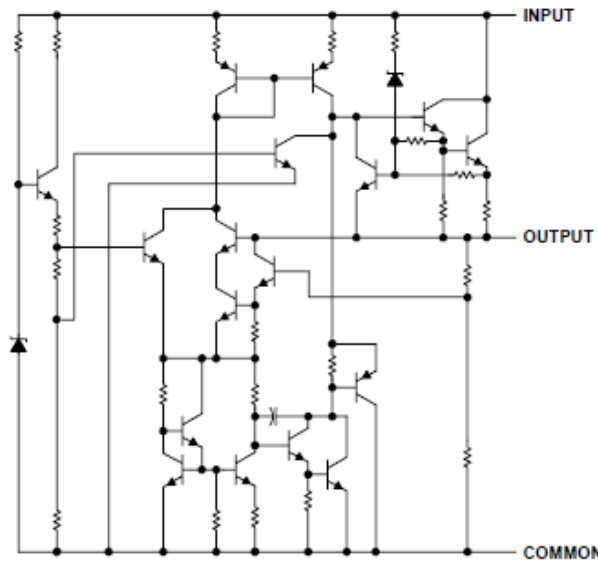
PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

Copyright © 2003, Texas Instruments Incorporated

schematic



absolute maximum ratings over virtual junction temperature range (unless otherwise noted)†

Input voltage, V_i : $\mu A7824C$	40 V
All others	35 V
Operating virtual junction temperature, T_J	150°C
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds	260°C
Storage temperature range, T_{stg}	-65°C to 150°C

† Stresses beyond those listed under "absolute maximum ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under "recommended operating conditions" is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

package thermal data (see Note 1)

PACKAGE	BOARD	θ_{JC}	θ_{JA}
POWER-FLEX (KTE)	High K, JESD 51-5	3°C/W	23°C/W
TO-220 (KC/KCS)	High K, JESD 51-5	3°C/W	19°C/W

NOTE 1: Maximum power dissipation is a function of $T_J(\max)$, θ_{JA} , and T_A . The maximum allowable power dissipation at any allowable ambient temperature is $P_D = (T_J(\max) - T_A)/\theta_{JA}$. Operating at the absolute maximum T_J of 150°C can affect reliability.

APPLICATION INFORMATION

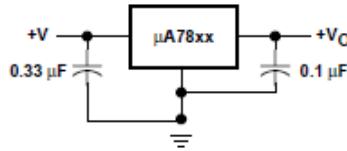


Figure 1. Fixed-Output Regulator

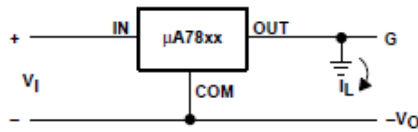
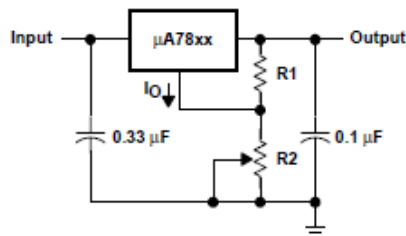


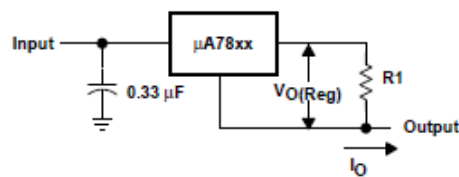
Figure 2. Positive Regulator in Negative Configuration (V_I Must Float)



NOTE A: The following formula is used when V_{xx} is the nominal output voltage (output to common) of the fixed regulator:

$$V_O = V_{xx} + \left(\frac{V_{xx}}{R1} + I_O \right) R2$$

Figure 3. Adjustable-Output Regulator



$$I_O = (V_O/R1) + I_O \text{ Bias Current}$$

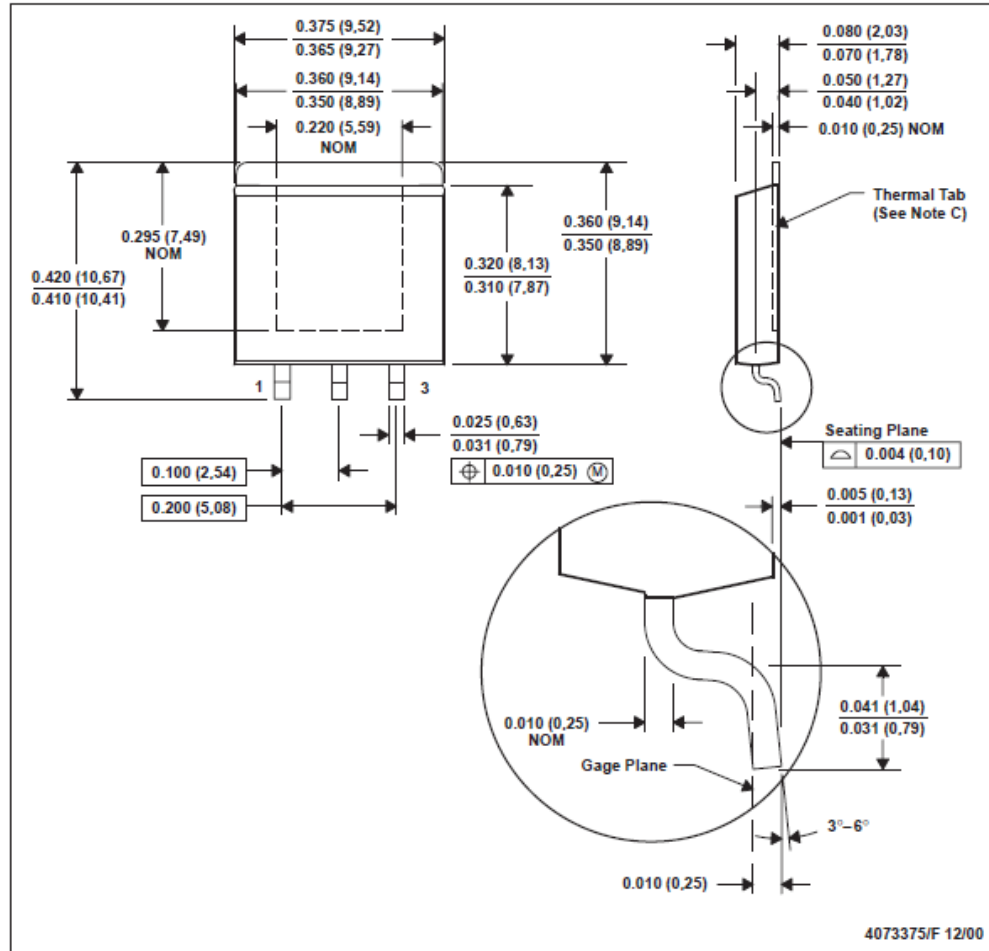
Figure 4. Current Regulator

MECHANICAL DATA

MPFM001E – OCTOBER 1994 – REVISED JANUARY 2001

KTE (R-PSFM-G3)

PowerFLEX™ PLASTIC FLANGE-MOUNT

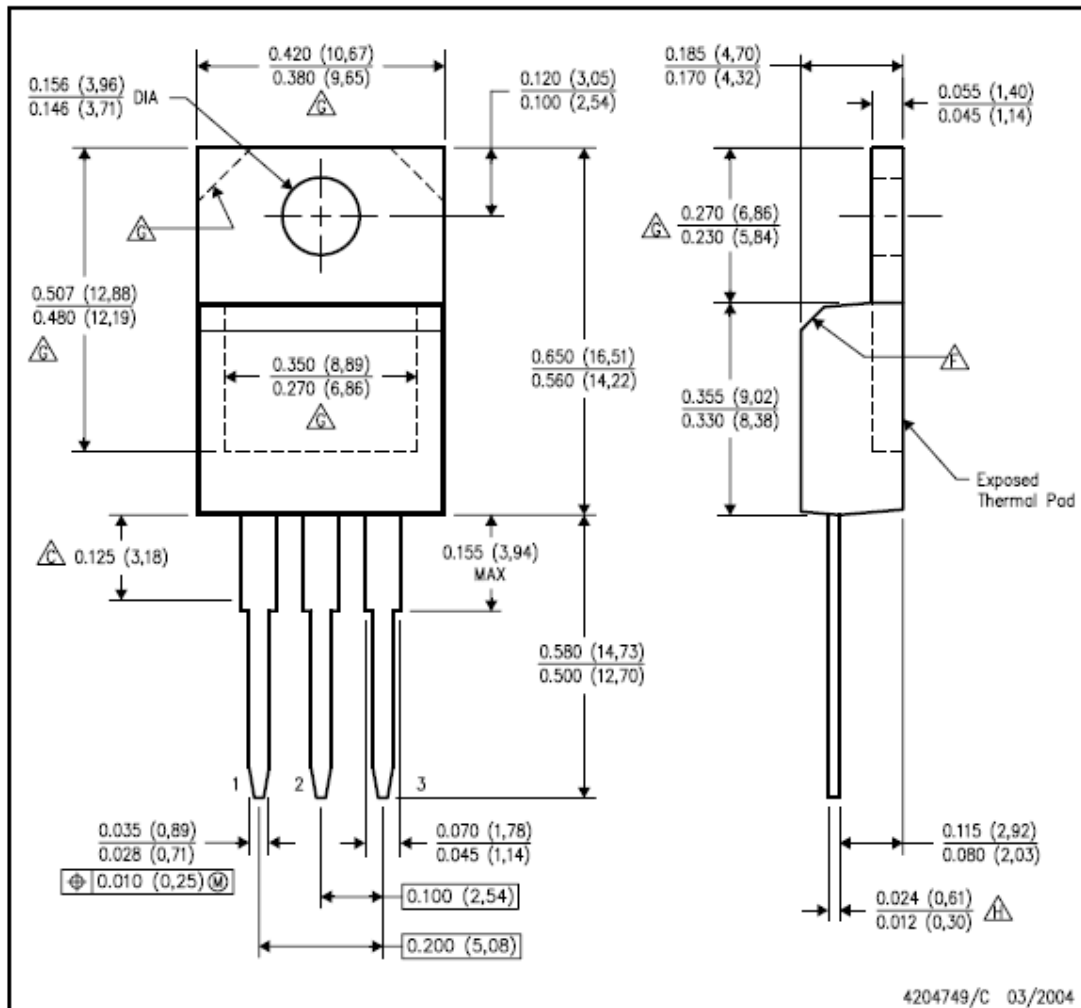


- NOTES: A. All linear dimensions are in inches (millimeters).
 B. This drawing is subject to change without notice.
 C. The center lead is in electrical contact with the thermal tab.
 D. Dimensions do not include mold protrusions, not to exceed 0.006 (0,15).
 E. Falls within JEDEC MO-189

MECHANICAL DATA

KCS (R-PSFM-T3)

PLASTIC FLANGE-MOUNT PACKAGE



- NOTES:
- A. All linear dimensions are in inches (millimeters).
 - B. This drawing is subject to change without notice.
 - C. Lead dimensions are not controlled within this area.
 - D. All lead dimensions apply before solder dip.
 - E. The center lead is in electrical contact with the mounting tab.
 - F. The chamfer is optional.
 - G. Thermal pad contour optional within these dimensions.
 - H. Falls within JEDEC TO-220 variation AB, except minimum lead thickness.

c)ACS712

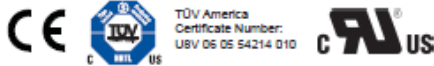


ACS712

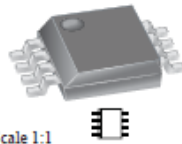
Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

Features and Benefits

- Low-noise analog signal path
- Device bandwidth is set via the new FILTER pin
- 5 μ s output rise time in response to step input current
- 80 kHz bandwidth
- Total output error 1.5% at $T_A = 25^\circ\text{C}$
- Small footprint, low-profile SOIC8 package
- 1.2 m Ω internal conductor resistance
- 2.1 kVRMS minimum isolation voltage from pins 1-4 to pins 5-8
- 5.0 V, single supply operation
- 66 to 185 mV/A output sensitivity
- Output voltage proportional to AC or DC currents
- Factory-trimmed for accuracy
- Extremely stable output offset voltage
- Nearly zero magnetic hysteresis
- Ratiometric output from supply voltage



Package: 8 Lead SOIC (suffix LC)



Approximate Scale 1:1

Description

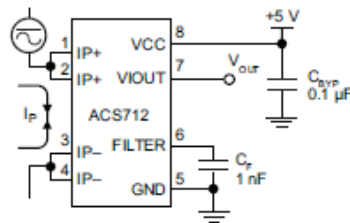
The Allegro™ ACS712 provides economical and precise solutions for AC or DC current sensing in industrial, commercial, and communications systems. The device package allows for easy implementation by the customer. Typical applications include motor control, load detection and management, switch-mode power supplies, and overcurrent fault protection. The device is not intended for automotive applications.

The device consists of a precise, low-offset, linear Hall circuit with a copper conduction path located near the surface of the die. Applied current flowing through this copper conduction path generates a magnetic field which the Hall IC converts into a proportional voltage. Device accuracy is optimized through the close proximity of the magnetic signal to the Hall transducer. A precise, proportional voltage is provided by the low-offset, chopper-stabilized BiCMOS Hall IC, which is programmed for accuracy after packaging.

The output of the device has a positive slope ($\rightarrow V_{IOUT(Q)}$) when an increasing current flows through the primary copper conduction path (from pins 1 and 2, to pins 3 and 4), which is the path used for current sampling. The internal resistance of this conductive path is 1.2 m Ω typical, providing low power loss. The thickness of the copper conductor allows survival of

Continued on the next page...

Typical Application



Application 1. The ACS712 outputs an analog signal, V_{OUT} , that varies linearly with the uni- or bi-directional AC or DC primary sampled current, I_p , within the range specified. C_f is recommended for noise management, with values that depend on the application.

ACS712

*Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC
with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor*

Description (continued)

the device at up to 5× overcurrent conditions. The terminals of the conductive path are electrically isolated from the signal leads (pins 5 through 8). This allows the ACS712 to be used in applications requiring electrical isolation without the use of opto-isolators or other costly isolation techniques.

The ACS712 is provided in a small, surface mount SOIC8 package. The leadframe is plated with 100% matte tin, which is compatible with standard lead (Pb) free printed circuit board assembly processes. Internally, the device is Pb-free, except for flip-chip high-temperature Pb-based solder balls, currently exempt from RoHS. The device is fully calibrated prior to shipment from the factory.

Selection Guide

Part Number	Packing*	T _A (°C)	Optimized Range, I _P (A)	Sensitivity, Sens (Typ) (mV/A)
ACS712ELCTR-05B-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±5	185
ACS712ELCTR-20A-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±20	100
ACS712ELCTR-30A-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±30	66

*Contact Allegro for additional packing options.

Absolute Maximum Ratings

Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Units
Supply Voltage	V _{CC}		8	V
Reverse Supply Voltage	V _{RCC}		-0.1	V
Output Voltage	V _{IOUT}		8	V
Reverse Output Voltage	V _{RIOUT}		-0.1	V
Output Current Source	I _{IOUT(SOURCE)}		3	mA
Output Current Sink	I _{IOUT(SINK)}		10	mA
Overcurrent Transient Tolerance	I _P	1 pulse, 100 ms	100	A
Nominal Operating Ambient Temperature	T _A	Range E	-40 to 85	°C
Maximum Junction Temperature	T _{J(max)}		165	°C
Storage Temperature	T _{stg}		-65 to 170	°C

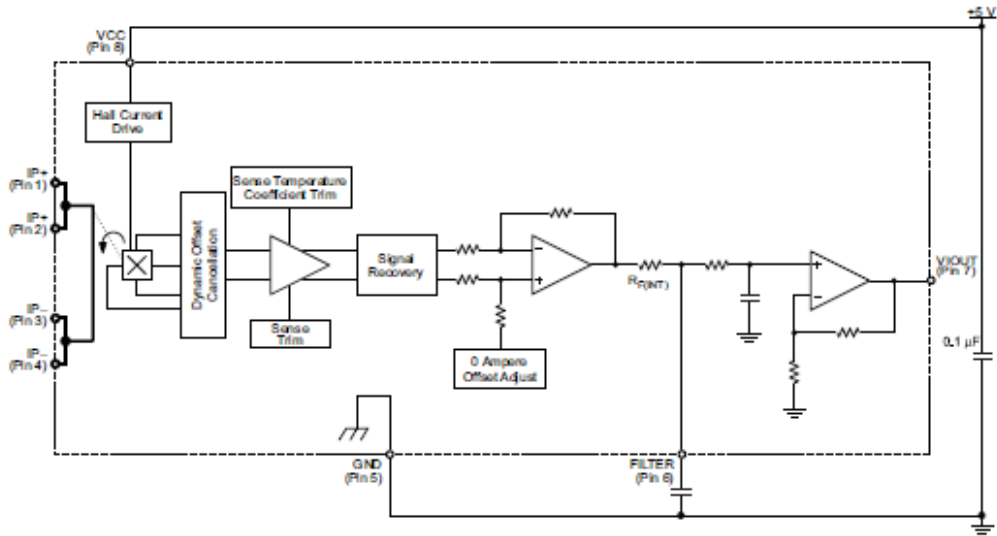
Isolation Characteristics

Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Unit
Dielectric Strength Test Voltage*	V _{ISO}	Agency type-tested for 60 seconds per UL standard 60950-1, 1st Edition	2100	VAC
Working Voltage for Basic Isolation	V _{WFSI}	For basic (single) isolation per UL standard 60950-1, 1st Edition	354	VDC or V _{pk}
Working Voltage for Reinforced Isolation	V _{WFRSI}	For reinforced (double) isolation per UL standard 60950-1, 1st Edition	184	VDC or V _{pk}

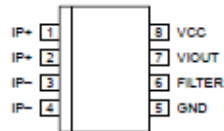
* Allegro does not conduct 60-second testing. It is done only during the UL certification process.

Parameter	Specification
Fire and Electric Shock	CAN/CSA-C22.2 No. 60950-1-03 UL 60950-1:2003 EN 60950-1:2001

Functional Block Diagram



Pin-out Diagram



Terminal List Table

Number	Name	Description
1 and 2	IP+	Terminals for current being sampled; fused internally
3 and 4	IP-	Terminals for current being sampled; fused internally
5	GND	Signal ground terminal
6	FILTER	Terminal for external capacitor that sets bandwidth
7	VIOUT	Analog output signal
8	VCC	Device power supply terminal

Σχεδίαση και Κατασκευή Μικρού Φωτοβολταϊκού Ηλιοστάτη (Solar Tracker)

COMMON OPERATING CHARACTERISTICS¹ over full range of T_A , $C_F = 1$ nF, and $V_{CC} = 5$ V, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
ELECTRICAL CHARACTERISTICS						
Supply Voltage	V_{CC}		4.5	5.0	5.5	V
Supply Current	I_{CC}	$V_{CC} = 5.0$ V, output open	–	10	13	mA
Output Capacitance Load	C_{LOAD}	V _{IOUT} to GND	–	–	10	nF
Output Resistive Load	R_{LOAD}	V _{IOUT} to GND	4.7	–	–	kΩ
Primary Conductor Resistance	$R_{PRIMARY}$	$T_A = 25^\circ\text{C}$	–	1.2	–	mΩ
Rise Time	t_r	$I_P = I_P(\text{max})$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $C_{OUT} = \text{open}$	–	3.5	–	μs
Frequency Bandwidth	f	–3 dB, $T_A = 25^\circ\text{C}$; I_P is 10 A peak-to-peak	–	80	–	kHz
Nonlinearity	E_{LIN}	Over full range of I_P	–	1.5	–	%
Symmetry	E_{SYM}	Over full range of I_P	98	100	102	%
Zero Current Output Voltage	$V_{IOUT(Q)}$	Bidirectional; $I_P = 0$ A, $T_A = 25^\circ\text{C}$	–	$\frac{V_{CC} \times 0.5}{0.5}$	–	V
Power-On Time	t_{PO}	Output reaches 90% of steady-state level, $T_J = 25^\circ\text{C}$, 20 A present on leadframe	–	35	–	μs
Magnetic Coupling ²			–	12	–	G/A
Internal Filter Resistance ³	$R_{F(INT)}$			1.7		kΩ

¹Device may be operated at higher primary current levels, I_P , and ambient, T_A , and internal leadframe temperatures, T_A , provided that the Maximum Junction Temperature, $T_J(\text{max})$, is not exceeded.

²1G = 0.1 mT.

³ $R_{F(INT)}$ forms an RC circuit via the FILTER pin.

COMMON THERMAL CHARACTERISTICS¹

			Min.	Typ.	Max.	Units
Operating Internal Leadframe Temperature	T_A	E range	–40	–	85	°C
					Value	Units
Junction-to-Lead Thermal Resistance ²	$R_{θJL}$	Mounted on the Allegro ASEK 712 evaluation board			5	°C/W
Junction-to-Ambient Thermal Resistance	$R_{θJA}$	Mounted on the Allegro 85-0322 evaluation board, includes the power consumed by the board			23	°C/W

¹Additional thermal information is available on the Allegro website.

²The Allegro evaluation board has 1500 mm² of 2 oz. copper on each side, connected to pins 1 and 2, and to pins 3 and 4, with thermal vias connecting the layers. Performance values include the power consumed by the PCB. Further details on the board are available from the Frequently Asked Questions document on our website. Further information about board design and thermal performance also can be found in the Applications Information section of this datasheet.

Σχεδίαση και Κατασκευή Μικρού Φωτοβολταϊκού Ηλιοστάτη (Solar Tracker)

x05B PERFORMANCE CHARACTERISTICS¹ $T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 85°C , $C_F = 1\text{ nF}$, and $V_{CC} = 5\text{ V}$, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Optimized Accuracy Range	I_P		-5	-	5	A
Sensitivity	Sens	Over full range of I_P , $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	180	185	190	mV/A
Noise	$V_{\text{NOISE(PP)}}$	Peak-to-peak, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$, 185 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 47\text{ nF}$, $C_{\text{OUT}} = \text{open}$, 2 kHz bandwidth	-	21	-	mV
Zero Current Output Slope	$\Delta V_{\text{OUT(Q)}}$	$T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 25°C	-	-0.28	-	mV/ $^{\circ}\text{C}$
		$T_A = 25^{\circ}\text{C}$ to 150°C	-	-0.08	-	mV/ $^{\circ}\text{C}$
Sensitivity Slope	ΔSens	$T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 25°C	-	0.054	-	mV/A/ $^{\circ}\text{C}$
		$T_A = 25^{\circ}\text{C}$ to 150°C	-	-0.008	-	mV/A/ $^{\circ}\text{C}$
Total Output Error ²	E_{TOT}	$I_P = \pm 5\text{ A}$, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	-	± 1.5	-	%

¹Device may be operated at higher primary current levels, I_P , and ambient temperatures, T_A , provided that the Maximum Junction Temperature, $T_{J(\text{max})}$, is not exceeded.

²Percentage of I_P with $I_P = 5\text{ A}$. Output filtered.

x20A PERFORMANCE CHARACTERISTICS¹ $T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 85°C , $C_F = 1\text{ nF}$, and $V_{CC} = 5\text{ V}$, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Optimized Accuracy Range	I_P		-20	-	20	A
Sensitivity	Sens	Over full range of I_P , $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	96	100	104	mV/A
Noise	$V_{\text{NOISE(PP)}}$	Peak-to-peak, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$, 100 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 47\text{ nF}$, $C_{\text{OUT}} = \text{open}$, 2 kHz bandwidth	-	11	-	mV
Zero Current Output Slope	$\Delta V_{\text{OUT(Q)}}$	$T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 25°C	-	-0.34	-	mV/ $^{\circ}\text{C}$
		$T_A = 25^{\circ}\text{C}$ to 150°C	-	-0.07	-	mV/ $^{\circ}\text{C}$
Sensitivity Slope	ΔSens	$T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 25°C	-	0.017	-	mV/A/ $^{\circ}\text{C}$
		$T_A = 25^{\circ}\text{C}$ to 150°C	-	-0.004	-	mV/A/ $^{\circ}\text{C}$
Total Output Error ²	E_{TOT}	$I_P = \pm 20\text{ A}$, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	-	± 1.5	-	%

¹Device may be operated at higher primary current levels, I_P , and ambient temperatures, T_A , provided that the Maximum Junction Temperature, $T_{J(\text{max})}$, is not exceeded.

²Percentage of I_P with $I_P = 20\text{ A}$. Output filtered.

x30A PERFORMANCE CHARACTERISTICS¹ $T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 85°C , $C_F = 1\text{ nF}$, and $V_{CC} = 5\text{ V}$, unless otherwise specified

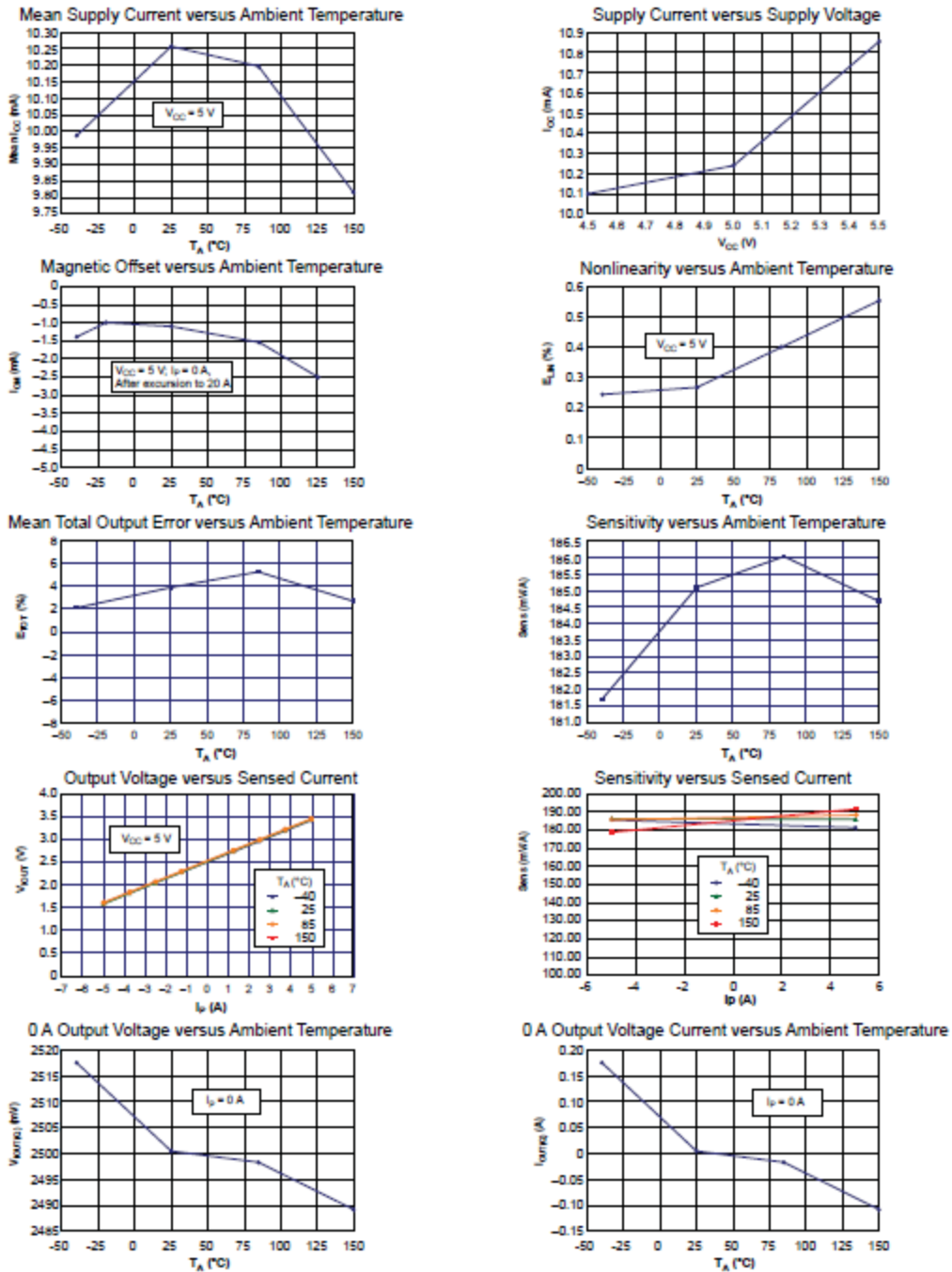
Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Optimized Accuracy Range	I_P		-30	-	30	A
Sensitivity	Sens	Over full range of I_P , $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	63	66	69	mV/A
Noise	$V_{\text{NOISE(PP)}}$	Peak-to-peak, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$, 66 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 47\text{ nF}$, $C_{\text{OUT}} = \text{open}$, 2 kHz bandwidth	-	7	-	mV
Zero Current Output Slope	$\Delta V_{\text{OUT(Q)}}$	$T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 25°C	-	-0.35	-	mV/ $^{\circ}\text{C}$
		$T_A = 25^{\circ}\text{C}$ to 150°C	-	-0.08	-	mV/ $^{\circ}\text{C}$
Sensitivity Slope	ΔSens	$T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to 25°C	-	0.007	-	mV/A/ $^{\circ}\text{C}$
		$T_A = 25^{\circ}\text{C}$ to 150°C	-	-0.002	-	mV/A/ $^{\circ}\text{C}$
Total Output Error ²	E_{TOT}	$I_P = \pm 30\text{ A}$, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	-	± 1.5	-	%

¹Device may be operated at higher primary current levels, I_P , and ambient temperatures, T_A , provided that the Maximum Junction Temperature, $T_{J(\text{max})}$, is not exceeded.

²Percentage of I_P with $I_P = 30\text{ A}$. Output filtered.

Characteristic Performance

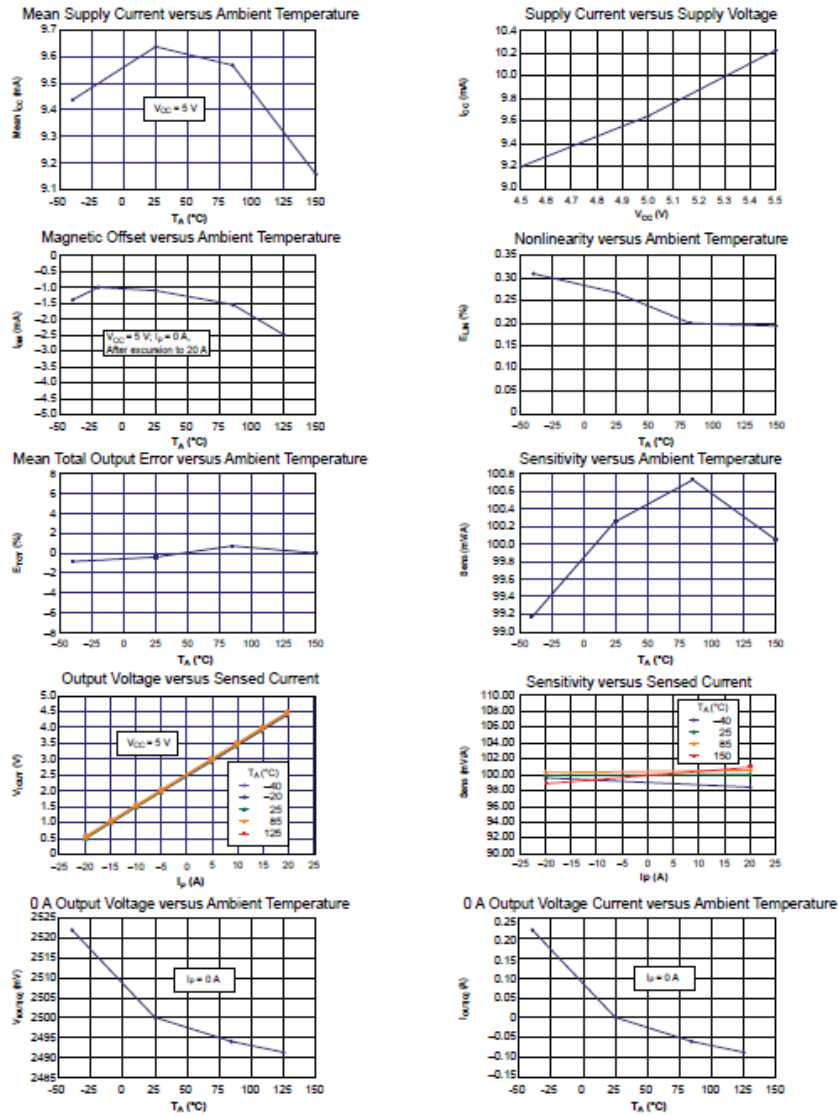
$I_p = 5 \text{ A}$, unless otherwise specified



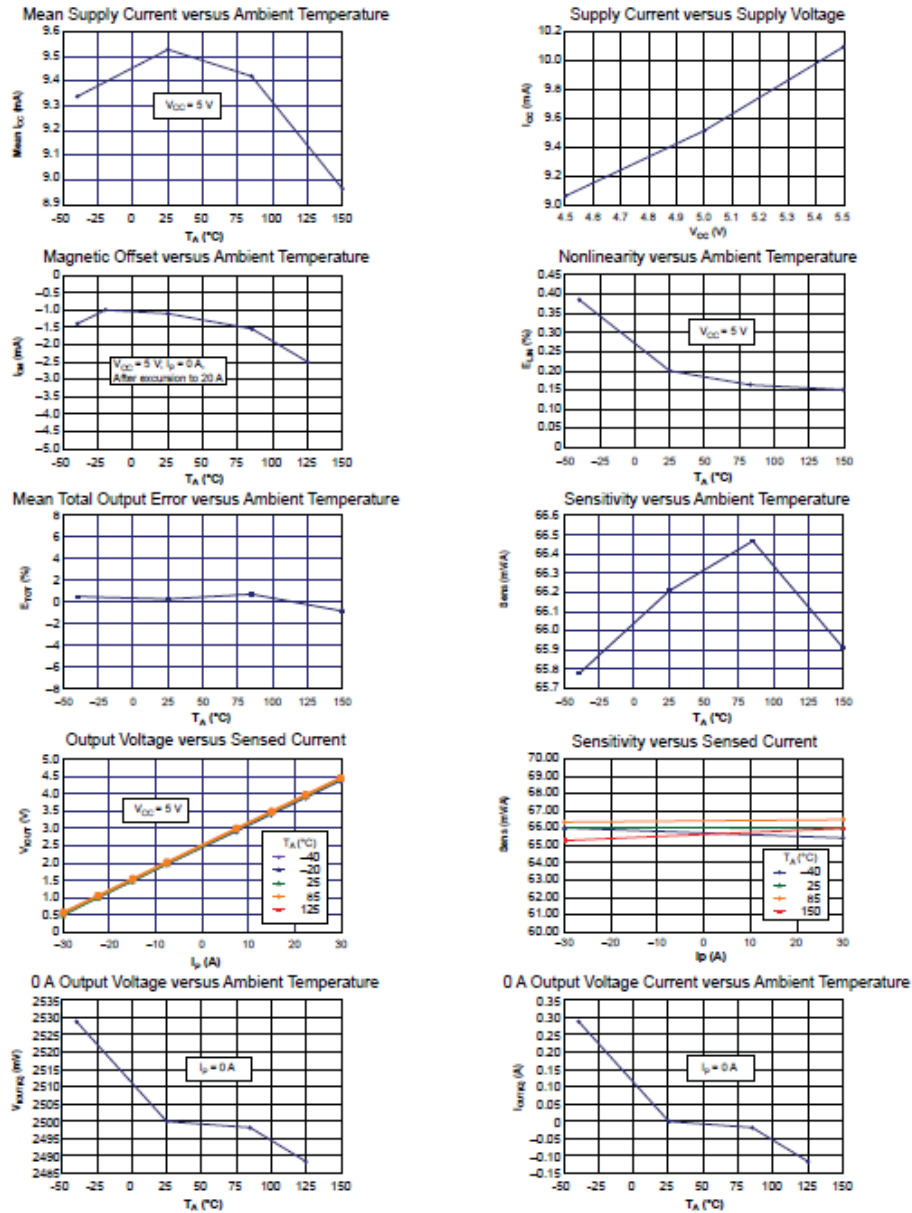
ACS712

*Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC
with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor*

Characteristic Performance
 $I_p = 20\text{ A}$, unless otherwise specified



Characteristic Performance
 $I_p = 30 \text{ A}$, unless otherwise specified

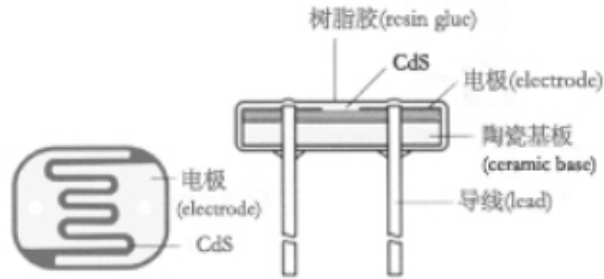


d)GL55 series photoresistor

GL55 Series Photoresistor

Photoresistor is a resistor which made of semi-conductor material, and the conductance changes with luminance variation. The photoresistor can be manufactured with different figures and illuminated area based on this characteristic. Photoresistor is widely used in many industries, such as toys, lamps, camera, etc.

Schematic Drawing



Performances and Features

Coated with epoxy	Good reliability
Small volume	High sensitivity
Fast response	Good spectrum characteristic

Typical Applications

Camera automatic photometry	Photoelectric control
Indoor ray control	Annunciator
Industrial control	Light control switch
Light control lamp	Electronic toy

Types and Specifications

Specification	Type	Max. Voltage	Max. power	Environmental temp.	Spectrum peak value
Φ5 series	GL5516	150	90	-30~+70	540
	GL5528	150	100	-30~+70	540
	GL5537-1	150	100	-30~+70	540
	GL5537-2	150	100	-30~+70	540
	GL5539	150	100	-30~+70	540
	GL5549	150	100	-30~+70	540

Specification	Light resistance (10Lux) (KΩ)	Dark resistance (MΩ)	γ_{10}^{100}	Response time (ms)		Illuminance resistance Fig. No.
				Increase	Decrease	
Φ 5 series	5-10	0.5	0.5	30	30	2
	10-20	1	0.6	20	30	3
	20-30	2	0.6	20	30	4
	30-50	3	0.7	20	30	4
	50-100	5	0.8	20	30	5
	100-200	10	0.9	20	30	6

Test Conditions

Max. external voltage: Maximum voltage to be continuously given to component in the dark.

Dark resistance: Refer to the resistance ten seconds after the 10Lux light is shut up.

Max. power consumption: Maximum power at the environmental temperature 25°C.

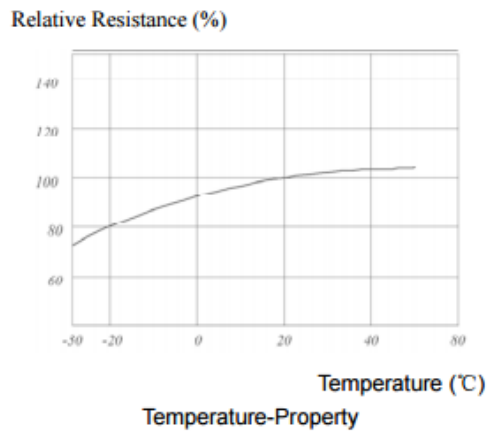
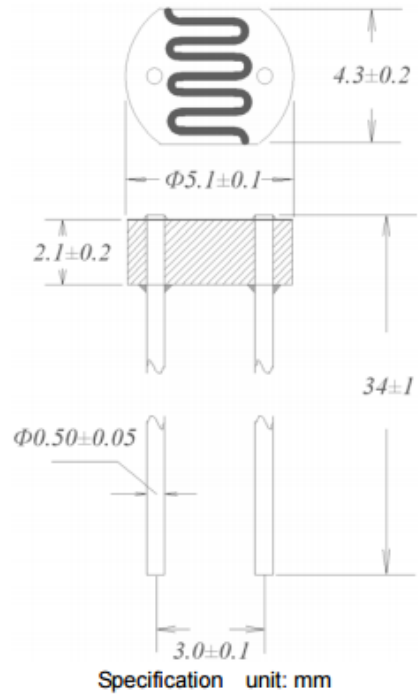
Light resistance: Irradiated by 400-600Lux light for two hours, then test with 10Lux under standard light source A(as colour temperature 2856K).

γ value: Logarithm of the ratio of the standard resistance value under 10Lux and that under 100Lux.

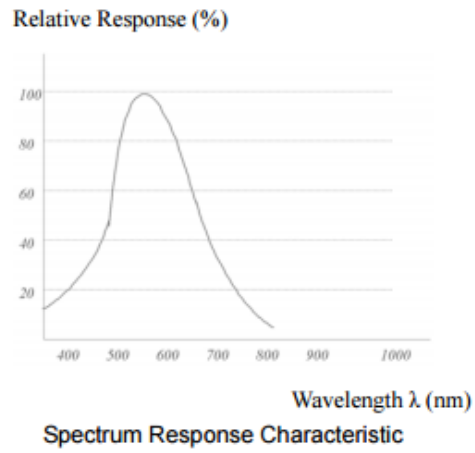
$$\gamma = \frac{\text{Lg}(R_{10}/R_{100})}{\text{Lg}(100/10)} = \text{Lg}(R_{10}/R_{100})$$

R₁₀,R₁₀₀ are the resistances under 10Lux and 100Lux respectively.

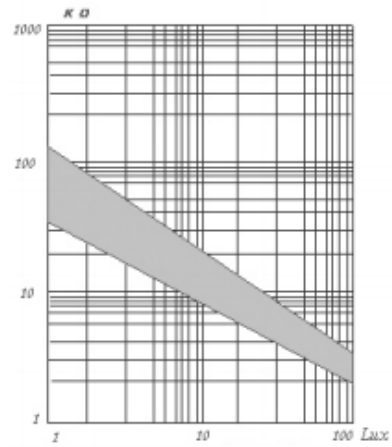
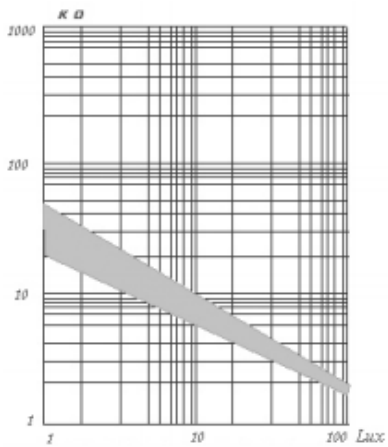
Σχεδίαση και Κατασκευή Μικρού Φωτοβολταϊκού Ηλιοστάτη (Solar Tracker)



Σχεδίαση και Κατασκευή Μικρού Φωτοβολταϊκού Ηλιοστάτη (Solar Tracker)



Illuminance-Resistance Characteristics Curve



Σχεδίαση και Κατασκευή Μικρού Φωτοβολταϊκού Ηλιοστάτη (Solar Tracker)

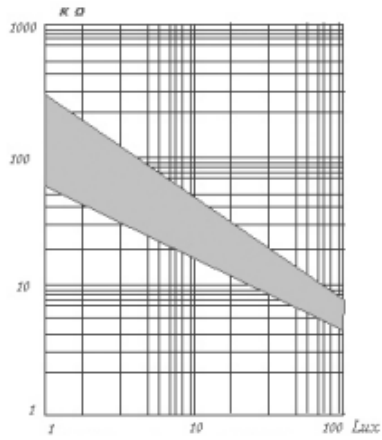


Fig. 3

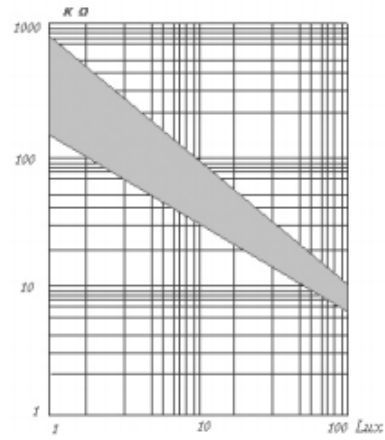


Fig. 4

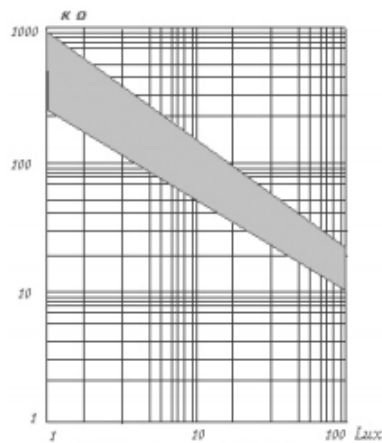


Fig.5

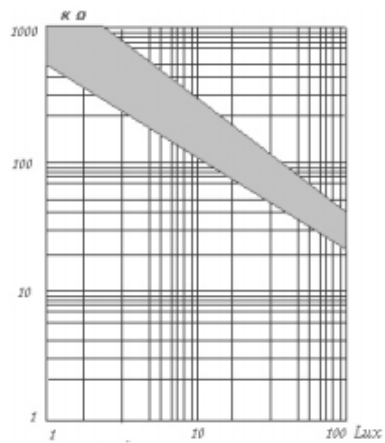


Fig. 6

Packing and Precaution

This product is packed with the environmental protection material, 100pcs per small package, 1000pcs per big package.

Avoid high temperature and humidity for storing.

Soldering should be completed in the shortest possible time.

It is recommended that the soldering should keep 4mm away from ceramic substrate.