



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Σχεδίαση Αυτοελεγχόμενων Ηλιακών Συστημάτων

Γεώργιος Κ. Αναγνωστόπουλος

Επιβλέπων: Ευστάθιος Χατζηευθυμιάδης, Επίκουρος Καθηγητής
ΕΚΠΑ

ΑΘΗΝΑ

Μάιος 2010

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Σχεδίαση Αυτοελεγχόμενων Ηλιακών Συστημάτων

Αναγνωστόπουλος Γεώργιος

A.M.: M1021

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:

Ευστάθιος Χατζηευθυμιάδης, Επίκουρος Καθηγητής ΕΚΠΑ

ΕΞΕΤΑΣΤΗΣ:

Δρακούλης Μαρτάκος, Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΚΠΑ

Μάιος 2010

Περίληψη

Η εργασία παρουσιάζει την ανάπτυξη ενός απλού αυτόματου συστήματος ηλιοστάτη, που χρησιμοποιεί τεχνικές μηχανικής όρασης για την κατεύθυνση της αντανάκλασης του φωτός.

Ο ηλιοστάτης αποτελείται από μια βάση η οποία έχει την δυνατότητα κίνησης σε δυο άξονες. Πάνω στην βάση του ηλιοστάτη υπάρχει καθρέπτης, ο οποίος αντανακλά το φως από την πηγή. Η βάση κινείται με την βοήθεια δυο βηματικών κινητήρων και την χρήση κατάλληλων κιβωτίων ταχυτήτων. Οι κινήσεις που θα πρέπει να εκτελεστούν παράγονται από πρόγραμμα που αναπτύχθηκε σε Java και τρέχει σε προσωπικό υπολογιστή. Η επικοινωνία του υπολογιστή με την βάση πραγματοποιείται μέσω παράλληλης θύρας και με την χρήση κατάλληλου υλικού διεπαφής. Επιπρόσθετα κατασκευάστηκε υλικό το οποίο επικοινωνεί με το υλικό διεπαφής και ελέγχει την κίνηση των βηματικών κινητήρων.

Ο ηλιοστάτης αντανακλά το φως από μια πηγή προς μια περιοχή. Κατόπιν, με την χρήση ενός ψηφιακού αισθητήρα CCD εντοπίζει την αντανάκλαση. Το σύστημα πραγματοποιεί τους κατάλληλους υπολογισμούς και κινεί την βάση έτσι ώστε η αντανάκλαση να κατευθυνθεί στην επιθυμητή περιοχή.

Επιπλέον η εργασία περιλαμβάνει μια σύντομη επισκόπηση των ηλιακών συστημάτων. Περιγράφει ορισμένα από τα πιο σημαντικά επιτεύγματα των τελευταίων είκοσι ετών, τόσο στα συστήματα ανοιχτού και όσο και στα συστήματα κλειστού βρόγχου.

Τέλος παρουσιάζονται όλες οι τεχνολογίες που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση του συστήματος και τα θεωρητικά μοντέλα που υπολογίζουν την θέση του ήλιου πάνω στη ουράνια σφαίρα.

ΘΕΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ: Αυτοελεγχόμενα Ηλιακά Συστήματα.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Συστήματα Κατευθυνόμενης Αντανάκλασης, Συστήματα Παρακολούθησης Ηλιακής Πορείας, Συστήματα Κλειστού Βρόγχου, Αισθητήρες.

ABSTRACT

This thesis presents the development of a simple automatic heliostat system, using artificial vision techniques.

The heliostat consists from a two-axis base. On the base there is a mirror which reflects the light. The base moves by two stepping motors and the appropriate gearboxes. Necessary movements are calculated and directed by a specialized program written in Java, which runs in a personal computer. Communication between the computer and the base is achieved through the parallel port, using a specialized hardware interface. Moreover, new hardware that drives the stepping motors has been constructed.

The heliostat reflects the light from a source to a specified area. Then, through use of a CCD digital sensor, it locates the reflection. The system moves the base so that the reflection is directed to the desired area.

Additionally, the thesis provides a high-level overview of the solar systems field and describes some of the more significant proposals of the last twenty years for closed-loop and open-loop types of solar systems.

Finally, a presentation of the technologies that have been used for the construction of the system is included, as well as a description of some theoretical models about the calculation of the position of the sun on the celestial sphere.

SUBJECT AREA: Automatic Solar Systems

KEYWORDS: Automatic heliostats, Sun tracking, Closed Loop Systems, Sensors.

Αφιερώσεις

Αφιερώνω την εργασία αυτή στις τριανταφυλλίες μου.

Ευχαριστίες

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω ολόψυχα τον επιβλέποντα καθηγητή Ευστάθιο Χατζηευθυμιάδη, που μου έδωσε τη δυνατότητα να έρθω σε επαφή με ένα πολύ ενδιαφέρον πεδίο έρευνας και που χωρίς τη συμβολή και την καθοδήγηση του οποίου αυτή η εργασία δε θα μπορούσε να ολοκληρωθεί, καθώς επίσης και το Κωνσταντίνο Κωσταντακέλη για τη σημαντική υποστήριξη και βοήθεια που μου πρόσφερε στον σχεδιασμό και την κατασκευή της βάση. Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον Ελευθέριο Κεραμύδα για τις διορθώσεις που πραγματοποίησε στο κείμενο. Τέλος θα ήθελα να απευθύνω ευχαριστίες στην οικογένειά μου, που με στήριξαν στην προσπάθειά μου.

Περιεχόμενα

<u>Περίληψη.....</u>	<u>3</u>
<u>ABSTRACT.....</u>	<u>4</u>
<u>Αφιερώσεις.....</u>	<u>5</u>
<u>Αφιερώνω την εργασία αυτή στις τριανταφυλλιές μου.....</u>	<u>5</u>
<u>Ευχαριστίες.....</u>	<u>6</u>
<u>Περιεχόμενα.....</u>	<u>7</u>
<u>1 Εισαγωγή.....</u>	<u>11</u>
<u>2 Ανασκόπηση</u>	<u>13</u>
<u>2.1 Συστήματα Κλειστού Βρόγχου</u>	<u>15</u>
<u>2.2 Συστήματα Ανοιχτού Βρόγχου.....</u>	<u>43</u>
<u>3 Μελέτη Θέσης Ήλιου.....</u>	<u>46</u>
<u>3.1 Μετακίνηση μεταξύ του ήλιου και της γης.....</u>	<u>46</u>
<u>3.2 Θέση του ήλιου σε σχέση με την επιφάνεια της γης.....</u>	<u>49</u>
<u>3.3 Ηλιακή Ακτινοβολία.....</u>	<u>54</u>
<u>4 Τεχνολογίες Υλοποίησης</u>	<u>56</u>
<u>4.1 Βηματικοί κινητήρες.....</u>	<u>56</u>
<u>4.1.1 Εισαγωγή</u>	<u>56</u>
<u>4.1.2 Λειτουργία.....</u>	<u>58</u>
<u>4.1.3 Τύποι Βηματικών Κινητήρων.....</u>	<u>60</u>
<u>4.1.4 Χαρακτηριστικά Βηματικών Κινητήρων</u>	<u>66</u>
<u>4.1.5 Μέθοδοι Οδήγησης Βηματικών Κινητήρων</u>	<u>68</u>
<u>4.1.6 Επιλογή Βηματικού Κινητήρα.....</u>	<u>73</u>
<u>4.1.7 Σύγκριση Βηματικών Κινητήρων</u>	<u>73</u>
<u>4.2 Παράλληλη Θύρα</u>	<u>74</u>
<u>4.3 Κιβώτιο Ταχυτήτων (GearBox).....</u>	<u>77</u>

Σχεδίαση Αυτοελεγχόμενων Ηλιακών Συστημάτων	
4.4 Πρωτόκολλο I2C.....	79
4.4.1 Διαγράμματα Χρόνου	82
4.5 Τεχνολογία JNI.....	82
4.5.1 Χρήση JNI Τεχνολογίας	83
4.6 Φωτοαντιστάσεις.....	89
5 Υλοποίηση Συστήματος.....	90
5.1 Αρχιτεκτονική Συστήματος	90
5.2 Βάση Περιστροφής Κατόπτρου.....	92
5.3 Υλικό Ελέγχου Βάσης.....	105
5.4 Υλικό Οδήγησης Βηματικών Κινητήρων	116
5.4.1 Σύνδεση Διεπαφής Οδηγού Βηματικών Κινητήρων.....	119
5.5 Οδηγός Επικοινωνίας Υλικού.....	120
5.5.1 Οδηγός Υλικού Διεπαφής	120
5.5.2 Οδηγός Υλικού Ελέγχου Βηματικών Κινητήρων.....	121
5.5.3 Επέκταση Οδηγού στην Γλώσσα Java.....	121
5.6 Τμήμα Αποσφαλμάτωσης Συστήματος	122
5.7 Τμήμα Λήψης και Απεικόνισης Μετρήσεων	125
5.8 Εφαρμογή Ανίχνευσης Φωτεινών Πηγών και Κατεύθυνσης Αντανάκλασης.....	125
5.8.1 Αλγόριθμος Κατεύθυνσης Αντανάκλασης	130
5.8.2 Αλγόριθμος Εύρεσης Φωτεινής Πηγής.....	132
5.8.3 Υλοποίηση Εφαρμογής	133
6 Συμπεράσματα.....	140
7 Βελτιώσεις	143
8 Ορολογία Συντμήσεις Αρκτικόλεξα.....	145
8.1 Ορολογίας.....	145
8.2 Συντμήσεις- Αρκτικόλεξα.....	147
9 Βιβλιογραφία.....	148

1 Εισαγωγή

Η εργασία παρουσιάζει την ανάπτυξη ενός αυτόματου συστήματος ηλιοστάτη, που χρησιμοποιεί τεχνικές μηχανικής όρασης για την κατεύθυνση της αντανάκλασης του φωτός.

Στο δεύτερο κεφάλαιο πραγματοποιεί μια σύντομη αναδρομή των ηλιακών συστημάτων. Περιγράφει ορισμένα από τα πιο σημαντικά επιτεύγματα, των τελευταίων είκοσι ετών, τόσο στα συστήματα ανοιχτού και όσο και στα συστήματα κλειστού βρόγχου.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι βασικές έννοιες που σχετίζονται με τον προσδιορισμό της θέσης του ήλιου πάνω στην ουράνια σφαίρα. Επιπλέον γίνεται σύντομη αναφορά στα θεωρητικά μοντέλα για τον υπολογισμό της θέσης αυτής.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρατίθενται οι τεχνολογίες που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση του συστήματος. Περιγράφεται ο τρόπος λειτουργία των βηματικών κινητήρων, τα είδη τους, καθώς και οι διάφοροι τρόποι οδήγησης τους. Επίσης αναφέρονται πληροφορίες σχετικά με την παράλληλη θύρα η οποία χρησιμοποιήθηκε για την επικοινωνία της βάσης με τον υπολογιστή. Επιπλέον αναφέρονται κάποια βασικά πράγματα για τα κιβώτια ταχυτήτων και την δυνατότητα που παρείχαν στο σύστημα να κινεί την βάση με μικρούς βηματικούς κινητήρες. Επιπρόσθετα αναλύεται το πρωτόκολλο I2C που χρησιμοποιήθηκε για την επικοινωνία των υποσυστημάτων υλικού του συστήματος και γίνεται μια αναφορά στις φωτοαντιστάσεις και στον τρόπο με τον οποίο επιτρέπουν την μέτρηση της φωτεινότητας. Τέλος παρουσιάζεται η τεχνολογία JNI, που χρησιμοποιήθηκε για την επικοινωνία των C οδηγών του υλικού με την java εφαρμογή του συστήματος.

Στο πέμπτο κεφάλαιο περιγράφεται η υλοποίηση του συστήματος. Παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική του και κατόπιν αναλύεται κάθε τμήματα του. Αρχικά αναλύονται τα χαρακτηριστικά της βάση περιστροφής κατόπτρου. Έπειτα παρουσιάζονται τα διάφορα τμήματα του υλικού που κατασκευάστηκε καθώς και του τρόπου που επικοινωνούν τα διάφορα τμήματα μεταξύ τους. Επιπλέον γίνεται μια σύντομη περιγραφή του οδηγού C, που χρησιμοποιήθηκε καθώς και του τρόπου με τον οποίον διασυνδέθηκε με την υπόλοιπη εφαρμογή. Επίσης περιγράφεται το τμήμα αποσφαλμάτωσης που υλοποιήθηκε για τον εντοπισμό και την διόρθωση των σφαλμάτων του συστήματος και το τμήμα παρουσίασης αποτελεσμάτων που έχει ως στόχο την εύληπτη προβολή των

Σχεδίαση Αυτοελεγχόμενων Ηλιακών Συστημάτων

δεδομένων των πειραμάτων. Τέλος περιγράφεται η εφαρμογή που αναπτύχθηκε για τον εντοπισμό φωτεινών πηγών και την κατεύθυνση της αντανάκλασης.

2 Ανασκόπηση

Τα συστήματα ηλιακής ενέργειας, τις τρεις τελευταίες δεκαετίες, έχουν προκύψει ως μια βιώσιμη πηγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές και είναι πλέον ευρέως χρησιμοποιούμενα για ποικίλες βιομηχανικές και οικιακές εφαρμογές. Αυτά τα συστήματα βασίζονται σε ένα ηλιακό συλλέκτη, σχεδιασμένο για τη συλλογή της ηλιακής ενέργειας και την μετατροπή της σε ηλεκτρική ή θερμική.

Η βιβλιογραφία περιέχει πολλές μελέτες σχετικά με τη χρήση ηλιακών συλλεκτών για την κατασκευή συστημάτων, όπως φωτιστικά σώματα, αυτόματες περσίδες παράθυρων, κουζίνες, και πολλά άλλα [11,12,32-35].

Σε γενικές γραμμές, η ισχύς που παράγεται σε τέτοιες εφαρμογές εξαρτάται από την ποσότητα της ηλιακής ενέργειας που λαμβάνεται από τον συλλέκτη, και έτσι η ανάπτυξη συστημάτων παρακολούθησης ικανών να ακολουθούν την τροχιά του ήλιου καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας έχει ερευνηθεί εκτενώς.

Για παράδειγμα, διάφορα συστήματα έχουν προταθεί για τη βελτιστοποίηση της γωνίας κλίσης και του προσανατολισμού των ηλιακών συλλεκτών και έχουν σχεδιαστεί για διαφορετικά γεωγραφικά πλάτη ή περιόδους χρήσης [13-14].

Έρευνες έδειξαν, ότι με τη χρήση μαθηματικών μοντέλων για τη βελτιστοποίηση της γωνίας κλίσης και του προσανατολισμού του ηλιακού συλλέκτη, μπορεί να επιτευχθεί μια ετήσια αύξηση 5% της λαμβανόμενης ακτινοβολίας σε σχέση με τα συστήματα, όπου ο συλλέκτης είναι σταθερός σε μια οριζόντια επιφάνεια.

Στην πόλη Αντεν (Υεμένη), η βελτίωση της απόδοσης μιας ηλιακής κουζίνας κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, βρέθηκε να είναι πάνω από 40% , με βάση τον αλγόριθμο εντοπισμού που περιγράφεται στο [11].

Το 1975, ένα από τα πρώτα ηλιακά συστήματα αυτόματου εντοπισμού [14,15,39] παρουσιάστηκε από τον McFee. Αναπτύχθηκε αλγόριθμος για τον υπολογισμό της συνολικής ηλιακής ενέργειας, που λαμβανόταν από έναν κεντρικό συλλέκτη [10]. Χωρίζοντας κάθε κάτοπτρο σε 484 στοιχεία και αθροίζοντας τη συμβολή όλων των στοιχείων, η θέση του ήλιου μπορούσε να υπολογιστεί με περιθώριο λάθους 0.5 – 1 μοίρες.

Αρκετά χρόνια αργότερα, οι Semma και Imamgu χρησιμοποίησαν ένα απλό μικροεπεξεργαστή για να προσαρμόζουν τις θέσεις ηλιακών συλλεκτών και να δείχνουν προς τον ήλιο ανά πάσα στιγμή [13].

Επιπλέον αναπτύχθηκαν μαθηματικοί μέθοδοι για τον υπολογισμό του σφάλματος και την βελτίωση των αλγορίθμων εντοπισμού της θέσης του ήλιου. [14,40].

Με την ταχεία πρόοδο της τεχνολογίας των υπολογιστών και των συστημάτων ελέγχου, κατά τις τελευταίες δεκαετίες, η βιβλιογραφία περιλαμβάνει πλέον πολλά εξελιγμένα συστήματα παρακολούθησης ήλιου, σχεδιασμένα για να μεγιστοποιούν την αποτελεσματικότητα των θερμικών ηλιακών και φωτοβολταϊκών συστημάτων.

Σε γενικές γραμμές, τα συστήματα αυτά μπορούν να ταξινομηθούν είτε ως κλειστού είτε ως ανοικτού βρόχου, ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας τους. Στον πίνακα που ακολουθεί αναφέρονται τα σημαντικότερα, ταξινομημένα ανά τύπο λειτουργίας.

Πίνακας 1: Σημαντικότερα συστήματα παρακολούθησης ηλιακής κίνησης

Κλειστού Βρόχου	Ανοιχτού Βρόχου
Akhmedyarov (1986)	McFee (1975)
Maish (1990)	Blanco-Muriel (2001)
Brown (1993)	Abdallah (2004)
Kalogirou (1996)	Reda (2004)
Khalifa (1998)	Grena (2008)
Falbel (2002)	Chong (2009)
Al-Mohamad (2004)	
Abdallah (2004)	
Aiuchi (2004)	

Στην συνέχεια θα παρουσιαστούν οι βασικές αρχές, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των κυριότερων συστημάτων παρακολούθησης της πορείας του ήλιου.

2.1 Συστήματα Κλειστού Βρόχου

Τα συστήματα παρακολούθησης της πορείας του ήλιου, που είναι κλειστού βρόχου βασίζονται στην αρχή της επίβλεψης και της ανατροφοδότησης. Σε αυτά τα συστήματα υπάρχει ένα σύνολο από αισθητήρες οι οποίοι μετράνε κάποιες ποσότητες και μεταδίδουν τα δεδομένα αυτά σε έναν ελεγκτή, ο οποίος τα επεξεργάζεται και αποφασίζει για την επόμενη κίνηση που θα πραγματοποιήσουν οι συλλέκτες.

Το 1986 ο Akhmedyagov [41], πρώτος, αύξησε την παραγόμενη ενέργεια σε ένα ηλιακό φωτοβολταϊκό σταθμό, στο Καζακιστάν, από 357W σε 500W ενσωματώνοντας του, ένα αυτόματο σύστημα παρακολούθησης ήλιου.

Αρκετά χρόνια αργότερα, ο Maish [17] ανέπτυξε ένα σύστημα ελέγχου που ονομαζόταν SolarTrak, και πρόσφερε την δυνατότητα παρακολούθησης του ήλιου. Επιπλέον διέθετε ένα σύστημα εξοικονόμησης ενέργειας, έτσι ώστε να είναι εφικτή η λειτουργία του στην διάρκεια της νύχτα και μιας κακοκαιρίας. Είχε την δυνατότητα να ελέγχεται από μακριά, όπως επίσης υποστήριζε μηχανικό τρόπο οδήγησης. Η παρακολούθηση που πρόσφερε ήταν σε έναν ή σε δυο άξονες κίνησης και ήταν πολύ εύκολο στην εγκατάσταση του και αρκετά φθινό.

Το σύστημα πρόσφερε την δυνατότητα αυτόματης ρύθμισης των κινητήρων, έτσι ώστε να βελτιώνεται η ακρίβεια και η αξιοπιστία του συστήματος. Πειράματα έδειξαν ότι σε μια πλήρη μέρα η ακρίβεια που είχε ήταν καλύτερη από 0,1 μοίρες.

Το SolarTrakTM ήταν ένας ελεγκτής, που πρόσφερε σε φωτοβολταϊκά συστήματα δυνατότητες παρακολούθησης του ήλιου και αναπτύχθηκε αρχικά από την Sandia National Laboratories. Στόχος ήταν αρχικά, να είναι ένας χαμηλού κόστους, εξαιρετικά ακριβής και αξιόπιστος ελεγκτής για φωτοβολταϊκά ανοιχτού βρόχου. Χρησιμοποιήθηκε για αρκετά χρόνια χωρίς πρόβλημα από το Alpha Solarco σε μια φωτοβολταϊκή εγκατάσταση 1,5 KW στην Νεβάδα. Εξαιτίας των απαιτήσεων της αγοράς δέχτηκε σημαντικές βελτιώσεις, έτσι ώστε να έχει ευρύτερη αποδοχή στην φωτοβολταϊκή βιομηχανία. Το αποτέλεσμα ήταν ένας ελεγκτής παρακολούθησης, εξαιρετικά χαμηλού κόστους και μεγάλης αξιοπιστίας, ο οποίος έκανε εφικτή οικονομικά, την μαζική παραγωγή, μικρών, κάτω από 1 KW, περιστρεφόμενων φωτοβολταϊκών συστημάτων. Ο SolarTrakTM ήταν ιδανικός για την χρησιμοποίηση του σε επίπεδα φωτοβολταϊκά συστήματα. Πρόσφερε σε αυτά ανίχνευση της νύχτας, της κατεύθυνσης και της έντασης

Σχεδίαση Αυτοελεγχόμενων Ηλιακών Συστημάτων

του ανέμου, όπως επίσης ρύθμιζε τις γωνίες έτσι ώστε να μην επηρεάζεται η φωτεινότητα σε γειτονικές γραμμές από φωτοβολταϊκά. Παράλληλα πρόσφερε σημαντική εξοικονόμηση πόρων χάρης στον περιορισμό της καλωδίωσης.

Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που αντιμετώπιζαν ορισμένοι κατασκευαστές φωτοβολταϊκών συστημάτων, ήταν η κατανάλωση ενέργειας από τους ελεγκτές παρακολούθησης. Για παράδειγμα η Entech, ένας κατασκευαστής φωτοβολταϊκών συστημάτων χρησιμοποιούσε έναν ηλεκτρονικό ελεγκτή, ο οποίος απαιτούσε 12 Ah/ημέρα, πολύ περισσότερο από αυτό που απαιτούσαν άλλα τμήματα, ενός 860W αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος. Για αυτό τον λόγο ζητήθηκε η τροποποίηση του SolarTrankTM, ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί με ένα μικρό 5W φωτοβολταϊκό κύτταρο και μπαταρία. Ο SolarTrankTM είχε το πλεονέκτημα ότι χρησιμοποιούσε έναν μικροελεγκτή ενός κρυστάλλου, τον Motorola 68HC11, ο οποίος περιλάμβανε όλες τις λειτουργίες ενός υπολογιστή, συμπεριλαμβανομένου μνήμη, επεξεργασία, χρονιστές, μετατροπείς από αναλογικό σε ψηφιακό και άλλες λειτουργίες σε ένα μόνο, πολύ χαμηλής κατανάλωσης, τσιπ. Αυτό έδινε και το πλεονέκτημα των λιγότερων αστοχιών, λόγω των λιγότερο εξαρτημάτων, που έπρεπε να συνδεθούν. Το SolarTrakTM χρησιμοποιούσε το 10%, από την ενέργεια που χρησιμοποιούσε ο ελεγκτής της Entech, παρόλα αυτά απαιτούνταν περαιτέρω μειώσεις στην κατανάλωση. Για την επίτευξη του στόχου αυτού, αντικαταστάθηκαν τα ρολόγια της πλακέτας, από χαμηλότερης κατανάλωσης, όπως επίσης αφαιρέθηκαν τσιπ που δεν ήταν απαραίτητα. Επίσης βρέθηκαν οδηγοί (drivers), οι οποίοι είχαν πολύ μικρή κατανάλωση, όταν ήταν σε ανενεργή κατάσταση (sleep mode) και παράλληλα παρείχαν την δυνατότητα οδήγησης κινητήρων 12V 1A. Επίσης για μεγαλύτερη εξοικονόμηση, ο ίδιος ο μικροελεγκτής, πήγαινε στην ανενεργή κατάσταση, κατά την διάρκεια της νύχτας και επανερχόταν με το πρώτο φως της ημέρας, με την βοήθεια μιας φωτοδιόδου(Photodiode). Επίσης τροποποιήθηκε και το τμήμα που μετέτρεπε τα 12V σε 5V, που απαιτείται από τα ολοκληρωμένα. Για να προστατεύεται το σύστημα από συνθήκες χαμηλής μπαταρίας υλοποιήθηκε μια λειτουργία, η οποία επέτρεπε στον μικροελεγκτή να σταματάει την κίνηση του συστήματος, όταν η μπαταρία κόντευε να αδειάσει.

Ο τροποποιημένος ελεγκτής απαιτούσε 10mA ρεύματος στα 12 V ή περίπου 0,24Ah/ημέρα. Ένα 5W φωτοκύτταρο μπορούσε εύκολα να παρέχει αυτήν την ενέργεια για αρκετές ημέρες, με μόλις μια μέρα ηλιοφάνεια.

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό, που μπορεί να μειώσει το κόστος της υλοποίησης ενός συστήματος φωτοβολταϊκών, είναι η δυνατότητα χρήσης εξαρτημάτων που παράγονται

Σχεδίαση Αυτοελεγχόμενων Ηλιακών Συστημάτων

μαζικά. Ένα τέτοιο είναι οι δορυφορικές βάσεις τηλεόρασης. Τέτοιες βάσεις παράγονται μαζικά και για αυτό τον λόγο είναι εξαιρετικά φθηνές. Οι βάσεις αυτές είναι εξαιρετικής ποιότητας και προσφέρουν DC κινητήρες, γραμμικούς οδηγούς, ανιχνευτές ορίων και αισθητήρες θέσης. Η σύνδεση τους είναι απλή. Αυτό που απαιτείται είναι δυο καλώδια για την τροφοδοσία και δυο ή τρία για την ανίχνευση της θέσης. Το SolarTrak™ πρόσφερε την δυνατότητα σύνδεση με τέτοιες βάσεις, πράγμα που το καθιστούσε ιδιαίτερα ελκυστικό.

Μια ιδιότητα που είναι πολλές φορές σημαντική στα φωτοβολταϊκά συστήματα, ειδικά σε αυτά που είναι κλειστού βρόχου, είναι η ακρίβεια, με την οποία είναι εφικτή, η μετατροπή ενός αναλογικού σε ένα ψηφιακό σήμα. Το SolarTrak™, παρείχε τέτοιους μετατροπείς εξαιρετικά μεγάλης ακρίβειας, οι οποίοι μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν, για να λαμβάνουν τις ενδείξεις από διάφορους αισθητήρες θέσεις, όπως ποτενσιόμετρα και ψηφιακούς αισθητήρες κλίσης (inclinometers). Τέτοιοι αισθητήρες μπορούσαν να πετύχουν ακρίβεια μέχρι και 0,05 μοίρες.

Μια ακόμα πηγή προβλημάτων που αντιμετωπίζουν τα συστήματα παρακολούθησης ήλιου, ειδικά αυτά που είναι ανοιχτού βρόχου, και την οποία το SolarTrak™ είχε αντιμετωπίσει με επιτυχία, είναι η ακρίβεια στα ρολόγια των ψηφιακών κυκλωμάτων. Για συστήματα, τα οποία έχουν επίπεδα φωτοβολταϊκά κύτταρα, η ακρίβεια αυτή δεν είναι και τόσο σημαντική. Λάθος της τάξεως των 5 μοιρών έχει σαν αποτέλεσμα μείωση της παραγόμενης ενέργεια κατά μόλις 0,4%. Παρόλα αυτά σε συστήματα, όπου υπάρχουν φωτοβολταϊκά συγκέντρωσης, απαιτείται ακρίβεια περίπου 0,5 μοίρες, το οποίο μεταφράζεται σε λάθος μικρότερο από δυο λεπτά. Η ακρίβεια του ρολογιού πολλές φορές επηρεάζεται από την θερμοκρασία που επικρατεί και το σφάλμα μπορεί να είναι αρκετά δευτερόλεπτα την ημέρα. Για αυτόν τον λόγο το SolarTrak™ πέρα από την δυνατότητα συγχρονισμού με εξωτερικό σήμα χρονισμού, μπορούσε να διορθώσει τον χρόνο. Η διόρθωση αυτή γινόταν με την προσθήκη ή αφαίρεση των απαιτούμενων δευτερολέπτων, το πλήθος των οποίων υπολογιζόταν με την τροφοδότηση της συσκευής με τον σωστό χρόνο, τουλάχιστον δυο φορές.

Τέλος ένα ακόμα σημαντικό χαρακτηριστικό των συστημάτων παρακολούθησης ήλιου, είναι η δυνατότητα ακινητοποίησης και η σύνδεση με αισθητήρες ανίχνευσης ισχυρών ανέμων. Το SolarTrak™ διέθετε ευέλικτες δυνατότητες ακινητοποίησης. Τρία τέτοιου είδους σήματα, μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν, δυο εκ των οποίων ήταν αναλογικά. Ο χρήστης μπορούσε να καθορίσει, την θέση ακινητοποίησης, οπουδήποτε στο εύρος κίνησης, σε οποιοδήποτε άξονα. Η ικανότητα ακινητοποίησης, μπορεί να μειώσει

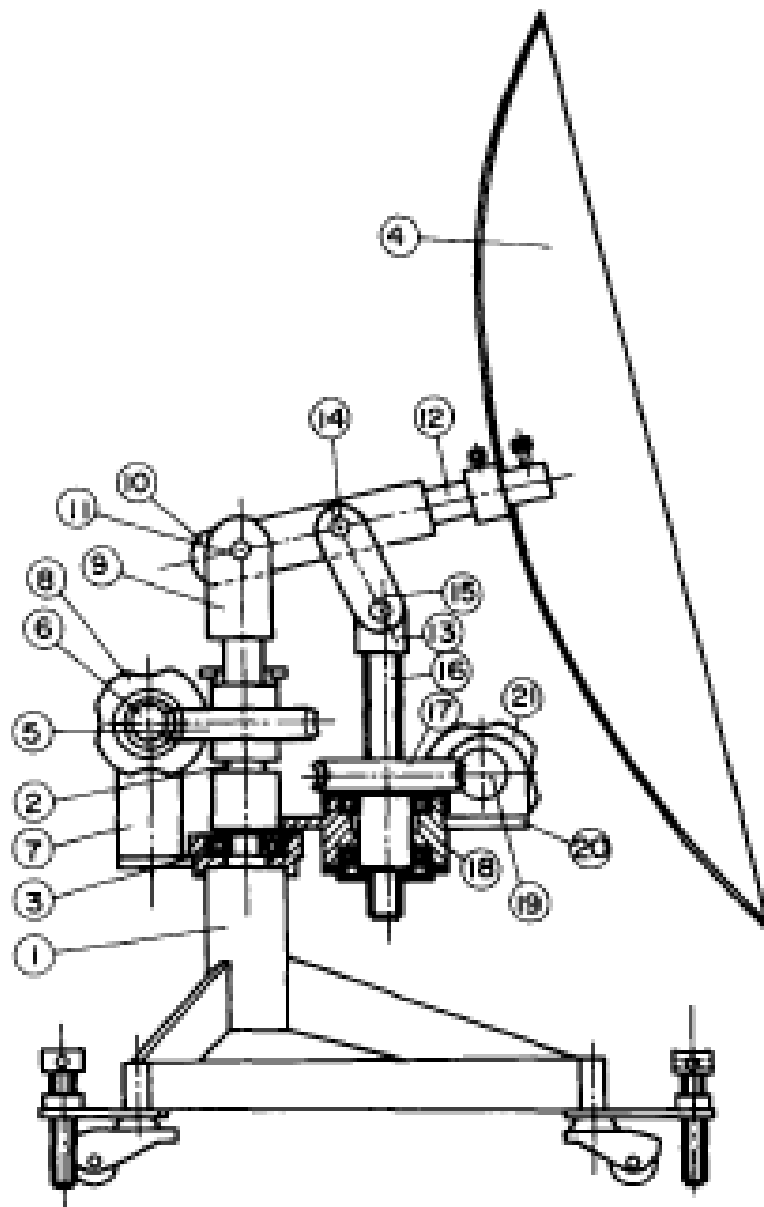
Σχεδίαση Αυτοελεγχόμενων Ηλιακών Συστημάτων

αισθητά το κόστος κατασκευής της βάσης του συστήματος. Επίσης ο SolarTrakTM διαθέτει χαμηλού κόστους αισθητήρα ανέμων, ο οποίος αποτελούνταν από έναν διακόπτη κλίσης υδραργύρου.

Το 1992, Agarwal [18] παρουσίασε μια βάση με δυο αξόνων, που περιλάμβανε κιβώτια ταχυτήτων και μπορούσε να συγκεντρώνει με ακρίβεια αντανάκλασεις καθρεφτών σε ένα ηλιακό σύστημα (π.χ. ηλιακή κουζίνα).

Η γη πραγματοποιεί μια πλήρη περιστροφή σε 24 ώρες και ως εκ τούτου κάθε λεπτό μετακινείται κατά 0,25 μοίρες. Η προσαρμογή των συλλεκτών ηλιακής ενέργειας χειροκίνητα είναι μια άβολη και δύσκολη διαδικασία και μπορεί να πραγματοποιηθεί με δοκιμές και διορθώσεις λαθών. Για την αντιμετώπιση των προβλημάτων αυτών σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε μια βάση δυο αξόνων, με την οποία ήταν εύκολη, η παρακολούθηση του ήλιου από τον χειριστή. Ο μηχανισμός της, ήταν απλός και το κόστος μικρό.

Ακολουθεί το σχεδιάγραμμα της βάσης.



Σχήμα 1: Βάση με δυο άξονες κίνησης Agarwal

Συνοπτικά τα μέρη της βάσης είναι τα ακόλουθα:

1. Είναι η βάση στην οποία στηρίζεται ολόκληρη η κατασκευή.
2. Είναι ο κεντρικός άξονας περιστροφής
3. Είναι ένα ρουλεμάν που εξασφαλίζει την ομαλή και απρόσκοπτη κίνηση του άξονα περιστροφής.
4. Ο συλλέκτης.
5. Είναι ένα κιβώτιο ταχυτήτων το οποίο κινείται με κοχλία και το οποίο περιστρέφει τον κατακόρυφο άξονα.

6. Κοχλίας ο οποίος συνδέεται με το κιβώτιο 5.
7. Αποτελεί βάση στήριξης για τον κοχλία 6.
8. Είναι ο μοχλός που διαθέτει ο κοχλίας 6 και με τον οποίο είναι εύκολη η περιστροφή του.
9. Ένας βραχίονας τύπου U.
10. Βραχίονας που στηρίζει τον άξονα 12.
11. Η σύνδεση των βραχιόνων 9 και 10.
12. Άξονας στον οποίο στηρίζεται ο συλλέκτης και ο οποίος έχει την δυνατότητα να επιμηκύνεται.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να επισημανθεί ότι η βάση είχε σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο, ώστε η κίνηση στον μοχλό 8 να μειώνεται σημαντικά από το κιβώτιο ταχυτήτων 5 και κατ' επέκταση ο άξονας 2 να κινείται πολύ αργά. Για παράδειγμα αν το κιβώτιο είναι 1:20, τότε αν ο μοχλός περιστραφεί κατά 10 μοίρες τότε ο κεντρικός άξονας θα περιστραφεί κατά μισή μοίρα. Με αυτόν τον τρόπο η κίνηση του συλλέκτη είναι πολύ ομαλή.

13. Βραχίονας τύπου U που υποστηρίζει την κίνηση του συλλέκτη κατά τον οριζόντιο άξονα.
14. Ένωση του βραχίονα 13 με τον βραχίονα 10.
15. Συνδετικός σύνδεσμος του βραχίονα 13 με τον 10.
16. Κοχλίας στον οποίο συνδέεται ο βραχίονας 13.
17. Κιβώτιο ταχυτήτων το οποίο συνδέεται με τον κοχλία 16.
18. Η βάση στην οποία συνδέεται το κιβώτιο 17 είναι στεριωμένης πάνω στον άξονα 2 και μπορεί να περιστρέφεται με αυτόν.
19. Κοχλίας ο οποίος συνδέεται με το κιβώτιο 17.
20. Βραχίονας στον οποίο στηρίζεται ο κοχλίας 19.
21. Μοχλός με τον οποίο είναι εφικτή η κίνηση του κιβωτίου ταχυτήτων 17 και μέσω του βραχίονα 13 είναι εφικτή η κίνηση του συλλέκτη πάνω και κάτω.

Με την συσκευή μπορούσε κάποιος εύκολα κινώντας τους μοχλούς 8 και 21 να κινήσει τον συλλέκτη 4 και να παρακολουθήσει την πορεία του ήλιου.

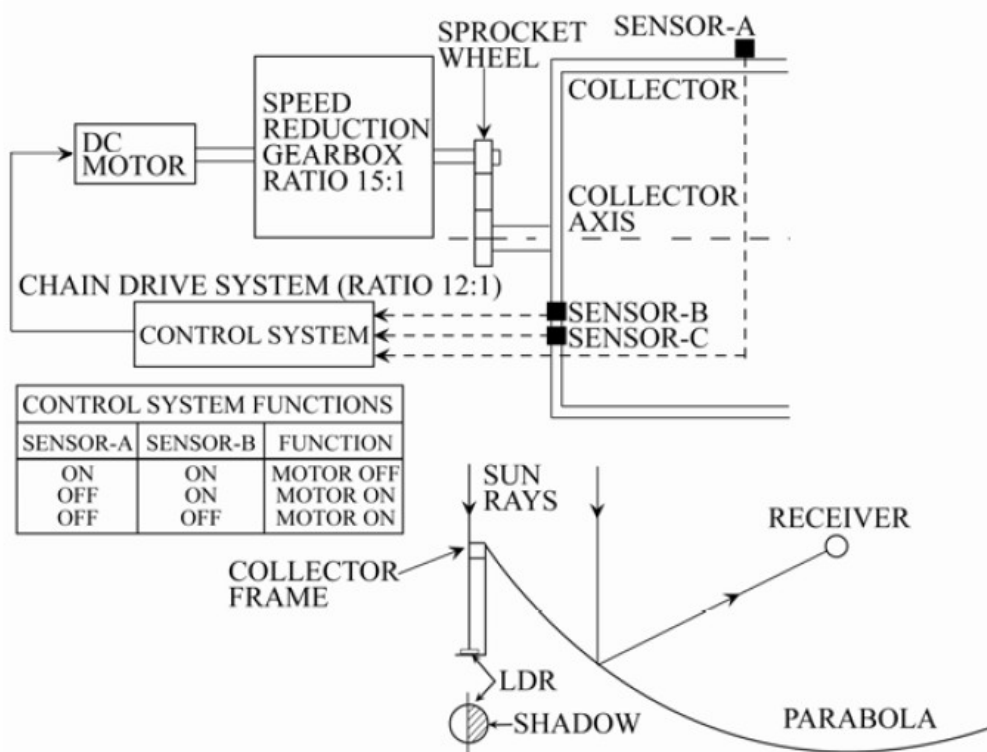
Σχεδίαση Αυτοελεγχόμενων Ηλιακών Συστημάτων

Ο Brown και ο Stone [42] ανέπτυξαν ένα σύστημα παρακολούθησης για ηλιακούς συλλέκτες, στους οποίους εφαρμοζόταν ένα νευρωνικό δίκτυο, με στόχο τον περιορισμό του λάθους παρακολούθησης. Πειράματα έδειξαν ότι το σύστημα ήταν ικανό να περιορίσει το λάθος σε τιμές μικρότερες από 0,01 μοίρες.

Ο Καλογύρου [20] παρουσίασε ένα σύστημα παρακολούθησης ενός άξονα, που χρησιμοποιούσε τρεις φωτοαντιστάσεις (LDRs). Η πρώτη φωτοαντίσταση ανίχνευε την κατάσταση εστίασης του συλλέκτη. Η δεύτερη είχε σχεδιαστεί για την ανίχνευση της παρουσίας ή της απουσίας σύννεφων, ενώ με την τρίτη ήταν εφικτός ο διαχωρισμός της μέρας από την νύχτα. Οι έξοδοι των τριών αντιστάσεων τροφοδοτούσαν ένα ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου, το οποίο οδηγούσε ένα 12V DC κινητήρα χαμηλών στροφών. Στην συνέχεια ο κινητήρας δεχόταν σήματα, έτσι ώστε να στρέφει τον συλλέκτη πάντα προς τον ήλιο.

Το σφάλμα που είχε, στην παρακολούθηση της τροχιά του ήλιου, ήταν από 0,05 έως 0,2 ανάλογα με την ηλιοφάνεια. Οι τιμές αυτές είναι ικανοποιητικές για την δημιουργία ενός συστήματος με συλλέκτες συγκέντρωσης. Οι συλλέκτες συγκέντρωσης, μπορούν να προσφέρουν σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τους επίπεδους συλλέκτες, ειδικά σε εφαρμογές που είναι μεσαίας ή υψηλής θερμοκρασίας. Τέτοια όμως συστήματα απαιτούν πολύ ακριβή παρακολούθηση του ήλιου.

Το σύστημα που σχεδιάστηκε, μπορούσε να παρακολουθεί τον ήλιο με ακρίβεια ικανοποιητική, για συστήματα με συλλέκτες συγκέντρωσης. Αποτελείτο από έναν μικρό κινητήρα συνεχούς ρεύματος, ο οποίος περιέστρεφε τον συλλέκτη με ένα μειωτήρα. Ένα σύστημα ελέγχου χρησιμοποιούταν, για να ανιχνεύει την θέση του ήλιου και για να ενεργοποιήσει κατάλληλα τον κινητήρα. Το σχεδιάγραμμα του συστήματος και ο πίνακας με τις λειτουργίες του φαίνεται παρακάτω:



Σχήμα 2: Σύστημα παρακολούθησης ενός άξονα Καλογύρου

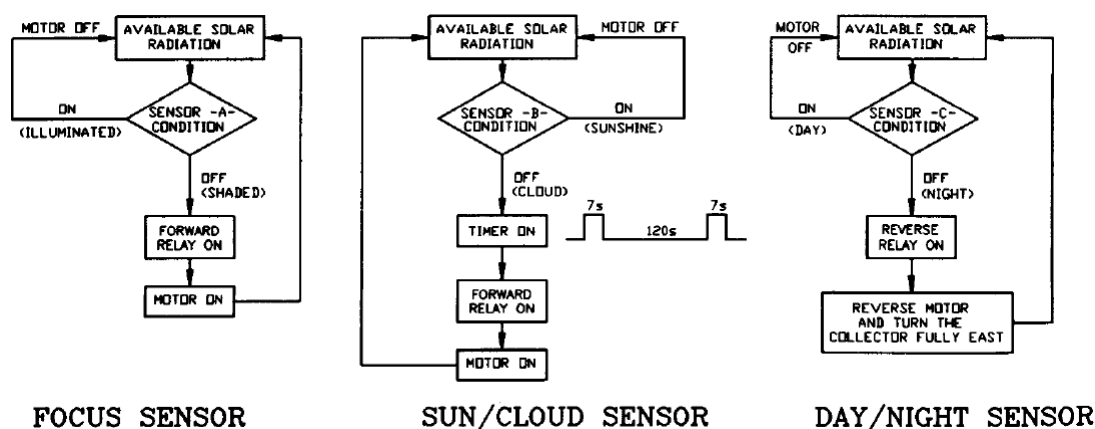
Το σύστημα διαθέτει τρεις αισθητήρες. Ο πρώτος Α ήταν τοποθετημένος στην ανατολική περιοχή του συλλέκτη και σκιαζόταν από το πλαίσιο του. Οι άλλοι δύο ο Β και ο C ήταν πάνω στο πλαίσιο του συλλέκτη. Ο Α αισθητήρας λειτουργούσε σαν αισθητήρας εστίασης, δηλαδή λάμβανε απευθείας φως, μόνο όταν ο συλλέκτης ήταν εστιασμένος. Όταν ο ήλιος άλλαζε θέση ο αισθητήρας σκιαζόταν με αποτέλεσμα ο κινητήρας να ενεργοποιείται. Ο Β ήταν ο αισθητήρας για τα σύννεφα. Ο αισθητήρας θεωρούσε ότι υπήρχε συννεφιά, όταν η φωτεινότητα του, έπεφτε κάτω από ένα όριο. Ο C ήταν ο αισθητήρας ημέρας. Η κατάσταση όπου όλοι οι αισθητήρες λάμβαναν φως θεωρείτο από την μονάδα ελέγχου σαν ημέρα, χωρίς σύννεφα και με τον ήλιο εστιασμένο στον συλλέκτη.

Κατά τα πρώτα στάδια σχεδιασμού του συστήματος ελέγχου, ένα πλήθος από διαφορετικά είδη αισθητήρων τέθηκε υπό εξέταση, συμπεριλαμβανομένων των φωτοκύτταρων, των διμεταλλικών ελασμάτων, ρευστό-μηχανικές συσκευές και φωτοαντιστάσεις (LDR). Όλα τα είδη έχουν μειονεκτήματα, για παράδειγμα οι αισθητήρες, που βασίζονται στην θερμοκρασία, επηρεάζονται από τις συνθήκες του ανέμου και της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος. Τα φωτοκύτταρα απορρίφθηκαν, γιατί απαιτούσαν μεγάλη επιφάνεια για να προσφέρουν τα επιθυμητά μετρήσιμα μεγέθη. Επιπλέον είχαν προβλήματα όταν ένα μέρος της επιφάνειάς τους ήταν φωτισμένο και

ένα άλλο ήταν σκιασμένο. Το κύριο μειονέκτημα των φωτοαντιστάσεων, είναι ότι δεν μπορούν να διακρίνουν το απευθείας φως από την αντανάκλαση. Αυτό όμως μπορεί να ξεπεραστεί με την προσθήκη μιας μεταβλητής αντίστασης και τον καθορισμό ενός κατωφλιού, μετά από το οποίο θεωρείται, ότι η συσκευή δέχεται απευθείας φως από τον ήλιο. Οι φωτοαντιστάσεις που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τύπου ORP 12 και η αντίσταση τους είναι κανονικά περίπου 300Ω, ενώ σε απευθείας φως είναι περίπου 15Ω.

Όπως φαίνεται και από τον πίνακα λειτουργίας του συστήματος, ο κινητήρας ενεργοποιούταν, όταν κάποια από τις φωτοαντιστάσεις σκιαζόταν. Ποιος αισθητήρας ήταν ενεργός και ποιος όχι, εξαρτιόταν από το μέγεθος της σκίασης και καθοριζόταν από την τιμή, που έπαιρνε μια μεταβλητή αντίσταση.

Η λογική με την οποία λειτουργούσε κάθε αισθητήρας φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα.



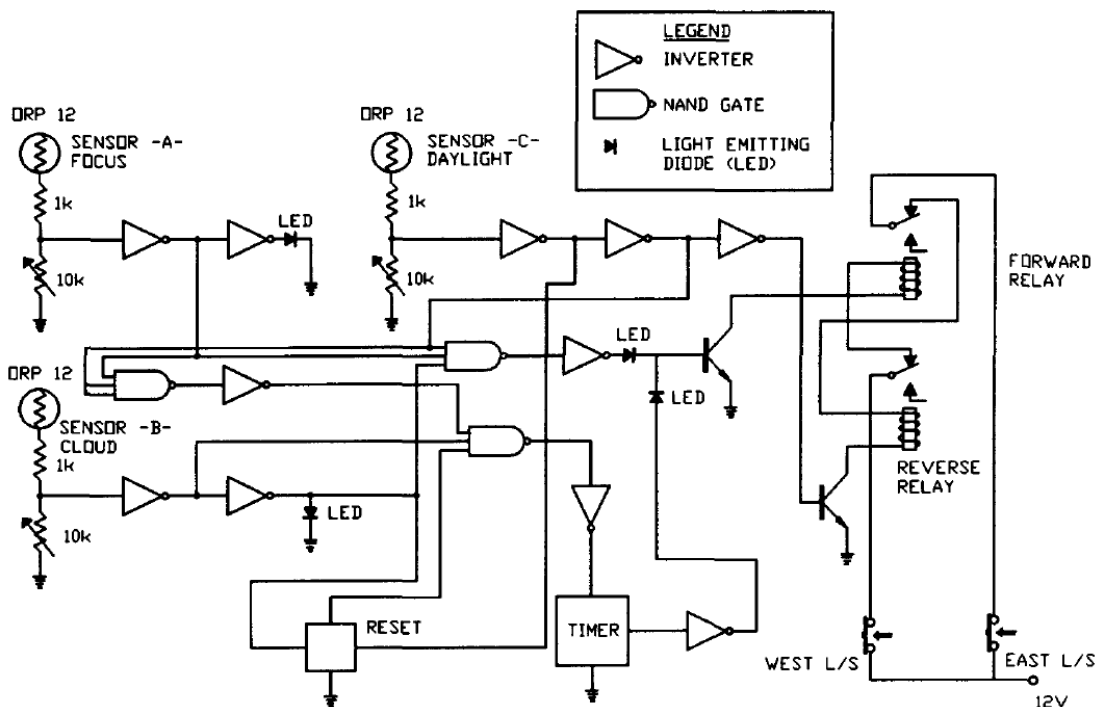
Σχήμα 3: Διάγραμμα ροής για τους αισθητήρες του συστήματος Καλογύρου

Ο αισθητήρας A είναι πάντα μερικώς σκιασμένος. Όταν η σκίαση μεγαλώνει, λόγω της κίνησης του ήλιου, ο αισθητήρας λαμβάνει μια τέτοια τιμή που ενεργοποιεί τον ηλεκτρονόμο (relay). Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την εκκίνηση του κινητήρα και την μετακίνηση του συλλέκτη, προς την κατεύθυνση του ήλιου. Η ανίχνευση της συνεφιάς μπορούσε να πραγματοποιηθεί με τον αισθητήρα B. Όταν ο αισθητήρας B δεν λάμβανε απευθείας φως από τον ήλιο, τότε ένας χρονιστής συνδεόταν αυτόματα με το σύστημα και εκκινούσε τον κινητήρα κάθε 2 λεπτά και 7 δευτερόλεπτα. Σαν αποτέλεσμα ο συλλέκτης παρακολουθούσε την πορεία του ήλιου και όταν η συνεφιά έφευγε τότε η διαδικασία της επανεστίασης πραγματοποιούνταν από τον αισθητήρα A.

Το σύστημα διέθετε επίσης αισθητήρες ανίχνευσης ορίων, οι οποίοι σταμάταγαν τον κινητήρα, πριν ξεπεράσει τα καθορισμένα όρια. Ήταν εγκατεστημένοι σε δυο σημεία, έτσι ώστε να σταματάνε τον κινητήρα και στα δυο όρια της κίνησης. Ο συλλέκτης παρακολουθούσε την πορεία του ήλιου προς τα δυτικά. Όταν ο ήλιο έδυε, τότε ο

αισθητήρας C το αντιλαμβάνοταν και άλλαζε την κατεύθυνση της κίνησης προς τα ανατολικά. Μόλις ο αισθητήρας ανίχνευσης ορίων ενεργοποιούνταν τότε η κίνηση σταμάταγε.

Το σχήμα που ακολουθεί δείχνει το σύστημα ελέγχου μαζί με το τσιπ του χρονισμού, τους αισθητήρες, τους ηλεκτρονόμους και τους αισθητήρες ανίχνευσης ορίων.



Σχήμα 4: Μονάδα ελέγχου συστήματος Καλογύρου

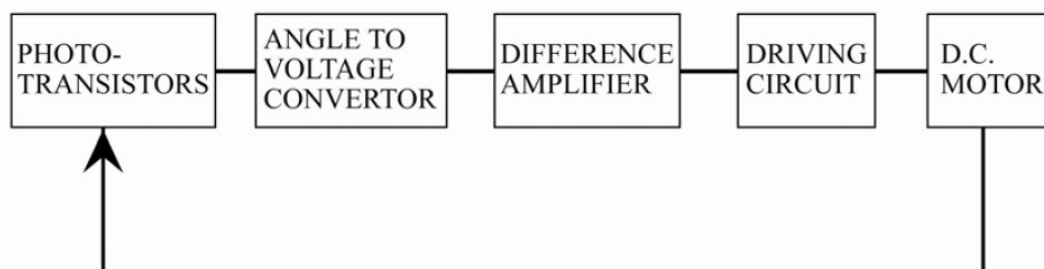
Το σύστημα ελέγχου χρησιμοποιούσε έναν συνδυασμό από αντιστροφείς και πύλες nand, έτσι ώστε να μεταφράσει την αντίσταση των φωτοαντιστάσεων σε σήματα που ενεργοποιούσαν τους ηλεκτρονόμους. Το σύστημα χρησιμοποιούσε ψηφιακούς λαμπτήρες (Led), για να δείχνει την κατάσταση των αισθητήρων και του κινητήρα. Ο κινητήρας ήταν συνεχούς ρεύματος, έτσι ώστε να υπάρχει η δυνατότητα τροφοδότησης του από μπαταρία ή από κάποιο φωτοκύτταρο. Με αυτόν τον τρόπο το σύστημα ήταν αυτόνομο. Η κατεύθυνση κίνησης του κινητήρα, μπορούσε να αλλάξει απλά με την αλλαγή της πολικότητας στην τάση τροφοδοσία του. Ο κινητήρας συνδεόταν με τον συλλέκτη μέσω ενός κιβωτίου ταχυτήτων. Ο συλλέκτης ήθελε 38 λεπτά για να μετακινηθεί από την ανατολή στην δύση.

Ο μηχανισμός είχε δοκιμαστεί για περισσότερα από τέσσερα χρόνια και είχε αποδειχθεί ιδιαίτερα αξιόπιστος. Όλες οι συναρτήσεις του συστήματος ελέγχου ήταν ιδιαίτερα αποτελεσματικές. Η συνάρτηση η οποία επέτρεπε την παρακολούθηση του ήλιου κατά την συννεφιά ήταν αποτελεσματική, και μόνο στην περίπτωση, που υπήρχε σκίαση για

Λιγότερο από 30 δευτερόλεπτα υπήρχε πρόβλημα. Η ακρίβεια του συστήματος εξαρτιόταν από την φωτεινότητα του ήλιου. Στην χειρότερη περίπτωση όταν ήταν περίπου 100W ανά τετραγωνικό μέτρο τότε η ακρίβεια ήταν περίπου 0,2 μοίρες. Στην περίπτωση που η ηλιακή ακτινοβολία ήταν περίπου 600W τότε το σφάλμα έπεφτε στις 0,05 μοίρες. Η ακρίβεια θα μπορούσε να βελτιωθεί με την αλλαγή των μεταβλητών αντιστάσεων, αλλά κάτι τέτοιο θα οδηγούσε σε αύξηση της κίνησης του κινητήρα και επομένως στην μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας. Το κόστος του συστήματος ελέγχου ήταν πάρα πολύ μικρό και δεν εξαρτιόταν από το μέγεθος του συλλέκτη.

Το 1997, ο Stone και ο Sutherland [43] παρουσίασαν ένα σύστημα αποτελούμενο από 100 ηλιοστάτες που παρακολουθούσαν την θέση του ήλιου.

Το 1998, Khalifa και Al-Mutawalli [44] ανέπτυξαν ένα σύστημα παρακολούθησης δυο αξόνων για να αυξήσουν την απόδοση ενός παραβολοειδούς συλλέκτη. Το σύστημα ήταν ικανό να παρακολουθεί την θέση του ήλιου κάθε τρία ή τέσσερα λεπτά στο οριζόντιο επίπεδο και κάθε τέσσερα με πέντε λεπτά στο κατακόρυφο.



Σχήμα 5: Σύστημα παρακολούθησης δυο αξόνων Khalifa και Al-Mutawalli

Το σύστημα αποτελείται από δυο όμοια υποσυστήματα, ένα για κάθε άξονα. Κάθε υποσύστημα διαθέτει δυο φωτοαντιστάσεις την μια δίπλα στην άλλη και ανάμεσα τους υπήρχε ένα διαχωριστικό συγκεκριμένου ύψους. Κατά την διάρκεια της παρακολούθησης το σύστημα έβρισκε την διαφορά τάσης ανάμεσα στις δυο αντιστάσεις και οδηγούσε κατάλληλα τον συλλέκτη μέχρι η διαφορά αυτή να γινόταν μηδέν. Αυτό σήμαινε ότι οι ακτίνες του ήλιου, ήταν και πάλι κάθετες ως προς την επιφάνεια. Παρατηρήθηκε ότι το σύστημα αυτό είχε κατανάλωση μόλις 0,5 Whr και αύξανε την απόδοση κατά 75% σε σχέση με τον ακίνητο συλλέκτη ίδιων διαστάσεων.

Ο Yousef [45] ανέπτυξε ένα σύστημα παρακολούθησης, στο οποίο, τα μη γραμμικά στοιχεία της διαδικασίας, ελέγχονταν από έναν αλγόριθμο ασαφούς λογικής(fuzzy logic), που υλοποιήθηκε σε ένα προσωπικό υπολογιστή. Το σύστημα περιλάμβανε μια κάρτα

διεπαφής, που επέτρεπε την λήψη των μετρήσεων από τους αισθητήρες, καθώς και τον έλεγχο των κινητήρων.

Ο Falbel [47] παρουσίασε ένα σύστημα ελέγχου ύψους δορυφόρων, το οποίο περιλάμβανε έναν συλλέκτη ηλιακής ενέργειας (CubeSAT). Ο αισθητήρας ήλιου είχε την μορφή μιας δισδιάστατης αναλογικής συσκευής, η οποία μετρούσε την θέση του ήλιου σε σχέση με τον οπτικό της άξονα. Με βάση τις διαφορετικές μετρήσεις που λαμβάνονταν από τις διαφορετικές περιοχές του ανιχνευτή καθοριζόταν η θέση του ήλιου. Οι πειραματικές μετρήσεις έδειξαν ότι μπορούσε ο αισθητήρας να αντιληφθεί την θέση του ήλιου με ακρίβεια 0,05 μοίρες.

Ο Urbano [48] παρουσίασε μια αυτόνομη συσκευή των 5 Watt που επέτρεπε την παρακολούθηση του ήλιου σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα με ισχύ 2,6KW. Το σύστημα σχεδιάστηκε για να παρακολουθεί την πορεία του ήλιου αυτόνομα στην κατεύθυνση του αζιμούθιου και του ύψους. Η κίνηση πραγματοποιούνταν με την βοήθεια δυο 12 V DC κινητήρων, καθένας από τους οποίους είχε κατανάλωση 36W και οι οποίοι λάμβαναν ρεύμα από μια μπαταρία φορτιζόμενη από το φωτοβολταϊκό.

Οι Jiang and Cao [49] κατασκεύασαν έναν τεχνικό ηλιάνθο βασισμένο σε έναν σφαιρικό χωρισμένο σε τεταρτημόρια αισθητήρα. Ο ηλιάνθος ήταν κατασκευασμένος με τέτοιο τρόπο, που όταν ο ήλιος έπεφτε κάθετα προς την επιφάνεια του, τότε τα τεταρτημόρια παρήγαν την ίδια τάση. Όταν όμως υπήρχε μια αλλαγή στην θέση του ήλιου τότε κάθε τεταρτημόριο παρήγαγε διαφορετική τάση. Με κατάλληλη επεξεργασία των εξόδων του κάθε τεταρτημόριου, μπορούσε να παραχθεί ένα σήμα ελέγχου, με το οποίο οι τάσεις σε κάθε ένα από αυτά θα γίνονταν και πάλι ίσες.

Οι Luque-Heredia [50] παρουσίασαν ένα σύστημα παρακολούθησης ήλιου, το οποίο μπορούσε να κατευθύνει 1000 μικρο-συλλέκτες. Το σύστημα αποτελείτο από μια ελαφριά κατασκευή σχεδιασμένη κατάλληλα, ώστε να αντέχει σε ισχυρούς ανέμους και ένα σύστημα ελέγχου το οποίο βασιζόταν σε έναν προσαρμοζόμενο αλγόριθμο για την διόρθωση των λαθών.

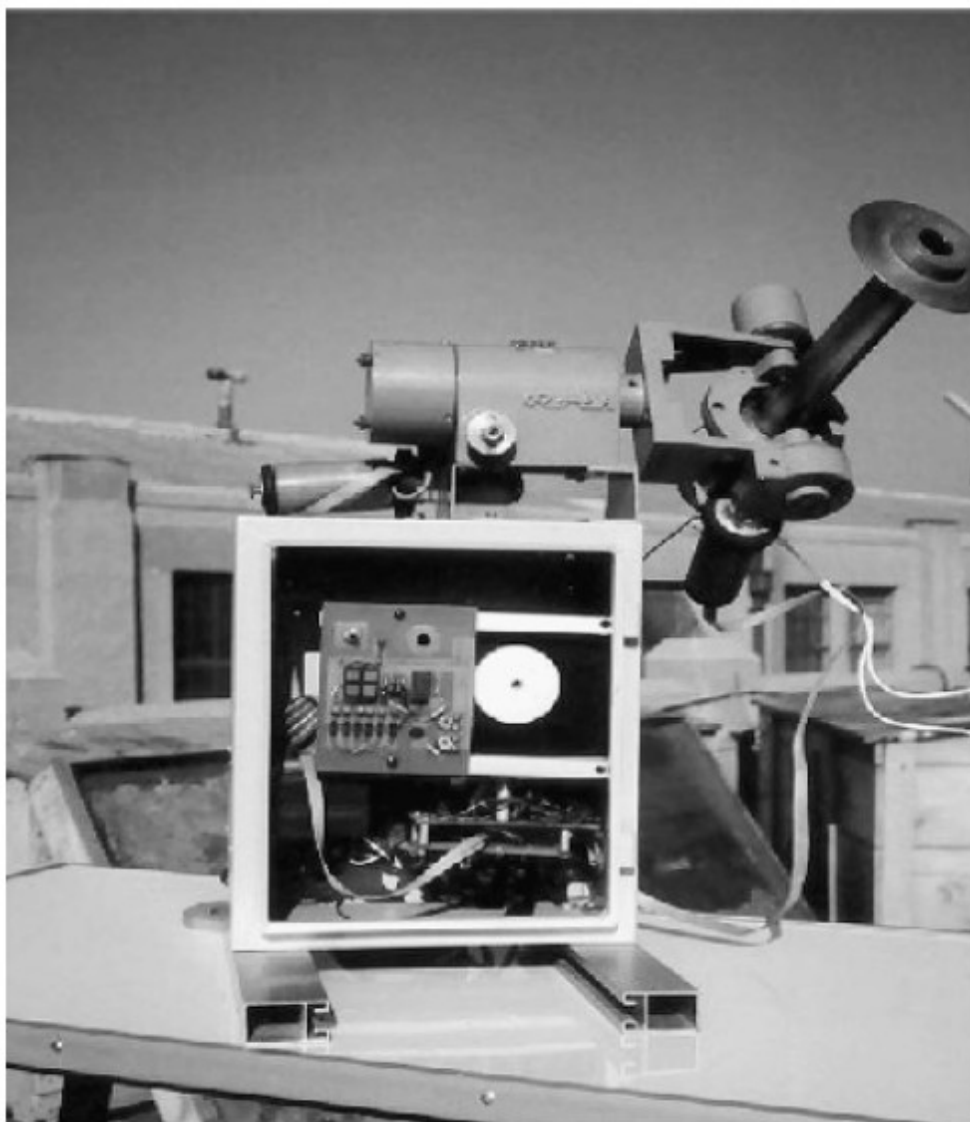
Το 2004 ο Roth [21, 51] κατασκεύασε ένα σύστημα, το οποίο χρησιμοποιούσε για την μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας πυρηλιόμετρο (pyrheliometer). Το σύστημα διέθετε έναν αισθητήρα τεταρτημορίων. Επίσης διέθετε δυο κινητήρες που οδηγούσαν τον συλλέκτη, έτσι ώστε η εικόνα του ήλιου να παραμένει στο κέντρο.

Το σύστημα κατασκευάστηκε από το Εργαστήριο Ηλιακής Ενέργεια στο τεχνικό πανεπιστήμιο της Αγίας Μαρίας (Solar Evaluation Laboratory of the Technical

University Federico Santa Maria) στο Βαλπαράϊσο της Χιλής. Λειτουργούσε αυτόνομα και καθοδηγούνταν από ένα κλειστού βρόγχου σερβομηχανισμό. Όταν είχε συννεφιά και ο ήλιος δεν ήταν ορατός, ένα πρόγραμμα υπολόγιζε την θέση του ήλιου και έπαιρνε τον έλεγχο της κίνησης.

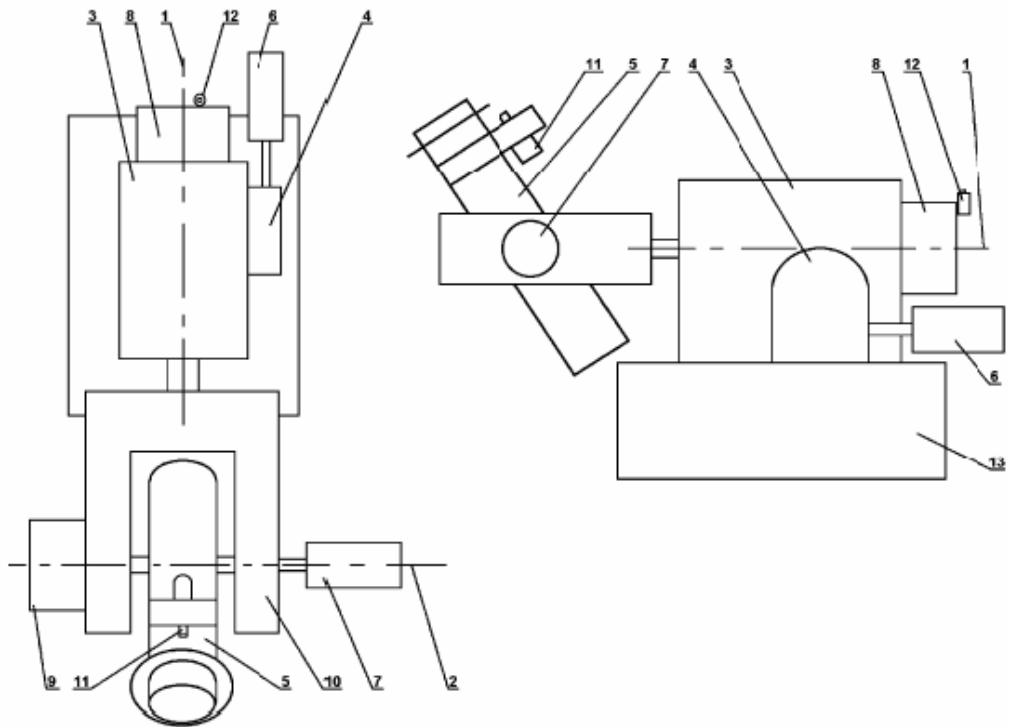
Το σύστημα δοκιμάστηκε στις κλιματολογικές συνθήκες της πόλης Βαλπαράϊσο και αποδείχτηκε ότι ήταν ένας απλός και φτηνός μηχανισμός, ο οποίος όμως ήταν εξαιρετικά αποτελεσματικός και μπορούσε να προσαρμοστεί για να λειτουργήσει και με φωτοβολταϊκά στοιχεία.

Η Χιλή βρίσκεται μεταξύ των γεωγραφικών πλατών 18° και 55° . Η μέση ετήσια ηλιακή ακτινοβολία ποικίλλει μεταξύ 2,14 και 5,91 kWh/m², που είναι περισσότερο από επαρκής, για να παρέχεται ενέργεια για τις ηλιακές θερμικές εφαρμογές. Ο μηχανισμός sun-tracking για αυτόματη μέτρηση της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας παρουσιάζεται στην εικόνα που ακολουθεί.

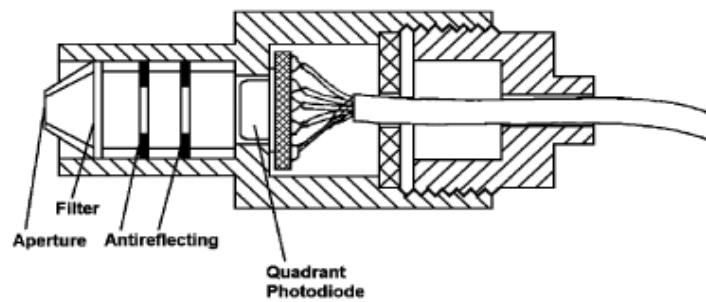


Εικόνα 1: Σύστημα με πυρηλιόμετρο Roth

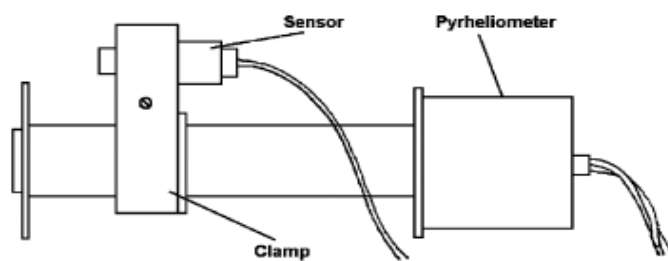
Σχηματικά ο μηχανισμός του συστήματος δίνεται στο σχήμα που ακολουθεί.



Σχήμα 6: Σχεδιάγραμμα της βάσης του συστήματος Roth



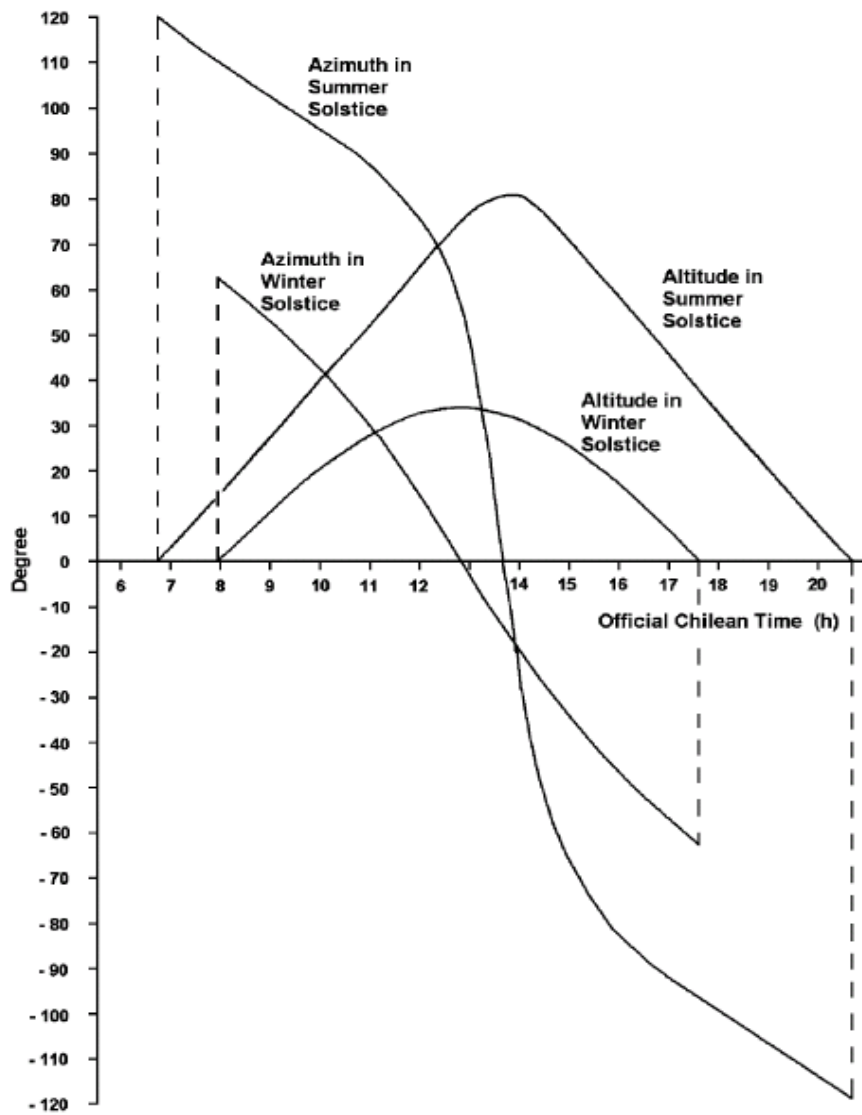
Σχήμα 7: Σχηματική αναπαράσταση του αισθητήρα



Σχήμα 8: Διάταξη αισθητήρων Roth

Το σύστημα διέθετε δύο άξονες κίνησης τον άξονα 1 (κίνηση –ανατολής δύσης, ΗΗ) και τον άξονα 2 (ανύψωση, ΕΕ). Η αποτελεσματική παρακολούθηση της θέσης του ήλιου, από το αισθητήριο μέτρησης άμεσης ακτινοβολίας 5, μπορούσε να πραγματοποιηθεί με την συνδυαστική κίνηση και των δυο αξόνων. Τα πλαίσια 8 και 9 στο τέλος των αξόνων ΗΗ και ΕΕ περιείχαν ένα ποτενσιόμετρο και δύο διακόπτες ορίου το κάθε ένα. Το ποτενσιόμετρο μετρούσε τη γωνιακή θέση και οι διακόπτες έδειχναν ότι ο μηχανισμός, είχε φθάσει στα όρια του στις $\pm 90^\circ$. Οι δύο άξονες είχαν διαφορετικές ταχύτητες κίνησης: $V_{EE}=3600^\circ/h$ και $V_{HH}=270^\circ/h$. Οι διαφορετικές ταχύτητες οφείλονταν σε διαφορετικά κιβώτια ταχυτήτων τα 3 και 4. Τα όρια διακύμανσης του άξονα ΕΕ ήταν από 20° σε 150° , και του άξονα ΗΗ ήταν από -20° σε 200° . Ο αισθητήρας, 11, ήταν συνδεδεμένος με το αισθητήριο μέτρησης άμεσης ακτινοβολίας.

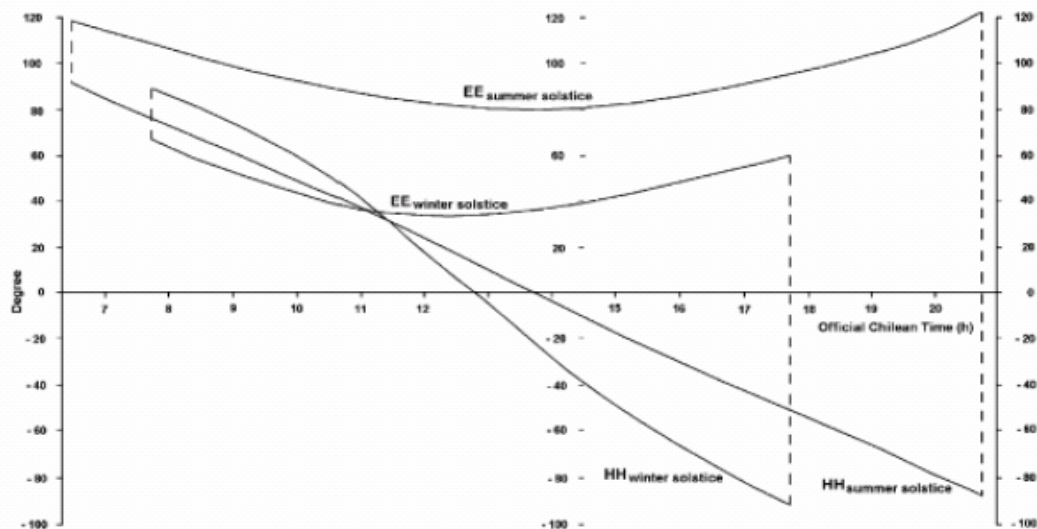
Ένας ανιχνευτής, 12, μετρούσε την ακτινοβολία από τον ουρανό και παρήγαγε ένα δυαδικό σήμα, που έδειχνε την αρχή και το τέλος της ημέρας. Όλος ο μηχανισμός ήταν τοποθετημένος επάνω στο πλαίσιο 13, το οποίο περιείχε ηλεκτρονικά κυκλώματα. Δύο dc μηχανές 3 W οι 6 και 7, χρησιμοποιούνταν για τη μετακίνηση των αξόνων. Επίσης είχε κατασκευαστεί ένα ειδικό κύκλωμα ελεγχόμενου ανορθωτή με τη δυνατότητα να αντιστρέφει τη φορά περιστροφής των μηχανών. Η θέση του ήλιου μπορούσε να προσδιοριστεί με την βοήθεια δυο γωνιών, του ύψους και του αζιμούθιου. Το διάγραμμα δείχνει την θέση του ήλιου στις 21 Δεκεμβρίου (καλοκαιρινό ηλιοστάσιο) και στις 21 Ιουνίου (χειμερινό ηλιοστάσιο) για το Νότιο ημισφαίριο. Όπως φαίνεται στις 21 Δεκεμβρίου ο ήλιος ήταν στο ύψος 0 μοίρες στις 6:30 το πρωί και έχει το μέγιστο ύψος του, περίπου 80 μοίρες, κατά το μεσημέρι. Έπειτα ξαναπήγαινε στις 0 μοίρες στις 9:00 το απόγευμα. Φυσικά η καμπύλη και για τις 21 Ιουνίου είναι παρόμοια, με την διαφορά ότι το μέγιστο ύψος είναι μικρότερο, περίπου 32 μοίρες. Το αζιμούθιο είναι η γωνία που περιγράφει ποια είναι η θέση του ήλιου από την ανατολή προς την δύση. Όπως φαίνεται από το σχήμα και οι δυο καμπύλες έχουν τιμή 0 μοίρες το μεσημέρι. Η διαφορετική ώρα οφείλεται στην αλλαγή της από την θερινή στην χειμερινή περίοδο.



Σχήμα 9: Θέση του ήλιου κατά την διάρκεια του έτους

Το σχήμα παρουσιάζει τα αποτελέσματα της κίνησης και των 2 αξόνων ΗΗ και ΕΕ για τις 2 ακραίες ημέρες (ισημερίες καλοκαιριού και χειμώνα).

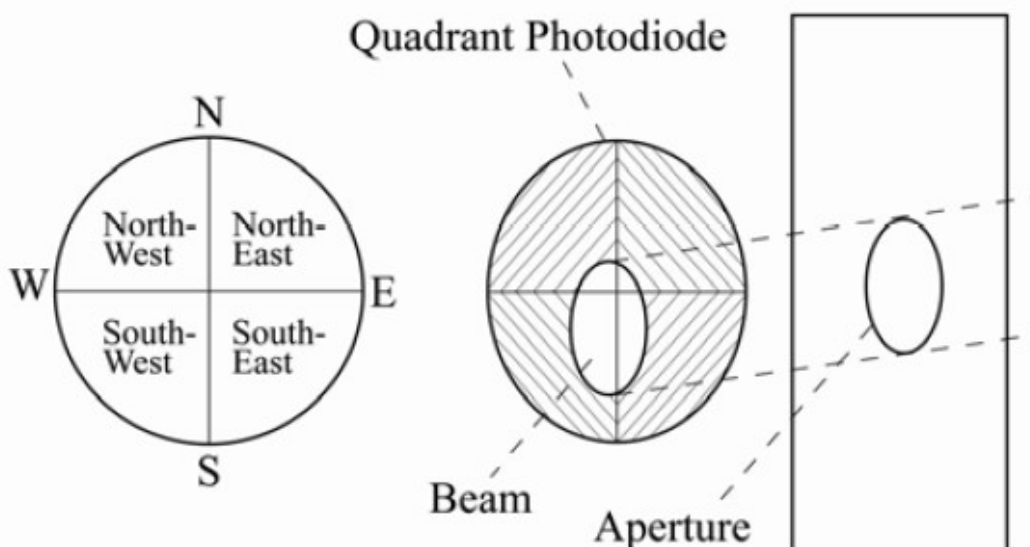
Σχεδίαση Αυτοελεγχόμενων Ηλιακών Συστημάτων



Σχήμα 10: Κίνησης των αξόνων του συστήματος Roth

Η ταχύτητα του άξονα HH ήταν σχεδόν σταθερή το καλοκαίρι, ενώ υπάρχουν μερικές μεταβολές τον χειμώνα. Η κίνηση του άξονα EE ήταν πιο πολύπλοκη και είχε όρια διακύμανσης 50° . Έφθανε στη μέγιστη τιμή της, 120° , το καλοκαίρι (21 Δεκεμβρίου — ανατολή και ηλιοβασίλεμα) και ελάχιστη, περίπου 35° , στη μεσημβρία στις 21 Ιουνίου στον χειμώνα της Χιλής.

Ο αισθητήρας για τη μέτρηση της θέσης του ήλιου αποτελείται από μια φωτοδίοδο τεσσάρων-τεταρτημορίων και παρουσιάζεται στο σχήμα.

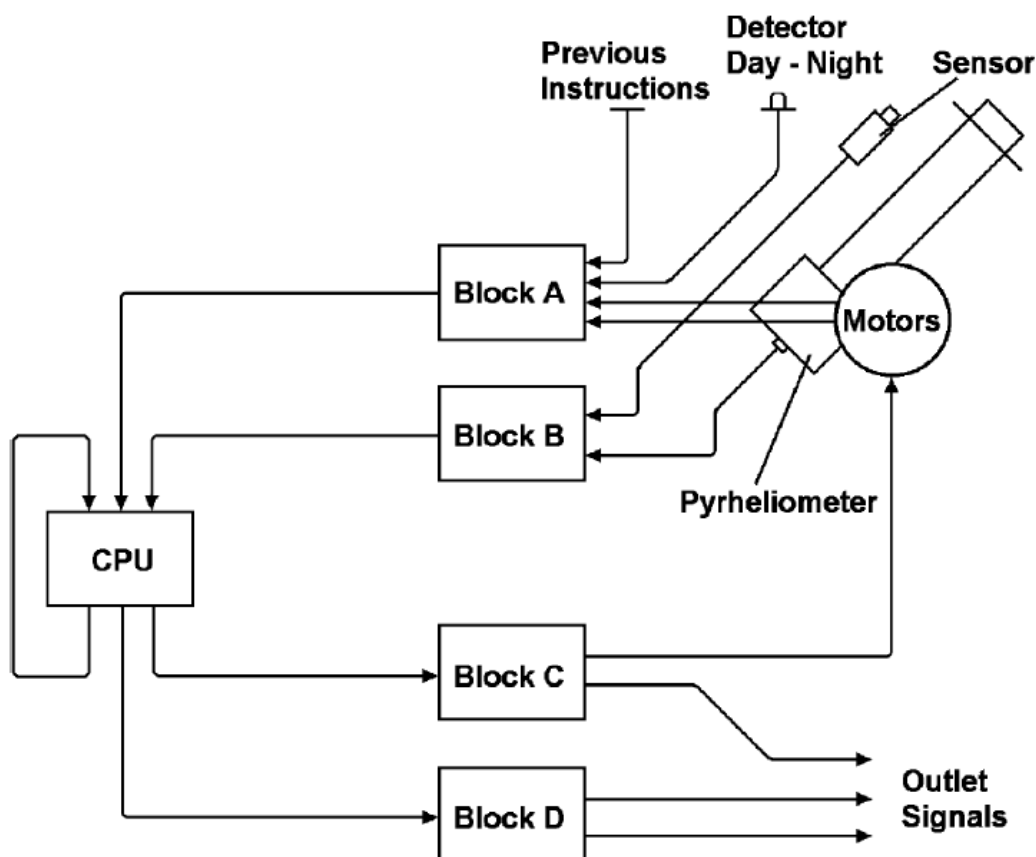


Σχήμα 11: Αισθητήρας με φωτοδίοδο τεσσάρων τεταρτημορίων

Η φωτοδίοδος αποτελείται από 4 βασικές ζώνες: βορειοανατολική (NE), βορειοδυτική (NW), νοτιοδυτική (SW) και νοτιοανατολική (SE). Όταν το φως του ήλιου έπεφτε πάνω

της, μέσω της σπής, και φώτιζε διαφορετικά μέρη για κάθε τεταρτημόριο, τότε αυτό σήμαινε ότι ο συλλέκτης δεν ήταν εστιασμένος προς τον ήλιο. Η μονάδα ελέγχου το αντιλαμβανόταν αυτό, από το διαφορετικό ρεύμα που παρήγαγε κάθε τεταρτημόριο και κινούσε τον συλλέκτη μέχρι να τα εξισώσει.

Το συνολικό σχεδιάγραμμα του συστήματος παρουσιάζεται παρακάτω:



Σχήμα 12: Αρχιτεκτονική συστήματος Roth

Το σύστημα περιλάμβανε πέντε υποτμήματα. Το A αντιπροσώπευε την επεξεργασία σήματος εισόδου. Λάμβανε τις οδηγίες, που έδινε ο χειριστής με στόχο μια δεδομένη απόκριση (λειτουργία για να ενεργοποιήσει το σύστημα κ.λπ.), και πληροφορίες που προέρχονταν από το φωτοτρανζίστορ (ανίχνευση νύχτα –μέρα) ως δυαδικό σήμα, το ποτενσιόμετρο (το επίπεδό της τάσης ήταν μια κωδικοποίηση της γωνίας) και των δύο διακοπών ορίου (δυαδικών). Το B αναπαριστούσε τη φυσική επεξεργασία του σήματος εισόδου, όπου τα επίπεδα ακτινοβολίας μετασχηματίζονται σε τάση με τη βοήθεια του αισθητήρα. Το C αντιπροσώπευε την φυσική επεξεργασία του σήματος εξόδου, για να ενεργοποιήσει τις μηχανές και τα αποτελέσματα των μετρήσεων της ακτινοβολίας που στέλνονταν για εγγραφή. Το D εκτελούσε την επεξεργασία σήματος εξόδου –ένα σήμα συναγερμού και ένα "bit" για να επιβεβαιωθεί εάν η εξερχόμενη μέτρηση ίσχυε ή

αντιστοιχούσε σε λανθασμένη λειτουργία. Η κεντρική μονάδα επεξεργαστών (ΚΜΕ) ήταν ένας επεξεργαστής Z 80 που έλεγχε τη λογική επεξεργασία όλων των πληροφοριών, αποφάσιζε πότε ο βρόγχος ελέγχου πρέπει να κλείσει ή, εάν όχι, τι έπρεπε να γίνει και έδινε τις πληροφορίες για την κατάσταση του μηχανισμού. Οι διαφορετικές ενέργειες ελέγχου παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα.

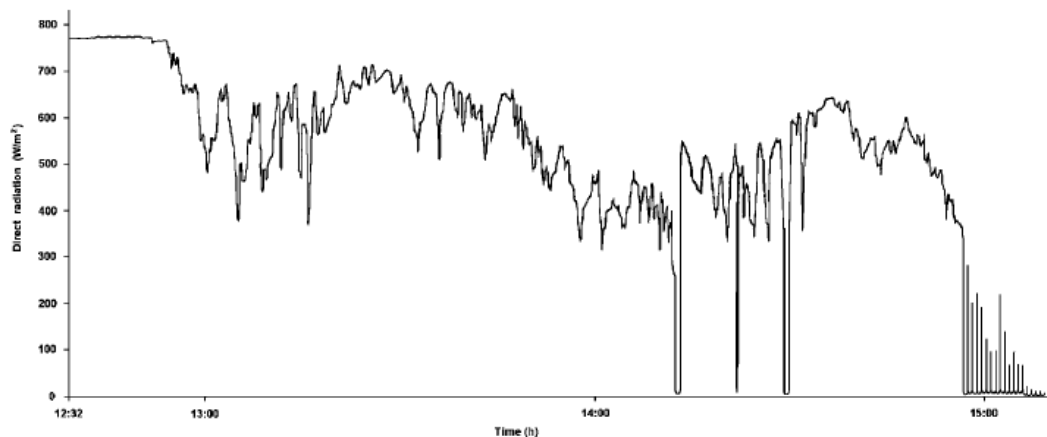
Πίνακας 2: Ενέργειες ελέγχου συστήματος Roth

Action	Loop	Operation
EXTERNAL	OPEN	The mechanism starts acting under the influence of external signal. It is possible to govern it from the table of operation.
RETURN	OPEN	Axis HH reaches the west ($H = 0$). Subsequently, the mechanism returns to $H = 180^\circ$ to the east. Axis EE is kept in the position reached last.
WAITING	OPEN	The mechanism waits for signals from the regulation system.
SEEKING	OPEN	The sky is clouded (or the sun is not visible). The mechanism seeks the sky till it finds the sun's position. Axis HH moves with constant velocity and axis EE moves like a pendulum.
AUTOMATIC	CLOSED	The sun is in the visible cone of the sensor. Then the loop closes for automatic action.

Ο αλγόριθμος κίνησης βασιζόταν στον αισθητήρα των τεσσάρων τεταρτημορίων. Στόχος ήταν να πέφτουν οι ακτίνες του ήλιου με τέτοιο τρόπο, ώστε το ρεύμα από το κάθε τεταρτημόριο να είναι ίσο. Όταν ο ήλιος μετακινούταν, το αισθητήριο έστελνε σήμα στην ΚΜΕ, η οποία κινούσε τη μηχανή, έτσι ώστε τα τεταρτημόρια να παράγουν και πάλι ίσο ρεύμα. Όσο συνέβαινε αυτό το σύστημα ήταν κλειστού βρόγχου. Όταν το ποσό ενέργειας που λάμβανε έπεφτε κάτω από ένα όριο, τότε το σύστημα γίνεται ανοιχτού βρόγχου και κινούταν σαν εκκρεμές στον άξονα ΕΕ, ώσπου να εντοπιστεί και πάλι η θέση του ήλιου.

Επειδή νεφώσεις μπορούσαν να εμφανιστούν οποιαδήποτε στιγμή και δεν ήταν δυνατόν να προσδιοριστεί ακριβώς ο άξονας ΕΕ χωρίς χρησιμοποίηση ενός μάλλον περίπλοκου συστήματος, η λύση ήταν να κινείται ως εκκρεμές μεταξύ 20 και 100 μοίρες, μέχρι ο ήλιος να εντοπιστεί. Το πρόβλημα της ανίχνευσης της γωνίας λυνόταν με τη βοήθεια του αισθητήρα γωνίας, ο οποίος έχει μια εμβέλεια περίπου 40 μοίρες. Η κίνηση ως εκκρεμές πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας το σήμα από το ποτενσιόμετρο του άξονα ΕΕ και εφαρμόζοντας το σε έναν συγκριτή. Ένα παράδειγμα δύο ωρών ανάγνωσης του αισθητηρίου μέτρησης της άμεσης ακτινοβολίας, που οδηγείται από το σύστημα, παρουσιάζεται στο σχήμα.

Σχεδίαση Αυτοελεγχόμενων Ηλιακών Συστημάτων

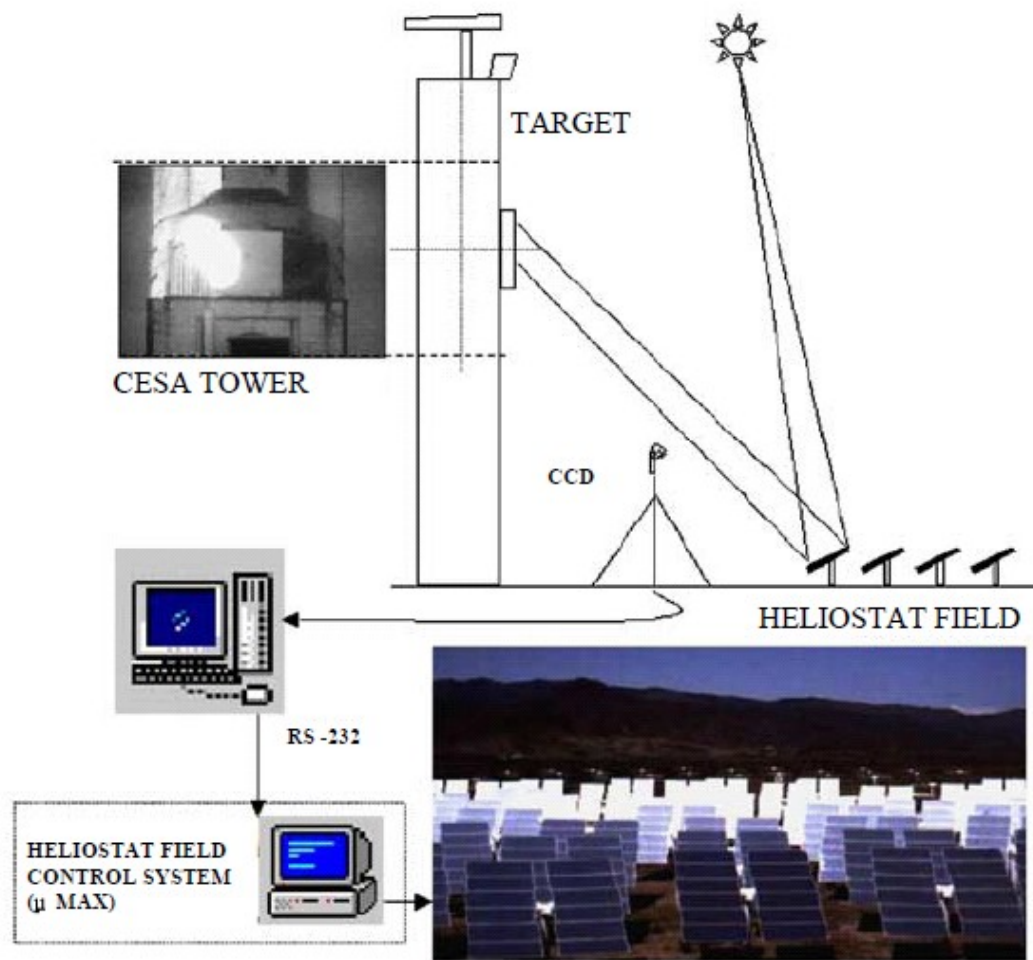


Σχήμα 13: Γραφική αναπαράσταση της άμεσης ακτινοβολίας

Το σύστημα ήταν στο καθεστώς “αυτόματο”, ακολουθώντας τον ήλιο χωρίς αξιόλογη απόκλιση. Όταν η ακτινοβολία μειώθηκε σε λιγότερο από 140 W/m^2 , η μέτρηση του αισθητήρα άμεσης ακτινοβολίας, προκάλεσε μια αλλαγή από καθεστώς “αυτόματο” σε αυτό της “αναζήτησης”. Αυτός ήταν ο λόγος που η ακτινοβολία μειώθηκε στο μηδέν στην 14 ώρα, αλλά επέστρεψε μερικά λεπτά αργότερα. Λίγο πριν από τις 15 ώρες μια σκιά ενός κτηρίου έφθασε στο όργανο. Αυτό προκάλεσε αναζήτηση γύρω από το σημείο όπου ο ήλιος εξαφανίστηκε.

Συμπερασματικά οι ταχύτητες των αξόνων ήταν σχετικά χαμηλές και το σύστημα εξασφάλιζε πολύ χρόνο λειτουργίας χωρίς ακριβή συντήρηση. Για ηλιακή ακτινοβολία κάτω από 140 W/m^2 , οι μετρήσεις μπορούσαν να πέσουν ξαφνικά στο μηδέν, αλλά επάνω από αυτήν την τιμή το σύστημα λειτουργούσε σταθερά.

Τον ίδιο χρόνο ο Berenguel [22] σχεδίασε ένα σύστημα διόρθωσης λαθών σε ένα αυτόματο σύστημα ηλιοστάτη, που βασιζόταν σε μηχανική όραση και λήψη εικόνων από ψηφιακούς αισθητήρες εικόνας (CCD)



Εικόνα 2: Σύστημα ηλιοστάτη Berenguel

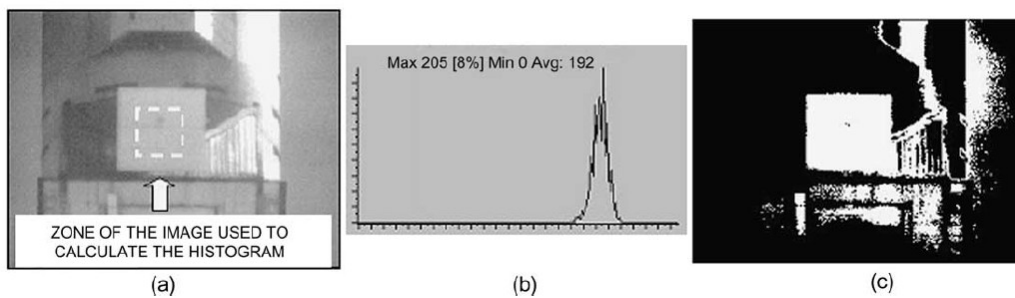
Στην προτεινόμενη λύση μια μαυρόασπρη ψηφιακή φωτογραφική, λάμβανε εικόνες από την αντανάκλαση του ηλίου, με ανάλυσης 640 x 380 και μετέδιδε τις εικόνες αυτές, σε έναν προσωπικό υπολογιστή. Κατόπιν οι εικόνες συγκρίνονταν με άλλες, οι οποίες είχαν τις ακτίνες του ήλιου κάθετα προς τους ηλιοστάτες. Η διαφορά ανάμεσα στις φωτογραφίες μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την κίνηση των ηλιοστατών, ώστε οι ακτίνες του ήλιου να γίνουν κάθετες προς την επιφάνεια τους.

Η ανάπτυξη και οι δοκιμές του συστήματος έγιναν στην ηλιακή πλατφόρμα Αλμέρα στην ανατολική Ισπανία. Η πλατφόρμα αυτή διαθέτει έναν ψηλό πύργο. Γύρω από τον πύργο, υπήρχαν πολλές σειρές από ηλιοστάτες, οι οποίοι συγκέντρωναν τον ήλιο σε συγκεκριμένα σημεία του, έτσι ώστε με την παραγόμενη θερμότητα να κινείται μια ηλεκτρική γεννήτρια. Οι ηλιοστάτες κατευθύνονταν από ελεγκτές ανοιχτού βρόγχου. Ο αλγόριθμος τους στηριζόταν στην εργασία των Blanco και Muriel. Η διαδικασία της συγκέντρωσης των ακτινών, αντιμετώπιζε πλήθος από προβλήματα, τα οποία καθιστούσαν τους ελεγκτές ανοιχτού βρόγχου ανεπαρκείς, για την επίτευξη των στόχων του συστήματος. Ορισμένα από τα προβλήματα ήταν, η ακριβής μέτρηση του χρόνου, ο

ακριβής προσδιορισμός της θέσης του ήλιου, η επίδραση της θέσης του κατόπτρου στο πεδίο, η μη γραμμικότητα των ρολογιών των κυκλωμάτων, η μη ακρίβεια των υπολογισμών, οι ατμοσφαιρικές συνθήκες, λάθη που οφείλονταν στην κίνηση των αξόνων και λάθη από τις επιφάνειες των καθρεπτών.

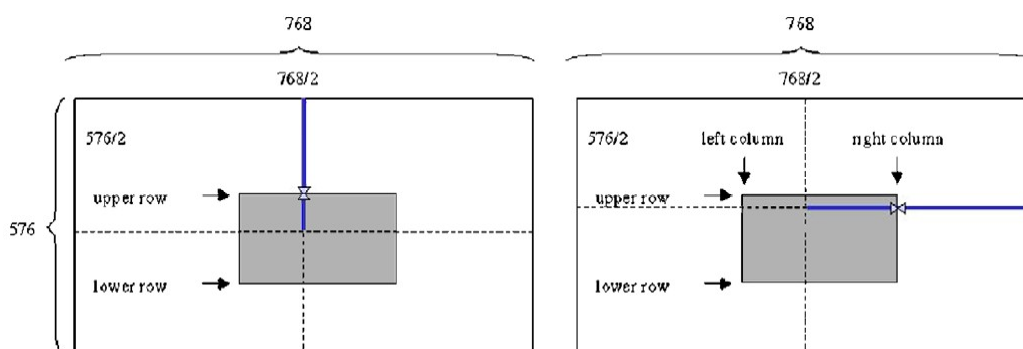
Για την αντιμετώπιση των προβλημάτων αυτών υλοποιήθηκε ένα σύστημα, το οποίο με την βοήθεια ενός CCD αισθητήρα, λάμβανε εικόνες από την αντανάκλαση του ηλίου, που προκαλούσαν οι ηλιοστάτες σε συγκεκριμένα σημεία δοκιμής. Με τις εικόνες αυτές πραγματοποιούνταν διάφοροι υπολογισμοί και ανιχνευόντουσαν τα σφάλματα που είχαν οι ηλιοστάτες. Οι εικόνες αυτές χρησιμοποιούνταν σαν πληροφορία ανάδρασης, η οποία επέτρεπε την εύρεση της απόστασης ανάμεσα στο κεντρικό σημείο, που ήταν επιθυμητό να πηγαίνει το φως, και σε αυτό, όπου έπεφτε η αντανάκλαση του ηλιοστάτη. Το λογισμικό μηχανικής όρασης, που αναπτύχθηκε, έβρισκε τα λάθη και παρήγαγε τις κατάλληλες οδηγίες, προς τους κινητήρες των ηλιοστατών, έτσι ώστε να διορθώσουν την κίνηση τους.

Ο αισθητήρας CCD προσαρμοζόταν χειροκίνητα, από έναν χειριστή, έτσι ώστε να λαμβάνει φωτογραφίες από την επιθυμητή περιοχή. Η περιοχή αυτή περιλάμβανε μια γκρίζα επιφάνεια στο κέντρο της, στην οποία ήταν επιθυμητό να πέσει η αντανάκλαση του ηλιοστάτη. Ο αλγόριθμος για τον υπολογισμό του επιθυμητού κέντρου, βασιζόταν σε τεχνικές καθορισμού τιμών ορίων(thresholds). Στο πρώτο στάδιο υπολογιζόταν ένα επίπεδο γκρι, που αντικατόπτριζε την περιοχή εστίασης. Για να διευκολυνθεί ο υπολογισμός αυτός, ο αλγόριθμος θεωρούσε ότι η εικόνα θα έχει κεντραριστεί στην επιθυμητή περιοχή. Αρχικά η εικόνα από την επιθυμητή περιοχή λαμβανόταν χωρίς την αντανάκλαση από τους ηλιοστάτες. Κατόπιν υπολογιζόταν το κυρίαρχο γκρίζο χρώμα, που περιείχε η εικόνα και αναπαριστούσε την επιθυμητή περιοχή. Με γνωστό το κυρίαρχο γκρίζο χρώμα υπολογιζόντουσαν, δυο τιμές ορίων . Όποια σημεία είχαν τιμές ανάμεσα στις δυο οριακές, θεωρείτο ότι άνηκαν στην επιθυμητή περιοχή. Διαφορετικά τα σημεία που ήταν εκτός , θεωρείτο ότι δεν άνηκαν. Η επιλογή των δυο οριακών τιμών ήταν απαραίτητη, καθώς η επιθυμητή περιοχή δεν αποτελείτο από σημεία με την ίδια γκρι φωτεινότητα. Αυτές οι οριακές τιμές t_1 και t_2 , επιλέγονταν με τέτοιο τρόπο, έτσι ώστε να είναι κοντά, στο σημείο όπου το ιστόγραμμα λάμβανε την μέγιστη τιμή του. Πιο συγκεκριμένα το άνω όριο t_1 , ήταν ίσο με την τιμή που είχε το κυρίαρχο γκρι συν μια σταθερά. Αντίστοιχα το κάτω όριο t_2 ήταν ίσο, με την τιμή του κυρίαρχου γκρι, μείον την ίδια σταθερά. Η σταθερά αυτή είχε υπολογιστεί, ευρεστικά, μετά από δοκιμές και πειράματα και είχε πολύ μεγάλη εξάρτηση από τις ρυθμίσεις του αισθητήρα CCD.



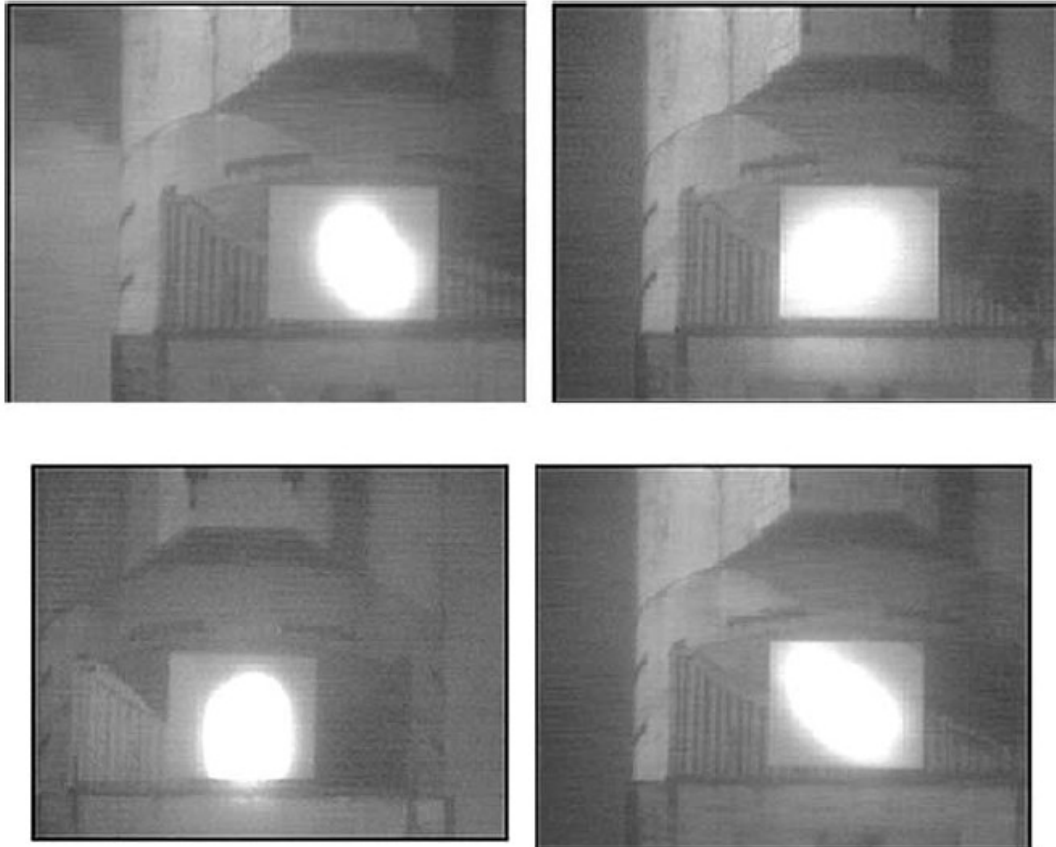
Εικόνα 3 Επιθυμητή περιοχή (a), ανάλυση του ιστογράμματος (b), αποτέλεσμα αλγόριθμου ορίων (c)

Στο επόμενο βήμα του αλγορίθμου υπολογιζόταν το κέντρο της επιθυμητής περιοχής. Για τον υπολογισμό του κέντρου, υπολογιζόταν αρχικά η κεντρική γραμμή και κατόπιν η κεντρική στήλη. Η ένωση αυτών ήταν το κεντρικό σημείο. Ο αλγόριθμος λάμβανε υπόψη το μέγεθος της εικόνας και αρχίζοντας από την μέση, κάθε διάσταση, προσπαθούσε να εντοπίσει την περιοχή στην οποία υπήρχε μεταβολή στην φωτεινότητα. Η περιοχή αυτή ήταν το όριο της επιθυμητής περιοχής. Γνωρίζοντας το μέγεθος της επιθυμητής περιοχής και με δεδομένο ότι ο αισθητήρας CCD δεν πραγματοποιούσε κάποια μεγέθυνση, μπορούσαν να υπολογιστούν τα σημεία που καταλάμβανε η επιθυμητή περιοχή στην φωτογραφία. Με όλες αυτές τις παραμέτρους γνωστές και με δεδομένο το άνω όριο της επιθυμητής περιοχής ήταν εύκολο να υπολογιστεί η κεντρική γραμμή στην φωτογραφία. Με παρόμοια διαδικασία υπολογιζόταν η κεντρική στήλη και κατ' επέκταση το κέντρο της επιθυμητής περιοχής. Μόλις το κεντρικό σημείο ήταν γνωστό, το σύστημα το εμφάνιζε στον χειριστή, έτσι ώστε να διαπιστωθεί η ορθότητα του και αν χρειαζόταν πραγματοποιούνταν κάποιες μικρές διορθώσεις.



Σχήμα 14: Τρόπος εντοπισμού επιθυμητής περιοχής σύστημα Berenguel

Στο επόμενο βήμα του αλγορίθμου, ένας ηλιοστάτης ενεργοποιούταν και κατεύθυνε την αντανάκλαση του στην επιθυμητή περιοχή των δοκιμών. Οι εικόνες που ακολουθούν δείχνουν διάφορες τέτοιες αντανακλάσεις.



Εικόνα 4: Αντανάκλασεις (α)



Εικόνα 5: Αντανάκλασεις (β)



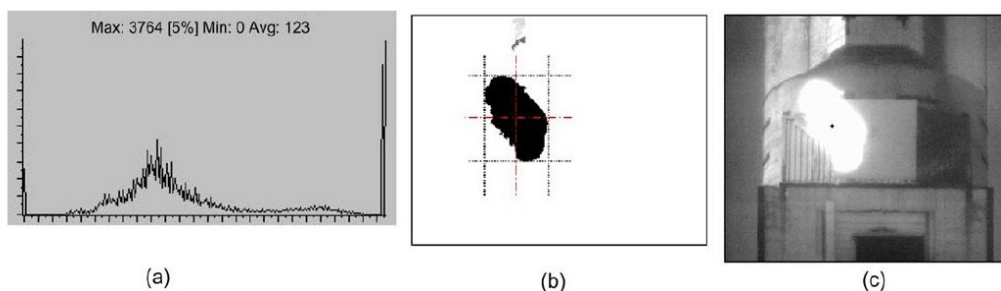
Εικόνα 6: Αντανάκλασεις (γ)

Στην πρώτη περίπτωση (α) ο ηλιοστάτης είναι κοντά στην βέλτιστη θέση, ενώ στις άλλες περιπτώσεις το σφάλμα είναι πολύ μεγάλο. Παρατηρώντας τις εικόνες είναι φανερό ότι η φωτεινότητα της αντανάκλασης είναι πολύ πιο μεγάλη από τα άλλα σημεία της εικόνας και κατ' επέκταση ένας αλγόριθμος οριακών τιμών θα μπορούσε να εφαρμοστεί, για τον εντοπισμό του κέντρου της αντανάκλασης. Όταν η απόσταση του κέντρου της αντανάκλασης και της επιθυμητής περιοχής ήταν μικρότερη από το όριο που είχε καθοριστεί, τότε μπορούσαν να υπολογιστούν οι διορθώσεις που χρειαζόντουσαν να γίνουν. Στην περίπτωση που η αντανάκλαση του ηλιοστάτη ήταν εκτός εικόνας, τότε το πρόβλημα ήταν πιο πολύπλοκο. Στις περιπτώσεις αυτές το μεγάλο μέγεθος που θα πρέπει να έχει η αντανάκλαση λαμβανόταν υπόψη, έτσι ώστε να εξακριβωθεί τότε ήταν εντός οπτικού πεδίου.

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται το ιστόγραμμα που προκύπτει από μια εικόνα με προβλήματα εστίασης τύπου (β). Για τον υπολογισμό του κέντρου της αντανάκλασης το σύστημα ακολουθούσε τα παρακάτω βήματα:

1. Καθορισμός των οριακών τιμών χρησιμοποιώντας το ιστόγραμμα.
2. Κάθε σημείο της εικόνας συγκρίνεται με τις οριακές τιμές και στην περίπτωση που είναι εκτός ορίων χρωματίζεται με μαύρο διαφορετικά με λευκό. Στις συγκρίσεις αυτές δεν λαμβάνονται υπόψη μόνο οι οριακές τιμές αλλά και οι τιμές που έχουν τα γειτονικά σημεία. Στις εικόνες που ακολουθούν φαίνονται η εικόνα που έχει ληφθεί από τον αισθητήρα CCD (c), το ιστόγραμμα της (a) και το αποτέλεσμα της επεξεργασίας (b , η αρνητική εμφάνιση).

3. Μετά από την σάρωση αποθηκεύονται τα αποτελέσματα της σε ένα βοηθητικό αρχείο, μαζί με πληροφορίες, όπως το πλήθος των σημείων που ανήκουν στην ίδια φωτεινότητα. Με τις πληροφορίες αυτές, η κυρίαρχη φωτεινότητα μπορεί να βρεθεί, να καθοριστεί το σχήμα της αντανάκλασης και να υπολογιστεί το κέντρο της.
4. Κατόπιν τα επεξεργασμένα στοιχεία σαρώνονται, λαμβάνοντας υπόψη μόνο την κυρίαρχη φωτεινότητα. Βρίσκονται τα οριακά σημεία της αντανάκλασης, πάνω, κάτω δεξιά και αριστερά και υπολογίζεται το κεντρικό σημείο της, χρησιμοποιώντας τους τύπους $(\text{πάνω} + \text{κάτω})/2$ για την κεντρική γραμμή και $(\text{αριστερά} + \text{δεξιά})/2$ για την κεντρική στήλη.
5. Με την ολοκλήρωση της διαδικασίας το κεντρικό σημείο παρουσιάζεται στον χειριστή έτσι ώστε να πραγματοποιήσει τις διορθώσεις.



Εικόνα 7: Ανάλυση του ιστογράμματος (α), αποτέλεσμα αλγόριθμου ορίων (β), εικόνα αντανάκλασης

Μετά από τον υπολογισμό του κέντρου της αντανάκλασης, το σύστημα προσπαθούσε να ελαχιστοποιήσει την απόσταση μεταξύ του κέντρου της και του κέντρου της επιθυμητής περιοχής. Για την επίτευξη του στόχου αυτού υπολογιζόντουσαν η σχέση που έχουν τα σημεία της εικόνας με τις πραγματικές αποστάσεις. Επειδή ο αισθητήρας CCD δεν πραγματοποιούσε μεγέθυνση και η θέση της επιθυμητής περιοχής ήταν σταθερή, η σχέση αυτή μπορούσε να υπολογιστεί. Μετά από τον υπολογισμό της απόστασης που απείχαν τα δυο κέντρα, έπρεπε να υπολογιστούν οι κατάλληλες κινήσεις που θα έπρεπε να πραγματοποιήσουν οι κινητήρες.

Ο Abdallah [52] ερεύνησε την απόδοση τεσσάρων διαφορετικών ηλεκτρομηχανικών συστημάτων παρακολούθησης ήλιου. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα συστήματα με δυο άξονες κίνησης, αυτά με τον ακίνητο άξονα στην κατεύθυνση ανατολή δύση και

αυτά με κατεύθυνση νότο βορά, έχουν καλύτερη απόδοση από αυτά που είναι σταθερά με τιμές 43.87%, 37.53% και 34.43% αντίστοιχα.

Ο Al-Mohamad [53] χρησιμοποίησε έναν ελεγκτή προγραμματιζόμενης λογικής (PLC) για το έλεγχο ενός φωτοβολταϊκού συστήματος. Το σύστημα παρακολουθούσε την πορεία του ήλιου, έτσι ώστε να εξασφαλίζει μεγαλύτερη απόδοση. Από τα πειράματα που έγιναν διαπιστώθηκε ότι, αν συλλέγονται τα δεδομένα σχετικά με την ακτινοβολία του ήλιου και η πληροφορία αυτή χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της κίνησης των συλλεκτών τότε η ενέργεια που παράγεται από το φωτοβολταϊκό μπορεί να βελτιωθεί περισσότερο από 20%, σε σχέση με συστήματα που ο συλλέκτης είναι ακίνητος.

Ο Aiuchi [54] παρουσίασε ένα απλό αισθητήρα παρακολούθησης ήλιου, που σχεδιάστηκε με στόχο την διατήρηση της κατεύθυνσης της συσκευής προσανατολισμένης πάντα προς τον ήλιο. Στην προτεινόμενη συσκευή δυο φωτοκύτταρα τοποθετήθηκαν το ένα δίπλα στο άλλο στον πυθμένα ενός κουτιού με μια εγκοπή. Όταν η ηλιακή ακτινοβολία περνούσε από το στενό άνοιγμα τότε τα φωτοκύτταρα φωτιζόνταν μερικώς και παρήγαγαν ρεύμα ανάλογο με την φωτιζόμενη επιφάνεια. Η διατήρηση του προσανατολισμού προς τον ήλιο πραγματοποιούνταν με την παρακολούθηση των εξόδων των φωτοκυττάρων. Η συσκευή διόρθωνε την θέση της έτσι ώστε τα δυο σήματα να είναι ίσα. Τα πειράματα έδειξαν ότι το σφάλμα παρακολούθησης μπορούσε να περιοριστεί στις 0,6 μοίρες, όταν η μέρα ήταν φωτεινή.

Το 2005 ο Alata [55] σχεδίασε και προσομοίωσε τρία συστήματα παρακολούθησης. Το ένα ήταν ενός άξονα με την γωνία κλίσης ίση με το γεωγραφικό πλάτος, το δεύτερο μπορούσε να παρακολουθήσει τον ήλιο και στους δυο άξονες και το τρίτο μπορούσε να μετατοπιστεί ως προς το ύψος. Για κάθε σύστημα ο έλεγχος πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας πρώτης τάξης, ασαφή λογική Sugeno (Sugeno fuzzy logic). Με τα στοιχεία που παρήγαγε το κάθε σύστημα και εφαρμόζοντας έναν αφαιρετικό αλγόριθμο ομαδοποίησης, παράχθηκαν ένα σύνολο από κανόνες ασαφούς λογικής με τους οποίους, ήταν εφικτή η πρόβλεψη των γωνιών του κάθε άξονα, δίνοντας την τρέχουσα ώρα. Τέλος οι κανόνες αυτοί βελτιστοποιήθηκαν με ένα προσαρμοζόμενο νευρωνικό συμπερασματικό σύστημα ασαφούς λογικής (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System ANFIS). Οι κανόνες που παράχθηκαν χρησιμοποιήθηκαν αργότερα για την δημιουργία ενός συστήματος παρακολούθησης ανοιχτού βρόχου.

2.2 Συστήματα Ανοιχτού Βρόχου

Τα συστήματα ανοιχτού βρόχου υπολογίζουν την ενέργεια που θα πραγματοποιήσουν, με βάση μόνο την παρούσα κατάσταση και κάποιον αλγόριθμο, χωρίς την χρήση ανατροφοδότησης για να διαπιστώσουν αν έχουν πετύχει τον επιθυμητό στόχο. Τα συστήματα αυτά είναι πιο απλά και φθηνότερα από αυτά του κλειστού βρόχου. Δεν παρατηρούν το αποτέλεσμα της ενέργειας τους. Εξαιτίας αυτού, ένα σύστημα ανοιχτού βρόχου, δεν μπορεί να αντιληφθεί πιθανά λάθη, που συμβαίνουν κατά την λειτουργία του. Τα συστήματα ανοιχτού βρόχου χρησιμοποιούν κάποιο μοντέλο υπολογισμού της κίνησης του ήλιου [56].

Το 1983, οι Al-Naima και Yaghobian [57] κατασκεύασαν ένα σύστημα παρακολούθησης του ήλιου, το οποίο μπορούσε να κινηθεί και στους δύο άξονες και με έναν μικροεπεξεργαστή μπορούσε να παρακολουθήσει την πορεία του, με βάση ένα αστρονομικό μοντέλο υπολογισμού της θέσης του. Τα πειράματα έδειξαν ότι το προτεινόμενο σύστημα πετύχαινε καλύτερα αποτελέσματα από ένα συμβατικό σύστημα με αισθητήρες.

Αρκετά χρόνια αργότερα ο Lorenz [24] πρότεινε ένα σύνολο από σχεδιαστικές αρχές για παράθυρα τα οποία θα αντανakλούν την ηλιακή ακτινοβολία το καλοκαίρι και θα την απορροφούν τον χειμώνα. Το σχέδιο αποτύπωνε ένα πλήρως παθητικό σύστημα βασισμένο στην αλλαγή των εποχών και της γωνίας με την οποία πέφτουν οι ακτίνες του ήλιου.

Ο Blanco-Muriel [25] υποστήριξε ότι στα συστήματα παρακολούθησης του ήλιου, που χρησιμοποιούν ελεγκτές ανοιχτού βρόχου θα πρέπει η ακρίβεια υπολογισμού να είναι πολύ μεγάλη, ώστε να αυξάνεται η απόδοση τους και επίσης θα έπρεπε οι αλγόριθμοι να είναι υπολογιστικά απλοί, ώστε να είναι μικρό το κόστος τους. Έχοντας αναλύσει υπάρχοντες αλγόριθμους υπολογισμού του ανύσματος του ήλιου, δημιούργησαν έναν νέο αλγόριθμο με βάση τον καθολικό χρόνο και την τοποθεσία. Η απόδοση του προτεινόμενου αλγορίθμου πιστοποιήθηκε υπολογίζοντας την θέση του ήλιου για 447.048 σημεία για την χρονική περίοδο 1999-2015. Διαπιστώθηκε ότι ο αλγόριθμος επέτρεπε τον υπολογισμό του ανύσματος του ήλιου με λάθος μικρότερο από 0,008 μοίρες. Ο πίνακας δείχνει τα λάθη στον υπολογισμό της θέσης του ήλιου από τον αλγόριθμο του Blanco-Muriel (PSA) και του Michalsky που είχε προταθεί το 1988 [26].

Πίνακας 3: Λάθη υπολογισμού θέσης ήλιου

Σχεδίαση Αυτοελεγχόμενων Ηλιακών Συστημάτων

	Average	Standard Deviation	Mean Deviation
Error in Zenith Distance			
Michalsky	-0.128	0.137	0.109
PSA Algorithm	-0.008	0.107	0.084
Error in Azimuth			
Michalsky	-0.065	0.206	0.150
PSA Algorithm	0.000	0.177	0.127
Sun Vector Deviation			
Michalsky	0.208	0.110	0.086
PSA Algorithm	0.136	0.079	0.063

Όπως δείχνουν τα αποτελέσματα, οι γωνίες του αζιμούθιου και του ζενίθ, που λαμβάνονται από τον αλγόριθμο Blanco-Muriel, είναι αντίστοιχα, περίπου 15% και 22% καλύτερες, από αυτές που λαμβάνονται από τον αλγόριθμο του Michalsky.

Το 2003 Beshears [58] παρουσίασε ένα σύστημα, που βασιζόταν σε έναν μικροελεγκτή για τον υπολογισμό της θέσης του ήλιου. Το σύστημα ήταν ένα υβριδικό σύστημα φωτισμού και η ουράνια θέση του ήλιου υπολογιζόταν με βάση την τοπική ώρα, την ημερομηνία, το γεωγραφικό πλάτος και το γεωγραφικό μήκος της περιοχής.

Το 2004 οι Abdallah και Nijmeh [59] σχεδίασαν ένα ηλεκτρομηχανικό σύστημα παρακολούθησης του ήλιου δυο αξόνων το οποίο ελεγχόταν από έναν αλγόριθμο ανοιχτού βρόχου, υλοποιημένο σε ελεγκτή προγραμματιζόμενης λογικής (PLC). Το προτεινόμενο σύστημα αποτελείτο από δυο αυτόνομους κινητήρες. Ο ένας παρακολουθούσε την πορεία του ήλιου στον οριζόντιο άξονα και ο άλλος στον κατακόρυφο. Τα πειράματα έδειξαν ότι το σύστημα αυτό αύξανε την ημερήσια συλλογή ενέργειας κατά 41,34% σε σχέση με ένα ακίνητο σύστημα τοποθετημένο με κλίση 32 μοίρες προς το νότο.

Την ίδια χρονιά οι Reda και Andreas [27] παρουσίασαν μια απλή, βήμα προς βήμα, διαδικασία για τον υπολογισμό της θέσης του ήλιου. Οι παράμετροι που χρησιμοποιούσαν, ήταν μεταξύ άλλων, το ελλειπτικό γεωγραφικό μήκος και πλάτος και κατάφεραν να πετύχουν σφάλμα της τάξεως του 0,0003 μοίρες.

Σε μια πρόσφατη μελέτη από τον Grena [62] παρουσιάστηκε ένας νέος αλγόριθμος για τον υπολογισμό της θέσης του ήλιου με μεγάλη ακρίβεια. Λαμβάνοντας υπόψη τον καθολικό χρόνο (Universal Time) την ημερομηνία και την διαφορά μεταξύ καθολικού χρόνου και τοπικού ο αλγόριθμος υπολόγιζε την γωνία που σχηματίζει η γης σε σχέση με τον ήλιο, ως προς το ελλειπτικό της επίπεδο και χρησιμοποιούσε την γωνία αυτή μαζί με άλλα δεδομένα για να υπολογίσει την θέση του ήλιου. Το μέγιστο λάθος αυτού

του αλγορίθμου ήταν περίπου 0,0027 μίρες. Το λάθος αυτό είναι μεγαλύτερο από αυτό του αλγορίθμου των Reda και Andreas, αλλά ο αλγόριθμος έχει πολύ μικρότερο υπολογιστικό κόστος.

Πρόσφατα ο Chen [28,63] και ο Chong [29,30] παρουσίασαν μια γενική φόρμουλα υπολογισμού της θέσης του ήλιου για συστήματα ανοιχτού βρόχου. Με την φόρμουλα αυτή λύνεται το πρόβλημα της ακριβούς τοποθέτησης των αξόνων της βάσης κατά την εγκατάσταση των συστημάτων αυτών.

3 Μελέτη Θέσης Ήλιου

3.1 Μετακίνηση μεταξύ του ήλιου και της γης

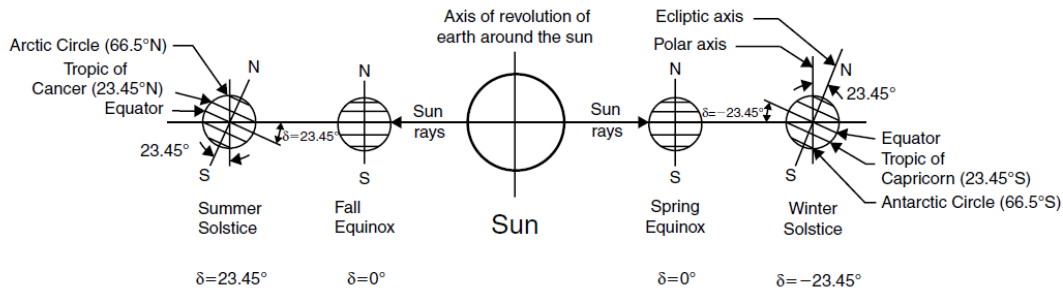
Αν και η μετακίνηση του ήλιου σχετικά με ένα σταθερό σημείο στη γη φαίνεται πολύ γνωστή, τα μαθηματικά που ορίζουν αυτή τη μετακίνηση είναι πολύ σύνθετα.

Η γη περιστρέφεται γύρω από τον ήλιο σε μια ελλειπτική τροχιά. Το επίπεδο που περιέχει αυτήν την τροχιά καλείται ελλειπτικό επίπεδο και ο χρόνος που χρειάζεται η γη για να ολοκληρώσει αυτήν την τροχιά οδηγεί στον καθορισμό του έτους.

Ταυτόχρονα, η γη περιστρέφεται μία φορά την ημέρα γύρω από τον κεντρικό της άξονα, τον πολικό άξονα. Ο πολικός άξονας έχει τροχιά γύρω από τον ήλιο, διατηρώντας μια σταθερή γωνία 23.45° με το ελλειπτικό επίπεδο, έτσι ώστε η γωνία μεταξύ του ισημερινού επιπέδου και μιας ευθείας γραμμής που σύρεται μεταξύ του κέντρου της γης και του κέντρου του ήλιου να αλλάζει συνεχώς. Αυτή η γωνία είναι γνωστή ως ηλιακή απόκλιση δ . Αυτή η γωνία μπορεί να θεωρηθεί περίπου σταθερή κατά τη διάρκεια μιας οποιασδήποτε ημέρας. Η μέγιστη μεταβολή της γωνίας ηλιακής απόκλισης σε 24 ώρες είναι λιγότερο από 0.5° .

Στην ισημερία της άνοιξης (20/21 Μαρτίου) και στην φθινοπωρινή ισημερία (22/23 Σεπτεμβρίου), η γραμμή μεταξύ του ήλιου και της γης περνά μέσω του ισημερινού. Συνεπώς, η διάρκεια της ημέρας και της νύχτας είναι ίση σε όλη τη γη. Ο ήλιος ανατέλλει και δύει ακριβώς στην ανατολή και τη δύση αντίστοιχα. Στη καλοκαιρινή ισημερία (21/22 Ιουνίου) η γωνία ηλιακής απόκλισης δ είναι ίση με 23.45° και ο ήλιος είναι τοποθετημένος επάνω από τον τροπικό κύκλο του καρκίνου. Στο βόρειο ημισφαίριο, στη θερινή ισημερία είναι η μακρύτερη ημέρα και η πιο σύντομη νύχτα ολόκληρου του έτους. Στη χειμερινή ισημερία (21/22 του Δεκεμβρίου) η γωνία ηλιακής απόκλισης δ είναι ίση με -23.45° και ο ήλιος είναι άμεσα επάνω από τον τροπικό κύκλο του Αιγόκερου. Στο βόρειο ημισφαίριο τότε είναι η πιο σύντομη ημέρα και η μακρύτερη νύχτα ολόκληρου του έτους.

Σχεδίαση Αυτοελεγχόμενων Ηλιακών Συστημάτων



Σχήμα 15: Θέση του άξονα της γης ως προς τον ήλιο, ανάλογα με τις εποχές

Ο υπολογισμός της γωνίας ηλιακής απόκλισης δ δίνεται με μεγάλη ακρίβεια για οποιαδήποτε ημέρα του έτους από την σχέση:

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

όπου το Γ (σε rad) δίνεται από τη σχέση:

$$\Gamma = 2 \times \pi \times \frac{d_n - 1}{365}$$

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 του ήλιου και της γης παίρνει τιμές κατά τη διάρκεια του έτους σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$\varepsilon_0 = \left(\frac{r_0}{r}\right)^2 = 1,00011 + 0,034221 \times \cos(\Gamma) + 0,001280 \times \sin(\Gamma) + 0,000719 \times \cos(2\Gamma) + 0,000077 \times \sin(2\Gamma)$$

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

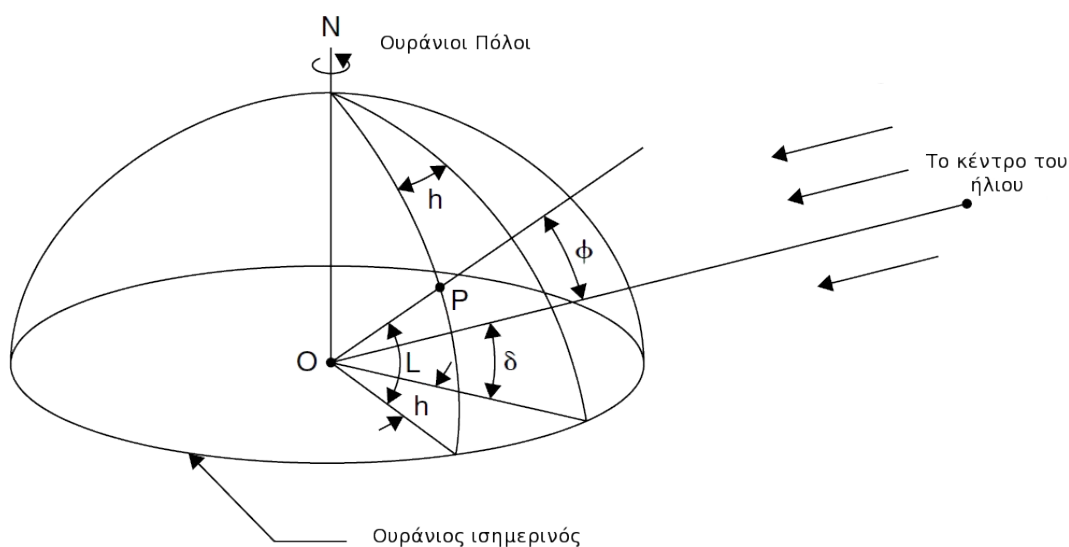
Οι σχέσεις λαμβάνουν υπόψη τη γωνιακή ταχύτητα της γης. Βέβαια σε πολλές εφαρμογές της εφαρμοσμένης μηχανικής η γωνιακή ταχύτητα θεωρείται προσεγγιστικά σταθερή. Η θεώρηση αυτή είναι αρκετά βολική και ακριβής. Σε αυτή τη περίπτωση οι εξισώσεις αντικαθίστανται από τις παρακάτω:

$$\delta(^{\circ})=23,45 \times \sin\left(\frac{360}{365} \times (d_n + 284)\right)$$

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

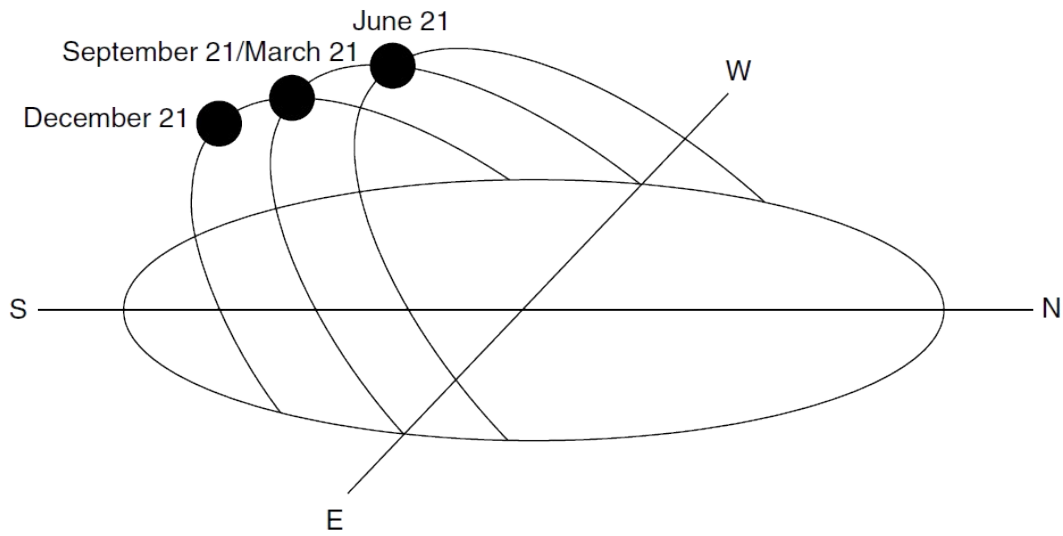
3.2 Θέση του ήλιου σε σχέση με την επιφάνεια της γης

Ένας κλασικός τρόπος αναπαράστασης του ουρανού είναι ως σφαίρα που κεντροθετείται σε ένα καθορισμένο σημείο τη γης, όπως υποδεικνύεται στο σχήμα που ακολουθεί. Αυτό το μοντέλο είναι γνωστό ως ουράνια σφαίρα. Κάθε ένα από τα σημεία του, αντιπροσωπεύει μια κατεύθυνση προς τον ουρανό όπως φαίνεται από τη γη. Η διατομή της ουράνιας σφαίρας με το ισημερινό επίπεδο καθορίζει τον ουράνιο ισημερινό. Τα σημεία της διατομής με τον πολικό άξονα ονομάζονται ουράνιοι πόλοι.



Σχήμα 16: Αναπαράσταση του μοντέλου ουράνιας σφαίρας

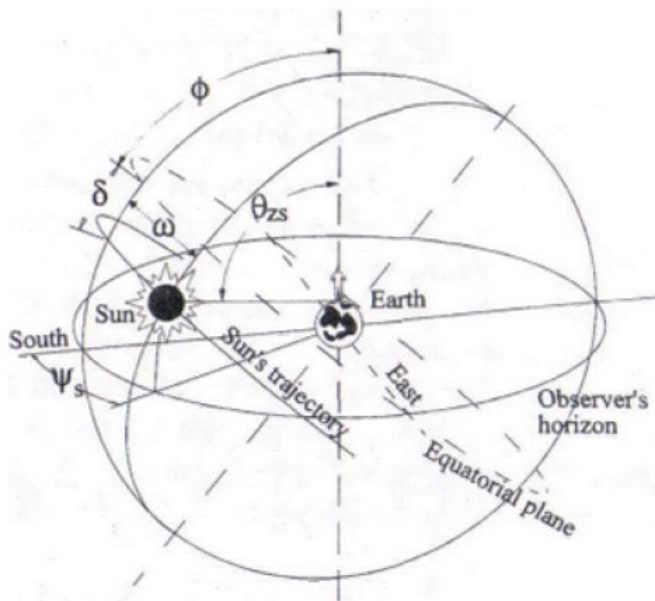
Χρησιμοποιώντας αυτό το μοντέλο αναπαράστασης, η μετακίνηση της γης γύρω από τον ήλιο μπορεί να μετασχηματιστεί σε μια μετακίνηση του ήλιου σε σχέση με τη γη που λαμβάνεται ως σταθερή. Ο ήλιος σε αυτή τη περίπτωση ονομάζεται ελλειπτικός και σχηματίζει γωνία $23,45^\circ$ με τον ουράνιο ισημερινό. Ο ήλιος ολοκληρώνει αυτό το κύκλο μία φορά το χρόνο ενώ η ουράνια σφαίρα περιστρέφεται μία φορά την ημέρα γύρω από τη γη (που θεωρείται σταθερή). Κατ' αυτό τον τρόπο, ο ήλιος διαγράφει έναν κύκλο γύρω από τη γη. Η διάμετρος του κύκλου αλλάζει καθημερινά και γίνεται μέγιστη στις ισημερίες και ελάχιστη στα ηλιοστάσια.



Σχήμα 17: Θέση του ήλιου στον ουρανό, κατά την διάρκεια του έτους

Η κατακόρυφος που προέρχεται από οποιοδήποτε σημείο της γης τέμνει την ουράνια σφαίρα σε σημεία γνωστά ως ζενίθ και ναδίρ. Το συμπλήρωμα της γωνίας μεταξύ αυτής της κατακόρυφου και του πολικού άξονα είναι το γεωγραφικό πλάτος ϕ . Λαμβάνεται ως θετικό στο βόρειο ημισφαίριο και ως αρνητικό στο νότιο ημισφαίριο. Ο τοπικός μεσημβρινός είναι ο μεγάλος κύκλος στη γη που περιέχει τους πόλους, ζενίθ και ναδίρ και παρουσιάζεται στο σχήμα.

Zenith



Nadir

Σχήμα 18: Σχηματική αναπαράσταση του Ζενίθ και του Ναδίρ

Δύο συντεταγμένες χρησιμοποιούνται για να καθορίσουν τη θέση ενός σημείου, παραδείγματος χάριν του ήλιου, στην ουράνια σφαίρα σχετικά με ένα σημείο στη γη. Αυτές είναι:

1. η γωνία ζενίθ, θ_z , μεταξύ της κατακόρυφου και μιας γραμμής από τη γη στο εν λόγω σημείο
2. το αζιμούθιο ψ , μεταξύ των μεσημβρινών του σημείου και της θέσης του. Το συμπλήρωμα της γωνίας θ_z καλείται ανύψωση γ . Το αζιμούθιο ορίζεται ως θετικό προς τη δύση και αρνητικό προς την ανατολή. Ο ορίζοντας είναι ο κύκλος που αντιστοιχεί στο γεωμετρικό τόπο των σημείων που έχουν $\gamma = 0$.

Σε οποιαδήποτε δεδομένη στιγμή, η γωνία ζενίθ (θ_{zs}) και το αζιμούθιο (Ψ_s) του ήλιου όσον αφορά ένα σημείο του γεωγραφικού πλάτους υπολογίζονται από τις σχέσεις:

$$\cos\theta_{zs} = \sin\delta \times \sin\phi + \cos\delta \times \cos\phi \times \cos\omega = \sin\gamma_s$$

$$\cos(\Psi_s) = \frac{(\sin\gamma_s \times \sin\varphi - \sin\delta)}{(\cos\gamma_s \times \cos\varphi)}$$

όπου το ω είναι μια νέα ποσότητα που ονομάζεται πραγματικός ηλιακός χρόνος ή ηλιακή ώρα. Στο μεσημέρι κάθε ημέρας το ω είναι ίσο με 0, το πρωί μετρείται ως αρνητικό και το απόγευμα ως θετικό. Συσχετίζεται με τον τοπικό επίσημο χρόνο TO (ο χρόνος που δείχνει ένα ρολόι) από την εξίσωση:

$$\omega(\text{hours}) = \text{TO} - 12 + \text{ET} - \text{AO} - \frac{(\text{LL} - \text{LH})}{15}$$

όπου LL είναι το τοπικό γεωγραφικό μήκος και το LH είναι το αναφερόμενο γεωγραφικό μήκος στη ζώνη τοπικής ώρας (θετικό προς τη δύση και αρνητικό προς την ανατολή). Αυτά τα γεωγραφικά μήκη μετριοούνται σε μοίρες. Το σύμβολο AO είναι ο χρόνος από τον οποίο τα ρολόγια τίθενται μπροστά από τη ζώνη τοπικής ώρας. Ο χρόνος ET δίνεται από την ακόλουθη εξίσωση γνωστή ως εξίσωση του χρόνου:

$$\text{ET}(\text{minutes}) = (-0.000075 + 0.001868 \cos \Gamma - 0.032077 \sin \Gamma - 0.014615 \cos 2\Gamma - 0.04089 \sin 2\Gamma) 229.18$$

Η γωνία ανατολής, ω_s μπορεί να βρεθεί, αφού στην ανατολή $\theta_z = 90^\circ$. Η εξίσωση που προκύπτει είναι:

$$\omega_s = -\arccos(-\tan\delta \times \tan\varphi)$$

και η ω_s είναι πάντα αρνητική.

Η γωνία ηλιοβασιλέματος είναι ίση με $-\omega_s$ και το μήκος της ημέρας δίνεται από τη σχέση:

$$S_0 = 2|\omega_s|$$

Το παραπάνω σύστημα δίνει τις γωνίες θ_s και Ψ_s σε σχέση με μια οριζόντια επιφάνεια. Εντούτοις, οι περισσότερες πρακτικές εφαρμογές απαιτούν να καθοριστεί τη θέση του ήλιου σχετικά με ένα κεκλιμένο επίπεδο. Ο προσανατολισμός μιας επιφάνειας μπορεί γενικά να περιγραφεί από την κλίση β (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 να υπολογιστεί από τη σχέση:

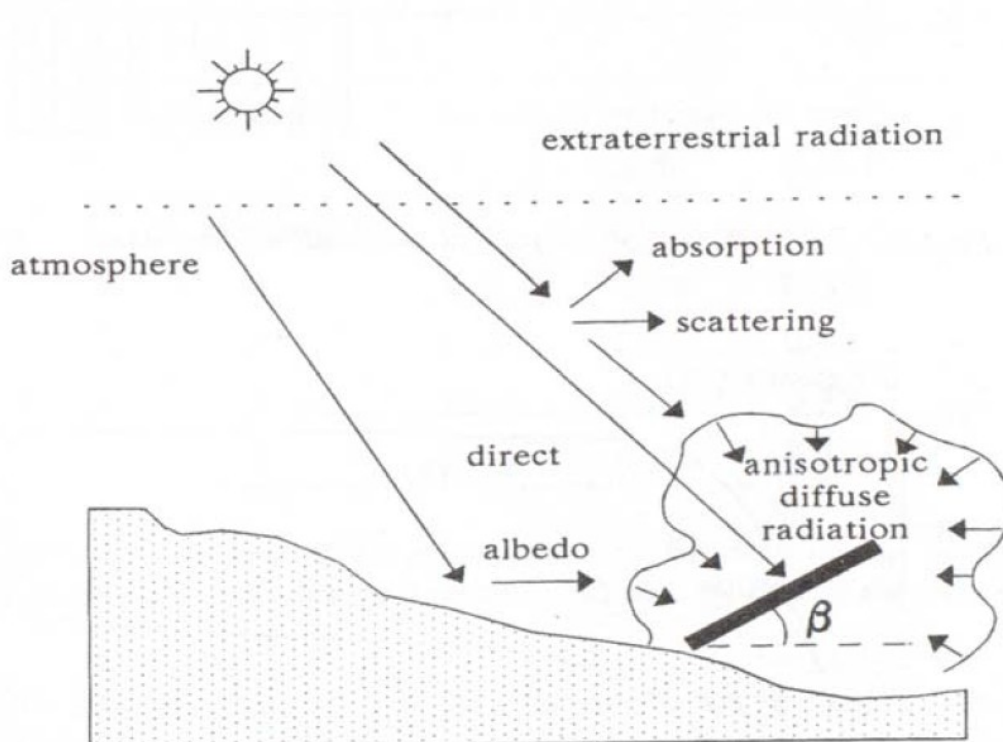
$$\begin{aligned} \cos\theta_s = & \sin\delta \times \sin\varphi \times \cos\beta - \sin\delta \times \cos\varphi \times \sin\beta \times \cos\alpha + \cos\delta \times \cos\varphi \times \cos\beta \times \cos\omega \\ & + \cos\delta \times \sin\varphi \times \sin\beta \times \cos\alpha \times \cos\omega + \cos\delta \times \sin\alpha \times \sin\omega \times \sin\beta \end{aligned}$$

Αν και αυτή η έκφραση εμφανίζεται αρκετά περίπλοκη, είναι πολύ χρήσιμη στις περισσότερες περιπτώσεις. Στην περίπτωση των επιφανειών προσανατολισμένων προς το νότο η σχέση απλοποιείται στην παρακάτω:

$$\cos\theta_s = \sin\delta \times \sin(\varphi - \beta) + \cos\delta \times \cos(\varphi - \beta) \times \cos\omega$$

3.3 Ηλιακή Ακτινοβολία

Η ανάλυση της ηλιακής ακτινοβολίας, που προσπίπτει πάνω σε μια επιφάνεια είναι αρκετά πολύπλοκη. Υπάρχουν δυο ειδών προβλήματα στην εκπόνηση της εργασίας αυτής. Η μια είναι η συλλογή των μετεωρολογικών δεδομένων και η άλλη είναι η επιλογή με βάση τα δεδομένα της σωστής μεθόδου υπολογισμού της ακτινοβολίας. Στο σχήμα φαίνονται οι διαφορετικές συνιστώσες της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτουν στην επιφάνεια της γης.



Σχήμα 19: Είδη ηλιακής ακτινοβολίας

Η ακτινοβολία που προσπίπτει σε ένα δέκτη τοποθετημένο εκτός της ατμόσφαιρας της γης (εξωγήινη ακτινοβολία, extraterrestrial radiation) αποτελείται αποκλειστικά από την ακτινοβολία που ταξιδεύει σε μια ευθεία γραμμή από τον ήλιο στην επιφάνεια. Αυτό συμβαίνει διότι το διάστημα δεν έχει υλικά, στα οποία η ακτινοβολία μπορεί να σκεδαστεί ή να ανακλαστεί. Καθώς η ακτινοβολία του ήλιου περνάει στη γήινη ατμόσφαιρα τροποποιείται από διάφορα στοιχεία που υπάρχουν σε αυτή. Μερικά από αυτά, όπως είναι τα σύννεφα, προκαλούν ανάκλαση της ακτινοβολίας ενώ κάποια άλλα, όπως είναι το όζον, το οξυγόνο, ο άνθρακας και το εξατμισμένο νερό, την απορροφούν. Επίσης τα σταγονίδια του νερού και η σκόνη προκαλούν σκέδαση. Τέλος φτάνοντας στο έδαφος κάποια ποσότητα ακτινοβολίας απορροφάται και κάποια

ανακλάται στην ατμόσφαιρα. Το αποτέλεσμα όλων αυτών είναι η αποσύνθεση της ηλιακής ακτινοβολίας σε διαφορετικά συστατικά:

1. Την απευθείας ακτινοβολία (direct radiation) που οφείλεται στις ακτίνες του φωτός που ταξιδεύουν σε μια ευθεία γραμμή από τον ήλιο στην επιφάνεια.
2. Την διάχυτη ακτινοβολία (diffuse radiation) που προέρχεται από τον ουρανό, εκτός από τον ηλιακό δίσκο, όπως είναι οι ακτίνες που έχουν σκεδαστεί στην ατμόσφαιρα.
3. Την ανακλώμενη στο έδαφος ακτινοβολία (albedo radiation)

Το άθροισμα των 3 αυτών ειδών ακτινοβολίας δίνει την ολική ακτινοβολία που προσπίπτει σε μια επιφάνεια (global radiation).

Οι κατευθυντικές ιδιότητες της διάχυτης ακτινοβολίας εξαρτώνται σε μεγάλο ποσοστό από τη θέση, τη μορφή και τη σύνθεση των σύννεφων. Η γωνιακή κατανομή της διάχυτης ακτινοβολίας είναι επομένως μια σύνθετη λειτουργία που ποικίλλει με το χρόνο. Η διάχυτη ακτινοβολία είναι ουσιαστικά ανισοτροπική. Εντούτοις, σε μερικές ειδικές περιπτώσεις (παραδείγματος χάριν, σε ένα εντελώς συνεφιασμένο ουρανό) είναι σχεδόν ισοτροπική.

Το ποσό της ανακλώμενης στο έδαφος ακτινοβολίας επηρεάζεται πολύ από τη φύση του εδάφους που εμφανίζει μεγάλη ποικιλία (π.χ χιόνι, βλάστηση, νερό, κ.λ.π). Σε ορισμένες περιπτώσεις το έδαφος μπορεί να είναι σκόπιμα χρωματισμένο λευκό. Αυτό αυξάνει την ανακλώμενη από το έδαφος ακτινοβολία και συμβάλλει σημαντικά στην αύξηση της ολικής ακτινοβολίας.

Η ακτινοβολία (irradiance) συμβολίζει την πυκνότητα της ισχύος που προσπίπτει σε μια επιφάνεια, δηλαδή την ενέργεια που προσπίπτει ανά μονάδα χρόνου. Η ακτινοβολία (irradiation) είναι η ενέργεια που προσπίπτει σε μια επιφάνεια κατά τη διάρκεια κάποιας χρονικής περιόδου, παραδείγματος χάριν ωριαία ακτινοβολία ή ημερήσια ακτινοβολία. Η ακτινοβολία μετριέται σε kW/m^2 ενώ η ακτινοβολία μετριέται σε kWh/m^2 .

4 Τεχνολογίες Υλοποίησης

4.1 Βηματικοί κινητήρες

4.1.1 Εισαγωγή

Οι βηματικοί κινητήρες είναι σύγχρονοι ηλεκτρικοί κινητήρες, οι οποίοι μπορούν να χωρίσουν μια πλήρη περιστροφή σε ένα μεγάλο πλήθος από βήματα. Η θέση του κινητήρα μπορεί να καθοριστεί με ακρίβεια, χωρίς την χρήση μηχανισμών ανατροφοδότησης. Οι βηματικοί κινητήρες έχουν παρόμοια λειτουργία με τις σερβομηχανές.

Οι βηματικοί κινητήρες αποτελούν ένα σημαντικό κομμάτι στον τομέα της ηλεκτρομηχανικής κίνησης. Οι βηματικοί κινητήρες μετατρέπουν την ηλεκτρική ενέργεια σε μηχανική. Συγκεκριμένα μετατρέπουν έναν ηλεκτρικό παλμό στην ισοδύναμή του κυκλική κίνηση. Η κίνηση αυτή είναι ακριβής, ιδιότητα που κάνει τους βηματικούς κινητήρες πολύ αποτελεσματικούς σε εργασίες που απαιτούν ακρίβεια στον έλεγχο θέσης μιας μηχανής.

Ο ακριβής έλεγχος της θέσης του βηματικού κινητήρα γίνεται με βάση τις παρακάτω ιδιότητες:

- Η γωνία περιστροφής του βηματικού κινητήρα είναι ανάλογη του αριθμού των παλμών εισόδου,
- Η γωνιακή ταχύτητα του βηματικού κινητήρα είναι ανάλογη του ρυθμού των παλμών εισόδου(pulse frequency) και
- Το λάθος γωνίας (positioning error) είναι αμελητέο.

Οι βηματικοί κινητήρες έχουν κάποια σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τους συμβατικούς σερβοκινητήρες

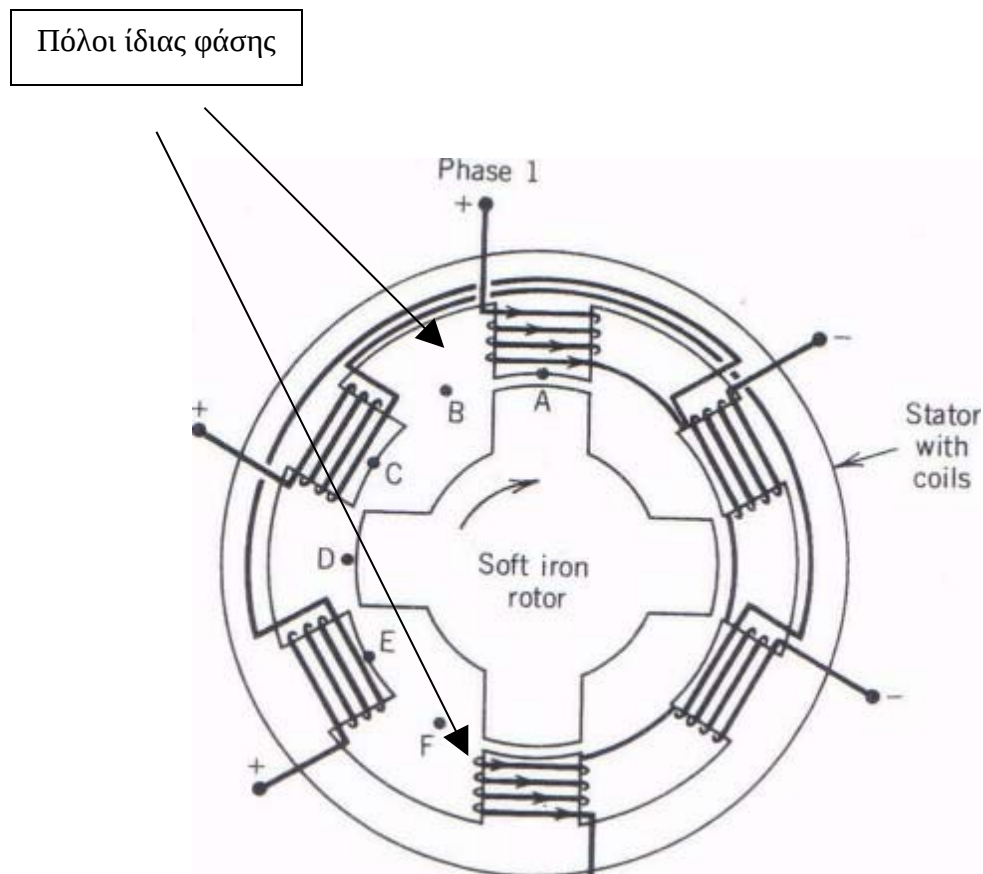
- Συνδυάζονται με επεξεργαστές ψηφιακής λογικής,
- Έχουν τη δυνατότητα χρησιμοποίησης ελεγκτή ανοιχτού βρόγχου, ο οποίος ελαχιστοποιεί προβλήματα ευστάθειας, που σχετίζονται με κλειστού βρόγχου σερβομηχανές,
- Το λάθος βήματος είναι πολύ μικρότερο (αμελητέο) και
- Η σχεδίαση παρέχει εύκολη συντήρηση.

Σχεδίαση Αυτοελεγχόμενων Ηλιακών Συστημάτων

Ως αποτέλεσμα των παραπάνω ιδιοτήτων και πλεονεκτημάτων οι βηματικοί κινητήρες χρησιμοποιούνται ευρύτατα στη βιομηχανία σε εφαρμογές όπως ως οδηγοί για κεραίες τηλεόρασης, οδηγοί για υδραυλικές βαλβίδες θέσης, οδηγοί για υπολογιστές καθώς και σε άλλα υψηλής απόδοσης ανατροφοδοτούμενα συστήματα ελέγχου. Στον αντίποδα των παραπάνω, οι βηματικοί κινητήρες έχουν ένα σημαντικό μειονέκτημα που δεν είναι άλλο από τη χαμηλή τους απόδοση η οποία δρα απαγορευτικά στη χρησιμοποίησή τους σε εφαρμογές μικρής ιπποδύναμης.

4.1.2 Λειτουργία

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται η αρχή λειτουργίας ενός βηματικού κινητήρα. Σαν παράδειγμα χρησιμοποιείται ένας κινητήρας, με μονή στοίβα, μεταβλητής μαγνητικής αντίστασης (Variable Reluct Angle), τριών φάσεων, όπως παρουσιάζεται στο σχήμα.



Σχήμα 20: Βηματικός κινητήρας 3 φάσεων μεταβλητής αντίστασης.

Ο στάτης έχει 6 πόλους που είναι τυλιγμένοι σε συνδεσμολογία 3 φάσεων. Ο ρότορας έχει 4 πόλους. Όταν η φάση 1 του στάτορα τροφοδοτηθεί από dc τάση ένα ζευγάρι από τους πόλους του ρότορα θα ευθυγραμμιστεί με τους πόλους του στάτορα που αντιστοιχούν στη φάση 1. Όταν η φάση 1 σταματήσει να τροφοδοτείται από τάση και αρχίσει η φάση 2 να τροφοδοτείται τότε ο ρότορας θα μετακινηθεί 30° μέχρι ένα ζευγάρι από τους πόλους του να ευθυγραμμιστεί με τους πόλους της φάσης 2. Αντίστοιχη λειτουργία θα γίνεται και όταν κλείσει η φάση 2 και ανοίξει η φάση 3. Σε αυτή δηλαδή τη περίπτωση θα υπάρξει και νέα μετακίνηση του ρότορα κατά 30° . Επομένως ο συγκεκριμένος βηματικός κινητήρας έχει βήμα ή γωνία βήματος 30° .

Η φορά της κίνησης μπορεί να αντιστραφεί αλλάζοντας τη σειρά ενεργοποίησης των φάσεων από 1-2-3-1-2-3 σε 1-3-2-1-3-2. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα όπου μόνο

ένα τύλιγμα (μια φάση) του κινητήρα ενεργοποιείται κάθε φορά γίνεται εναλλαγή μονής φάσης.

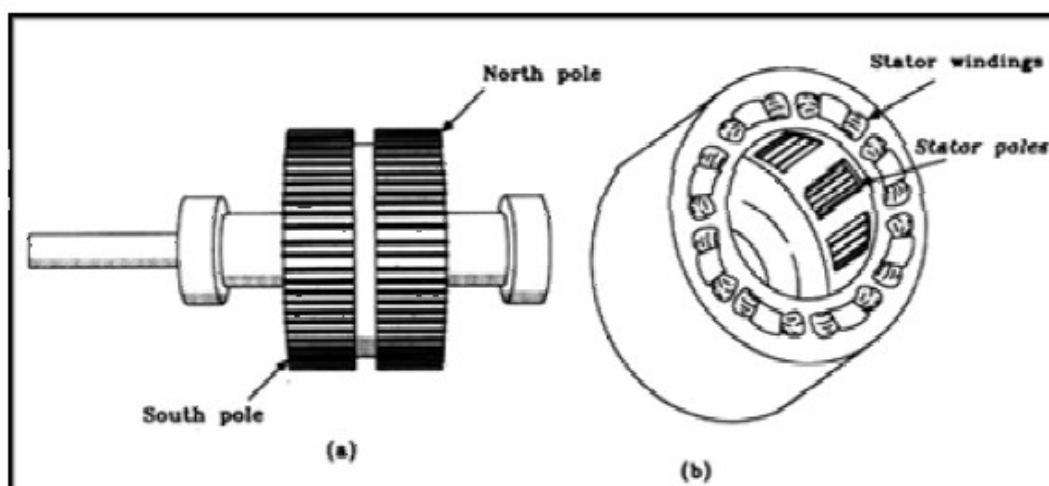
4.1.3 Τύποι Βηματικών Κινητήρων

Υπάρχουν τρεις τύποι βηματικών κινητήρων:

1. Βηματικοί κινητήρες μόνιμου μαγνήτη (Permanent –magnet)
2. Βηματικοί κινητήρες μεταβλητής μαγνητικής αντίστασης (Variable Reluct Angle)
3. Υβριδικοί βηματικοί κινητήρες (Hibrid)

4.1.3.1 Βηματικοί κινητήρες μόνιμου μαγνήτη (Permanent – Magnet)

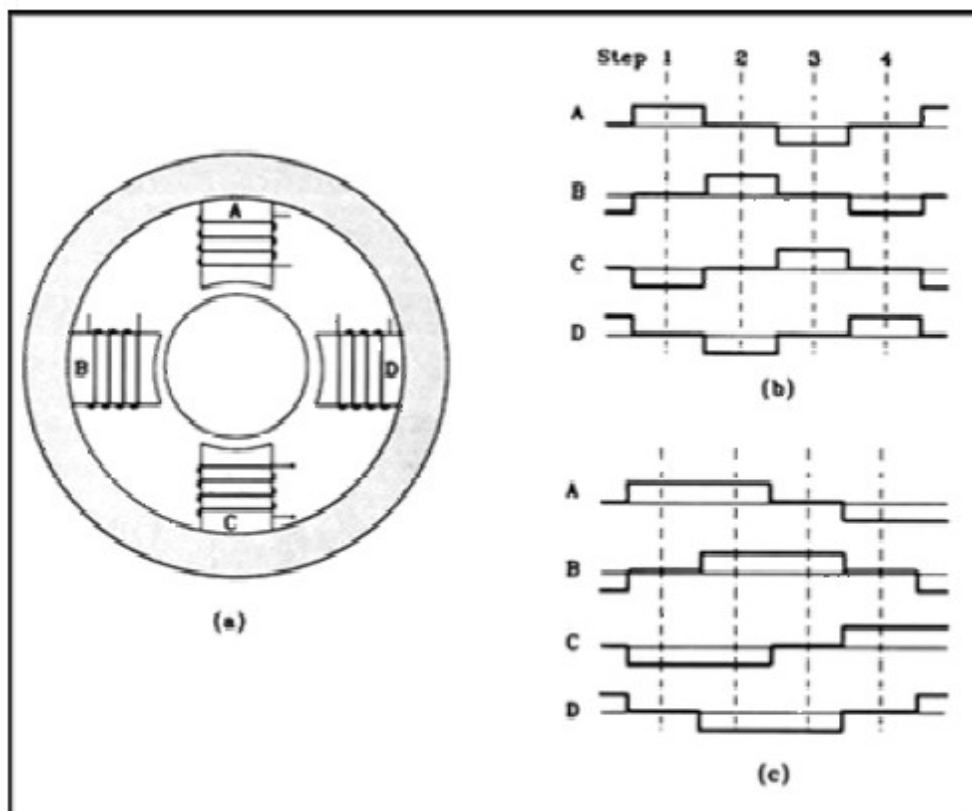
Η λειτουργία των βηματικών κινητήρων μόνιμου μαγνήτη βασίζεται στην αντίδραση που έχει ένας ρότορας μόνιμου μαγνήτη σε ηλεκτρομαγνητικό πεδίο. Το σχήμα δείχνει έναν βηματικό κινητήρα μόνιμου μαγνήτη δυο πόλων.



Σχήμα 21: Βηματικός κινητήρας μόνιμου μαγνήτη δυο πόλων

Το σχήμα (α) δείχνει τον ρότορα ο οποίος έχει έναν μόνιμο μαγνήτη. Το σχήμα (β) δείχνει τον στάτορα. Και ο ρότορας και ο στάτορας έχουν δόντια. Τα “δόντια” στην επιφάνεια του ρότορα και στους αντίστοιχους πόλους του στάτορα είναι αντίθετα έτσι ώστε να υπάρχει μόνο ένας συγκεκριμένος αριθμός από δόντια ρότορα που ευθυγραμμίζονται κάθε φορά με τον ενεργοποιημένο πόλο του στάτορα. Ο αριθμός των δοντιών του ρότορα και του στάτορα καθορίζουν τη γωνία βήματος με την οποία κινείται ο βηματικός κινητήρας κάθε φορά που αλλάζει η πολικότητα των τυλιγμάτων. Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός δοντιών τόσο μικρότερη είναι η γωνία βήματος.

Η συγκρατούμενη ροπή (holding torque) ορίζεται σαν το ποσό της ροπής που απαιτείται για να κινηθεί ο ρότορας ένα ολόκληρο βήμα με τον στάτορα να είναι ενεργοποιημένος. Ένα χαρακτηριστικό αυτής της κατηγορίας των βηματικών κινητήρων είναι ότι διατηρούν την συγκρατούμενη ροπή αμετάβλητη όταν ο ρότορας είναι σταματημένος. Όταν δεν παρέχεται τάση στα τυλίγματα μια μικρή μαγνητική δύναμη που ονομάζεται παραμένουσα ή ανασταλτική ροπή (residual ή detent torque), αναπτύσσεται ανάμεσα στον μόνιμο μαγνήτη και τον στάτορα. Η ανασταλτική ροπή μπορεί να παρατηρηθεί όταν στραφεί ο βηματικός κινητήρας με το χέρι και ποσοτικά συνήθως είναι περίπου το 1/10 της συγκρατούμενης ροπής. Στο σχήμα παρουσιάζεται ένας βηματικός κινητήρας μόνιμου μαγνήτη με 4 τυλίγματα στάτορα.



Σχήμα 22: Βηματικός κινητήρας μόνιμου μαγνήτη με 4 τυλίγματα στάτορα

Στο παραπάνω σχήμα (α) παρουσιάζεται ένας βηματικός κινητήρας μόνιμου μαγνήτη με 4 τυλίγματα στάτορα. Τροφοδοτώντας τα άκρα του στάτορα με κατάλληλη ακολουθία παλμών είναι δυνατόν να ελεγχθεί η ταχύτητα και η φορά στρέψης του βηματικού κινητήρα. Στο σχήμα 71(β) διακρίνεται το χρονικό διάγραμμα των παλμών που απαιτούνται για να περιστραφεί ο συγκεκριμένος βηματικός κινητήρας. Αυτή η ακολουθία θετικών και αρνητικών παλμών προκαλεί την κίνηση του κινητήρα κατά τη

φορά του ρολογιού με βήμα 90° . Το σχήμα 71(γ) δείχνει πως οι παλμοί οδήγησης μπορούν να συμπίπτουν προκειμένου ο κινητήρας να περιστραφεί κατά τη φορά του ρολογιού με βήμα 45° .

4.1.3.2 Βηματικοί κινητήρες μεταβλητής μαγνητικής αντίστασης

Οι βηματικοί κινητήρες της συγκεκριμένης κατηγορίας διαφέρουν από αυτούς του μόνιμου μαγνήτη στο ότι ο ρότορας τους δεν έχει μόνιμο μαγνήτη ούτε παραμένουσα ροπή (residual torque), όταν απενεργοποιείται.

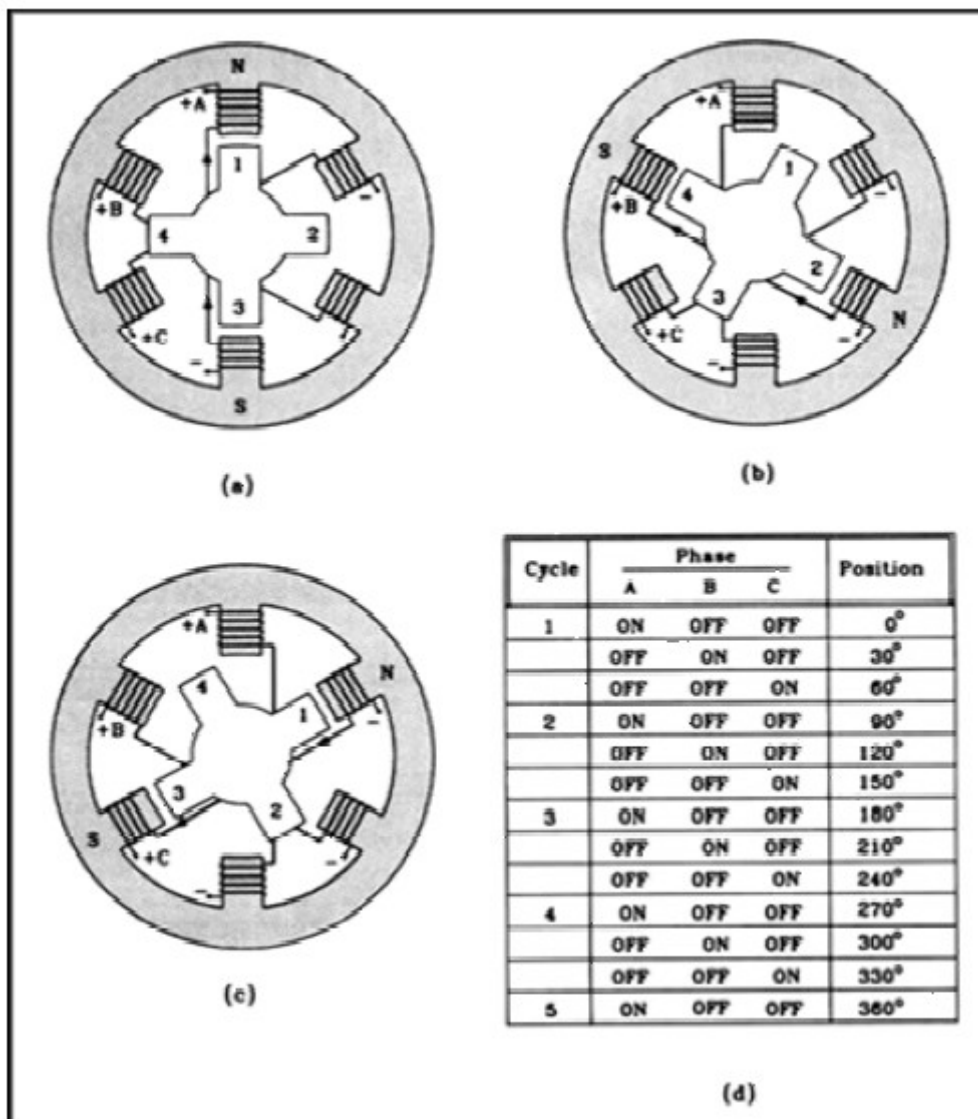
Όταν τα τυλίγματα του στάτορα ενεργοποιούνται, τα δόντια του ρότορα ευθυγραμμίζονται με τους ενεργοποιημένους πόλους του στάτορα. Αυτός ο τύπος κινητήρα λειτουργεί με βάση την αρχή της ελαχιστοποίησης της μαγνητικής αντίστασης πάνω στο δημιουργούμενο μαγνητικό πεδίο. Εναλλάσσοντας τα ενεργοποιούμενα τυλίγματα του στάτορα, το πεδίο του στάτορα αλλάζει και ο ρότορας μετακινείται σε νέα θέση. Ο στάτορας του βηματικού κινητήρα μεταβλητής μαγνητικής αντίστασης έχει έναν μαγνητικό πυρήνα κατασκευασμένο από ατσάλι. Ο ρότορας είναι κατασκευασμένος από μη μαγνητικό, μαλακό μέταλλο με δόντια και εγκοπές. Η σχέση μεταξύ γωνίας βήματος, δοντιών του ρότορα και δοντιών του στάτορα εκφράζεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$\Psi = \left(\frac{N_s - N_r}{N_s \times N_r} \right) \times 360^\circ$$

όπου : Ψ = γωνία βήματος,

N_r = αριθμός δοντιών του ρότορα core και

N_s = αριθμός δοντιών του στάτορα core.



Σχήμα 23: Βηματικός μεταβλητής μαγνητικής αντίστασης και ακολουθία εναλλαγής φάσης

Το σχήμα παρουσιάζει έναν βηματικό κινητήρα μεταβλητής μαγνητικής αντίστασης. Τα λιγότερα δόντια του ρότορας από τον στάτορα εξασφαλίζει ότι μόνο ένα ζευγάρι από δόντια ρότορα-στάτορα θα ευθυγραμμίζονται κάθε φορά. Τα τυλίγματα του στάτορα ενεργοποιούνται σε ομάδες που ονομάζονται φάσεις.

Στο παραπάνω σχήμα ο στάτορας έχει 6 δόντια και ο ρότορας 4. Σύμφωνα με την εξίσωση ο ρότορας θα περιστρέφεται 30° με την ενεργοποίηση κάθε παλμού. Στο σχήμα (α) παρουσιάζεται η θέση του ρότορα όταν είναι ενεργοποιημένη η φάση Α. Για όσο χρονικό διάστημα είναι ενεργοποιημένη η φάση Α, ο ρότορας μένει ακίνητος σε αυτή τη θέση. Όταν η φάση Α απενεργοποιηθεί και ενεργοποιηθεί η φάση Β ο ρότορας θα περιστραφεί κατά 30° και θα πάρει τη θέση που φαίνεται στο σχήμα β). Αντίστοιχα

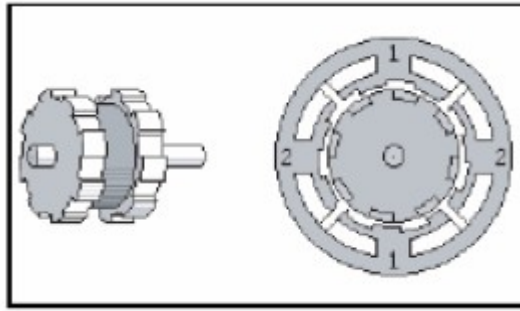
όταν η φάση Β απενεργοποιηθεί και ενεργοποιηθεί η φάση C, ο ρότορας θα περιστραφεί κατά 30° και θα πάρει τη θέση που φαίνεται στο σχήμα (γ).

Το σχήμα (δ) δείχνει τη σειρά εναλλαγής ενεργοποίησης των φάσεων για να συμπληρώσει ο συγκεκριμένος κινητήρας μια πλήρη περιστροφή 360° με φορά σύμφωνη με αυτή των δεικτών του ρολογιού. Για να αντιστραφεί η φορά πρέπει να αντιστραφεί η σειρά ON και OFF κάθε φάσης.

4.1.3.3 Υβριδικοί βηματικοί κινητήρες

Οι βηματικοί κινητήρες αυτού του είδους αποτελούνται από 2 κομμάτια μαλακού σιδήρου όπως επίσης και από έναν αξονικά μαγνητισμένο κυκλικό ρότορα μόνιμου μαγνήτη. Ο όρος “υβριδικός” οφείλεται στο γεγονός ότι ο κινητήρας λειτουργεί συνδυάζοντας τις αρχές των βηματικών κινητήρων μόνιμου μαγνήτη και μεταβλητής μαγνητικής αντίστασης.

Η κατασκευή του πυρήνα του στάτορα σε ένα υβριδικό κινητήρα είναι βασικά η ίδια με αυτή του αντίστοιχου κινητήρα μεταβλητής μαγνητικής αντίστασης. Η διαφορά είναι ότι στον κινητήρα μεταβλητής μαγνητικής αντίστασης μόνο το ένα από τα δυο τυλίγματα μιας φάσης είναι τυλιγμένα σε έναν πόλο, ενώ ένας τυπικός υβριδικός βηματικός κινητήρας έχει τυλίγματα δυο διαφορετικών φάσεων τυλιγμένα στον ίδιο πόλο. Αυτά είναι τυλιγμένα σε έναν σχηματισμό που ονομάζεται σύνδεση bifilar. Κάθε πόλος του υβριδικού κινητήρα είναι καλυμμένος με ομοιόμορφα τοποθετημένα δόντια φτιαγμένα από μαλακό ασάλι. Τα δόντια στους δυο τομείς κάθε πόλου είναι μη ευθυγραμμισμένα το ένα με το άλλο. Η ροπή στρέψης δημιουργείται σε ένα υβριδικό βηματικό κινητήρα λόγω της αλληλεπίδραση του μαγνητικού πεδίου του μόνιμου μαγνήτη και του μαγνητικού πεδίου που παράγεται από τον στάτορα. Σχηματικά ο υβριδικός κινητήρας παρουσιάζεται στο σχήμα που ακολουθεί.



Σχήμα 24: Υβριδικός βηματικός κινητήρας.

4.1.4 Χαρακτηριστικά Βηματικών Κινητήρων

Οι βηματικοί κινητήρες εκτιμούνται με βάση τον αριθμό των βημάτων ανά δευτερόλεπτο, τη γωνία βήματος, και την ροπή στρέψης που ο κινητήρας μπορεί να παράγει. Ο αριθμός των βημάτων ανά δευτερόλεπτο ονομάζεται και ποσοστό βήματος (stepping rate). Η πραγματική ταχύτητα του βηματικού κινητήρα εξαρτάται από τη γωνία βήματος και το ποσοστό βήματος και υπολογίζεται με βάση τη παρακάτω εξίσωση:

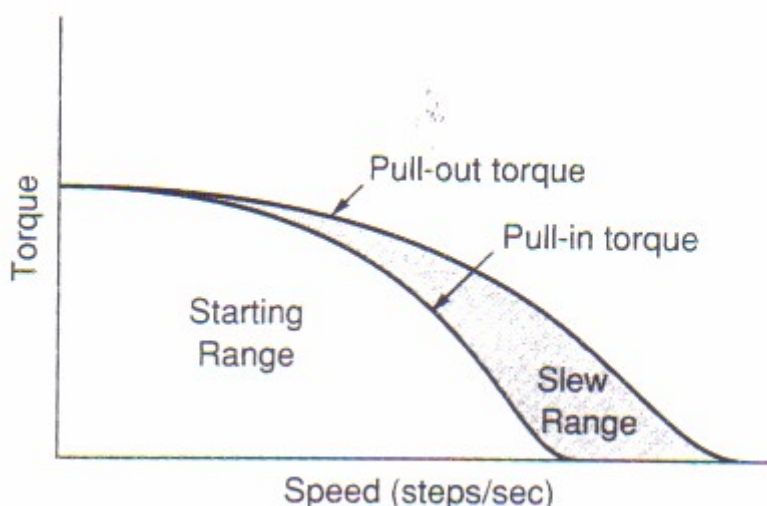
$$N = \frac{\Psi \times (s/s)}{6}$$

όπου N: ταχύτητα κινητήρα σε RPM

Ψ: γωνία βήματος

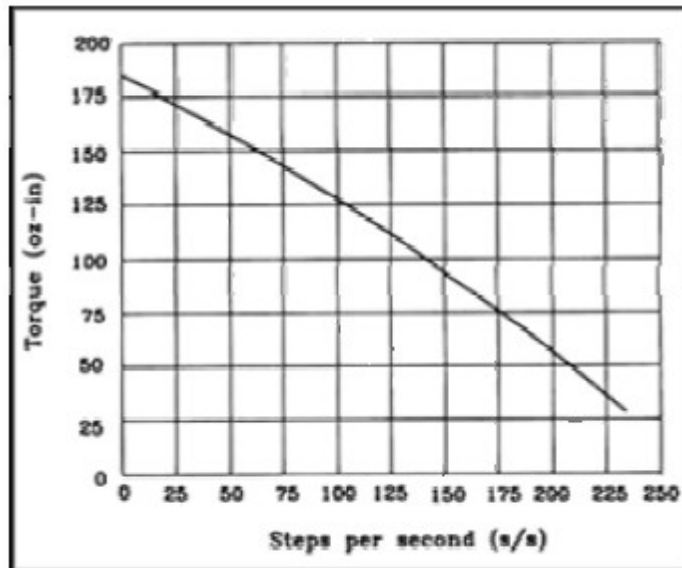
s/s: αριθμός βημάτων το δευτερόλεπτο (step/second)

Η ροπή πάνω από την οποία ο βηματικός κινητήρας χάνει βήματα ονομάζεται pull-out torque. Η ροπή κάτω από την οποία ο βηματικός κινητήρας δεν χάνει ποτέ βήματα ονομάζεται pull-in torque. Το εύρος ταχυτήτων μεταξύ της pull-out torque και της pull-in torque ονομάζεται slew range και αναπαριστά μια ασταθή περιοχή λειτουργίας.



Σχήμα 25: Γραφική αναπαράσταση της ροπής σε σχέση με την ταχύτητα περιστροφής

Το σχήμα δείχνει γραφικά τη σχέση μεταξύ της pull-in ροπής και των παλμών (βημάτων) ανά δευτερόλεπτο για ένα συμβατικό βηματικό κινητήρα. Όπως φαίνεται από το διάγραμμα η ροπή μειώνεται όσο αυξάνονται τα βήματα ανά δευτερόλεπτο.



Σχήμα 26; Σχέση μεταξύ της pull-in ροπής και των παλμών (βημάτων) ανά δευτερόλεπτο για ένα συμβατικό βηματικό κινητήρα.

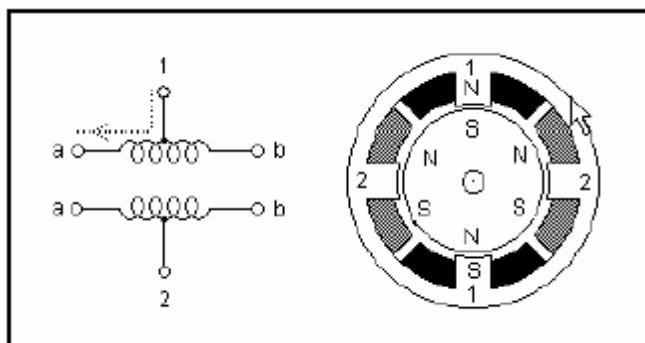
4.1.5 Μέθοδοι Οδήγησης Βηματικών Κινητήρων

Οι βηματικοί κινητήρες χωρίζονται και σε 3 κατηγορίες ανάλογα με τον τρόπο οδήγησής τους :

- Μονοπολικοί (unipolar) βηματικοί κινητήρες,
- Διπολικοί(bipolar) βηματικοί κινητήρες και
- Bifilar βηματικοί κινητήρες.

4.1.5.1 Μονοπολικοί(unipolar) βηματικοί κινητήρες

Οι μονοπολικοί βηματικοί κινητήρες αποτελούνται από 2 τυλίγματα κάθε ένα από τα οποία έχει μια κεντρική ελικοτομή (center tap). Οι ελικοτομές έχουν 2 τρόπους σύνδεσης. Ο πρώτος τρόπος είναι φέρονται έξω από τον κινητήρα σαν δυο ξεχωριστά καλώδια όπως φαίνεται στο σχήμα.



Σχήμα 27: Τυλίγματα μονοπολικού βηματικού κινητήρα

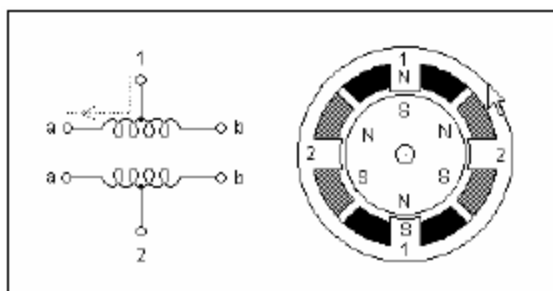
Ο δεύτερος είναι αυτά τα δυο καλώδια να συνδέονται εσωτερικά και να φέρονται έξω από τον κινητήρα σαν ένα καλώδιο. Έτσι οι μονοπολικοί κινητήρες έχουν συνήθως 5 ή 6 ακροδέκτες.

Ανεξάρτητα με τον αριθμό καλωδίων οι μονοπολικοί κινητήρες οδηγούνται με τον ίδιο τρόπο. Τα κεντρικά καλώδια ή το κεντρικό καλώδιο συνδέεται με την τροφοδοσία και τα καλώδια από τις άκρες των τυλιγμάτων γειώνονται.

Οι μονοπολικοί βηματικοί κινητήρες, οι κινητήρες μόνιμου μαγνήτη, και οι υβριδικοί, λειτουργούν διαφορετικά από τους κινητήρες μεταβλητής μαγνητικής αντίστασης. Συγκεκριμένα δεν λειτουργούν ελαχιστοποιώντας το μονοπάτι ροής μεταξύ των πόλων

Σχεδίαση Αυτοελεγχόμενων Ηλιακών Συστημάτων

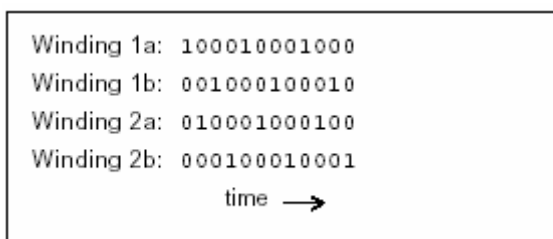
του στάτορα και των δοντιών του ρότορα, όπου η διεύθυνση της ροής του ρεύματος στο στάτορα είναι τυχαία, αλλά λειτουργούν με βάση την έλξη των βορείων ή των νοτίων πόλων του μόνιμα μαγνητισμένου ρότορα προς τους πόλους του στάτορα. Η κατεύθυνση του ρεύματος στους μονοπολικούς κινητήρες εξαρτάται από ποιο μέρος του τυλίγματος ενεργοποιείται. Το εάν ένα τυλίγμα συμπεριφέρεται σαν βόρειος ή νότιος πόλος εξαρτάται από ποιο μέρος που είναι ενεργοποιημένο.



Σχήμα 28: Εγκάρσια τομή ενός μονοπολικού κινητήρα 30° ανά βήμα

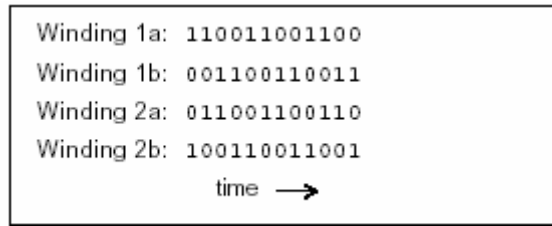
Το τυλίγμα 1 μοιράζεται ανάμεσα στο πάνω και στο κάτω μέρος των πόλων του στάτη, ενώ το τυλίγμα 2 μοιράζεται ανάμεσα στο αριστερό και στο δεξί μέρος των πόλων του κινητήρα. Ο ρότορας είναι ένας μόνιμος μαγνήτης 6 πόλων: 3 βορείων και 3 νοτίων.

Για να κινηθεί ο κινητήρας τα τυλίγματα ενεργοποιούνται με κατάλληλους παλμούς. Με την ακολουθία παλμών του σχήματος, ενεργοποιείται κάθε φορά το μισό ενός τυλίγματος και ο κινητήρας κινείται σύμφωνα με τη φορά του ρολογιού 30° σε κάθε βήμα.



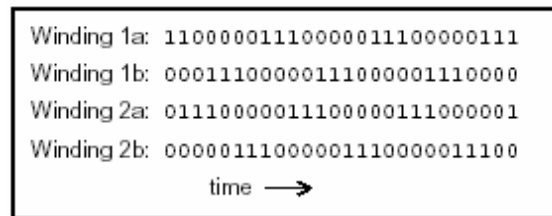
Σχήμα 29: Παλμοί οδήγησης μονού βήματος μονοπολικού βηματικού κινητήρα

Παρόμοια αποτελέσματα λαμβάνονται ενεργοποιώντας σε κάθε βήμα το μισό και των δύο τυλιγμάτων. Αυτό δεν αλλάζει το βήμα αλλά δίνει περισσότερη ροπή στρέψης. Από την άλλη αυτή η ακολουθία παλμών απαιτεί περισσότερη ισχύ.



Σχήμα 30: Εναλλακτικοί παλμοί οδήγησης μονού βήματος μονοπολικού βηματικού κινητήρα

Οι δυο παραπάνω ακολουθίες δίνουν στον κινητήρα λειτουργία μονού βήματος. Ένας συνδυασμός των δυο αυτών λειτουργιών δίνουν στον κινητήρα λειτουργία μισού βήματος (15ο). Η ροπή στρέψης κατά τη λειτουργία μισού βήματος δεν είναι σταθερή. Η ακολουθία αυτή παλμών παρατίθεται στο σχήμα.

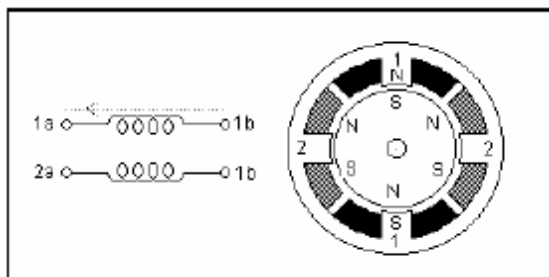


Σχήμα 31: Παλμοί οδήγησης μισού βήματος μονοπολικού βηματικού κινητήρα

4.1.5.2 Διπολικό Βηματικό Κινητήρες (Bipolar)

Οι διπολικό βηματικό κινητήρες αποτελούνται από 2 τυλίγματα και έχουν τέσσερα καλώδια. Αντίθετα με τους μονοπολικούς κινητήρες οι διπολικό δεν έχουν κεντρικές ελικοτομές στα τυλίγματα τους δηλαδή δεν υπάρχει καλώδιο που να ξεκινά από τη μέση ενός τυλίγματος. Σαν αποτέλεσμα αυτού το ρεύμα περνά μέσα από όλο το τύλιγμα και όχι από το μισό όπως συμβαίνει στους μονοπολικούς κινητήρες και έτσι οι διπολικό κινητήρες παράγουν περισσότερη ροπή στρέψης από τους μονοπολικούς αντίστοιχου μεγέθους. Το πλεονέκτημα αυτό αντισταθμίζεται από το γεγονός ότι οι διπολικό κινητήρες έχουν πολύ πιο πολύπλοκο κύκλωμα ελέγχου από ότι οι μονοπολικό. Το ρεύμα στα τυλίγματα των διπολικών κινητήρων μπορεί να ρέει και από τις 2 κατευθύνσεις αλλάζοντας την πολικότητά τους.

Στο σχήμα παρουσιάζεται ένας διπολικό κινητήρας 30° ανά βήμα, το ρεύμα ρέει από δεξιά προς τα αριστερά στο τύλιγμα 1 όταν το 1a είναι θετικό και το 1b αρνητικό. Αλλάζοντας την πολικότητά τους το ρεύμα ρέει από αριστερά προς δεξιά.



Σχήμα 32: Διπολικός βηματικός κινητήρας 30° ανά βήμα

Ένα κύκλωμα ελέγχου γνωστόν σαν Η-γέφυρα χρησιμοποιείται για να αλλάζει την πολικότητα στην άκρη των τυλιγμάτων. Όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα το τύλιγμα 1 μοιράζεται μεταξύ των πόλων του στάτορα στο πάνω και στο κάτω μέρος του κινητήρα, ενώ το τύλιγμα 2 μοιράζεται μεταξύ των πόλων του στάτορα στο αριστερό και στο δεξιό μέρος του κινητήρα. Ο ρότορας είναι ένας μόνιμος μαγνήτης 6 πόλων, 3 βορείων και 3 νοτίων.

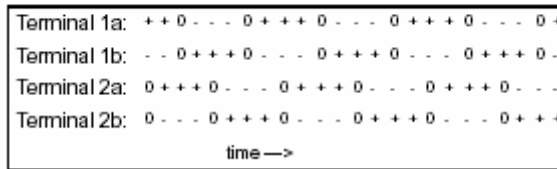
Όπως και οι μονοπολικοί έτσι και οι διπολικοί κινητήρες μπορούν να λειτουργήσουν με μονό βήμα με χρήση δυο διαφορετικών ακολουθιών παλμών. Στο σχήμα φαίνεται μια ακολουθία, για περιστροφή του κινητήρα κατά 360°, δηλαδή 12 βήματα. Οι συμβολισμοί “+” και “-” δείχνουν την πολικότητα της τροφοδοσίας που εφαρμόζεται στο τερματικό του κινητήρα και το “0” δείχνει ότι δεν εφαρμόζεται τροφοδοσία.

Η πρώτη ακολουθία μειώνει την ισχύ που καταναλώνεται ενεργοποιώντας ένα μόνο τύλιγμα κάθε φορά ενώ η δεύτερη αυξάνει τη ροπή στρέψης ενεργοποιώντας και τα δύο τυλίγματα ταυτόχρονα.

Terminal 1a:	+	0	-	0	+	0	-	0	+	0	-	0
Terminal 1b:	-	0	+	0	-	0	+	0	-	0	+	0
Terminal 2a:	0	+	0	-	0	+	0	-	0	+	0	-
Terminal 2b:	0	-	0	+	0	-	0	+	0	-	0	+
					time →							
Terminal 1a:	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-
Terminal 1b:	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+
Terminal 2a:	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-
Terminal 2b:	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+
					time →							

Σχήμα 33: Ακολουθία παλμών οδήγησης μονού βήματος διπολικού κινητήρα

Η ακολουθία παλμών για λειτουργία μισού βήματος, δηλαδή 15° ανά βήμα είναι ένας συνδυασμός των δυο παραπάνω ακολουθιών και φαίνεται στο σχήμα.

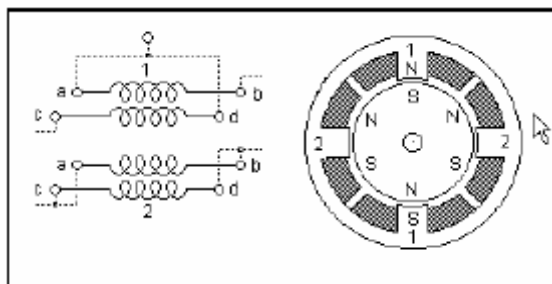


Σχήμα 34: Ακολουθία παλμών οδήγησης μισού βήματος διπολικού κινητήρα

4.1.5.3 Bifilar Βηματικοί Κινητήρες

Οι κινητήρες με bifilar τυλίγματα είναι πανομοιότυποι ως προς το στάτορα και το ρότορα με τους διπολικούς κινητήρες με τη διαφορά ότι κάθε τύλιγμα αποτελείται από δυο μικρότερα με δυο άκρες το καθένα. Σαν αποτέλεσμα οι bifilar κινητήρες έχουν 8 καλώδια αντί για 4 που έχουν οι παρόμοιοι με αυτούς διπολικοί.

Οι bifilar κινητήρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε ως μονοπολικοί είτε ως διπολικοί. Για να χρησιμοποιηθούν ως μονοπολικοί, τα δυο μικρότερα τυλίγματα συνδέονται σε σειρά και το σημείο σύνδεσης χρησιμοποιείται ως κεντρική ελικοτομή. Στο τύλιγμα 1 του σχήματος φαίνεται αυτή η σύνδεση. Στο τύλιγμα 2, αντίθετα, φαίνεται η σύνδεση για να υπάρχει διπολική λειτουργία. Σε αυτή τη περίπτωση τα μικρότερα τυλίγματα συνδέονται είτε σε σειρά είτε παράλληλα. Η παράλληλη σύνδεση συνίσταται σε λειτουργίες υψηλών ρευμάτων, ενώ η σε σειρά σε λειτουργίες υψηλής τάσης.



Σχήμα 35: Bifilar βηματικός κινητήρας

4.1.6 Επιλογή Βηματικού Κινητήρα

Για την επιλογή σωστού βηματικού κινητήρα σε μια εφαρμογή λαμβάνονται υπόψη διάφοροι παράγοντες οι πιο σημαντικοί από αυτούς είναι:

- Το είδος του κινητήρα
- Η απαιτούμενη ροπή στρέψης της εφαρμογής
- Η πολυπλοκότητα του ελεγκτή δηλαδή του κυκλώματος ελέγχου
- Τα φυσικά χαρακτηριστικά του κινητήρα

Ακολουθούν κάποιες συγκρίσεις που διευκολύνουν την επιλογή κάποιου κινητήρα έναντι κάποιου άλλου.

4.1.7 Σύγκριση Βηματικών Κινητήρων

Οι κινητήρες μεταβλητής αντίστασης έχουν το πλεονέκτημα της απλής σχεδίασης τους. Αυτοί οι κινητήρες δεν απαιτούν πολύπλοκους ρότορες μόνιμου μαγνήτη και επομένως είναι περισσότερο εύρωστοι από τους κινητήρες μόνιμου μαγνήτη.

Σε όλους τους κινητήρες η ροπή στρέψης τους μειώνεται με την αύξηση της ταχύτητας τους, όμως στους κινητήρες μεταβλητής αντίστασης αυτή η μείωση είναι λιγότερο έντονη. Με την κατάλληλη σχεδίαση οι κινητήρες μεταβλητής αντίστασης μπορούν να υπερβούν ταχύτητες των 10000 βημάτων/δευτερόλεπτο, ενώ οι κινητήρες μόνιμου μαγνήτη καθώς και οι υβριδικοί λειτουργούν σε ταχύτητες συνήθως των 1000 βημάτων/δευτερόλεπτο και λίγοι μόνο προσφέρουν χρήσιμη ροπή στρέψης σε ταχύτητες πάνω από 5000 βημάτων/δευτερόλεπτο. Η χαμηλή drop-off ροπή των κινητήρων μεταβλητής αντίστασης επιτρέπει την λειτουργία τους χωρίς κιβώτια ταχυτήτων σε εφαρμογές που άλλοι κινητήρες απαιτούν κιβώτια ταχυτήτων.

Οι κινητήρες μεταβλητής αντίστασης έχουν ένα σημαντικό μειονέκτημα. Με ημιτονοειδές ρεύμα διέγερσης οι υβριδικοί και οι κινητήρες μόνιμου μαγνήτη, είναι λιγότερο θορυβώδεις σε αντίθεση με τους κινητήρες μεταβλητής αντίστασης που είναι θορυβώδεις ανεξάρτητα από την κυματομορφή που τους οδηγεί. Σαν αποτέλεσμα οι

κινητήρες μεταβλητής αντίστασης δεν προτιμούνται σε εφαρμογές που λαμβάνονται σοβαρά υπόψη ζητήματα κραδασμών ή θορύβου.

Σε αντίθεση με τους κινητήρες μεταβλητής αντίστασης οι υβριδικοί και οι μόνιμοι μαγνήτη δεν μετακινούνται όταν δεν τροφοδοτούνται με ρεύμα διότι ο μόνιμος μαγνήτης τους έλκει τον στάτορα ακόμα και όταν δεν υπάρχει ισχύ. Αυτή η ανασταλτική ροπή (detent torque) είναι επιθυμητή σε κάποιες εφαρμογές αλλά αποτελεί πρόβλημα σε κάποιες άλλες που απαιτούν ομαλή κίνηση.

Στην επιλογή μεταξύ υβριδικών και κινητήρων μόνιμου μαγνήτη σημαντικό ρόλο παίζουν δυο ζητήματα, αυτά του κόστους και της ανάλυσης. Οι κινητήρες μόνιμου μαγνήτη ανήκουν στην κατηγορία των πιο φθηνών κινητήρων ενώ οι υβριδικοί κινητήρες έχουν ρυθμούς βήματος υψηλότερους από τους κινητήρες μόνιμου μαγνήτη αν και λίγοι παράγουν χρήσιμη ροπή σε ρυθμούς υψηλότερους από 5000 βήματα/δευτερόλεπτο.

Οι κινητήρες μόνιμου μαγνήτη και οι υβριδικοί κινητήρες είναι διαθέσιμοι με μονοπολικές, διπολικές αλλά και bifilar περιελίξεις πηνίου. Οι τελευταίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε μονοπολικές και σε διπολικές διατάξεις.

Η επιλογή μεταξύ μονοπολικών και διπολικών συστημάτων οδήγησης εξαρτάται από την απλότητα της οδήγησης αλλά και την παρεχόμενη ισχύ στο φορτίο. Οι διπολικοί κινητήρες έχουν περίπου 30% περισσότερη ροπή στρέψης από τους αντίστοιχους τους μονοπολικούς. Ο λόγος είναι ότι στους μονοπολικούς κινητήρες μόνο το μισό τύλιγμα ενεργοποιείται κάθε χρονική στιγμή ενώ στους διπολικούς κινητήρες ενεργοποιείται ολόκληρο το τύλιγμα κάθε χρονική στιγμή.

4.2 Παράλληλη Θύρα

Η παράλληλη είναι μια θύρα στον υπολογιστή, η οποία χρησιμοποιείται για την μεταφορά δεδομένων και τον έλεγχο συσκευών. Στο παρελθόν η χρήση της ήταν πολύ διαδεδομένη για την επικοινωνία του υπολογιστή με ερασιτεχνικά συστήματα. Πλέον η θύρα USB την έχει αντικαταστήσει. Η θύρα κατασκευάστηκε αρχικά από την IBM για την σύνδεση ενός υπολογιστή με τον εκτυπωτή. Αποτελείται από 25 pins και έχει την δυνατότητα αποστολής ενός Byte από δεδομένα, παράλληλα. Μια στανταρτ παράλληλη έχει την δυνατότητα να στέλνει 50 έως 100 KB το δευτερόλεπτο.



Συνοπτικά οι ακίδες (pins) χρησιμοποιούνται ως εξής:

- Η ακίδα 1 μεταφέρει το σήμα strobe. Κυμαίνεται μεταξύ 2.8 και 5 volts αλλά πέφτει κάτω από 0,5 V κάθε φορά που ο υπολογιστής στέλνει δεδομένα.
- Οι ακίδες από 2 έως 9 χρησιμοποιούνται για την μεταφορά των δεδομένων. Όταν η τιμή του μεταδιδόμενου bit είναι 1 τότε η ακίδα έχει τάση 5 V. Όταν η τάση είναι 0 τότε αυτό μεταφράζεται σε τιμή 0. Αυτό είναι ένας απλό τρόπος για να μεταφέρει κάποιος ψηφιακά δεδομένα πάνω από αναλογικό καλώδιο.
- Η ακίδα 10 χρησιμοποιείται σαν βεβαίωση (acknowledge). Έχει τρόπο λειτουργίας παρόμοιο την ακίδα 1. Όταν η συνδεδεμένη συσκευή λάβει τα δεδομένα τότε ρίχνει την τάση κάτω από 0,5 V.
- Η ακίδα 11, είναι το απασχολημένο (busy) και χρησιμοποιείται για να δηλώσει την κατάσταση της συνδεδεμένης συσκευής. Όταν η συσκευή είναι απασχολημένη τότε η τάση γίνεται 5 V. Διαφορετικά πέφτει κάτω από 0,5 V.
- Η ακίδα 12 δηλώνει και αυτή την κατάσταση της συσκευής. Στους εκτυπωτές δηλώνει ότι έχει μείνει χωρίς χαρτί.
- Η ακίδα 13 χρησιμοποιείται για να ελέγχεται, αν η συσκευή είναι συνδεδεμένη με τον υπολογιστή. Όσο είναι συνδεδεμένη έχει τάση 5 V.
- Η ακίδα 14 είναι η αυτόματη τροφοδοσία (auto feed).
- Αν η συσκευή παρουσιάσει κάποιο πρόβλημα τότε η ακίδα 15 λαμβάνει τιμή 1.
- Η ακίδα 16 χρησιμοποιείται για την αρχικοποίηση της συσκευής.
- Η ακίδα 17 χρησιμοποιείται για να απενεργοποιήσει την συσκευή.
- Οι ακίδες 18 έως 25 είναι γείωση.

DB 25		Centronics 36	
Pin	Signal	Pin	Signal
1	Strobe	1	Strobe
2	data0	2	data0
3	data1	3	data1
4	data2	4	data2
5	data3	5	data3
6	data4	6	data4
7	data5	7	data5
8	data6	8	data6
9	data7	9	data7
10	Acknowledge	10	Acknowledge
11	Busy	11	Busy
12	Paper End	12	Paper End
13	Select	13	Select
14	Auto Feed	14	Auto Feed
15	Error	15	Error
16	Init	16	Init
17	Select In	17	Select In
18	GND	18	GND
19	GND	19	GND
20	GND	20	GND
21	GND	21	GND
22	GND	22	GND
23	GND	23	GND
24	GND	24	GND
25	GND	25	GND
		26	GND
		27	GND
		28	GND
		29	GND
		30	GND
		31	Init
		32	Error
		33	Ground
		34	NC
		35	NC
		36	Select In

©2000 How Stuff Works

Σχήμα 36: Λειτουργία ακίδων παράλληλης θύρας

4.3 Κιβώτιο Ταχυτήτων (GearBox)

Ένα κιβώτιο ταχυτήτων προσφέρει μετατροπή ταχύτητας και ροπής από μια πηγή περιστρεφόμενης κίνησης σε μια άλλη συσκευή χρησιμοποιώντας γρανάζια με διαφορετικό πλήθος δοντιών. Η πιο κοινή χρήση τους είναι στα αυτοκίνητα, όπου το κιβώτιο μεταφέρει την κίνηση από την μηχανή στους τροχούς. Στην περίπτωση των αυτοκινήτων η μηχανή είναι επιθυμητό να κινείται με πολλές στροφές, ενώ η κίνηση των τροχών πρέπει να μεταβάλλεται ανάλογα με τις απαιτήσεις του ταξιδιού. Το κιβώτιο μειώνει τις υψηλές στροφές του κινητήρα και τις προσαρμόζει στις χαμηλές στροφές των τροχών αυξάνοντας την παρεχόμενη ροπή. Στις περιπτώσεις των βηματικών κινητήρων, όταν απαιτείται μεγαλύτερη ισχύ από αυτή που προσφέρεται, τότε μια λύση είναι η χρησιμοποίηση κιβωτίου ταχυτήτων για την αύξηση της προσφερόμενης ισχύς.

Πολλές φορές ένα κιβώτιο ταχυτήτων προσφέρει την δυνατότητα διαφορετικών μετατροπών. Επιπλέον υπάρχουν κιβώτια τα οποία αλλάζουν την κατεύθυνση της κίνησης.

Το κύριο χαρακτηριστικό των κιβωτίων ταχυτήτων είναι η αναλογία των γραναζιών. Αυτή είναι που καθορίζει την αύξηση της ροπής στρέψης, καθώς και την μείωση της ταχύτητας περιστροφής.

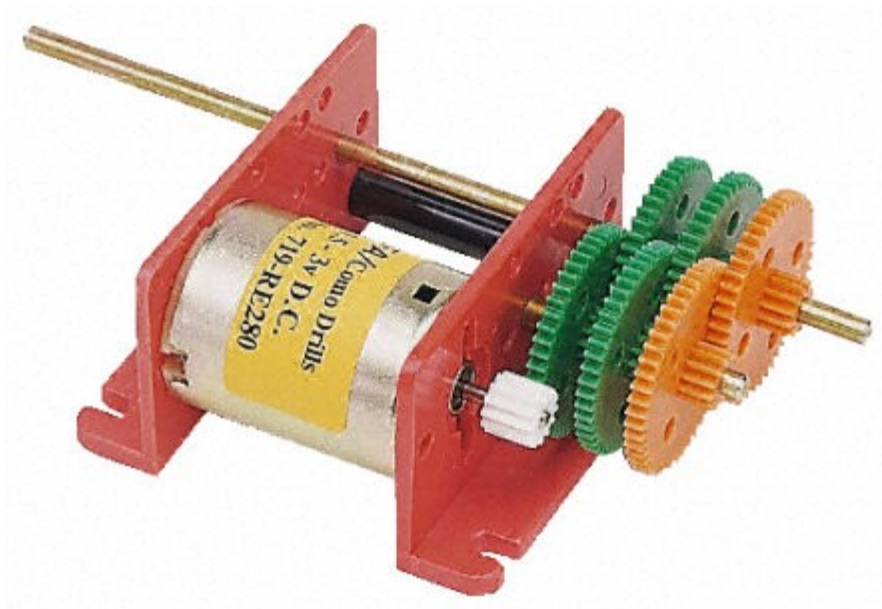
Για το κιβώτιο ταχυτήτων που χρησιμοποιήθηκε στην εφαρμογή (TAMIYA No167 – 4 speed), ο κατασκευαστής έδινε τις ακόλουθες τιμές:

Με ροπή κινητήρα 36 gf-cm και ταχύτητα περιστροφής 12,300 RPM

Πίνακας 4: Πίνακας με χαρακτηριστικά κιβωτίων ταχυτήτων

Σχεδίαση Αυτοελεγχόμενων Ηλιακών Συστημάτων

Επιλεγμένη ταχύτητα	Αναλογία Γραναζιών	Ροπή Στρέψης	Ταχύτητα Περιστροφής
A	12.7:1	94 gf cm	1039 rpm
B	38.2:1	278 gf cm	345 rpm
C	114.7:1	809 gf cm	115 rpm
D	344.2:1	2276 gf cm	38 rpm



Εικόνα 8: Κιβώτιου ταχυτήτων

4.4 Πρωτόκολλο I2C

Το I2C είναι ένα πρωτόκολλο πολλαπλών masters, το οποίο σχεδιάστηκε από την Philips και χρησιμοποιείται για να συνδέσει χαμηλής ταχύτητας περιφερικά σε μια μητρική πλακέτα, σε μια embedded συσκευή ή σε ένα κινητό. Το I2C χρησιμοποιεί μόνο δυο open drain, διπλής κατεύθυνσης γραμμές. Η μια ονομάζεται Serial Data Line (SDA) και είναι η γραμμή των δεδομένων και η άλλη λέγεται Serial Clock Line (SCL) και είναι η γραμμή χρονισμού. Τυπικές τιμές των τάσεων που χρησιμοποιούνται είναι +5V ή 3,3V. Ο χώρος διευθύνσεων στο I2C καθορίζεται από 7 bit. Από αυτές τις διευθύνσεις 16 είναι δεσμευμένες επομένως το μέγιστο πλήθος συσκευών που μπορούν να συνδεθούν είναι 112. Συνηθισμένες ταχύτητες είναι 100Kbit/s και 10Kbit/s. Πρέπει να σημειωθεί ότι αυτές είναι οι μέγιστες ταχύτητες μετάδοσης για όλα τα απαιτούμενα δεδομένα, όπως για παράδειγμα διευθύνσεις, σήματα επιβεβαιώσεων κ.α. Άρα η ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων του χρήστη είναι μικρότερη. Η χωρητικότητα της γραμμής δεν μπορεί να ξεπεράσει τα 100pF το οποίο μεταφράζεται σε κάποια μέτρα.

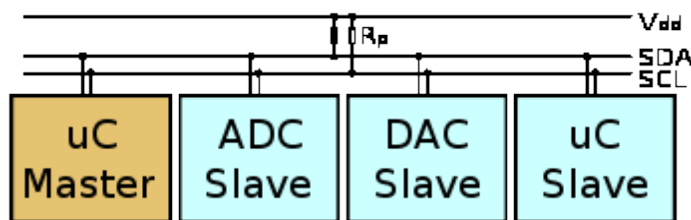
Οι κόμβοι στο πρωτόκολλο I2C ανήκουν σε δυο κατηγορίες, στους κόμβους master και στους κόμβους slaves. Ένας κόμβος master μπορεί να επηρεάσει την γραμμή του χρονισμού, ενώ ένας κόμβος slave δεν μπορεί. Το πρωτόκολλο είναι πολλαπλών master γιατί μπορούν να υπάρχουν περισσότεροι από ένας. Επιπλέον ένας κόμβος, που είναι master κάποια στιγμή μπορεί να γίνει slave κάποια άλλη. Υπάρχουν τέσσερις τρόποι λειτουργίας για μια συσκευή. Η πρώτη είναι η master transmit κατά την οποία ο κόμβος είναι master και μεταδίδει πληροφορίες σε έναν άλλο κόμβο που είναι slave. Η δεύτερη είναι η master receive κατά την οποία ο κόμβος είναι πάλι master αλλά αυτήν την φορά δέχεται δεδομένα από κάποιον slave κόμβο. Η τρίτη είναι η slave transmit κατά την οποία ο κόμβος είναι slave και στέλνει δεδομένα σε κάποιον master και τέλος η τέταρτη είναι η slave receive κατά την οποία ο κόμβος είναι slave και δέχεται δεδομένα.

Ο κόμβος master είναι αρχικά σε κατάσταση master transmit και στέλνει ένα bit εκκίνησης ακολουθούμενο από 7 bit που αντιπροσωπεύουν την διεύθυνση του παραλήπτη slave και τέλος υπάρχει και ένα ακόμα bit το οποίο καθορίζει αν ο master θέλει να γράψει (0) ή να διαβάσει κάτι (1) από τον κόμβο slave. Στις διευθύνσεις και στα δεδομένα στέλνονται πρώτα τα πιο σημαντικά bits. Αν ο κόμβος λάβει το μήνυμα τότε απαντάει με ένα ACK bit. Ο master τότε συνεχίζει είτε μεταδίδοντας είτε λαμβάνοντας δεδομένα. Η κάθε αποστολή δεδομένων ξεκινάει με ένα start bit το οποίο υποδηλώνεται

από μετάβαση της γραμμής SDA από ψηλά σε χαμηλά και με την γραμμή SCL ψηλά. Η λήξη κάθε αποστολής σηματοδοτείται με την μετάβαση από χαμηλά σε υψηλά της SDA και με την SCL ψηλά. Αν ο master επιθυμεί να στείλει δεδομένα στον slave τότε στέλνει ένα ένα τα bytes αφού πρώτα λάβει κάθε φορά ένα bit ACK από τον slave. Αντίστοιχα πραγματοποιείται και η λήψη δεδομένων από τον master. Μόλις ολοκληρωθεί η αποστολή των δεδομένων στέλνεται ένα STOP bit.

Το I2C καθορίζει τρεις βασικούς τύπους μηνυμάτων καθένα από τα οποία ξεκινάει με ένα start bit και τελειώνει με ένα end bit. Ο πρώτος τύπος είναι μονό μήνυμα, όπου ο master στέλνει δεδομένα στον slave. Ο δεύτερος είναι μονό μήνυμα, όπου ο master διαβάζει μηνύματα από τον slave. Ο τρίτος είναι πολλαπλά μηνύματα στα οποία ο master πραγματοποιεί τουλάχιστον δυο αποστολές ή λήψεις δεδομένων σε έναν ή περισσότερους slaves. Στα πολλαπλά μηνύματα κάθε αποστολή ή λήψη ξεκινάει με ένα START και την διεύθυνση του slave. Μετά από το πρώτο start ακολουθούν και άλλα χωρίς όμως να συνοδεύονται με STOP. Με αυτόν τον τρόπο γνωρίζουν οι slaves ότι η επόμενη μετάδοση είναι τμήμα του ίδιου μηνύματος.

Στο φυσικό επίπεδο και οι δύο γραμμές SDA και SCL είναι open – drain και για αυτό χρειάζονται αντιστάσεις ανόρθωσης τάσης . Γειώνοντας την γραμμή θεωρείται λογικό μηδέν, ενώ αν αφηθεί να αιωρείται θεωρείται ότι βρίσκεται στην κατάσταση 1. Για συστήματα υψηλής ταχύτητας εφαρμόζονται επιπλέον τεχνικές για την ταχύτερη ανόρθωση των γραμμών τουλάχιστον για αυτή του ρολογιού. Οι αλλαγές στα δεδομένα πραγματοποιούνται πάντα, όταν το ρολόι είναι χαμηλά, και όταν είναι υψηλά μεταφέρονται START και STOP bits.



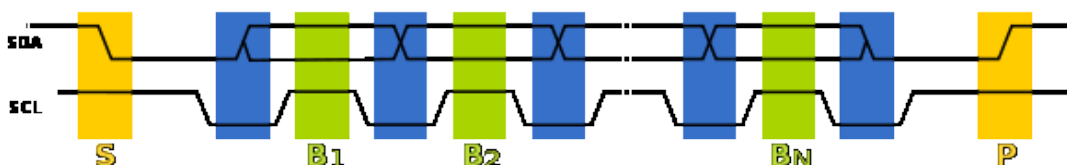
Σχήμα 37: Οι γραμμές στο I2C είναι open drain και χρειάζονται pull up αντιστάσεις όπως το R_p

Όταν ένας κόμβος μεταδίδει ένα λογικό 1 και ένας άλλος μεταδίδει ένα λογικό 0, τότε ο πρώτος μπορεί να αντιληφθεί την διαφορά γιατί δεν είναι στο λογικό 1. Όταν αυτό πραγματοποιείται στην γραμμή SCL, τότε λέγεται ότι πραγματοποιείται επιμήκυνση ρολογιού (clock stretching) και προσφέρει στους slaves έναν μηχανισμό ελέγχου ροής. Όταν χρησιμοποιείται στο SDA, τότε λέγεται διαίτησ(α) arbitration και εξασφαλίζει ότι

υπάρχει ένας κόμβος που μεταδίδει πληροφορίες. Στην επιμήκυνση ρολογιού ένας κόμβος ο οποίος επιλέγεται για την μετάδοση πληροφοριών, μπορεί να κρατήσει την γραμμή SCL χαμηλά, αφού λάβει ή αποστείλει τα δεδομένα δείχνοντας με αυτόν τον τρόπο ότι δεν είναι έτοιμος να επεξεργαστεί καινούρια δεδομένα. Ένας master ο οποίος επιθυμεί να επικοινωνήσει με κάποιον slave, προσπαθεί να ανεβάσει την γραμμή SCL για να μεταδώσει το επόμενο bit. Πριν όμως ξεκινήσει πρέπει να επιβεβαιώσει ότι η γραμμή του ρολογιού έχει όντως ξεκινήσει. Αν ο slave πραγματοποιεί επιμήκυνση ρολογιού τότε το ρολόι θα είναι χαμηλά και επομένως ο master δεν θα πραγματοποιήσει την ενέργεια που επιθυμεί. Κάθε master παρακολουθεί τις γραμμές για START και STOP bits και δεν ξεκινάει κάποιο μήνυμα όσο υπάρχει κάποιος άλλος που μεταδίδει. Παρόλα αυτά υπάρχει η περίπτωση δυο masters να μεταδώσουν σχεδόν παράλληλα. Σε αυτήν την περίπτωση πραγματοποιείται διαιτησία. Κάθε κόμβος που μεταδίδει ελέγχει το επίπεδο της γραμμής δεδομένων και συγκρίνει με τα επίπεδα που αναμένει, αν δεν ταιριάζουν τότε ο κόμβος έχει χάσει την διαιτησία και σταματάει την μετάδοση του.

4.4.1 Διαγράμματα Χρόνου

Η παρακάτω εικόνα παρουσιάζει πως μεταδίδονται τα μηνύματα στο I2C πρωτόκολλο.



Διάγραμμα Χρονισμού Γραμμών I2C

Η μετάδοση ξεκινάει με ένα START bit (S), όταν η SDA μεταβαίνει από τα υψηλά στα χαμηλά, όσο η SCL γραμμή είναι υψηλά. Στην SDA τίθενται τα μεταδιδόμενα bits, κάθε φορά που το ρολόι γίνεται χαμηλό και τα δεδομένα δειγματοληπτούνται κάθε φορά που το ρολόι ανεβαίνει. Όταν η μετάδοση τελειώσει, τότε ένα STOP bit μεταδίδεται (P), ανεβάζοντας την γραμμή SDA ψηλά όσο το ρολόι είναι υψηλά.

4.5 Τεχνολογία JNI

Η τεχνολογία JNI χρησιμοποιήθηκε για την επέκταση του οδηγού από την C στην γλώσσα προγραμματισμού Java. Το JNI (Java Native Interface) είναι μια προγραμματιστική πλατφόρμα, η οποία επιτρέπει στον Java κώδικα που τρέχει στην εικονική Java μηχανή (Java Virtual Machine) να καλεί και να καλείται από native εφαρμογές, δηλαδή εφαρμογές οι οποίες είναι συσχετισμένες με το υλικό και με το λειτουργικό στο οποίο τρέχουν.

Το JNI επιτρέπει την συγγραφή native μεθόδων για να χειρίζονται καταστάσεις στις οποίες η εφαρμογή δεν μπορεί ή δεν συμφέρει να γραφτεί αποκλειστικά στην γλώσσα προγραμματισμού Java. Για παράδειγμα εφαρμογές, όπως οδηγοί συσκευών, όπου οι απαιτήσεις σε ταχύτητα είναι μεγάλες και η διαθέσιμη μνήμη είναι μικρή, η χρήση γλωσσών προγραμματισμού, όπως C είναι επιβεβλημένη. Το JNI επιτρέπει την σύνδεση των προγραμμάτων αυτών με την JAVA. Επίσης παρέχει την δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης μιας εφαρμογής που είναι γραμμένη σε άλλη γλώσσα. Για παράδειγμα μια βιβλιοθήκη που είναι δοκιμασμένη και λειτουργεί σωστά και αποδοτικά είναι δύσκολό και χρονοβόρο να ξαναγραφτεί από την αρχή σε java. Το JNI επιτρέπει την επαναχρησιμοποίηση της. Η τεχνολογία JNI είναι ενσωματωμένη στην εικονική μηχανή της Java. Πολλές από τις λειτουργίες που υποστηρίζει η γλώσσα Java, όπως για παράδειγμα ανάγνωση και εγγραφή από αρχεία, έλεγχος της κάρτας γραφικών και

δικτυακές υπηρεσίες, είναι υλοποιημένες με κλήσεις στα λειτουργικά συστήματα και πραγματοποιούνται με την τεχνολογία JNI.

Πέρα από τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει η τεχνολογία, έχει και ορισμένα πολύ σημαντικά μειονεκτήματα. Αν συμβεί κάποιο λάθος στο native κομμάτι υπάρχει σοβαρός κίνδυνος, να αποσταθεροποιηθεί ολόκληρη την εικονική μηχανή της Java. Επίσης τις περισσότερες φορές αν και παράγονται κατάλληλα μηνύματα λάθους, ο εντοπισμός των σφαλμάτων είναι εξαιρετικά δύσκολος και χρονοβόρος. Επιπλέον δεν είναι εφικτή η χρήση της τεχνολογίας από όλα τα είδη εφαρμογών που υπάρχουν στην Java. Μόνο τοπικές εφαρμογές ή applet που είναι υπογεγραμμένα μπορούν να χρησιμοποιήσουν το JNI. Φυσικά ένα άλλο μειονέκτημα που δημιουργείται είναι ότι οι Java εφαρμογές που δημιουργούνται με αυτό τον τρόπο δεν μπορούν να είναι μεταφέρσιμες σε άλλα λειτουργικά συστήματα, ένα χαρακτηριστικό που έκανε την java δημοφιλή. Επιπλέον το JNI δεν υποστηρίζει την λειτουργία της αυτόματης αποδέσμευση μνήμης (automatic garbage collection) και κατά συνέπεια είναι στην ευθύνη του προγραμματιστή να αποδεσμεύει την μνήμη που χρησιμοποιεί.

Στην υλοποίηση του συστήματος, παρόλο τον επιπλέον χρόνο που απαιτήθηκε, για την υλοποίηση της επέκτασης του οδηγού σε γλώσσα Java με την χρήση της JNI, η δημιουργία αυτής της γέφυρας επέτρεψε την αποτελεσματική και εύκολη ανάπτυξη της υπόλοιπης εφαρμογής. Άλλωστε με την χρήση των κατάλληλων εργαλείων η επέκταση αυτή απλοποιείται. Ο τρόπος εφαρμογής της JNI παρουσιάζεται σε επόμενες ενότητες.

4.5.1 Χρήση JNI Τεχνολογίας

Η χρήση της τεχνολογίας JNI είναι σχετικά εύκολη, τυποποιημένη και υποστηρίζεται από σύγχρονα εργαλεία ανάπτυξης. Στην ενότητα θα παρουσιαστεί ένα παράδειγμα χρήσης της τεχνολογίας. Στο παράδειγμα θα χρησιμοποιηθεί η τεχνολογία JNI για να κληθεί μια συνάρτηση της C, η οποία μεταφέρει ένα αρχείο στην μνήμη του υπολογιστή.

Για την σύνδεση ενός native κώδικα C με την γλώσσα Java απαιτούνται μια σειρά από τυποποιημένες ενέργειες που πρέπει να γίνουν. Αρχικά θα πρέπει να οριστούν στην κλάση java, συναρτήσεις τύπου native. Οι συναρτήσεις αυτές, είναι όπως οι άλλες συναρτήσεις στην Java, μόνο που ουσιαστικά αποτελούν την διεπαφή των αντίστοιχων συναρτήσεων του native κώδικα C. Ένα παράδειγμα ενός τέτοιου ορισμού είναι το ακόλουθο:

```
native byte[] loadFile(String name);
```

Μετά από τον ορισμό αυτό απαιτείται να φορτωθεί στην Java κλάση η βιβλιοθήκη που περιέχει τον κώδικα της C. Η λειτουργία αυτή πραγματοποιείται με την συνάρτηση `System.loadLibrary()`. Υπάρχει και μια άλλη συνάρτηση που είναι και αυτή πολύ χρήσιμη για την διαδικασία αυτή και είναι η συνάρτηση `System.load()`; Η διαφορά των δυο συναρτήσεων είναι ότι η μια συνάρτηση βρίσκει την βιβλιοθήκη ψάχνοντας στην `java classpath` μεταβλητή συστήματος, ενώ η δεύτερη λαμβάνει σαν όρισμα το απόλυτο `path` της βιβλιοθήκης μαζί με την κατάληξη της. Για την χρήση της πρώτης συνάρτησης θα πρέπει στην μεταβλητή συστήματος `classpath` να εισαχθεί και ο φάκελος που περιέχει τον κώδικα της βιβλιοθήκης. Παράδειγμα κλήσης των συναρτήσεων φαίνεται παρακάτω:

```
System.load("/home/anagnosg/K8000_5Api/nativeLib.so");
```

```
System.loadLibrary("nativeLib");
```

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η κλήση των συναρτήσεων αυτών γίνεται στον `static initializer` για να εξασφαλιστεί ότι η βιβλιοθήκη θα φορτωθεί μια φορά για κάθε κλάση. Ενδέχεται κάποιες φορές η βιβλιοθήκη να απαιτείται να φορτώνεται για κάθε αντικείμενο. Παράδειγμα ενσωμάτωσης της κλήσης της συνάρτησης στο `static initializer` είναι το ακόλουθο:

```
static {  
    System.loadLibrary("nativeLib");  
}
```

Έπειτα από τις ενέργειες αυτές θα πρέπει ο κώδικας της Java να μεταγλωττιστεί ώστε να παραχθεί η αντίστοιχη κλάση. Η διαδικασία της μεταγλώττισης δεν διαφέρει από την συνηθισμένη και πραγματοποιείται με την εντολή:

```
javac ReadFile.java
```

Στην συνέχεια θα πρέπει από την κλάση που έχει δημιουργηθεί να παραχθεί ένα ειδικό αρχείο `header` το οποίο θα περιλαμβάνει τους ορισμούς των `native` συναρτήσεων. Η παραγωγή του αρχείου αυτού πραγματοποιείται με πολύ απλό τρόπο εκτελώντας την εντολή:

```
javah -jni ReadFile
```

Το αρχείο `ReadFile.h` που παράγεται είναι μια διεπαφή που συνδέει τον Java κώδικα με τις native συναρτήσεις C. Για το συγκεκριμένο αρχείο του παραδείγματος το αρχείο που παράγεται είναι:

```
/*
 * Class:      ReadFile
 * Method:     loadFile
 * Signature:  (Ljava/lang/String;)[B
 */
JNIEXPORT jbyteArray JNICALL Java_ReadFile_loadFile
    (JNIEnv *, jobject, jstring);
```

Οι παράμετροι του ορισμού της συνάρτησης που παράγεται είναι:

- `JNIEnv *`: Δείκτης προς το JNI περιβάλλον. Αυτός ο δείκτης είναι ένα σημείο σύνδεσης με την εικονική μηχανή της Java.
- `jobject`: Είναι μια αναφορά προς την μέθοδο που κάλεσε αυτόν τον native κώδικα. Αν η συνάρτηση αυτή είναι static τότε η παράμετρος είναι τύπου `jclass` αντί για `jobject`.
- `jstring`: Είναι η παράμετρος που έχει η native μέθοδος. Στο παράδειγμα που παρουσιάζεται είναι το όνομα του file που θα διαβαστεί.

Μετά από την δημιουργία του αρχείου ορισμών `ReadFile.h` θα πρέπει να υλοποιηθεί η συνάρτηση διεπαφής, που ορίζεται σε αυτό, στον κώδικα C. Παράδειγμα υλοποίηση της παρουσιάζεται παρακάτω:

```
#include <jni.h>

#include <sys/types.h>

#include <sys/ipc.h>

#include <sys/shm.h>

#include <sys/mman.h>

#include <sys/stat.h>

#include <fcntl.h>
```

JNIEXPORT jbyteArray JNICALL Java_ReadFile_loadFile

```
(JNIEnv * env, jobject jobj, jstring name) {
    caddr_t m;
    jbyteArray jb;
    jboolean iscopy;
    struct stat finfo;
    const char *mfile = (*env)->GetStringUTFChars(
        env, name, &iscopy);
    int fd = open(mfile, O_RDONLY);

    if (fd == -1) {
        printf("Could not open %s\n", mfile);
    }
    lstat(mfile, &finfo);
    m = mmap((caddr_t) 0, finfo.st_size,
        PROT_READ, MAP_PRIVATE, fd, 0);
    if (m == (caddr_t)-1) {
        printf("Could not mmap %s\n", mfile);
        return(0);
    }
    jb=(*env)->NewByteArray(env, finfo.st_size);
    (*env)->SetByteArrayRegion(env, jb, 0,
        finfo.st_size, (jbyte *)m);
    close(fd);
    (*env)->ReleaseStringUTFChars(env, name, mfile);
    return (jb);
}
```

Η διαδικασία της κλήσης συναρτήσεων C από την γλώσσα Java ολοκληρώνεται με την μεταγλώττιση του κώδικα C που παρουσιάστηκε παραπάνω. Ο κώδικας που γράφτηκε δεν μεταγλωττίζεται με τον κλασσικό τρόπο, αλλά ως δυναμική ή διαμοιραζόμενη βιβλιοθήκη, έτσι ώστε να μπορεί να φορτωθεί κατά τον χρόνο εκτέλεσης. Οι στατικές βιβλιοθήκες που παράγονται με την μεταγλώττιση ενός εκτελέσιμου δεν μπορούν να φορτωθούν κατά την εκτέλεση ενός προγράμματος. Η εντολή μεταγλώττισης ως δυναμική βιβλιοθήκη παρουσιάζεται παρακάτω:

Gnu C/Linux:

```
gcc -o libnativelib.so -shared -Wl,-soname,libnative.so  
-I/export/home/jdk1.2/include  
-I/export/home/jdk1.2/include/linux nativelib.c  
-static -lc
```

Win32/WinNT/Win2000

```
cl -Ic:/jdk1.2/include  
-Ic:/jdk1.2/include/win32  
-LD nativelib.c -Fe:libnative.dll
```

Κάτι που θα πρέπει να επισημανθεί και να αναλυθεί περαιτέρω είναι η μεταφορά αλφαριθμητικών και πινάκων από την Java στη C και αντίστροφα.

Το αλφαριθμητικό στην Java είναι ένα αντικείμενο που αναπαριστάται στην πλατφόρμα JNI σαν αντικείμενο τύπου `jstring`. Η εσωτερική του αναπαράσταση είναι 16 bit στην κωδικοποίηση unicode. Στην C ένα αλφαριθμητικό αποτελείται από χαρακτήρες των 8 bit. Για να είναι εφικτή η μεταφορά των στοιχείων από την μια γλώσσα στην άλλη θα πρέπει να πραγματοποιηθούν οι κατάλληλες μετατροπές. Η πλατφόρμα JNI παρέχει συναρτήσεις που πραγματοποιούν αυτές τις μετατροπές.

Η συνάρτηση `GetStringUTFChars` λαμβάνει ένα αλφαριθμητικό των 16 bit και το μετατρέπει σε χαρακτήρες των 8 bit χωρίς την απώλεια πληροφορίας. Η κλήση της είναι ως εξής:

C:

```
(*env)->GetStringUTFChars(env, name, iscopy)
```

C++ Version:

```
env->GetStringUTFChars(name, iscopy)
```

Για την αντίστροφη μετατροπή μπορεί να χρησιμοποιηθεί η συνάρτηση `NewStringUTF` της πλατφόρμας JNI ως εξής:

```
(*env)->NewStringUTF(env, lastfile)
```

Ένα πολύ σημαντικό στοιχείο της Java είναι ο αυτόματος μηχανισμός που διαθέτει, για τον καθαρισμό της μνήμης από τα μη χρησιμοποιούμενα αντικείμενα. Αυτός ο μηχανισμός δεν υπάρχει στην γλώσσα C, όπου ο προγραμματιστής έχει την ευθύνη της δέσμευσης και της αποδέσμευσης της μνήμης. Όπως είναι λογικό κατά την σύνδεση των δυο γλωσσών μέσω της πλατφόρμας JNI ο μηχανισμός της αυτόματης διαχείρισης της μνήμης δεν υποστηρίζεται και θα πρέπει ο προγραμματιστής να αποδεσμεύσει την μνήμη από τα αντικείμενα που δεν χρειάζεται. Η αποδέσμευση της μνήμης, που χρησιμοποιείται για τα αλφαριθμητικά, πραγματοποιείται με την συνάρτηση `ReleaseStringUTFChars` όπως παρακάτω:

```
(*env)->ReleaseStringUTFChars(env, name, mfile);
```

Η μεταφορά δεδομένων, ανάμεσα στις δυο γλώσσες, σε μορφή πινάκων, όταν αυτά ανήκουν στους βασικούς τύπους δεδομένων, πραγματοποιείται με συναρτήσεις της πλατφόρμας JNI της μορφής `<type>Array`. Για παράδειγμα όταν χρειάζεται να δημιουργηθεί πίνακας από floats τότε καλείται η συνάρτηση `NewFloatArray` ή όταν πρέπει να δημιουργηθεί πίνακας από bytes καλείται η συνάρτηση `NewByteArray`. Όταν είναι επιθυμητή η προσθήκη στοιχείων ή η αλλαγή τους χρησιμοποιούνται οι συναρτήσεις της μορφής `Set<type>ArrayElements`. Για την λήψη των στοιχείων ενός πίνακα χρησιμοποιούνται συναρτήσεις της μορφής `Get<type>ArrayElements`. Για παράδειγμα η δημιουργία ενός καινούριου `Array` από bytes γίνεται με την κλήση:

```
jbyteArray jb;
```

```
jb=(*env)->NewByteArray(env, finfo.st_size);
```

Η μεταφορά των στοιχείων στην Java γίνεται με την κλήση:

```
(*env)->SetByteArrayRegion(env, jb, 0, finfo.st_size, (jbyte *)m);
```


Και στην περίπτωση των πινάκων η μνήμη που χρησιμοποιείται πρέπει να αποδεσμευτεί από τον προγραμματιστή. Η αποδέσμευση αυτή πραγματοποιείται με ως εξής:

```
(*env)-> ReleaseByteArrayElements(env, jb,(jbyte *)m, 0);
```

4.6 Φωτοαντιστάσεις

Μια φωτοαντίσταση είναι μια αντίσταση της οποίας η τιμή μειώνεται με την αύξηση του φωτός που προσπίπτει στην επιφάνεια της. Μια φωτοαντίσταση φτιάχνεται από υψηλής αντίστασης ημιαγωγούς. Αν πέσει φως στην συσκευή, με αρκετά υψηλή συχνότητα, τότε φωτόνια απορροφούνται από τον ημιαγωγό και δεσμευμένα ηλεκτρόνια αποκτούν αρκετή ενέργεια, ώστε να αποσπαστούν από τα άτομα που τα δεσμεύουν. Τα ελεύθερα ηλεκτρόνια που δημιουργούνται άγουν ρεύμα και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση της αντίστασης.

Υπάρχουν δυο τύποι φωτοαντιστάσεων ανάλογα με τους ημιαγωγούς που χρησιμοποιούνται. Ο πρώτος τύπος είναι οι ενδογενείς και ο δεύτερος είναι φωτοαντιστάσεις με ημιαγωγούς που έχουν προσμίξεις. Στον πρώτο τύπος φωτοαντίστασης τα ηλεκτρόνια προκειμένου να αποδεσμευτούν χρειάζονται αρκετή ενέργεια ενώ στον δεύτερο λιγότερη. Έτσι η δεύτερη κατηγορία φωτοαντιστάσεων μπορεί να επηρεάζεται και από φως χαμηλότερων συχνοτήτων.

Με τις φωτοαντιστάσεις είναι εφικτή η κατασκευή αισθητήρων φωτός.

5 Υλοποίηση Συστήματος

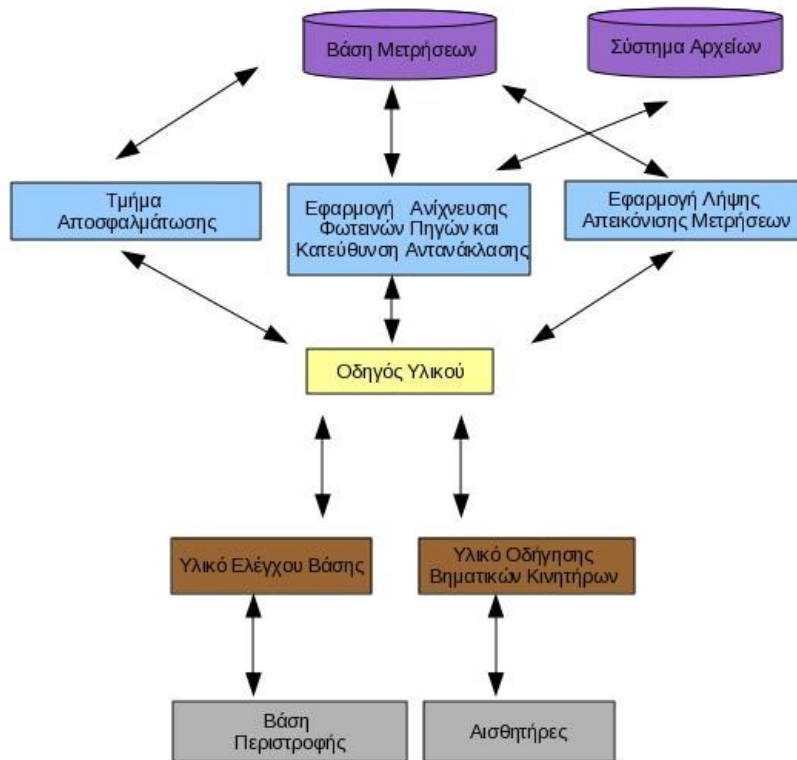
5.1 Αρχιτεκτονική Συστήματος

Το σύστημα αποτελείται από τα ακόλουθα υποσυστήματα:

- Βάση περιστροφής κατόπτρου: Η βάση περιστροφής κατόπτρου παρέχει την δυνατότητα περιστροφής του κατόπτρου σε δυο άξονες.
- Υλικό ελέγχου της βάσης: Το υλικό ελέγχου της βάσης παρέχει την δυνατότητα λήψης εντολών, από την παράλληλη θύρα του υπολογιστή, και την μετάδοση τους στο υλικό οδήγησης βηματικών κινητήρων. Επιπλέον παρέχει την δυνατότητα λήψης των μετρήσεων από τους αισθητήρες.
- Υλικό Οδήγησης Βηματικών Κινητήρων: Το υλικό οδήγησης βηματικών κινητήρων λαμβάνει εντολές, από τον υπολογιστή, μέσω του υλικού ελέγχου βάσης και τις μετατρέπει στους κατάλληλους παλμούς για την κίνηση των βηματικών κινητήρων.
- Οδηγούς για την επικοινωνία με το υλικό: Ο οδηγός για την επικοινωνία με το υλικό, είναι το λογισμικό, που αναλαμβάνει όλη την διεπαφή με το υλικό του συστήματος.
- Εφαρμογή αποσφαλμάτωσης του συστήματος: Η εφαρμογή αποσφαλμάτωσης του συστήματος προσφέρει διάφορες διαδικασίες, σχετικά με την ορθή λειτουργία τόσο του υλικού όσο και του λογισμικού.
- Εφαρμογή ανίχνευσης φωτεινών πηγών και κατεύθυνσης αντανάκλασης: Η εφαρμογή ανίχνευσης φωτεινών πηγών αποτελεί το κεντρικό λογισμικό τους συστήματος και υλοποιεί τους αλγόριθμους για την εύρεση των φωτεινών πηγών και την κατεύθυνση της αντανάκλασης του ηλιοστάτη στην επιθυμητή περιοχή.
- Εφαρμογή λήψης και απεικόνισης μετρήσεων: Η εφαρμογή λήψης και απεικόνισης μετρήσεων προσφέρει φιλτραρίσματα και απεικονίσεις των μετρήσεων με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι εύκολη η εξαγωγή συμπερασμάτων.
- Αισθητήρες: Οι αισθητήρες λαμβάνουν την φωτεινότητα και της μετατρέπουν σε μετρήσιμη τάση (0-5V).

Σχηματικά η αρχιτεκτονική του συστήματος είναι η ακόλουθη:

Σχεδίαση Αυτοελεγχόμενων Ηλιακών Συστημάτων

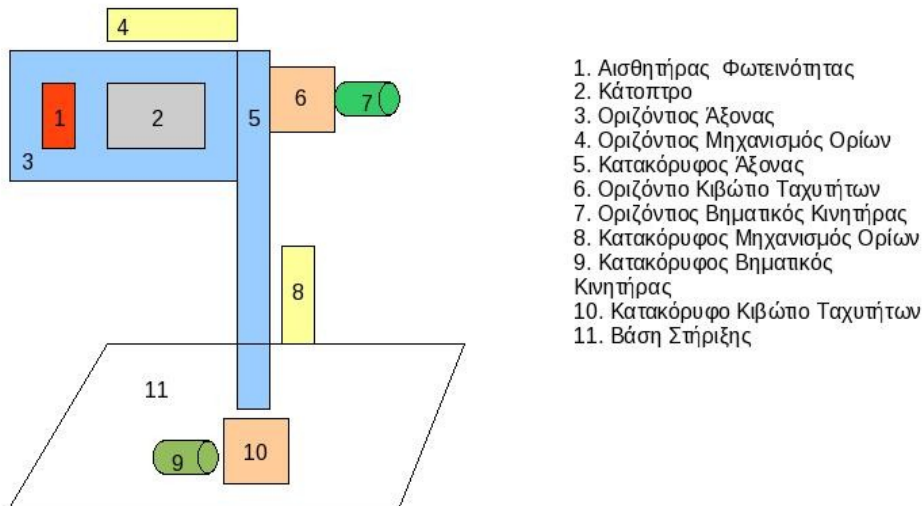


Σχήμα 38: Αρχιτεκτονική συστήματος

5.2 Βάση Περιστροφής Κατόπτρου

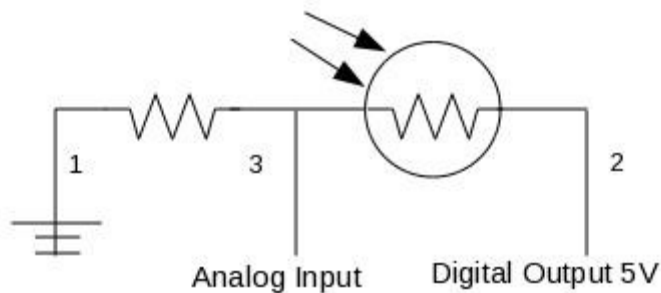
Η βάση περιστροφής παρέχει την δυνατότητα περιστροφής του κατόπτρου σε δυο άξονες.

Η σχηματική αναπαράσταση της βάσης φαίνεται παρακάτω:



Σχήμα 39: Βάση περιστροφής κατόπτρου

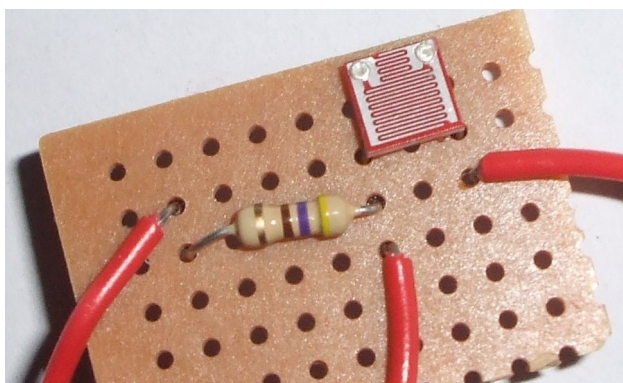
Ο αισθητήρα φωτεινότητας επιτρέπει την μέτρηση της φωτεινότητας που δέχεται το κάτοπτρο. Αποτελείται από δυο αντιστάσεις συνδεδεμένες σε σειρά. Η μια αντίσταση είναι φωτοαντίσταση. Η φωτοαντίσταση έχει την ικανότητα να μεταβάλλει την αντίσταση της ανάλογα με το φως στο οποίο εκτίθεται. Το κύκλωμα του αισθητήρα αντίστασης παρουσιάζεται παρακάτω:



Σχήμα 40: Αισθητήρας φωτεινότητας με φωτοαντίσταση

Το κύκλωμα έχει τρεις ακροδέκτες. Ο πρώτο ακροδέκτης γειώνεται. Ο δεύτερο συνδέεται με ψηφιακή έξοδο από το υλικό ελέγχου βάσης. Η ψηφιακή έξοδος βγάζει έξοδο 5 V κάθε φορά που ενεργοποιείται. Έτσι για να μην υπάρχει μεγάλη κατανάλωση ενέργειας, τροφοδοτείτε με τάση ο αισθητήρα, μόνο όταν είναι επιθυμητή η μέτρηση της τιμής του. Η τρίτη έξοδος βρίσκεται ανάμεσα στις δυο αντιστάσεις. Ανάλογα με το φως που δέχεται η φωτοαντίσταση η αντίσταση της μεταβάλλεται και κατ' επέκταση μεταβάλλεται και η τάση που έχει η τρίτη έξοδος. Όσο περισσότερο φως δέχεται τόσο μικρότερη γίνεται η αντίσταση της και κατ' επέκταση μεγαλώνει και η τάση στον τρίτο ακροδέκτη. Αυτή οδηγείται σε μια αναλογική είσοδος του υλικού ελέγχου βάσης με την οποία είναι εφικτή η μέτρηση της. Η τιμή της αντίστασης είναι 480Ω.

Ακολουθεί εικόνα με το κύκλωμα του αισθητήρα φωτεινότητας.



Εικόνα 9: Αισθητήρας φωτεινότητας με φωτοαντίσταση

Ο βασικός σκελετός της βάσης είναι κατασκευασμένος από δύο κομμάτια ελαφριάς λαμαρίνας. Το πρώτο κομμάτι (5) αποτελεί τον κατακόρυφο άξονα περιστροφής και το δεύτερο τον οριζόντιο (3). Στόχος ήταν να είναι όσο το δυνατόν πιο ελαφρύς, έτσι ώστε

Σχεδίαση Αυτοελεγχόμενων Ηλιακών Συστημάτων

να είναι εφικτή η περιστροφή του από τους βηματικούς κινητήρες. Επιπλέον το κόστος της λαμαρίνας είναι πολύ μικρό και είναι ένα υλικό το οποίο μπορεί κάποιος να του δώσει το σχήμα που θέλει εύκολα. Για την κοπή της λαμαρίνας χρησιμοποιήθηκε τροχός και χάρτινα καλούπια.



Εικόνα 10: Χάρτινο Καλούπι Λαμαρίνας (Βάση Στήριξης)

Πέρα από τον βασικό σκελετό η βάση περιλαμβάνει δυο βηματικούς κινητήρες. Οι βηματικοί κινητήρες που χρησιμοποιήθηκαν είναι οι ST28 της εταιρείας Ming Jong με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

Πίνακας 5: Χαρακτηριστικά βηματικού κινητήρα συστήματος

Βηματικός Κινητήρας Μόνιμου Μαγνήτη ST28 Ming Jong	
Τάση	12V dc
Ανασταλτική Ροπή (Detent Torque)	310g/cm
Γωνία Βήματος(Step Angle)	5.6°
Ροπή Συγκράτησης(Holding Torque)	350mNm
Ρεύμα ανά Φάση	32mA
Διάμετρος Άξονα(Shaft Diameter)	3mm



Εικόνα 11: Βηματικός κινητήρας συστήματος

Τα κιβώτια ταχυτήτων χρησιμοποιήθηκαν επειδή οι βηματικοί κινητήρες δεν παρέιχαν την απαιτούμενη ροπή για την περιστροφή της βάσης. Το κιβώτιο ταχυτήτων που χρησιμοποιήθηκε στην εφαρμογή είναι το TAMIYA No167 – 4 speed και ο κατασκευαστής έδινε τις ακόλουθες τιμές:

Για ροπή κινητήρα 36 gf-cm και ταχύτητα περιστροφής 12,300 RPM

Πίνακας 6: Χαρακτηριστικά κιβώτιου ταχυτήτων συστήματος

Επιλεγμένη ταχύτητα	Αναλογία Γραναζιών	Ροπή Στρέψης	Ταχύτητα Περιστροφής
A	12.7:1	94 gf cm	1039 rpm
B	38.2:1	278 gf cm	345 rpm
C	114.7:1	809 gf cm	115 rpm
D	344.2:1	2276 gf cm	38 rpm

Η ταχύτητα που χρησιμοποιήθηκε ήταν η C. Τα μηχανικά τμήματα του κιβώτιου ταχυτήτων, ο τρόπος συναρμολόγησης του, καθώς και το τελικό αποτέλεσμα φαίνονται στις ακόλουθες εικόνες.

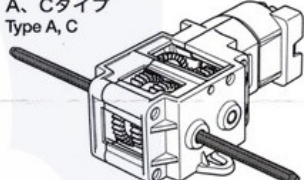
●組み合わせるギヤによって、ギヤ比を変化させ、高速から低速まで4種類のギヤ比を選ぶギヤボックスです。ギヤ比を決めてから組み立ててください。

●This set can be assembled for 4 different gear ratio. Select one according to your application before commencing assembly. Gear ratio can be altered from 12.7 : 1 to 344.2 : 1 by gear combinations.

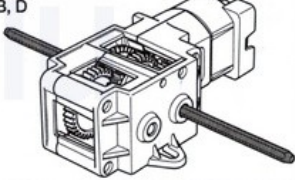
タイプ Type	ギヤ比 Gear ratio	回転トルク Torque	回転数 Rotations
A	12.7 : 1	94 gf·cm	1039 rpm
B	38.2 : 1	278 gf·cm	345 rpm
C	114.7 : 1	809 gf·cm	115 rpm
D	344.2 : 1	2276 gf·cm	38 rpm

●3V電源における出力軸の実測トルクです。
●Torque of type FA-130 motor (3V)


A, Cタイプ
Type A, C



B, Dタイプ
Type B, D

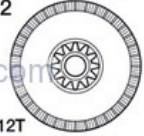


ピニオンギヤ (紫)
Pinion gear (Purple)
G1



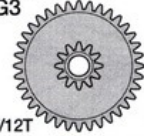
8T

クラウンギヤ (黄)
Crown gear (Yellow)
G2




34T/12T

2段ギヤ (青)
2-step gear (Blue)
G3



36T/12T

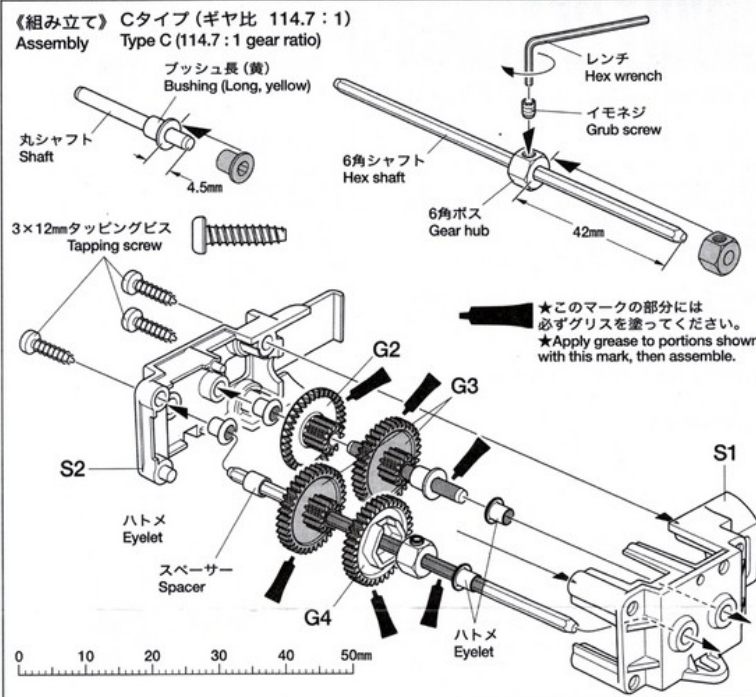
ファイナルギヤ (黄)
Final gear (Yellow)
G4



36T

Σχήμα 41: Μηχανικά τμήματα κιβώτιου ταχυτήτων

《組み立て》 Cタイプ (ギヤ比 114.7 : 1)
Assembly Type C (114.7 : 1 gear ratio)



丸シャフト Shaft
4.5mm

3×12mm タッピングビス Tapping screw

ハトメ Eyelet

スペーサー Spacer

6角シャフト Hex shaft
42mm

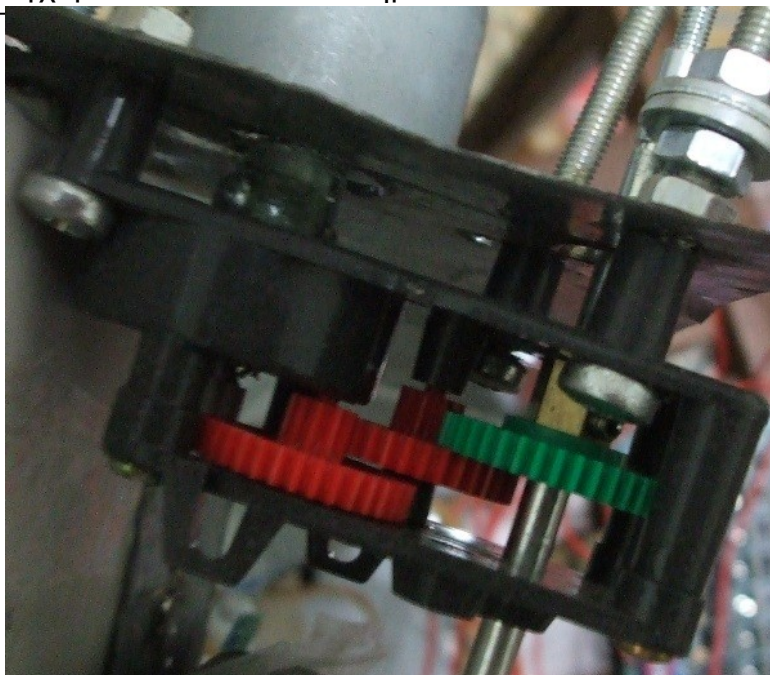
6角ボス Gear hub

レンチ Hex wrench

イモネジ Grub screw

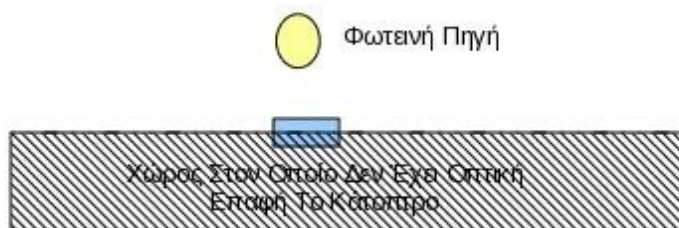
★このマークの部分には必ずグリスを塗ってください。
★Apply grease to portions shown with this mark, then assemble.

Σχήμα 42: Μηχανικά τμήματα κιβώτιου ταχυτήτων



Εικόνα 12: Κιβώτιο ταχυτήτων συστήματος

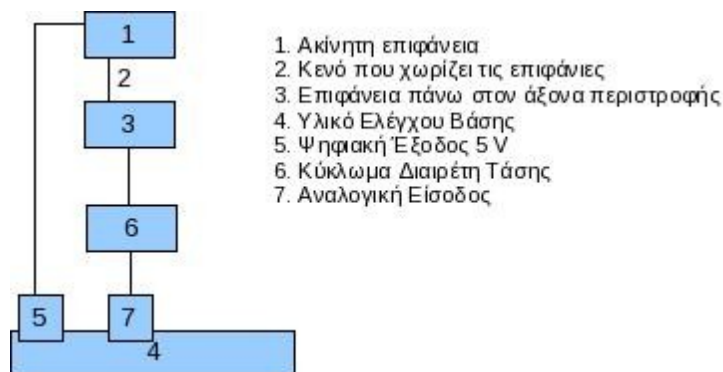
Η βάση διαθέτει μηχανισμούς ελέγχου ορίων περιστροφής τόσο για τον κατακόρυφο όσο και για τον οριζόντιο άξονα. Οι μηχανισμοί αυτοί επιτρέπουν στο υλικό ελέγχου της βάσης να αναγνωρίζει, πότε κάποιος άξονας της έχει φτάσει στο όριο που έχει καθοριστεί. Η βάση δεν επιτρέπεται να κάνει πλήρη περιστροφή καθώς θεωρείται ότι το κάτοπτρο έρχεται σε επαφή με την πηγή φωτός, μόνο σε ένα περιορισμένο εύρος θέσεων των αξόνων, όπως δείχνει το σχήμα.



Σχήμα 43: Όρια περιστροφής βάσης

Ο κάθε μηχανισμός ελέγχου ορίου, αποτελείται από δυο μεταλλικές επιφάνειες. Η μια επιφάνεια είναι ακίνητη στην θέση του ορίου, που έχει καθοριστεί, και η άλλη κινείται και

βρίσκεται πάνω στον άξονα περιστροφής. Σχηματικά ο μηχανισμός αναπαριστάται ως εξής:

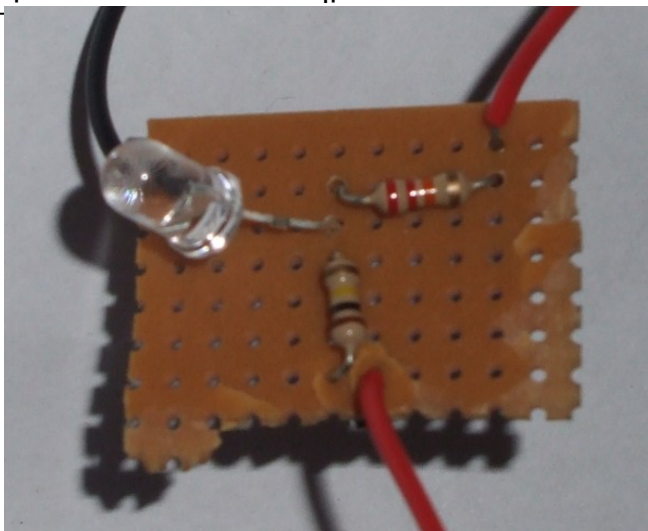


Σχήμα 44: Αισθητήρας ανίχνευσης ορίων

Ο άξονας περιστρέφεται και το κενό που χωρίζει τις δυο επιφάνειες μεταβάλλεται. Σε κάθε βήμα του βηματικού κινητήρα, η ψηφιακή έξοδος(5) του υλικού ελέγχου, γίνεται 5 V και ελέγχεται η αναλογική είσοδος(7). Αν ο άξονας έχει φτάσει στο όριο του, τότε οι δυο επιφάνειες ακουμπάνε, το κύκλωμα κλείνει, και η τάση που μετράει η αναλογική είσοδος είναι 2,5 V, διαφορετικά είναι 0 V.

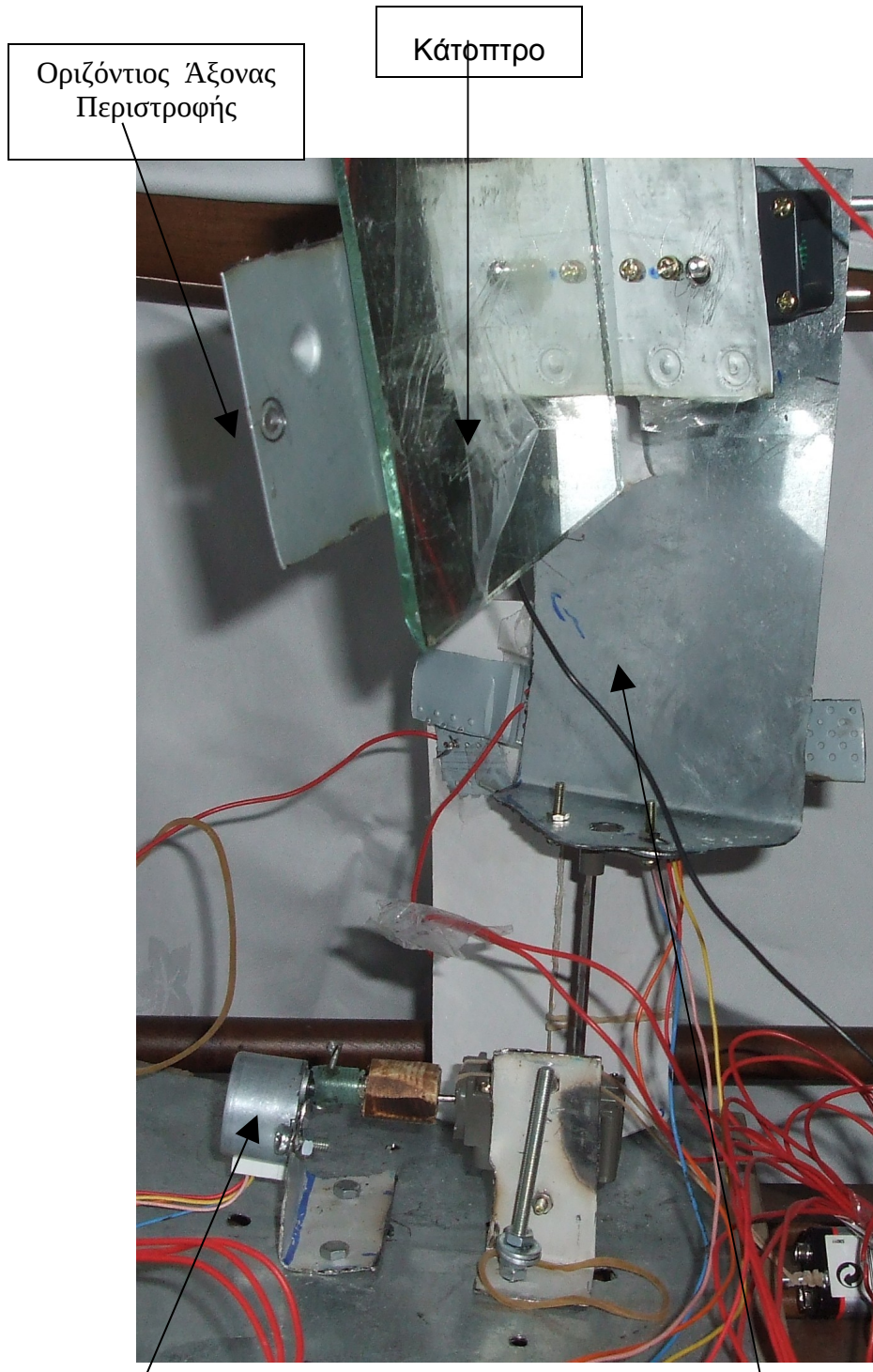
Το κύκλωμα (43) επιτρέπει την σύνδεση του μηχανισμού με το υλικό ελέγχου της βάσης, εξασφαλίζοντας τις σωστές τιμές τάσης και ρεύματος εξόδου. Το κύκλωμα αυτό είναι ένας διαιρέτης τάσης ο οποίος στην περίπτωση που τροφοδοτηθεί με τάση περίπου 5V βγάζει στην έξοδο του τάση ίση με 2,5 V και μέγιστο ρεύμα εξόδου περίπου 2 mA. Αποτελείται από δυο αντιστάσεις και ένα led. Η έξοδος του συνδέεται με μια αναλογική είσοδο του υλικού ελέγχου της βάσης. Όταν η βάση φτάσει το όριο τότε το led ανάβει.

Η εικόνα δείχνει το κύκλωμα 43.



Εικόνα 13:Κύκλωμα διαιρέτη τάσης για τον μηχανισμό ελέγχου ορίου

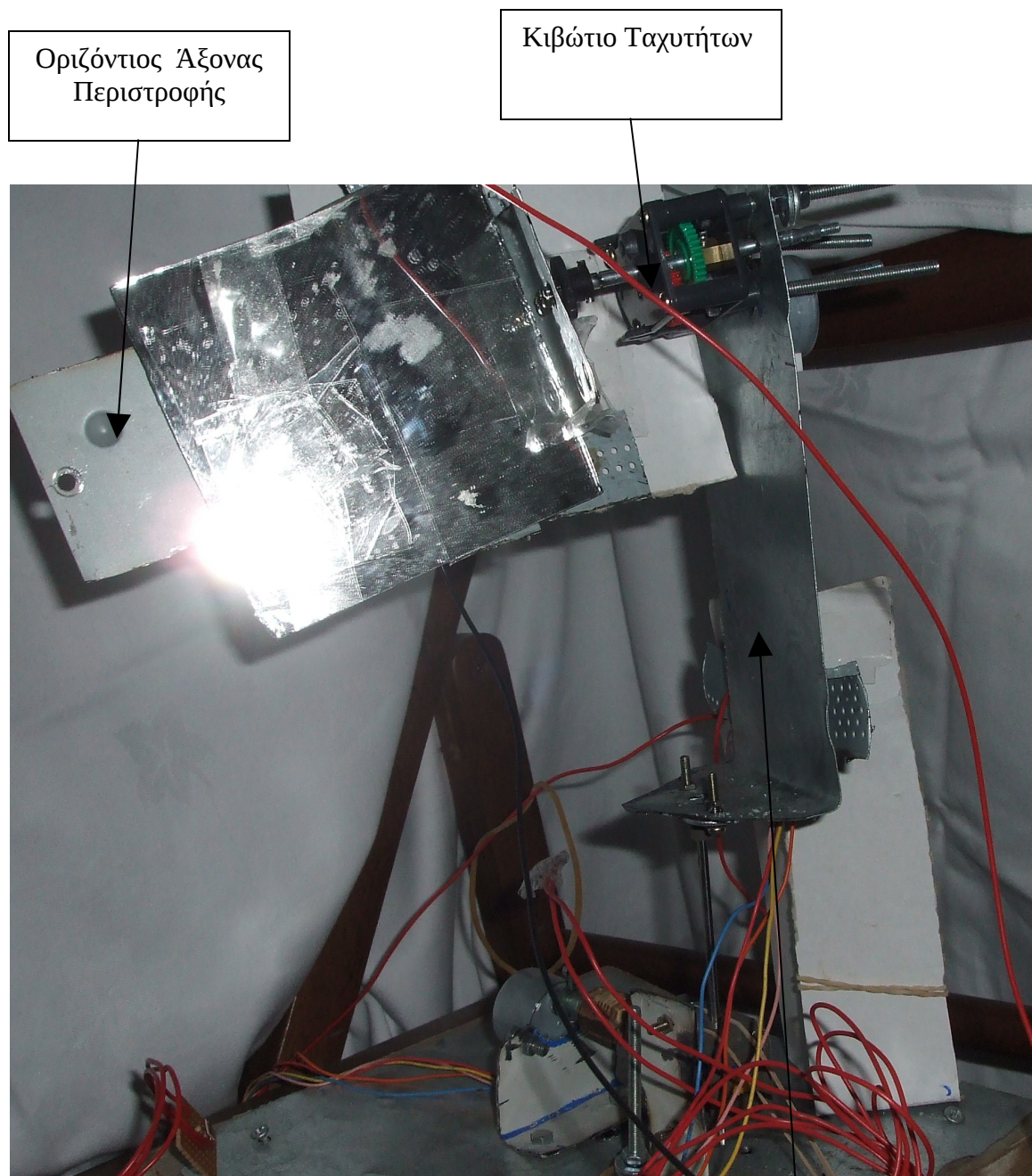
Ακολουθούν εικόνες και επεξηγήσεις για τα διάφορα τμήματα της βάσης.



Εικόνα 14: Βάση Περιστροφής Κατόπτρου

Κατακόρυφο Βηματικός Κινητήρας

Κατακόρυφος Άξονας Περιστροφής

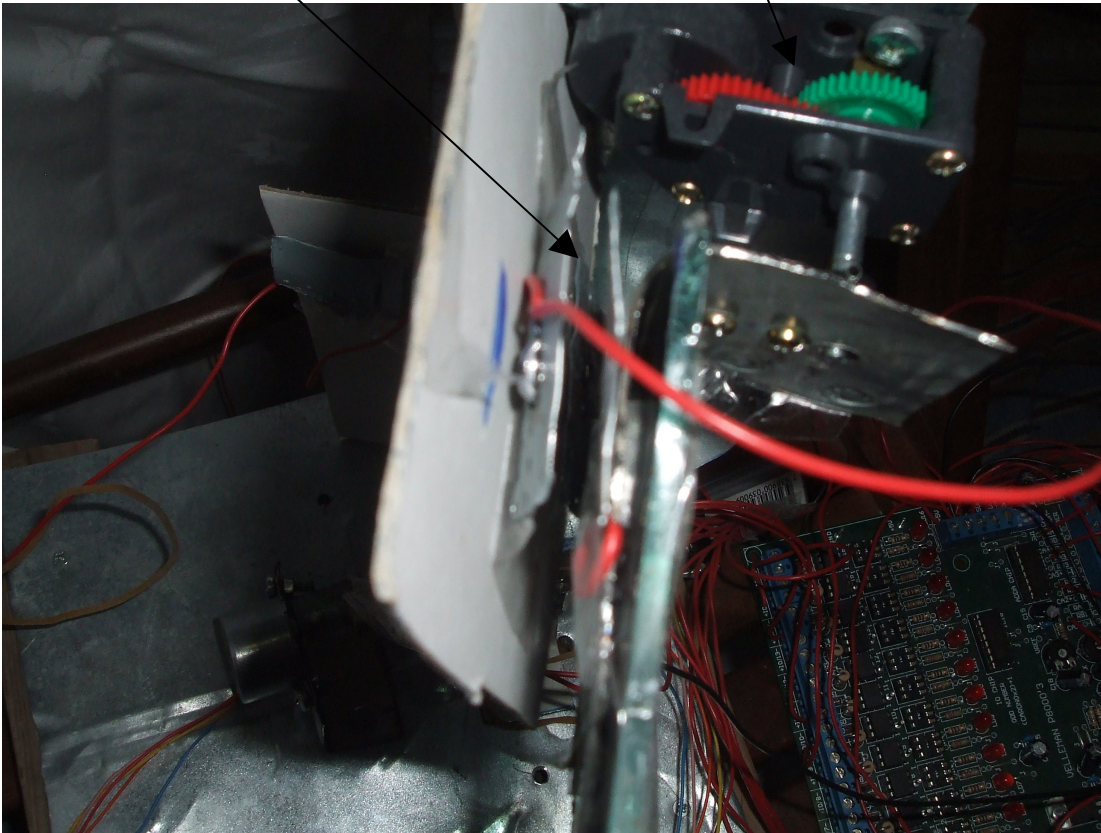


Εικόνα 15: Βάση περιστροφής κατόπτρου

Οριζόντιος Άξονας
Περιστροφής

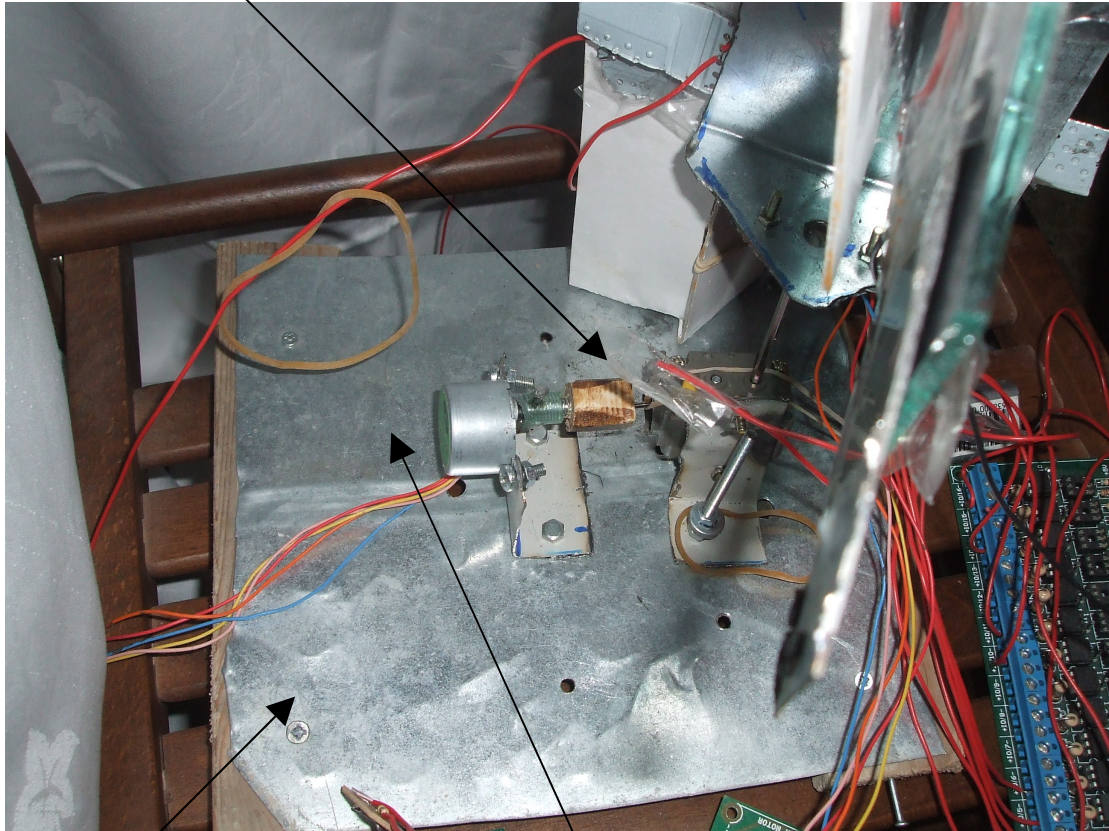
Μηχανισμός Ελέγχου
Οριζόντιου Ορίου

Οριζόντιο Κιβώτιο
Ταχυτήτων



Εικόνα 16: Κιβώτιο ταχυτήτων και μηχανισμός ορίων

Κατακόρυφο Κιβώτιο Ταχυτήτων



Εικόνα 17: Κατακόρυφο σύστημα κίνησης

Βάση Στήριξης

Κατακόρυφος Βηματικός Κινητήρας

Α Κατακόρυφος Μηχανισμός Ελέγχου Ορίων. Κινούμενη Επιφάνεια Επαφής

03

Οριζόντιος Βηματικός Κινητήρας

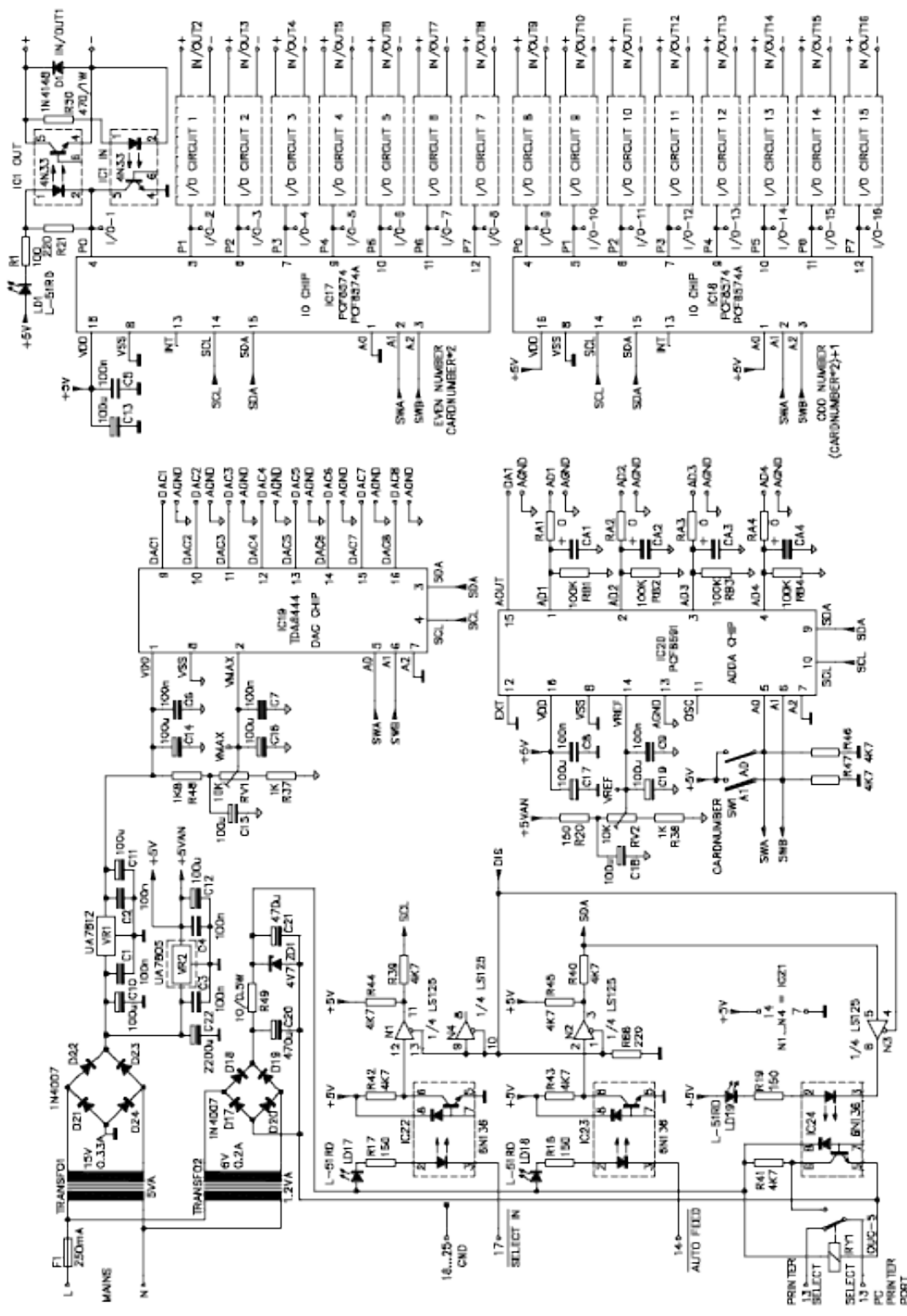


Εικόνα 18: Κατακόρυφος άξονας κίνησης και μηχανισμός ορίων

Κατακόρυφος Μηχανισμός
Ελέγχου Ορίων. Σταθερή
Επιφάνεια Επαφής

5.3 Υλικό Ελέγχου Βάσης

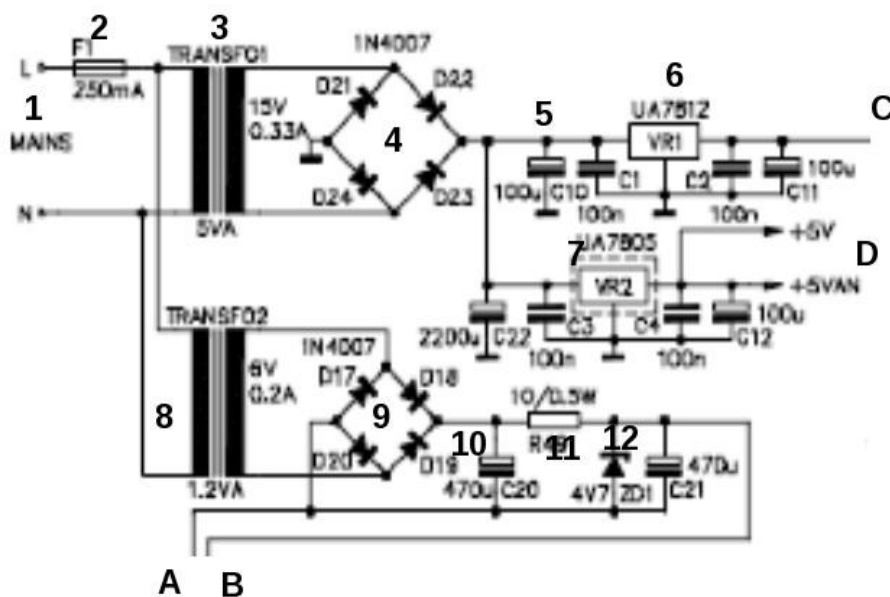
Το υλικό ελέγχου της βάσης παρέχει την δυνατότητα λήψης εντολών, από την παράλληλη θύρα του υπολογιστή, και την μετάδοση τους στο υλικό οδήγησης βηματικών κινητήρων. Επιπλέον παρέχει την δυνατότητα λήψης των μετρήσεων από τους αισθητήρες. Αποτελείται από την πλακέτα διεπαφής K8000.



Σχήμα 45: Διάγραμμα πλακέτας υλικού διαπαφής

Η πλακέτα τροφοδοτείται με εναλλασσόμενο ρεύμα 220V και 50Hz. Έχει μια θύρα η οποία επικοινωνεί με την παράλληλη του υπολογιστή και είναι οπτικά μονωμένη (optocoupler). Επιπλέον διαθέτει 16 ψηφιακές εισόδους – εξόδους οι οποίες μπορούν να ρυθμιστούν να είναι είτε εισόδοι είτε εξόδοι και είναι και αυτές οπτικά μονωμένες. Επίσης διαθέτει 8 αναλογικές εξόδους των 6 bit και 1 αναλογική έξοδο των 8 bit. Πέρα από αυτά προσφέρει 4 αναλογικές εισόδους των 8 bit. Τέλος παρέχει την μια έξοδο των 5 V DC, μια έξοδο γείωσης, μια έξοδο SLC, μια έξοδο SDA και μια έξοδο DIS για επικοινωνία με το πρωτόκολλο I2C.

Η πλακέτα χωρίζεται σε πέντε μέρη. Σε αυτό που μετασχηματίζει το οικιακό ρεύμα σε κατάλληλη μορφή για τα κυκλώματα. Στο κύκλωμα που αναλαμβάνει την επικοινωνία με την παράλληλη, σε αυτό που ελέγχει τις ψηφιακές εισόδους-εξόδους, στο τμήμα που ελέγχει τις αναλογικές εξόδους των 6 bit και τέλος σε αυτό με τις αναλογικές εισόδους.

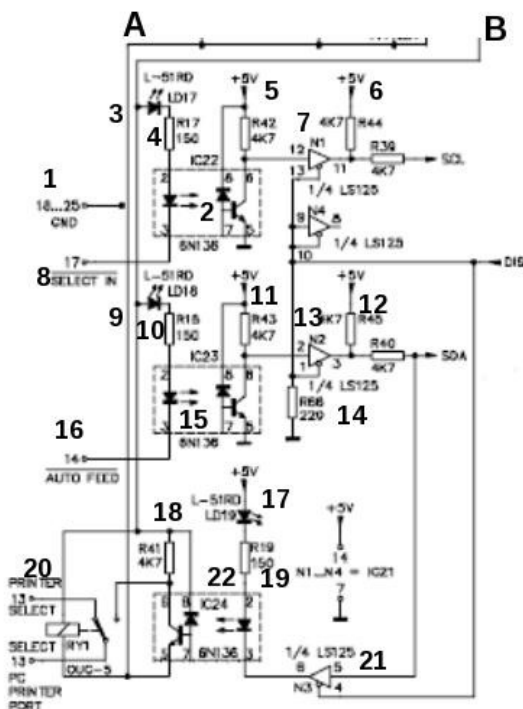


Σχήμα 46: Τμήμα μετασχηματισμού

Αναλυτικότερα το τμήμα μετασχηματισμού αποτελείται από:

1. Η κύρια πηγή τροφοδοσίας. Για την Ελλάδα είναι 220 V στα 50 Hz.
2. Ασφάλεια 250mA. Προστατεύει το σύστημα από βραχυκυκλώματα.
3. Μετασχηματιστής σε 15 V / 0.33 A.
4. Αυτή είναι μια γέφυρα η οποία μετατρέπει το εναλλασσόμενο ρεύμα σε θετικό με παλμούς. Η τάση εξόδου είναι μέχρι 19.8 V
5. Πυκνωτές οι οποίοι εξομαλύνουν την τάση και αφαιρούν τους θορύβους υψηλών συχνοτήτων.
6. Το UA7512 είναι ένας ρυθμιστής τάσης 12V ο οποίος παράγει πολύ σταθερή τάση και χρησιμοποιείται για την τροφοδοσία του DAC ελεγκτή εξόδων.
7. Ο UA7805 είναι ένας ρυθμιστής τάσης 5V ο οποίος παράγει πολύ σταθερή τάση και χρησιμοποιείται για την τροφοδοσία των ψηφιακών κυκλωμάτων.
8. Μετασχηματιστής σε 6V / 0.2A.
9. Αυτή είναι μια γέφυρα η οποία μετατρέπει το εναλλασσόμενο ρεύμα σε θετικό με παλμούς. Η τάση εξόδου είναι μέχρι 7 V.
10. Πυκνωτές οι οποίοι εξομαλύνουν την τάση.
11. Αντίσταση η οποία μειώνει το ρεύμα, που περνάει από την zener δίοδο. Αυτή η αντίσταση δεν πρέπει να είναι ούτε πολύ μεγάλη γιατί η δίοδος μπορεί να καταστραφεί, ούτε πολύ μικρή γιατί δεν θα μπορεί να σταθεροποιηθεί.
12. Zener δίοδος 4.7 V που χρησιμοποιείται για σταθεροποίηση της τάσης.

Το τμήμα επικοινωνίας με την παράλληλη φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 47: Τμήμα επικοινωνίας με την παράλληλη

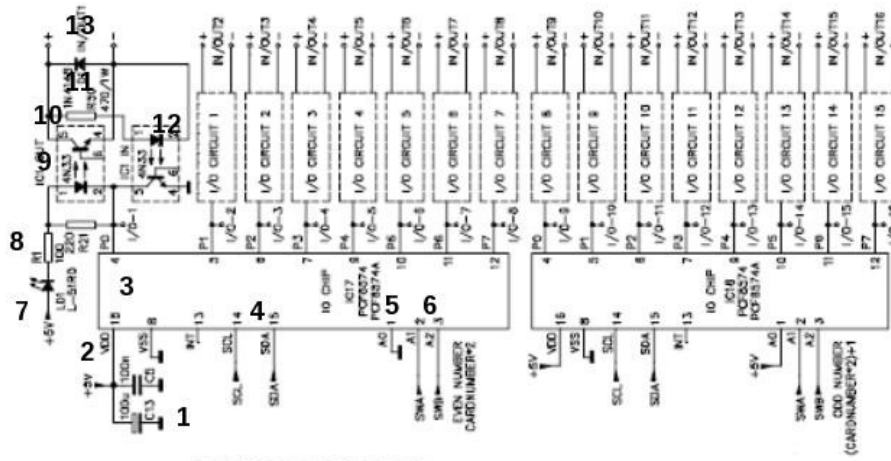
Αναλυτικότερα το τμήμα επικοινωνίας με την παράλληλη αποτελείται από:

1. Οι γραμμές 8-25 της παράλληλης θύρας συνδέονται στην γείωση διότι δεν χρησιμοποιούνται.
2. Το ολοκληρωμένο IC22 είναι ένας οπτικός μονωτής που χρησιμοποιείται για να περάσουν τα SCL σήματα από τον υπολογιστή στην πλακέτα. Όταν το Select IN της παράλληλης είναι χαμηλό τότε το εσωτερικό Led του οπτικού μονωτή θα ανάψει και η έξοδος του θα συνδεθεί. Αυτό σημαίνει ότι η έξοδος SCL του K8000 θα είναι και αυτή χαμηλή.
3. Το Led 17 φανερώνει την κατάσταση της SCL γραμμής, η οποία καθορίζεται από την Select In γραμμή της παράλληλης. Το Led θα ανάψει όταν η γραμμή είναι χαμηλά. Αυτό σημαίνει ότι το Led δεν ανάβει όταν η κάρτα δεν χρησιμοποιείται καθώς το I2C απαιτεί τις γραμμές ψηλά όταν δεν είναι ενεργές.
4. Η R17 αντίσταση χρησιμοποιείται για να περιορίζει το ρεύμα του Led 17 και του εσωτερικού Led του οπτικού μονωτή IC22.

5. Η αντίσταση αυτή χρησιμοποιείται για ανύψωση τάσης. Όταν ο μονωτής IC22 επιτρέπει την διέλευση τότε η έξοδος θα είναι 0. Αντίθετα όταν δεν άγει θα είναι 1.
6. Αυτή η αντίσταση χρησιμοποιείται για την ανύψωση τάσης για την γραμμή SCL (serial clock). Απαιτείται για την ορθή λειτουργία του I2C.
7. Είναι ένας buffer στον οποίο η ψηφιακή έξοδος είναι η ίδια με την ψηφιακή είσοδο. Ο buffer αυτός μπορεί να απενεργοποιηθεί εφαρμόζοντας 1 στην είσοδο ενεργοποίησης. Ο buffer αυτός χρησιμοποιείται για την γραμμή SCL.
8. Η γραμμή select in της παράλληλης χρησιμοποιείται για την μετάδοση των SCL σημάτων από τον υπολογιστή στην K8000 πλακέτα.
9. Το Led 18 φανερώνει την κατάσταση της SDA γραμμής στην K8000 πλακέτα, η οποία καθορίζεται από την γραμμή Auto Feet της παράλληλης θύρας. Το Led θα ανάψει όταν η γραμμή είναι χαμηλά. Αυτό σημαίνει ότι το Led δεν ανάβει όταν η κάρτα δεν χρησιμοποιείται καθώς το I2C απαιτεί τις γραμμές ψηλά όταν δεν είναι ενεργές.
10. Η αντίσταση R18 χρησιμοποιείται για να περιορίζει το ρεύμα του Led 18 και του εσωτερικού Led του οπτικού μονωτή IC23.
11. Αυτή είναι μια αντίσταση που χρησιμοποιείται για ανύψωση τάσης. Όταν ο οπτικός μονωτής IC23 άγει τότε η έξοδος θα είναι 0. Διαφορετικά όταν δεν άγει η έξοδος θα είναι 1.
12. Αυτή η αντίσταση χρησιμοποιείται για την ανύψωση τάσης για την γραμμή SDA (serial data). Απαιτείται για την ορθή λειτουργία του I2C.
13. Είναι ένας buffer στον οποίο η ψηφιακή έξοδος είναι η ίδια με την ψηφιακή είσοδο. Ο buffer αυτός μπορεί να απενεργοποιηθεί εφαρμόζοντας 1 στην είσοδο ενεργοποίησης. Ο buffer αυτός χρησιμοποιείται για την γραμμή SDA.
14. Αυτή η αντίσταση χρησιμοποιείται για να εξασφαλίσει ότι η είσοδος ενεργοποίησης των buffers είναι πάντα 0 εκτός αν εφαρμοστεί 1 στην γραμμή DIS (Disable).
15. Το ολοκληρωμένο IC23 είναι ένας οπτικός μονωτής που χρησιμοποιείται για να περάσουν τα SDA σήματα από τον υπολογιστή στην πλακέτα. Όταν το AUTO FEET της παράλληλης είναι χαμηλό τότε το εσωτερικό Led του οπτικού μονωτή θα ανάψει και η έξοδος του θα συνδεθεί. Αυτό σημαίνει ότι η έξοδος SDA του K8000 θα είναι και αυτή χαμηλή.

16. Η γραμμή AUTO FEED της παράλληλης χρησιμοποιείται για την μετάδοση των SDA σημάτων από τον υπολογιστή στην K8000 πλακέτα.
17. Το Led αυτό φανερώνει την κατάσταση της SDA γραμμής στον υπολογιστή. Το Led αυτό θα ανάψει όταν η SDA γραμμή είναι χαμηλά.
18. Αυτή η αντίσταση χρησιμοποιείται για ανύψωση τάσης, η οποία επιτρέπει στον οπτικό μονωτή IC24 να είναι ψηλά όταν το εσωτερικό τρανζίστορ εξόδου δεν άγει. Διαφορετικά το IC24 είναι χαμηλά.
19. Η αντίσταση χρησιμοποιείται για να περιορίζει το ρεύμα του Led 19 και του εσωτερικού Led του οπτικού μονωτή IC24.
20. Όταν η K8000 δεν χρησιμοποιείται τότε μπορεί η παράλληλη να χρησιμοποιείται για την οδήγηση εκτυπωτή.
21. Είναι ένας buffer στον οποίο η ψηφιακή έξοδος είναι η ίδια με την ψηφιακή είσοδο. Ο buffer αυτός μπορεί να απενεργοποιηθεί εφαρμόζοντας 1 στην είσοδο ενεργοποίησης. Ο buffer αυτός χρησιμοποιείται για την γραμμή SDA.
22. Το ολοκληρωμένο IC24 είναι ένας οπτικός μονωτής που χρησιμοποιείται για να περάσουν τα SDA σήματα από την πλακέτα στον υπολογιστή. Ένας ξεχωριστός οπτικός μονωτής πρέπει να χρησιμοποιηθεί γιατί μπορεί να διοχετεύσει την πληροφορία μόνο ως προς την μια κατεύθυνση, ενώ το I2C λειτουργεί και προς τις δυο κατευθύνσεις. Η έξοδος επηρεάζει την γραμμή SELECT της παράλληλης.

Το τμήμα που ελέγχει τις ψηφιακές εξόδους- εισόδους φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα:



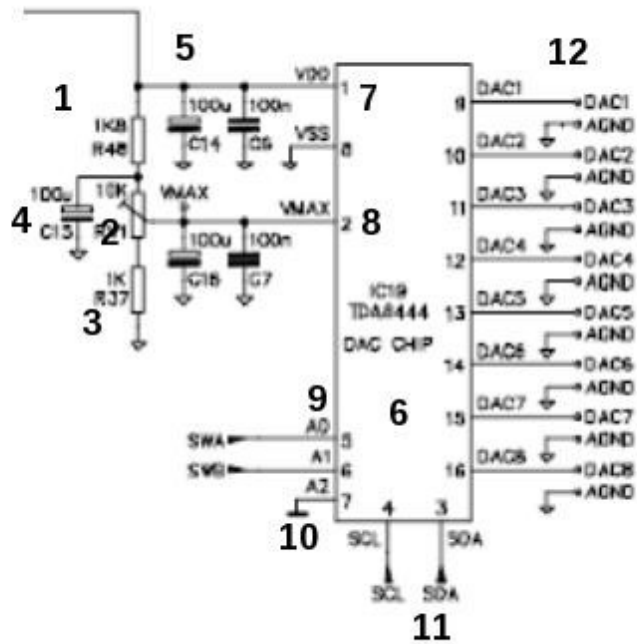
Σχήμα 48: Τμήμα ψηφιακών εξόδων και εισόδων

Αναλυτικότερα το τμήμα που ελέγχει τις ψηφιακές εξόδους- εισόδους αποτελείται από:

1. Οι πυκνωτές αυτοί χρησιμοποιούνται για περαιτέρω μείωση των κυματισμών της τάσης και για να αφαιρούν ρεύματα υψηλών συχνοτήτων, τα οποία επηρεάζουν την ομαλή λειτουργία του ολοκληρωμένου PCF8574.
2. Η τάση τροφοδοσίας του PCF8574 είναι 5 V DC.
3. Το PCF8574 είναι ένα ολοκληρωμένο που ελέγχεται με την βοήθεια του πρωτοκόλλου I2C. Προσφέρει ψηφιακές I/O λειτουργίες. Διαθέτει 8 I/O επομένως η πλακέτα για να προσφέρει 16 ψηφιακές I/O χρησιμοποιεί δυο τέτοια κυκλώματα.
4. Οι SCL και SDA είναι οι γραμμές επικοινωνίας του I2C πρωτοκόλλου. Εφαρμόζονται σε όλα τα ολοκληρωμένα της πλακέτας που ελέγχονται με το I2C.
5. Η διεύθυνση A0 του πρωτοκόλλου I2C για το ολοκληρωμένο IC17 είναι πάντα 0. Αντίθετα για το ολοκληρωμένο IC18 είναι 1. Αυτό εφαρμόζεται για να έχει κάθε ολοκληρωμένο I2C, μοναδική διεύθυνση.
6. Οι SWA και οι SWB είναι οι ψηφιακές γραμμές διευθύνσεων για την πλακέτα και επιτρέπουν την διευθυνσιοδότηση κάθε ολοκληρωμένου I2C. Οι γραμμές αυτές μπορούν να καθοριστούν με ένα DIP διακόπτη που διαθέτει η πλακέτα.

7. Το Led φανερώνει την κατάσταση του I/O καναλιού. Η άνοδος έχει συνδεθεί στα 5 V και επομένως το Led θα ανάψει μόνο όταν η κάθοδος έχει χαμηλότερη τάση, δηλαδή μόνο όταν το PCF5473 ή το Icx – IN άγει.
8. Αυτή η αντίσταση περιορίζει το ρεύμα που διατρέχει το LED και το PCF8574.
9. Ο οπτικός μονωτής IC-OUT μεταφέρει την πληροφορία από την PCF8574 έξοδο στην έξοδο I/O της πλακέτας.
10. Η αντίσταση αυτή περιορίζει το ρεύμα που διέρχεται από το εσωτερικό Led του οπτικού μονωτή, έτσι ώστε να μην καταστραφεί από πιθανές υψηλές τιμές του.
11. Η δίοδος χρησιμοποιείται στην ψηφιακή είσοδο και προστατεύει τον οπτικό μονωτή από μεγάλες αντίθετες τάσεις.
12. Είναι ένας οπτικός μονωτής που χρησιμοποιείται για τις ψηφιακές εισόδους/εξόδους. Το ολοκληρωμένο αυτό περιέχει ένα εσωτερικό Led και ένα φωτο-τρανσίστορ τα οποία δεν συνδέονται. Το τρανσίστορ θα άγει όταν θα εφαρμοστεί τάση στο Led. Το κύκλωμα χρησιμοποιείται για να αποφεύγονται ζημιές από υψηλά ρεύματα.
13. Αποτελούν τις ακίδες εισόδου/εξόδου. Όταν χρησιμοποιούνται σαν είσοδο πρέπει να εφαρμόζεται τάση η οποία πρέπει να είναι αρκετά υψηλή έτσι ώστε η πλακέτα να την αντιλαμβάνεται. Όταν χρησιμοποιείται σαν έξοδο η αντίσταση μεταξύ των ακίδων είναι χαμηλή όταν η έξοδος είναι ON. Πρέπει να σημειωθεί ότι το ρεύμα που περνάει δεν πρέπει να είναι πολύ υψηλό και επίσης θα πρέπει να γίνεται σεβαστή η πολικότητα.

Το τμήμα ελέγχου των αναλογικών εξόδων των 6 bit φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Σχήμα 49: Τμήμα ελέγχου αναλογικών εξόδων 8 bit

Αναλυτικότερα το τμήμα που ελέγχει τις αναλογικές εξόδους 6 bit αποτελείται από:

1. Η αντίσταση αυτή εξασφαλίζει ότι η τάση στο VMAX θα είναι πάντα πιο χαμηλή από την τάση τροφοδοσίας του ολοκληρωμένου IC19.
2. Αυτή η μεταβλητή αντίσταση επιτρέπει την ρύθμιση της τιμής του VMAX. Η VMAX είναι η μέγιστη τιμή τάσης που μπορεί το ολοκληρωμένο να δώσει.
3. Η αντίσταση αυτή εξασφαλίζει ότι η τάση VMAX είναι υψηλότερη από 0.
4. Ο πυκνωτής αυτός χρησιμοποιείται για να αφαιρέσει τους κυματισμούς τάσης που μπορεί να εμφανιστούν στο VMAX.
5. Αυτοί οι πυκνωτές χρησιμοποιούνται για να αφαιρέσουν τους κυματισμούς τάσης από την τάση τροφοδοσίας του ολοκληρωμένου IC19.
6. Το ολοκληρωμένο αυτό είναι το TDA8444, το οποίο επιτρέπει τον έλεγχο 8 bit εξόδων με το πρωτόκολλο I2C. Είναι ένας μετατροπέας από ψηφιακό σε αναλογικό σήμα.
7. Η τάση τροφοδοσίας του IC19.
8. Η VMAX είναι η μέγιστη τιμή τάσης που μπορεί το ολοκληρωμένο να δώσει.

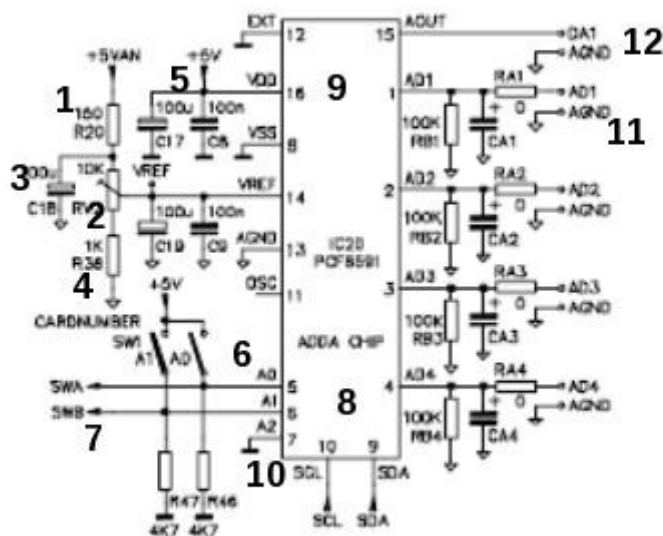
9. Οι SWA και οι SWB είναι οι ψηφιακές γραμμές διεύθυνσεων για την πλακέτα και επιτρέπουν την διευθυνσιοδότηση κάθε ολοκληρωμένου I2C. Οι γραμμές αυτές μπορούν να καθοριστούν με ένα DIP διακόπτη που διαθέτει η πλακέτα.

10. Η A2 είναι γραμμή διεύθυνσης για το ολοκληρωμένο και είναι πάντα ίση με 0.

11. Οι SCL και SDA είναι οι γραμμές επικοινωνίας του I2C πρωτοκόλλου. Εφαρμόζονται σε όλα τα ολοκληρωμένα της πλακέτας που ελέγχονται με το I2C.

12. Οι δυο γραμμές εξόδου DAC1 έχουν συγκεκριμένη τάση ανάλογα με την τιμή που στέλνεται μέσω του I2C πρωτοκόλλου στο ολοκληρωμένο IC19.

Το τμήμα ελέγχου των τεσσάρων αναλογικών εισόδων και της μιας αναλογική έξοδος των 8 bit φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Σχήμα 50: Τμήμα ελέγχου αναλογικών εισόδων

Αναλυτικότερα το τμήμα που ελέγχει τις τέσσερις αναλογικές εισόδους και την μια αναλογική έξοδος των 8 bit αποτελείται από:

1. Η αντίσταση αυτή εξασφαλίζει ότι η τάση στο VREF θα είναι πάντα πιο χαμηλή από την τάση τροφοδοσίας του ολοκληρωμένου IC20.

2. Αυτή η μεταβλητή αντίσταση επιτρέπει την ρύθμιση της τιμής του VREF.
3. Ο πυκνωτής αυτός χρησιμοποιείται για να αφαιρέσει τους κυματισμούς τάσης που μπορεί να εμφανιστούν στο VREF.
4. Η αντίσταση αυτή εξασφαλίζει ότι η τάση VREF είναι υψηλότερη από 0.
5. Αυτοί οι πυκνωτές χρησιμοποιούνται για να αφαιρέσουν τους κυματισμούς τάσης από την τάση τροφοδοσίας του ολοκληρωμένου IC20.
6. Αυτοί οι διακόπτες χρησιμοποιούνται για να καθορίσουν την διεύθυνση της κάρτας. Όταν είναι ανοιχτοί τότε στις γραμμές διευθύνσεων όλων των ολοκληρωμένων της πλακέτας εφαρμόζεται 0. Διαφορετικά εφαρμόζεται 1.
7. Οι SWA και οι SWB είναι οι ψηφιακές γραμμές διευθύνσεων για την πλακέτα και επιτρέπουν την διευθυνσιοδότηση κάθε ολοκληρωμένου I2C. Οι γραμμές αυτές μπορούν να καθοριστούν με ένα DIP διακόπτη που διαθέτει η πλακέτα.
8. Το ολοκληρωμένο IC8591 χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο I2C και προσφέρει 4 αναλογικές εισόδους και μια αναλογική έξοδο υψηλής ακρίβειας.
9. Η τάση τροφοδοσίας του IC20.
10. Η διεύθυνση A2 του ολοκληρωμένου τίθεται πάντα 0.
11. Η αντίσταση Rb1 και Ra1 χρησιμοποιούνται σαν διαιρέτες τάσης για την είσοδο. Χρησιμοποιούνται για να μετατρέψουν την τιμή της τάσης εισόδου στην επιθυμητή από την πλακέτα.
12. Οι γραμμές εισόδου για την αναλογική είσοδο 1.
13. Οι γραμμές εξόδου για την αναλογική έξοδο 1.

5.4 Υλικό Οδήγησης Βηματικών Κινητήρων

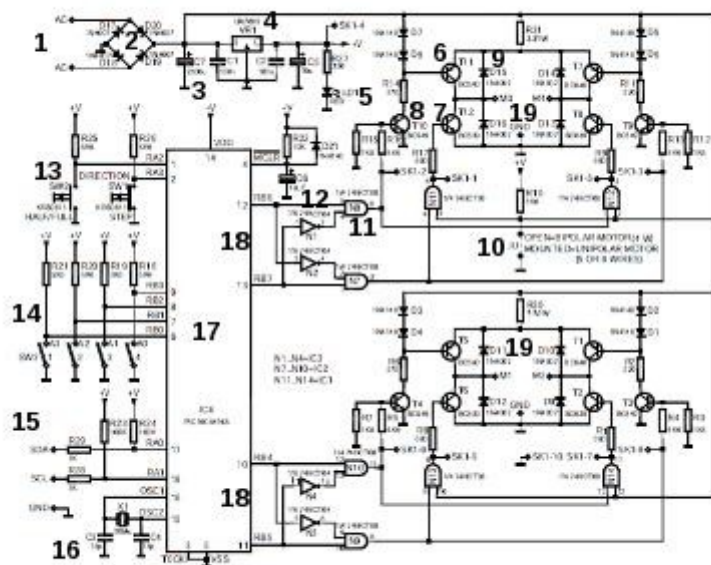
Το υλικό οδήγησης βηματικών κινητήρων λαμβάνει εντολές, από τον υπολογιστή, μέσω του υλικού ελέγχου βάσης και τις μετατρέπει στους κατάλληλους παλμούς για την κίνηση των βηματικών κινητήρων. Για την υλοποίηση του χρησιμοποιήθηκε η πλακέτα K8005 STEPPER MOTOR CARD της εταιρείας Velleman.

Η πλακέτα αυτή παρέχει την δυνατότητα οδήγησης μονοπολικών και διπολικών βηματικών κινητήρων. Η σύνδεση της με το υλικό διεπαφής K8000 είναι πολύ απλή. Η επικοινωνία γίνεται με το πρωτόκολλο I2C. Η διευθυνσιοδότηση γίνεται με την βοήθεια

Σχεδίαση Αυτοελεγχόμενων Ηλιακών Συστημάτων

διακοπών και μπορεί να είναι από 0 έως 15. Παρόλα αυτά κάθε πλακέτα K8000 μπορεί να οδηγήσει το πολύ 4 πλακέτες K8005. Η ακρίβεια που παρέχει στην κίνηση των κινητήρων μπορεί να φτάσει και την 1 μοίρα. Μαζί με την πλακέτα περιλαμβάνεται και ένας μονοπολικός βηματικός κινητήρας των 12V. Η τάση τροφοδοσίας μπορεί να είναι από 7 έως 25V DC ή AC και το μέγιστο επιτρεπόμενο παρεχόμενο ρεύμα πρέπει να είναι 1,5 A. Παρέχεται λογισμικό για την οδήγηση της συσκευής παρόλα αυτά είναι παλαιό και λειτουργεί μόνο σε DOS και windows 98.

Το διάγραμμα της πλακέτας παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα.



Σχήμα 51: Υλικό οδήγησης βηματικών κινητήρων

Αναλυτικότερα η πλακέτα οδήγησης των βηματικών κινητήρων αποτελείται από:

1. Η τάση τροφοδοσίας μπορεί να είναι από 7-25V DC ή AC. Το μέγιστο επιτρεπόμενο ρεύμα πρέπει να είναι 1,5A.
2. Αυτή είναι μια γέφυρα η οποία μετατρέπει το εναλλασσόμενο ρεύμα σε θετικό με παλμούς.
3. Οι πυκνωτές αυτοί εξομαλύνουν την τάση και αφαιρούν τους θορύβους υψηλών συχνοτήτων.
4. Το UA7805 ένας ρυθμιστής τάσης 5V ο οποίος παράγει πολύ σταθερή τάση και χρησιμοποιείται για την τροφοδοσία των ολοκληρωμένων της πλακέτας.

5. Το Led αυτό ανάβει κάθε φορά που η πλακέτα τροφοδοτείται με ρεύμα.
6. Το τρανζίστορ αυτό (T11) χρησιμοποιείται σαν διακόπτης. Κάθε φορά που η τάση της βάσης του πέσει στα 0 V τότε άγει και θέτει την τιμή της εξόδου M3 ίση με το λογικό 1. Στην περίπτωση που χρησιμοποιείται ο κινητήρας που προσφέρεται τότε η τάση εξόδου γίνεται ίση περίπου με 12 V.
7. Το τρανζίστορ αυτό (T12) χρησιμοποιείται σαν διακόπτης για την έξοδο M3. Χρησιμοποιείται μόνο στην περίπτωση των διπολικών κινητήρων.
8. Το τρανζίστορ αυτό χρησιμοποιείται σαν διακόπτης και ελέγχει το τρανζίστορ T11. Κάθε φορά που το τρανζίστορ άγει θέτει την τάση στην βάση του τρανζίστορ T11 ίση με 0.
9. Οι δίοδοι αυτοί χρησιμοποιούνται για την προστασία του βηματικού κινητήρα από τις αιχμές τάσης που εμφανίζονται κατά το άνοιγμα των διακοπών (π.χ. του τρανζίστορ T11).
10. Ο διακόπτης αυτός χρησιμοποιείται για τον καθορισμό του τύπου του βηματικού κινητήρα. Στην περίπτωση που είναι επιθυμητή η οδήγηση μονοπολικού κινητήρα τότε ο διακόπτης αυτός πρέπει να άγει. Στην περίπτωση αυτή το τρανζίστορ T12 απενεργοποιείται.
11. Η πύλη αυτή είναι μια AND και χρησιμοποιείται για να λαμβάνει τις εξόδους του PIC μικροελεκτή και να τις μεταδώσει στα κατάλληλα τρανζίστορ οδήγησης όπως το 8. Χρησιμοποιείται για την προστασία του μικροελεκτή από πιθανά υψηλά ρεύματα.
12. Είναι ένας αντιστροφέας. Λαμβάνει την έξοδο του PIC μικροελεκτή και την μεταδίδει ανεστραμμένη στην πύλη AND 11.
13. Είναι δυο κουμπιά τα οποία επιτρέπουν την πραγματοποίηση δοκιμών.
14. Αυτοί οι διακόπτες χρησιμοποιούνται για να καθορίσουν την διεύθυνση της κάρτας. Όταν είναι ανοιχτοί τότε η τιμή της διεύθυνσης είναι 0.
15. Οι SCL και SDA είναι οι γραμμές επικοινωνίας του I2C πρωτοκόλλου. Εφαρμόζονται στον PIC μικροελεκτή της πλακέτας.
16. Είναι ένας κρύσταλλος ο οποίος χρησιμοποιείται σαν ρολόι για τον PIC μικροελεκτή. Η συχνότητα του είναι 20MHZ.
17. Το ολοκληρωμένο αυτό αποτελεί τον PIC μικροελεκτή ο οποίος λαμβάνει τις εντολές από την πλακέτα K8000 και τις μετατρέπει σε κατάλληλους παλμούς

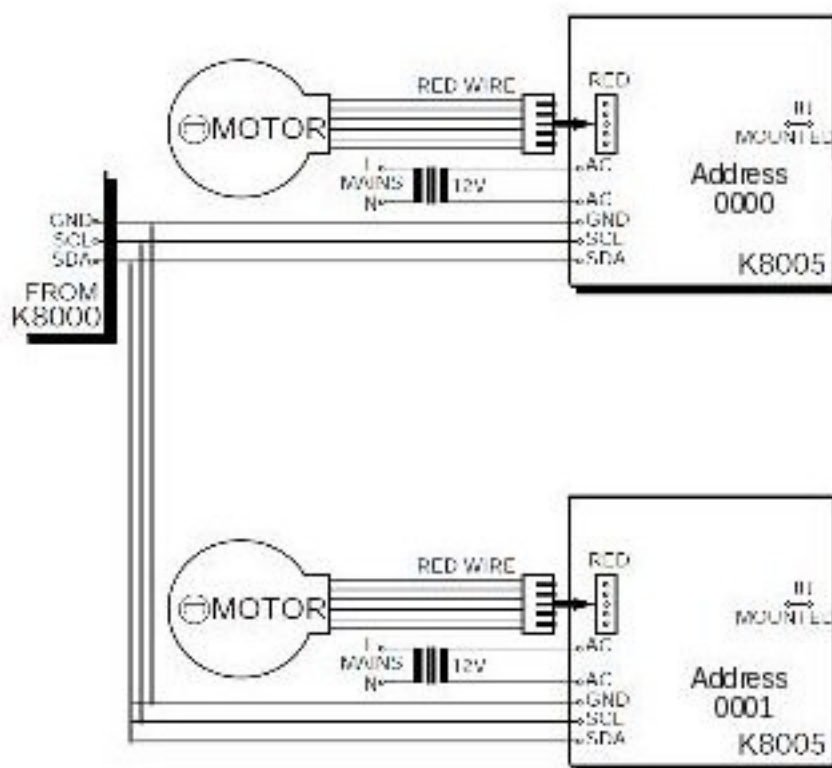
οδήγησης των βηματικών κινητήρων. Είναι ο PIC 16C54 και είναι ένας 16 bit προγραμματιζόμενος μικροελεκτής.

18. Οι έξοδοι του μικροελεκτή που ελέγχουν τους διακόπτες.

19. Οι έξοδοι της πλακέτας. Συνδέονται με τον βηματικό κινητήρα.

5.4.1 Σύνδεση Διεπαφής Οδηγού Βηματικών Κινητήρων

Η σύνδεση του υλικού διεπαφής με το υλικό οδήγησης βηματικών κινητήρων παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 52: Σύνδεση Υλικού Διεπαφής με Υλικό Οδήγησης

Οι πλακέτες οδήγησης βηματικών κινητήρων που απαιτούνται είναι δυο όσοι δηλαδή και οι βηματικοί κινητήρες που χρησιμοποιούνται. Η μια πλακέτα ελέγχει τον κινητήρα κατακόρυφης κίνησης και η άλλη τον κινητήρα οριζόντιας κίνησης. Η επικοινωνία του υλικού διεπαφής με το υλικό οδήγησης πραγματοποιείται σύμφωνα με το πρωτόκολλο I2C. Το πρωτόκολλο αυτό απαιτεί 2 γραμμές. Η μια είναι το ρολόι συγχρονισμού SCL και η άλλη είναι η γραμμή μετάδοσης των δεδομένων. Η σύνδεση τους με το υλικό διεπαφής είναι ενσύρματη και απαιτεί τρεις γραμμές. Η επιπλέον γραμμή χρειάζεται για

την γείωση του υλικού οδήγησης. Για την ομαλή επικοινωνία των καρτών είναι απαραίτητο κάθε κάρτα οδήγησης να έχει διαφορετική διεύθυνση.

5.5 Οδηγός Επικοινωνίας Υλικού

Ο οδηγός για την επικοινωνία με το υλικό, είναι το λογισμικό, που αναλαμβάνει όλη την διεπαφή με το υλικό του συστήματος. Με αυτό το λογισμικό είναι εφικτή η αποστολή εντολών προς το υλικό του συστήματος, όπως επίσης και η λήψη πληροφοριών από αυτό. Αποτελείται από δύο τμήματα. Το πρώτο τμήμα αναλαμβάνει την επικοινωνία με το υλικό διεπαφής και το δεύτερο την επικοινωνία με το υλικό ελέγχου των βηματικών κινητήρων. Η υλοποίηση του επίσης χωρίζεται σε δυο τμήματα. Το πρώτο τμήμα είναι η υλοποίηση του οδηγού σε γλώσσα C και το δεύτερο είναι η επέκτασή του, ώστε να είναι εφικτή η χρήση του και από την γλώσσα προγραμματισμού Java. Η επέκταση του οδηγού έτσι ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί και από java είναι ιδιαίτερα σημαντική καθώς παρέχει την δυνατότητα χρήσης σύγχρονων τεχνολογιών.

Στις ενότητες που ακολουθούν θα παρουσιαστεί η υλοποίηση του τμήματος που είναι γραμμένο σε C όπως επίσης και η επέκταση που πραγματοποιήθηκε για την JAVA.

5.5.1 Οδηγός Υλικού Διεπαφής

Ο οδηγός υλικού διεπαφής προσφέρει την δυνατότητα επικοινωνίας με το υλικό διεπαφής, την δυνατότητα αποστολής εντολών όπως επίσης και την λήψη δεδομένων.

Πιο συγκεκριμένα ο οδηγός προσφέρει συναρτήσεις ανάγνωσης των ψηφιακών θυρών, αποστολής δεδομένων σε αυτές, όταν λειτουργούν σαν θύρες εξόδου, και παρέχει διαδικασίες για τον καθαρισμό τους από τις τιμές που ήδη έχουν. Επιπλέον έχουν υλοποιηθεί συναρτήσεις οι οποίες καθορίζουν την λειτουργία των ψηφιακών θυρών, δηλαδή αν θα λειτουργούν σαν ψηφιακές εισόδους ή σαν ψηφιακές εξόδους. Ο καθορισμός αυτός μπορεί να γίνει συνολικά, είτε μπορεί να επιλεγούν συγκεκριμένες θύρες. Παράλληλα παρέχονται συναρτήσεις για τον έλεγχο των αναλογικών εξόδων των θυρών. Με την χρήση του οδηγού μπορούν να αποσταλούν δεδομένα στις αναλογικές εξόδους και τα δεδομένα αυτά να μετατραπούν από το υλικό στις αντίστοιχες τάσεις. Επίσης ο οδηγός έχει την δυνατότητα να καθαρίσει τις αναλογικές εξόδους από τα δεδομένα που έχουν ήδη. Επιπλέον με τον οδηγό είναι εφικτή η ανάγνωση των στοιχείων που συλλέγουν οι αναλογικές εισόδους του υλικού. Επιπρόσθετα ο οδηγός

διαθέτει συναρτήσεις που καθορίζουν την συχνότητα που έχει το ρολόι στην πλακέτα διεπαφής, όπως επίσης και συναρτήσεις που επικοινωνούν με άλλες κάρτες διασυνδεδεμένες με αυτήν.

5.5.2 Οδηγός Υλικού Ελέγχου Βηματικών Κινητήρων

Ο οδηγός υλικού ελέγχου βηματικών κινητήρων προσφέρει την δυνατότητα επικοινωνίας με το υλικό αυτό, την δυνατότητα αποστολής εντολών, όπως επίσης και την λήψη δεδομένων από αυτό.

Πιο συγκεκριμένα ο οδηγός προσφέρει συναρτήσεις περιστροφής του κινητήρα δεξιόστροφα με πλήρες βήμα. Οι συναρτήσεις αυτές με κατάλληλη παραμετροποίηση επιτρέπουν την επιλογή του κινητήρα που θα κινηθεί, δηλ. την διεύθυνση της πλακέτα που θα ενεργοποιηθεί. Επίσης διαθέτει παραμέτρους που καθορίζουν το πλήθος των βημάτων που θα κινηθεί ο κινητήρας, καθώς και τον χρόνο που είναι επιθυμητό να εκτελεστεί η κίνηση αυτή. Υπάρχουν αντίστοιχες συναρτήσεις που επιτρέπουν την κίνηση του κινητήρα αριστερόστροφα, όπως επίσης και συναρτήσεις που επιτρέπουν την κίνηση του με μισό βήμα. Παράλληλα υπάρχουν συναρτήσεις που παρέχουν την δυνατότητα κίνησης όλων των κινητήρων που είναι συνδεδεμένοι στο σύστημα. Τέλος υπάρχουν συναρτήσεις που διαβάζουν κάποια στοιχεία από τους κινητήρες.

5.5.3 Επέκταση Οδηγού στην Γλώσσα Java

Τα τμήματα του οδηγού που είναι γραμμένος σε C βρέθηκε από διάφορες πηγές στο διαδίκτυο και τροποποιήθηκε για να καλύπτει τις απαιτήσεις της εφαρμογής. Όμως η επέκταση του στην γλώσσα Java, πραγματοποιήθηκε σαν τμήμα της εργασίας και ήταν επιβεβλημένη, καθώς προσφέρει την δυνατότητα χρήσης νέων τεχνολογιών και σύγχρονων εργαλείων. Οι δυνατότητες αυτές επέτρεψαν την αποτελεσματική και εύκολη ανάπτυξη της υπόλοιπης εφαρμογής καθώς επίσης παρέχουν την δυνατότητα περαιτέρω επέκταση του λογισμικού, ώστε να προσφέρει ακόμα περισσότερες λειτουργίες. Η επέκταση του οδηγού πραγματοποιήθηκε με την χρήση της τεχνολογία JNI.

5.6 Τμήμα Αποσφαλμάτωσης Συστήματος

Λόγω της πολυπλοκότητας του συστήματος, η χρήση και η ανάπτυξη εργαλείων, ώστε να είναι αποτελεσματική η ανίχνευση και η αντιμετώπιση των σφαλμάτων ήταν πολύ σημαντική. Η εφαρμογή αποσφαλμάτωσης του συστήματος χρησιμοποιεί εφαρμογές και προσφέρει διάφορες διαδικασίες, σχετικά με την ορθή λειτουργία τόσο του υλικού όσο και του λογισμικού. Αποτελείται από συναρτήσεις και εφαρμογές που ελέγχουν την ορθότητα ενός συγκεκριμένου τμήματος του συστήματος.

Αναλυτικότερα το τμήμα της αποσφαλμάτωσης συστήματος περιλαμβάνει τα ακόλουθα μέρη:

1. Java διαδικασία ελέγχου κίνησης κάθετου και οριζόντιου άξονα. Η κίνηση των αξόνων είναι πολύ σημαντική για το σύστημα και πολλές φορές αντιμετωπίζει προβλήματα. Για αυτόν τον λόγο, πριν από την εκτέλεση των πειραμάτων, είναι απαραίτητος ο έλεγχος της ορθής λειτουργίας των αξόνων. Το σύστημα επιτρέπει μέσα από το γραφικό περιβάλλον την κίνηση της βάσης προς τα πάνω, προς τα κάτω, προς τα αριστερά και προς τα δεξιά.
2. C++ εφαρμογή ελέγχου οδηγού κίνησης βηματικών κινητήρων. Πριν την ανάπτυξη της Java εφαρμογής για την αποσφαλμάτωση του συστήματος των αξόνων, ήταν απαραίτητη η ύπαρξη μιας εφαρμογής που θα ελέγχει την κίνηση των κινητήρων. Κατόπιν μελέτης και αναζήτησης στο διαδίκτυο βρέθηκε εφαρμογή, που επέτρεπε τον έλεγχο της κίνησης των βηματικών κινητήρων. Η εφαρμογή αυτή, λέγεται `hirule`, τρέχει από την γραμμή εντολών και με την βοήθεια αρχείων ελέγχου επιτρέπει την παραμετροποίηση της κίνησης των αξόνων. Χρησιμοποιήθηκε για την αντιμετώπιση των προβλημάτων κίνησης, σε χαμηλότερο όμως σημείο στην αρχιτεκτονική του συστήματος. Επίσης χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη των πρώτων σταδίων της Java εφαρμογής. Η κλίση της είναι απλή όπως φαίνεται παρακάτω:

```
hirule rules.steppermotor
```

Η παράμετρος (`rules.steppermotor`) είναι το αρχείο που περιέχει τις εντολές για την κίνηση και για παράδειγμα έχει την μορφή:

,όπου το πρώτο σκέλος αποτελεί την συνθήκη κάτω από την οποία θα εκτελεστεί η ενέργεια. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα ελέγχει αν η πρώτη αναλογική είσοδος έχει τιμή μικρότερη από 255 . Η ενέργεια του παραδείγματος κινεί τον κινητήρα 0, κατά την φορά του ρολογιού, σε 40 μονάδες χρόνου και πραγματοποιεί 200 βήματα. Μόλις εκτελεστεί η τελευταία εντολή του αρχείου ο έλεγχος επιστρέφει στην αρχή του.

3. Java διαδικασία ελέγχου τιμών αισθητήρων. Η λήψη των τιμών των αισθητήρων είναι πολύ σημαντική για το σύστημα και πολλές φορές αντιμετωπίζει προβλήματα. Για αυτόν τον λόγο, πριν από την εκτέλεση των πειραμάτων, είναι απαραίτητος ο έλεγχος της ορθής λειτουργίας των αισθητήρων. Το σύστημα επιτρέπει μέσα από το γραφικό περιβάλλον την λήψη των τιμών και την εμφάνιση τους. Πέρα από αυτό λόγω του μεγάλου πλήθους τιμών αναπτύχθηκε ειδικό τμήμα της εφαρμογής στο οποίο φυλάσσονται οι τιμές αυτές. Η εφαρμογή αποθηκεύει τις τιμές των αισθητήρων σε ειδική βάση δεδομένων έτσι ώστε να μπορούν να εφαρμοστούν στα δεδομένα αυτά οι διάφοροι αλγόριθμοι, όπως επίσης και να είναι εφικτή η αποσφαλμάτωση του συστήματος. Στην βάση αποθηκεύονται οι τιμές που έχουν οι αισθητήρες, το πείραμα στο οποίο έγινε η μέτρηση, το βήμα του πειράματος, η ώρα και διάφορα σχόλια που καταχωρούνται είτε αυτόματα είτε χειροκίνητα.
4. C++ εφαρμογή ελέγχου αισθητήρων. Και για αυτό το τμήμα χρησιμοποιήθηκε η εφαρμογή `hivule`. Η εφαρμογή αυτή σε κάθε εντολή που εκτελεί εμφανίζει στον χρήστη τις τιμές των αναλογικών και ψηφιακών εισόδων.
5. Εφαρμογή ελέγχου κατάστασης παράλληλης θύρας. Όλη η επικοινωνία των εφαρμογών του συστήματος με το υλικό, πραγματοποιείται μέσω της παράλληλης. Καθ' όλη την διάρκεια της ανάπτυξης του συστήματος, ειδικά στα αρχικά στάδια, ο έλεγχος της κατάστασης της παράλληλης θύρας ήταν ιδιαίτερα σημαντικός. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκαν εφαρμογές οι οποίες επιτρέπουν τον έλεγχο της τιμής σε κάθε ακροδέκτη της, όπως επίσης και τον καθορισμό της κατάστασης της.
6. Διαδικασίες δημιουργίας αρχείων αποσφαλμάτωσης. Η δημιουργία αρχείων που καταγράφουν την λειτουργία του προγράμματος είναι σημαντική και απαραίτητη για όλες τις εφαρμογές. Ειδικά στην περίπτωση του συστήματος που υλοποιήθηκε, η ανάγκη αυτή είναι ιδιαίτερα επιτακτική. Οι λόγοι που καθιστούν κάτι τέτοιο απαραίτητο είναι το μεγάλο πλήθος διαφορετικών τιμών που πρέπει

να ελέγχονται προκειμένου να εξακριβωθεί η ορθή λειτουργία του συστήματος. Η ανάγκη αυτή δεν μπορεί να καλυφθεί απόλυτα από την καταγραφή των ενεργειών στην βάση και αυτό γιατί τα στοιχεία, πέραν του ότι είναι πολλά, έχουν εξαιρετικά διαφορετική δομή, κάτι που για να υποστηριχθεί από την βάση, χρειάζεται εξαιρετικά πολύπλοκα σχήματα. Για αυτούς τους λόγους αναπτύχθηκαν ειδικές διαδικασίες οι οποίες κατέγραφαν την λειτουργία του συστήματος σε xml αρχεία. Ένα τέτοιο αρχείο είναι για παράδειγμα το παρακάτω:

```
<debug time=24-01-2010 09:30:56> scan limit up </debug>
```

```
<debug time=24-01-2010 09:37:18>scan limit down </debug>
```

```
<debug time=24-01-2010 10:36:06>Stall detected </debug>
```

7. Συναρτήσεις αποθήκευσης τιμών αποσφαλμάτωσης σε βάση δεδομένων. Όλοι οι αλγόριθμοι του συστήματος παράγουν πάρα πολλές τιμές από τους αισθητήρες του. Οι τιμές αυτές είναι απαραίτητο να αποθηκεύονται έτσι ώστε να είναι εφικτή η εφαρμογή των αλγορίθμων και η αποσφαλμάτωση τους. Πέρα από τις τιμές των αισθητήρων το σύστημα αποθηκεύει και άλλα στοιχεία σχετικά με την λειτουργία του, όπως για παράδειγμα εύρεση φωτεινότερου σημείου, εύρεση ορίου και άλλα. Όλα αυτά τα στοιχεία ήταν απαραίτητα για την αποσφαλμάτωση της εφαρμογής. Ο λόγος που ορισμένα στοιχεία αποσφαλμάτωσης κρατιούνται σε βάση, είναι γιατί η βάση επιτρέπει την εύκολη εξαγωγή και επεξεργασία των αποθηκευμένων τιμών, ειδικά όταν αυτές είναι πάρα πολλές και παρόμοιας δομής.
8. Συναρτήσεις ηχητικής ειδοποίησης. Λόγο της φύσης του συστήματος η εκτέλεση των αλγορίθμων απαιτεί πολύ χρόνο και επίσης είναι απαραίτητη η συνεχής παρακολούθηση της λειτουργίας. Για παράδειγμα σε περίπτωση που κάποιος άξονα κολλήσει λόγω μηχανικής βλάβης δεν πρέπει ο κινητήρας να συνεχίσει να λειτουργεί, γιατί υπάρχει μεγάλος κίνδυνος να καταστραφεί. Για αυτόν τον λόγο κατασκευάστηκαν διαδικασίες οι οποίες σε ειδικές συνθήκες παράγαν ηχητικά μηνύματα, έτσι ώστε να επέμβει άμεσα ο χειριστής και να αποτρέψει τυχών βλάβη του συστήματος.

5.7 Τμήμα Λήψης και Απεικόνισης Μετρήσεων

Το τμήμα λήψης και απεικόνισης μετρήσεων προσφέρει φιλτραρίσματα και απεικονίσεις των μετρήσεων, με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι εύκολη η εξαγωγή συμπερασμάτων. Χωρίζεται σε δυο υποτμήματα. Το πρώτο είναι το τμήμα αισθητήρων φωτεινότητας και ορίων και ο σκοπός του είναι να αποθηκεύει τιμές από τους αισθητήρες αυτούς. Το δεύτερο είναι το τμήμα λήψης μετρήσεων του ψηφιακού αισθητήρα εικόνας και έχει ως στόχο το φιλτράρισμα των δεδομένων που λαμβάνονται από αυτόν.

Τα δυο αυτά τμήματα έχουν τελείως διαφορετική υλοποίηση. Το πρώτο κατά την εκτέλεση των αλγορίθμων, συλλέγει μεγάλο πλήθος από τιμές αισθητήρων φωτεινότητας και ορίων τις επεξεργάζεται και τις αποθηκεύει σε μια βάση δεδομένων. Κατόπιν έχει την δυνατότητα να φιλτράρει τα δεδομένα αυτά και να τα εξάγει σε πρόγραμμα φυλλομέτρησης, έτσι ώστε η επεξεργασία τους να μπορεί να συνεχιστεί, με εφαρμογή διαφόρων συναρτήσεων, με περαιτέρω φιλτραρίσματα και με δημιουργία γραφικών απεικονίσεων.

Το δεύτερο τμήμα παρέχει την δυνατότητα λήψης στοιχείων από τον ψηφιακό αισθητήρα εικόνας. Το τμήμα αναλαμβάνει την αποθήκευση των εικόνων στον σύστημα αρχείων του λειτουργικού, με τέτοιον τρόπο, ώστε να είναι εφικτή η επεξεργασία τους, καθώς επίσης και ο έλεγχος των αποτελεσμάτων των αλγορίθμων που εφαρμόζονται σε αυτά. Το σύστημα παρέχει δυνατότητες μοναδικής ονοματολογία των αρχείων, με βάση το πείραμα και τον χρόνο εκτέλεσης του. Επιπλέον διαγράφει όλα τα αρχεία που δημιουργούνται προσωρινά, όχι μόνο για λόγους εξοικονόμησης πόρων, αλλά και για την αποδοτικότερη παρατήρηση των μετρήσεων από τον χειριστή. Επίσης διαθέτει μεθόδους, που επιτρέπουν την αποθήκευση τμημάτων εικόνων, κάτι το οποίο είναι χρήσιμο για τον έλεγχο της αποτελεσματικότητας των αλγορίθμων. Τέλος περιλαμβάνει συναρτήσεις οι οποίες πραγματοποιούν χρωματισμό τμημάτων εικόνων, έτσι ώστε να είναι ευκολότερος ο έλεγχος των αποτελεσμάτων των αλγορίθμων.

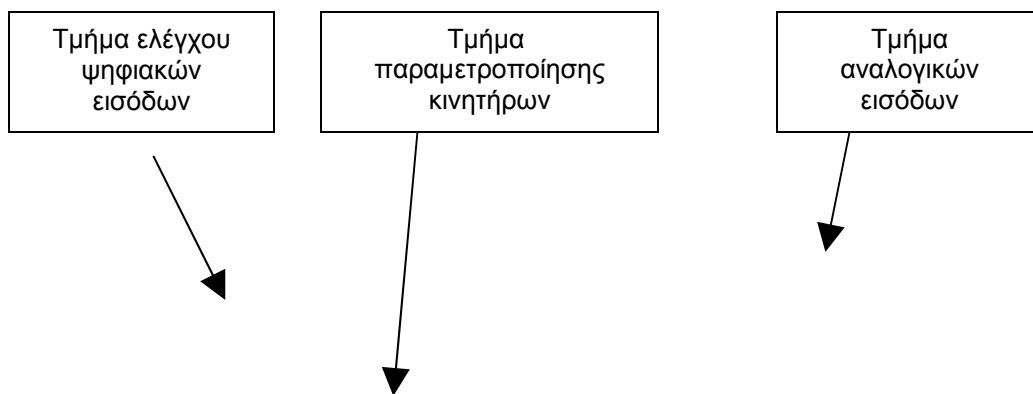
5.8 Εφαρμογή Ανίχνευσης Φωτεινών Πηγών και Κατεύθυνσης Αντανάκλασης

Η εφαρμογή ανίχνευσης φωτεινών πηγών αποτελεί το κεντρικό λογισμικό του συστήματος και υλοποιεί τους αλγόριθμους, για την εύρεση των φωτεινών πηγών και την κατεύθυνση της αντανάκλασης του ηλιοστάτη στην επιθυμητή περιοχή.

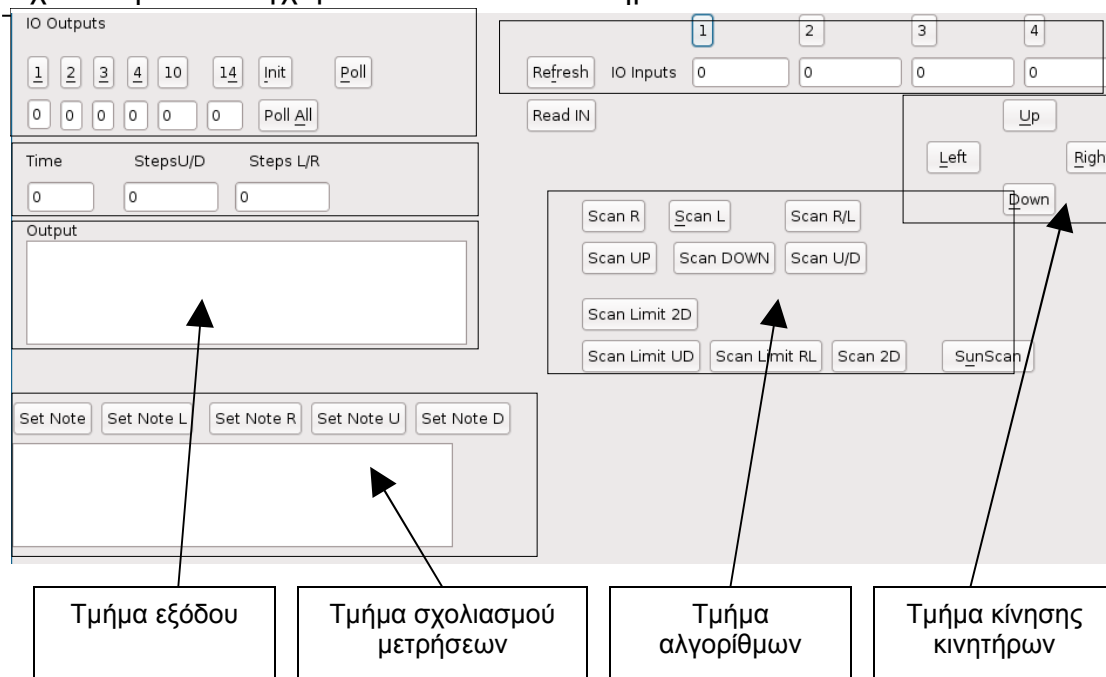
Σχεδίαση Αυτοελεγχόμενων Ηλιακών Συστημάτων

Αναλαμβάνει την διασύνδεση και τον έλεγχο όλων των τμημάτων του συστήματος, όπως επίσης παρέχει την δυνατότητα στον χειριστή να πραγματοποιήσει οποιαδήποτε υποστηριζόμενη λειτουργία και να παρακολουθήσει τα αποτελέσματα αυτής.

Το τμήμα διαθέτει διεπαφή με την οποία ο χρήσης μπορεί να πραγματοποιήσει όλες τις παρεχόμενες λειτουργίες. Η διεπαφή αυτή φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



Σχεδίαση Αυτοελεγχόμενων Ηλιακών Συστημάτων



Εικόνα19: Διεπαφή εφαρμογής ανίχνευσης φωτεινών πηγών και κατεύθυνσης αντανάκλασης

Η διεπαφή αποτελείται από επτά τμήματα.

1. Στο πάνω αριστερό μέρος της βρίσκεται το τμήμα ελέγχου ψηφιακών εισόδων. Με αυτό ο χρήστης μπορεί να ελέγξει την τιμή των ψηφιακών εξόδων, όπως επίσης και να δει την παρούσα κατάσταση τους. Το τμήμα αυτό αποτελείται από έξι κουμπιά με τα οποία ο χρήστης μπορεί να αλλάξει την τιμή που έχουν οι ψηφιακοί έξοδοι. Επίσης περιλαμβάνει έξι πεδία κειμένου στα οποία αναφέρεται η κατάσταση των ψηφιακών εξόδων. Στην περίπτωση που η ψηφιακή έξοδος είναι 5V τότε αναγράφεται 1, ενώ στην περίπτωση που είναι 0V αναγράφεται 0. Επίσης στο τμήμα αυτό περιέχεται και το κουμπί "Init" με το οποίο ο χρήστης αρχικοποιεί την πλακέτα με τις κατάλληλες παραμέτρους, όπως για παράδειγμα οι ψηφιακοί έξοδοι ή εισοδοι να λειτουργούν σαν έξοδοι, καθορίζεται ο χρόνος αναμονής για την λήψη τιμών από τα ολοκληρωμένα και άλλα. Τα κουμπιά roll και "roll all" θέτουν όλες τις εξόδους ίσες με ένα και μετά από λίγο χρονικό διάστημα ίσες με 0. Η διαφορά είναι ότι το πρώτο εκτελεί την λειτουργία σειριακά, ενώ το δεύτερο παράλληλα για όλες τις εξόδους.
2. Αμέσως πιο κάτω είναι το τμήμα παραμετροποίησης κινητήρων. Το τμήμα αυτό προσφέρει την δυνατότητα στον χρήστη να παραμετροποιήσει την κίνηση των βηματικών κινητήρων. Αποτελείται από τρία πεδία τιμών . Στο πρώτο ο χρήστης μπορεί να εισάγει τις χρονικές μονάδες στις οποίες επιθυμεί να πραγματοποιείτε

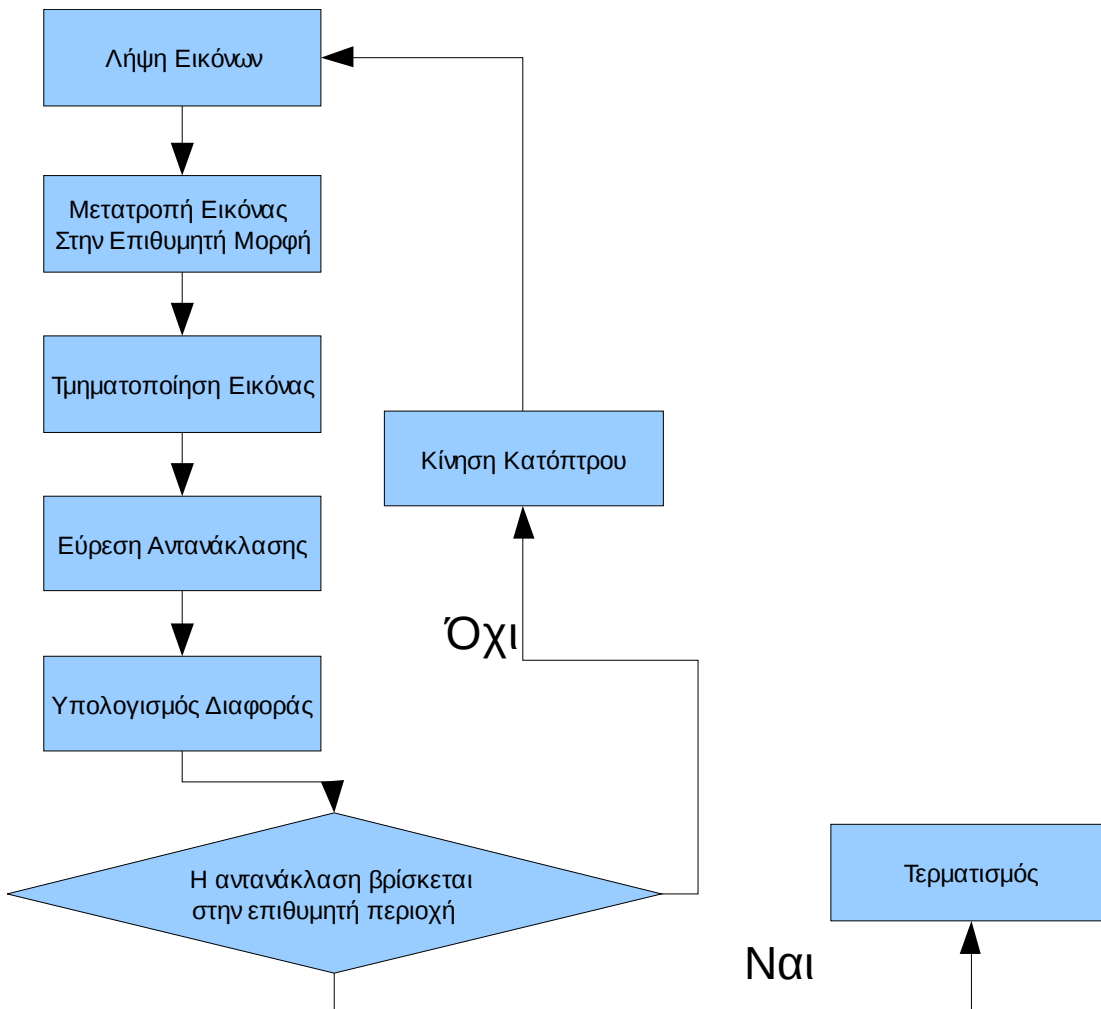
το κάθε βήμα του κινητήρα. Στο δεύτερο έχει την δυνατότητα να εισάγει το πλήθος των βημάτων που θα πραγματοποιεί ο κατακόρυφος άξονας με κάθε εντολή κίνησης. Αντίστοιχα στο τρίτο πεδίο μπορεί να εισάγει τα βήματα για τον οριζόντιο άξονα.

3. Το τμήμα εξόδου που ακολουθεί περιλαμβάνει μια περιοχή κειμένου στην οποία παρουσιάζονται διάφορα ενημερωτικά μηνύματα.
4. Στο κάτω αριστερό μέρος υπάρχει το τμήμα σχολιασμού μετρήσεων. Με το τμήμα αυτό ο χρήστης μπορεί να εισάγει τα σχόλια που επιθυμεί και τα οποία αποθηκεύονται στην βάση δεδομένων, μαζί με τις μετρήσεις των αισθητήρων και άλλες πληροφορίες. Αποτελείται από μια περιοχή κειμένου στην οποία μπορούν να εισαχθούν τα σχόλια του χρήστη. Επίσης περιλαμβάνει πέντε κουμπιά. Το πρώτο είναι το SetNote το οποίο εισάγει στην βάση το σχόλιο που έχει γραφτεί στην περιοχή κειμένου. Τα υπόλοιπα θέτουν συγκεκριμένα σχόλια. Το Set Note L αποθηκεύει στην βάση ότι στο βήμα που εκτελείται εκείνη την στιγμή το κάτοπτρο βρίσκεται κάθετα στον οριζόντιο άξονα και με κατεύθυνση αριστερά. Παρόμοια λειτουργικότητα έχουν και τα άλλα κουμπιά.
5. Στο πάνω δεξιά μέρος της διεπαφής υπάρχει το τμήμα των αναλογικών εισόδων. Με το τμήμα αυτό ο χρήστης μπορεί να αναγνώσει την τιμή που έχουν οι αναλογικές εισοδοί του συστήματος. Αποτελείται από πέντε κουμπιά και τέσσερα πεδία κειμένου. Τα κουμπιά 1 έως 4 παρέχουν την δυνατότητα ανάγνωσης της τιμής που έχει η αντίστοιχη αναλογική είσοδος. Με το κουμπί refresh το σύστημα διαβάζει τις τιμές όλων των αναλογικών εισόδων. Στα πεδία κειμένου αναγράφονται οι αντίστοιχες τιμές των εισόδων.
6. Αμέσως πιο κάτω βρίσκεται το τμήμα κίνησης κινητήρων. Με το τμήμα αυτό ο χρήστης μπορεί να κινήσει την βάση προς όλες τις κατευθύνσεις. Αποτελείται από τέσσερα κουμπιά. Το πρώτο είναι το up, με το οποίο ο χρήστης μπορεί να κινήσει την βάση προς τα πάνω. Αντίστοιχα με το down μπορεί να την κινήσει προς τα κάτω και με το left και right προς τα αριστερά και δεξιά.
7. Το τελευταίο τμήμα της εφαρμογής είναι το τμήμα των αλγορίθμων. Με το τμήμα αυτό ο χρήστης μπορεί να ενεργοποιήσει τους διάφορους αλγόριθμους που προσφέρει το σύστημα. Αποτελείται από έντεκα κουμπιά. Το πρώτο, το δεύτερο, το τρίτο και το τέταρτο είναι το Scan R, το Scan L , το Scan up και το Scan down. Προσφέρουν την δυνατότητα στον χρήστη να κινεί το κάτοπτρο συνεχώς προς τις αντίστοιχες κατευθύνσεις. Παράλληλα με την κίνηση αποθηκεύονται τιμές

σχετικά με τους αισθητήρες και ο χρήστης μπορεί επίσης να εισάγει σχόλια με τις λειτουργίες που προσφέρει το τμήμα του σχολιασμού. Οι λειτουργίες αυτές χρησιμοποιούνται κυρίως για αποσφαλμάτωση και για γρήγορη διόρθωση της θέσης του κατόπτρου. Αναπτύχθηκαν κατά τα πρώτα στάδια του συστήματος. Παρόμοιες λειτουργίες προσφέρουν και τα κουμπιά Scan R/L και Scan U/D. Η διαφορά τους είναι ότι αυτά πραγματοποιούν ένα πλήθος βημάτων προς την μια κατεύθυνση και μετά κινούνται προς την αντίθετη. Και αυτές οι συναρτήσεις αναπτύχθηκαν κατά τα πρώτα στάδια και χρησιμοποιήθηκαν για αποσφαλμάτωση του συστήματος και για έλεγχο. Τα κουμπιά scan Limit UD και το scan Limit RL, πραγματοποιούν την ίδια ενέργεια, κίνηση και προς τις δυο κατευθύνσεις, αλλά η αλλαγή της κατεύθυνσης πραγματοποιείται όταν ενεργοποιηθεί ο αισθητήρας ορίων. Το πρώτο πραγματοποιεί κίνηση προς τον οριζόντιο άξονα, πάνω κάτω. Το δεύτερο πραγματοποιεί κίνηση προς τον κατακόρυφο άξονα, αριστερά δεξιά. Χρησιμοποιούνται κυρίως σαν εργαλείο για την αποσφαλμάτωση της κίνησης των αξόνων και την συνεργασίας τους με τους αισθητήρες ορίων. Αποτελεί την βάση για τους επόμενους αλγορίθμους που υλοποιούν τις λειτουργίες του συστήματος. Τα άλλα δυο κουμπιά είναι το scan Limit 2D και το SunScan. Με τα κουμπιά αυτά ο χρήστης μπορεί να χρησιμοποιήσει τις δυο βασικές λειτουργίες του συστήματος. Το πρώτο κουμπί προσφέρει την λειτουργία της εύρεσης φωτεινής πηγής. Με την ενεργοποίηση του το σύστημα αρχίζει να περιστρέφει την βάση και προς τις δυο κατευθύνσεις, προσπαθώντας να σαρώσει όλη την περιοχή στην οποία έχει την δυνατότητα να κινηθεί. Παράλληλα αποθηκεύει τις τιμές του αισθητήρα φωτεινότητας στην βάση. Μόλις τελειώσει την σάρωση, βρίσκει την μέγιστη τιμή που είχε η φωτεινότητα και κινεί την βάση κατάλληλα, έτσι ώστε να πάει στο σημείο αυτό. Το δεύτερο προσφέρει την λειτουργία της κατευθυνόμενης ανάκλασης. Με την ενεργοποίηση του το σύστημα επεξεργάζεται τις φωτογραφίες που λαμβάνονται από τον ψηφιακό αισθητήρα και εντοπίζει το σημείο στο οποίο βρίσκεται η αντανάκλαση. Κατόπιν κινεί την βάση έτσι ώστε η αντανάκλαση να προσεγγίσει το επιθυμητό σημείο. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι η αντανάκλαση να πάει στο σημείο αυτό. Οι λειτουργίες αυτές αποτελούν την βασική λειτουργικότητα του συστήματος και για αυτόν τον λόγο θα αναλυθούν περαιτέρω σε επόμενες ενότητες.

5.8.1 Αλγόριθμος Κατεύθυνσης Αντανάκλασης

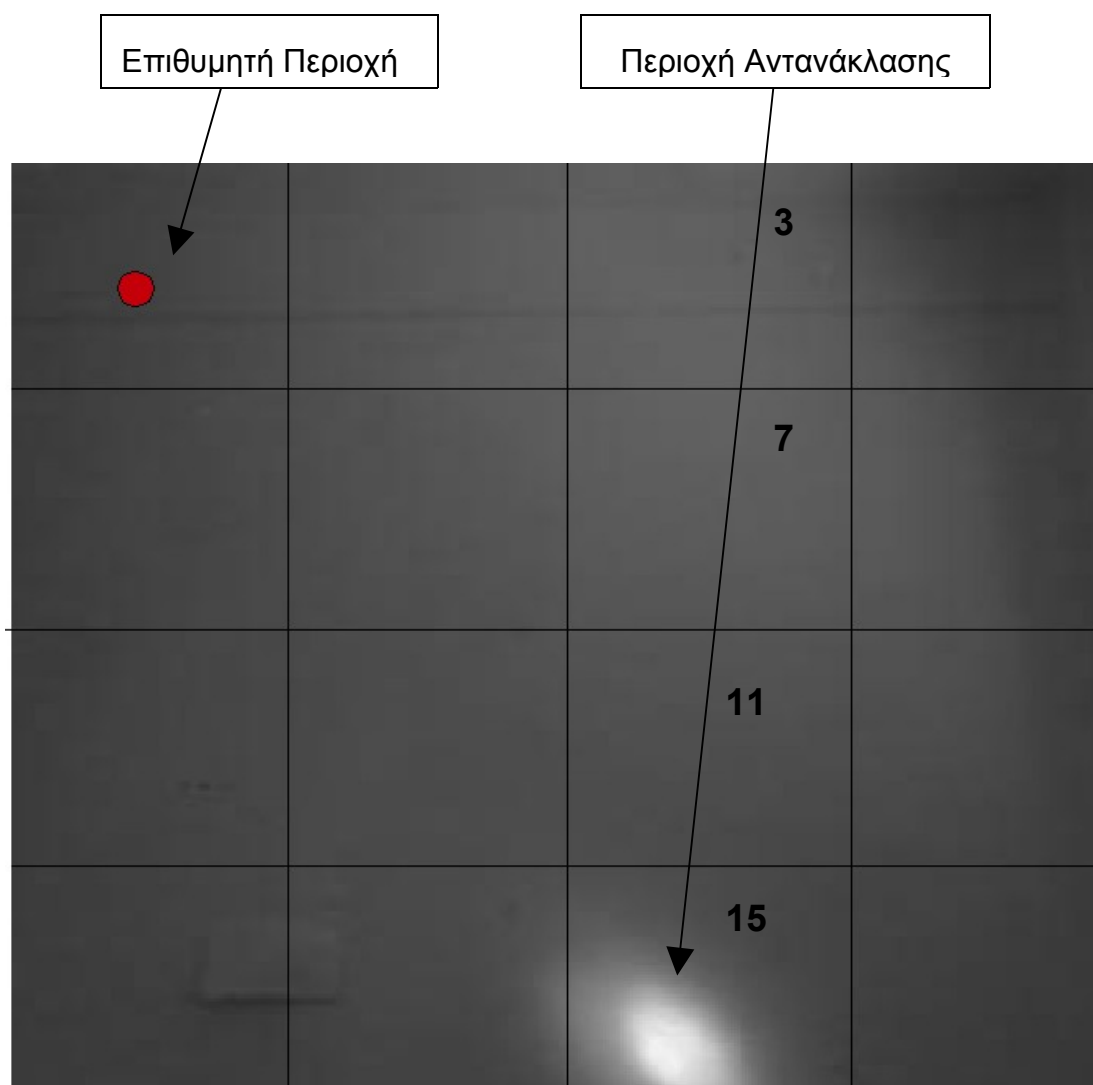
Η κατεύθυνση της αντανάκλασης αποτελεί μια από τις βασικές λειτουργίες του συστήματος. Με την λειτουργία αυτή το σύστημα κινεί το κάτοπτρο με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε η αντανάκλαση να πάει στην επιθυμητή περιοχή. Το διάγραμμα ροής του αλγορίθμου παρουσιάζεται παρακάτω:



Σχήμα 53: Διάγραμμα ροής αλγορίθμου κατεύθυνσης αντανάκλασης

Σχεδίαση Αυτοελεγχόμενων Ηλιακών Συστημάτων

Αρχικά η εφαρμογή ενεργοποιεί το ψηφιακό αισθητήρα και λαμβάνει εικόνες από την επιθυμητή περιοχή. Η εικόνα αποθηκεύεται σε αρχείο. Στο επόμενο βήμα, υφίσταται επεξεργασία, έτσι ώστε να λάβει κατάλληλη μορφή. Μετατρέπεται από έγχρωμο jpeg σε μαυρόασπρο και κατόπιν σε png. Το αποτέλεσμα της επεξεργασίας αυτή αποθηκεύεται σε νέο αρχείο. Έπειτα η εικόνα φορτώνεται στην μνήμη του υπολογιστή, σαν δισδιάστατος πίνακας, ο οποίος κατόπιν επεξεργασίας, χωρίζεται σε δεκαέξι ίσες περιοχές, τέσσερις σε κάθε γραμμή του πίνακα, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 20: Λήψη εξόδου ψηφιακού αισθητήρα CCD, από την περιοχή παρακολούθησης

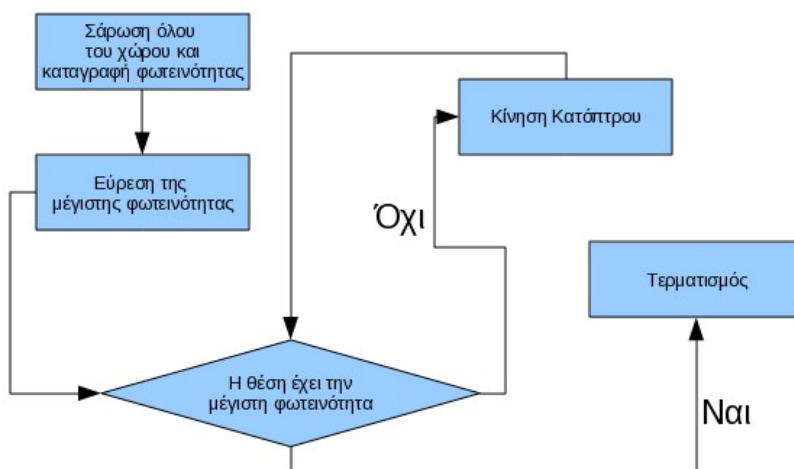
Κατόπιν αναζητείται σε ποια περιοχή της εικόνας βρίσκεται η αντανάκλαση. Ελέγχεται η διαφορά θέσης, που έχει η περιοχή αυτή από την επιθυμητή και υπολογίζεται η κίνηση που πρέπει να κάνει η βάση. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι η αντανάκλαση βρεθεί στην επιθυμητή περιοχή.

Για παράδειγμα αν η επιθυμητή περιοχή είναι η 1 και η αντανάκλαση είναι στην περιοχή 15, τότε το σύστημα θα προσπαθήσει αρχικά να φέρει την αντανάκλαση στο ίδιο οριζόντιο επίπεδο. Θα κατευθύνει την αντανάκλαση αρχικά στην περιοχή 11 μετά στην 7 και τέλος στην 3. Κατόπιν θα προσπαθήσει να φέρει την αντανάκλαση στο ίδιο κατακόρυφο επίπεδο. Επομένως θα κατευθύνει αρχικά την αντανάκλαση στην περιοχή 2 και τέλος στην περιοχή 1. Στο σημείο αυτό θα διαπιστωθεί ότι η αντανάκλαση βρίσκεται στην επιθυμητή περιοχή.

Σε όλα τα βήματα του αλγορίθμου πραγματοποιούνται ενέργειες αποσφαλμάτωσης.

5.8.2 Αλγόριθμος Εύρεσης Φωτεινής Πηγής

Η εύρεση φωτεινής πηγής αποτελεί μια από τις βασικές λειτουργίες του συστήματος. Με την λειτουργία αυτή το σύστημα κινεί το κάτοπτρο με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να εντοπίσει και τελικά να σταματήσει στην θέση, όπου υπάρχει η μεγαλύτερη φωτεινότητα. Το διάγραμμα ροής του αλγορίθμου παρουσιάζεται παρακάτω:



Αρχικά η εφαρμογή σαρώνει όλο τον επιθυμητό χώρο. Η σάρωση γίνεται και στις δυο διαστάσεις. Πρώτα γίνεται σάρωση κατά τον οριζόντιο άξονα και ύστερα πραγματοποιείται μετακίνηση κατά τον κατακόρυφο, μέχρι να σαρωθεί όλος ο χώρος. Η ολοκλήρωση μιας σάρωσης πραγματοποιείται μόλις ενεργοποιηθεί δυο φορές ο αισθητήρας ορίων. Σε κάθε βήμα της σάρωσης λαμβάνονται τιμές από τους αισθητήρες φωτεινότητας και αποθηκεύονται στην βάση της εφαρμογής. Επιπλέον σε κάθε βήμα ελέγχονται αισθητήρες ορίων. Μόλις ολοκληρωθεί η σάρωση βρίσκεται από την βάση, η μέγιστη τιμή φωτεινότητας. Κατόπιν η εφαρμογή προσπαθεί να κινήσει την βάση και να την σταματήσει στο σημείο, όπου βρέθηκε η μέγιστη φωτεινότητα. Για τον λόγο αυτό σαρώνει και πάλι τον χώρο και ελέγχει την τιμή του αισθητήρα φωτεινότητας. Αν η τιμή του αισθητήρα είναι μεγαλύτερη ή ίση από την μέγιστη, τότε το τρέχον σημείο είναι αυτό της μέγιστης φωτεινότητας και ο αλγόριθμος τερματίζει.

5.8.3 Υλοποίηση Εφαρμογής

Στην ενότητα αυτή θα περιγραφεί η υλοποίηση της εφαρμογής ανίχνευσης φωτεινών πηγών και κατεύθυνσης αντανάκλασης. Πέρα από την αρχιτεκτονική του συστήματος και των κλάσεων που το αποτελούν, παρατίθενται σημαντικά κομμάτια από τον κώδικα, έτσι ώστε να είναι πληρέστερη η περιγραφή της υλοποίησης.

Η εφαρμογή αναπτύχθηκε εξολοκλήρου σε γλώσσα προγραμματισμού Java. Για την υλοποίηση της χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο ανάπτυξης Netbeans 6,7. Η βάση της εφαρμογής είναι υλοποιημένη σε mysql 5. Η αρχιτεκτονική της εφαρμογής φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα.



Σχήμα 55: Τμήματα εφαρμογής εύρεσης φωτεινής πηγής και κατεύθυνσης αντανάκλασης

Το τμήμα διεπαφής αποτελεί το μέρος της εφαρμογής, που είναι υπεύθυνο για την επικοινωνία του συστήματος με τον χρήστη.

Αποτελείται από την κλάση `ControlGUI` η οποία επεκτείνει την κλάση `javax.swing.JFrame` της `java`. Η κλάση αυτή είναι ένα γραφικό παράθυρο στο οποίο εμφανίζονται τα διάφορα γραφικά μέρη (`graphic components`), όπως κουμπιά, πεδία και περιοχές κειμένου. Η δημιουργία του είναι πολύ απλή και υποστηρίζεται από το εργαλείο `Netbeans`. Ο προγραμματιστής έχει την δυνατότητα να επιλέξει το γραφικό μέρος, που επιθυμεί και να το τοποθετήσει στο γραφικό παράθυρο (`frame`). Κάθε κουμπί του παραθύρου εκτελεί μια ενέργεια. Για να επιτευχθεί αυτό υλοποιείται μια συνάρτηση για κάθε ένα, η οποία εκτελείται μόλις ο χρήστης το πατήσει.

Για παράδειγμα μόλις ο χρήστης πατήσει το κουμπί `SunScan`, εκτελείται η συνάρτηση `sunScanButActionPerformed`. Η συνάρτηση αυτή, την πρώτη φορά που θα εκτελεστεί, αρχικοποιεί ένα αντικείμενο τύπου `ControlBean`, με τις κατάλληλες τιμές και αρχίζει η εκτέλεση του αλγορίθμου. Η κλάση `ControlBean` περιέχει διάφορες λειτουργίες, χρήσιμες για την ενεργοποίηση και την αρχικοποίηση των διάφορων τμημάτων της εφαρμογής καθώς και την επικοινωνία τους. Την δεύτερη φορά που θα εκτελεστεί η συνάρτηση, σταματάει την εκτέλεση του αλγορίθμου. Παρακάτω φαίνεται ο κώδικας της συνάρτησης `sunScanButActionPerformed`.

```
private void sunScanButActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt) {  
    int xParts=4;  
    int yParts=4;  
    //Σταματάει ο αλγορίθμος  
    if(this.scan){  
        this.scan=false;  
        conB.stopScanUP();  
    }  
    //Ξεκινάει ο αλγορίθμος  
    else{  
        //Κατάλληλες παράμετροι όπως κίνηση κινητήρα, ταχύτητα κτλ.  
        conB.setParm1T(parm1T.getText());  
        conB.setStepsRL(this.stepsUDT.getText());  
        conB.setStepsUD(this.stepsRLT.getText());  
        conB.setExperimentNote(this.experimentNoteT.getText());  
        conB.scanSun();  
        this.scan=true;  
    }  
}
```

Οι αλγόριθμοι υλοποιήθηκαν σε διαφορετικό τμήμα, το τμήμα εκτέλεσης αλγορίθμων. Το τμήμα αυτό υλοποιείται σε ξεχωριστή κλάση την LogicThread, η οποία επεκτείνει την κλάση Thread της java. Η υλοποίηση και η εκτέλεση των αλγορίθμων σε διαφορετικό νήμα (thread), από αυτό της διεπαφής, επιτρέπει την εκτέλεση των αλγορίθμων και

ταυτόχρονα τον έλεγχο της κατάστασης τους και της λειτουργίας τους. Το τμήμα αλγορίθμων επικοινωνεί με το τμήμα της διεπαφής μέσα από την κλάση ControlBean.

Για παράδειγμα μόλις εκτελεστεί η συνάρτηση sunScanButActionPerformed, αρχικοποιείται από ControlBean ένα νέο αντικείμενο LogicThread το οποίο εκτελείται σε ξεχωριστό νήμα. Ο κώδικα που εκτελείται είναι :

```
LogicThread t =new LogicThread(getParm1T(),getStepsUD(),getStepsRL());  
t.setValues(values);  
t.setSunScan(true);  
t.start();
```

Η εκκίνηση του ξεχωριστού νήματος πραγματοποιείται με την εντολή t.start(), η οποία εκτελεί την συνάρτηση run της κλάσης LogicThread.

Μέσα στο νήμα, ελέγχονται οι παράμετροι με τις οποίες έχει αρχικοποιηθεί το αντικείμενο LogicThread και ανάλογα εκτελείται ο επιλεγμένος αλγόριθμος.

Για παράδειγμα στην περίπτωση του εκτελείται η συνάρτηση sunScanButActionPerformed, τότε η μεταβλητή sunScan είναι αληθής (true) και εκτελείται ο αλγόριθμος της κατεύθυνσης αντανάκλασης, μέσω της συνάρτησης scanSun. Στον κώδικα που ακολουθεί φαίνεται η συνάρτηση run της κλάσης LogicThread.

```
public void run(){  
if(this.scan2DBool) this.scan2D();  
if(this.scanLimit) this.scanLimit();  
if(this.sunScan) this.scanSun();  
}
```

Κάθε αλγόριθμος υλοποιείται, στην κλάση LogicThread από μια ξεχωριστή συνάρτηση. Για παράδειγμα ο αλγόριθμος της κατευθυνόμενης αντανάκλασης υλοποιείται από την συνάρτηση scanSun. Η δομή των συναρτήσεων αυτών είναι παρόμοια και αποτελείται από έναν βρόχο μέσα στον οποίο εκτελείται κάθε βήμα του αλγορίθμου. Ο βρόχος αυτός εκτελείται, όσο ο αλγόριθμος δεν έχει ολοκληρωθεί και όσο ο χρήστης δεν έχει δώσει εντολή τερματισμού. Σε κάθε βήμα κινείται ένας από τους δυο κινητήρες, με τον κατάλληλο τρόπο. Επιπλέον σε κάθε βήμα, το νήμα σταματάει να εκτελείται, για όσο

χρόνο απαιτείται από τον κινητήρα, να πραγματοποιήσει την κίνηση, που είναι επιθυμητή να γίνει. Τέλος σε κάθε βήμα του αλγορίθμου το τμήμα εκτέλεσης αλγορίθμων επικοινωνεί με τα άλλα τμήματα για την εκτέλεση των ανάλογων διεργασιών. Παρακάτω φαίνεται απόσπασμα από τον κώδικα της συνάρτησης scanSun.

```
public void scanSun(){
while(run){
//Κλήση διαδικασίας επεξεργασίας εικόνας και αρχείων
currentSpot=fut.findLightSpotWithImageCapture(xParts, yParts);
//Έλεγχο αν ο χρήστης επιθυμεί τερματισμό της εκτέλεσης
run=!this.stopScan;
//Κίνηση κινητήρων
col.move(curDir);
//Το νήμα κοιμάται για όσο χρόνο χρειάζεται ο κινητήρας να κινηθεί
try{ Thread.sleep(Constants.SLEEP_TIME); }catch(Exception e){ }
}
```

Όπως φαίνεται η επικοινωνία με το τμήμα επεξεργασίας εικόνων πραγματοποιείται από την συνάρτηση findLightSpotWithImageCapture. Η κίνηση του κινητήρα γίνεται από την κλήση της συνάρτησης move και η αναμονή μέχρι την ολοκλήρωση της κίνησης του κινητήρα γίνεται με την κλήση της συνάρτησης Thread.sleep.

Το τμήμα επεξεργασίας εικόνων διαθέτει συναρτήσεις, οι οποίες συνεργάζονται με τα τμήματα, επεξεργασίας αρχείων και διασύνδεσης με άλλα προγράμματα, λαμβάνουν την εικόνα από τον ψηφιακό αισθητήρα και πραγματοποιούν την απαραίτητη επεξεργασία για την υλοποίηση των αλγορίθμων της εφαρμογής.

Για παράδειγμα στον αλγόριθμο κατεύθυνσης αντανάκλασης η συνάρτηση findLightSpotWithImageCapture του τμήματος επεξεργασίας εικόνων, επιστρέφει την περιοχή στη οποία βρίσκεται η αντανάκλαση του κατόπτρου. Αρχικά λαμβάνει την εικόνα από το τμήμα διασύνδεσης με άλλα προγράμματα, μέσω της συνάρτησης getImageFromWebCam. Έπειτα μετατρέπει την εικόνα από jpeg σε png με την κλήση της συνάρτησης convertImageFromJpegToPng από το τμήμα διασύνδεσης με άλλα

προγράμματα. Κατόπιν την φορτώνει στην μνήμη με την συνάρτηση `oneDim2TwoDimArray`. Στην συνέχεια την χωρίζει σε κομμάτια με την συνάρτηση `breakArray` και τέλος βρίσκει την περιοχή στην οποία βρίσκεται η αντανάκλαση με την κλίση της συνάρτησης `findLightSpot`. Παρακάτω παρατίθεται ο κώδικά στις συνάρτησης `findLightSpotWithImageCapture`.

```
public static int findLightSpotWithImageCapture(int xParts,int yParts){
    Utils.getImageFromWebCam(fullFilenameOfTakenImage);
    Utils.convertImageFromJpegToPgn(fullFilename,fullFilenameOfImageNew);
    imageArray2Dim=oneDim2TwoDimArray(imageArrayInt,imageRows,imageCols)
    ArrayList orma8ousList = Utils.breakArray(imageArray2Dim, xParts, yParts);
    int[][] maxOrmathos=ut.findLightSpot(orma8ousList);
    output = ut.getMaxValueIndex();
    return output;
}
```

Το τμήμα διασύνδεση με άλλα προγράμματα προσφέρει συναρτήσεις οι οποίες επιτρέπουν την κλίση προγραμμάτων από την εφαρμογή. Δυο είναι τα προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση της εφαρμογής. Το πρώτο πρόγραμμα λέγεται *fswebcam*, μπορεί να εκτελεστεί από την γραμμή εντολών, να ενεργοποιήσει τον ψηφιακό αισθητήρα εικόνων, να λάβει την έξοδο του και να την αποθηκεύσει σαν αρχείο jpeg στο σκληρό. Το δεύτερο πρόγραμμα είναι το *imageMagik* το οποίο επιτρέπει πλήθος από επεξεργαστικές υπηρεσίες για εικόνες. Με το πρόγραμμα αυτό η εικόνα που έχει ληφθεί από τον ψηφιακό αισθητήρα μετατρέπεται από jpeg σε pgn.

Για παράδειγμα η κλήση του προγράμματος *fswebcam* πραγματοποιείται από τον παρακάτω κώδικα:

```
public static void getImageFromWebCam(String fullFilename){
    String cmd = "fswebcam "+fullFilename+"a.jpeg --greyscale --no-banner
    "+fullFilename+"b.jpeg";
    try {
        Process prcs = Runtime.getRuntime().exec(cmd);
```

```
try {
```

```
    prcs.waitFor();
```

```
    } catch (InterruptedException ex) { }
```

```
    } catch (IOException ex) {
```

```
        Logger.getLogger(Utils.class.getName()).log(Level.SEVERE, null, ex);
```

```
        ex.printStackTrace();
```

```
    }
```

```
}
```

Όπως φαίνεται, αρχικά αποθηκεύεται η εντολή που πρέπει να εκτελεστεί σε ένα αλφαριθμητικό(*cmd*). Κατόπιν καλείται συνάρτηση της `java Runtime.getRuntime().exec(cmd)` για την εκτέλεση της εντολής. Με την συνάρτηση `waitFor()` η εφαρμογή περιμένει την ολοκλήρωση της εκτέλεσης της εντολής.

Ένα άλλο παράδειγμα είναι η μετατροπή της εικόνας από `jpeg` σε `png`, η οποία πραγματοποιείται με το πρόγραμμα `ImageMagik` και πιο συγκεκριμένα με την εντολή `convert`. Παρακάτω φαίνεται απόσπασμα από αυτόν τον κώδικα.

```
convertImageFromJpegToPgn(String filename,String outputFileName){
```

```
    String cmd = "convert "+filename+" -compress none "+outputFileName+" ";
```

```
    try {
```

```
        Process prcs = Runtime.getRuntime().exec(cmd);
```

```
        try {
```

```
            prcs.waitFor();
```

```
        } catch (InterruptedException ex) {
```

```
            Logger.getLogger(Utils.class.getName()).log(Level.SEVERE, null, ex);
```

```
        }
```

```
    }
```

6 Συμπεράσματα

Στα πλαίσια της εργασίας αυτής, σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε, ένα αυτοελεγχόμενο ηλιακό σύστημα. Το σύστημα αποτελείται από μια βάση, με τοποθετημένο έναν καθρέπτη, η οποία μπορεί να κινείται ως προς τους δυο άξονες. Το σύστημα ελέγχεται από προσωπικό υπολογιστή, μέσω παράλληλης θύρας. Αναπτύχθηκε εφαρμογή η οποία προσφέρει δυο βασικές λειτουργίες. Η πρώτη κινεί την βάση με τέτοιο τρόπο, ώστε ο καθρέπτης να τοποθετηθεί στην θέση, όπου δέχεται την μεγαλύτερη φωτεινότητα. Η δεύτερη κατευθύνει την αντανάκλαση του καθρέπτη στην επιθυμητή περιοχή.

Τα αποτελέσματα της εργασίας έδειξαν ότι το σύστημα είχε την δυνατότητα εύρεση φωτεινών πηγών με αρκετά μεγάλη ακρίβεια. Οι δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν ήταν σε σκιώδη μέρη, όμως με την κατάλληλη παραμετροποίηση των αισθητήρων και των κατωφλίων φωτεινότητας, το σύστημα μπορεί να λειτουργήσει και σε φωτεινά μέρη.

Επίσης η εργασία έδειξε ότι η κατασκευή συστήματος αντανάκλασης φωτεινής πηγής σε επιθυμητή περιοχή, είναι εφικτή και η υλοποίηση της παρέχει καλά αποτελέσματα. Οι δοκιμές που έγιναν είχαν σκιώδη επιθυμητή περιοχή, κάτι όμως που ανταποκρίνεται στις πραγματικές συνθήκες λειτουργίας του συστήματος.

Πέρα από τα δυο αυτά βασικά αποτελέσματα, υπάρχουν συμπεράσματα εξαιρετικά σημαντικά, τα οποία αναφέρονται συνοπτικά παρακάτω:

- Απαραίτητο για την ανάπτυξη της εφαρμογής, υπήρξε ανοιχτό λογισμικό το οποίο είχε δημιουργηθεί από άλλες ομάδες προγραμματιστών. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι το λογισμικό που πρόσφερε η εταιρεία κατασκευής των K8000 και K8005, δεν λειτουργούσε σε σύγχρονα λειτουργικά συστήματα και απαιτούσε παλαιότερες εκδόσεις. Αντίθετα, ο κώδικας που είχε δημιουργηθεί στα πλαίσια του λειτουργικού συστήματος Linux, ήταν ανοιχτός και επέτρεπε την τροποποίηση του. Με αυτό το χαρακτηριστικό, ήταν εφικτή η χρήση του στις σύγχρονες εκδόσεις του λειτουργικού, και κυρίως η τροποποίηση του, ώστε να προστεθεί καινούρια λειτουργικότητα και να συνεργαστεί με σύγχρονες τεχνολογίες, όπως η Java.
- Στο σημείο αυτό θα πρέπει να επισημανθεί ο κεντρικός ρόλος που κατέχει στην ανάπτυξη ενός τέτοιου πολύπλοκου και πολυδιάστατου συστήματος, οι μηχανισμοί αποσφαλμάτωσης. Επειδή το υλικό που χρησιμοποιήθηκε, περιστρεφόμενη βάση, K8000, K8005 και αισθητήρες, αναπτύχθηκε και συναρμολογήθηκε στα πλαίσια της εργασίας, και επειδή δεν υπήρχε κάποιο αντίστοιχο σύστημα το οποίο να λαμβάνεται σαν αναφορά, παρουσιάστηκαν πολλά προβλήματα και σφάλματα. Για παράδειγμα η βάση που

παρουσιάστηκε στην εργασία δεν αποτελεί την πρώτη έκδοση της. Η πρώτη βάση που σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε κινούσε τον έναν άξονα με κοχλία. Όπως όμως διαπιστώθηκε, η βάση αυτή παρουσίαζε δυσκολίες κίνησης και επίσης ήταν πάρα πολύ αργή. Ένα άλλο παράδειγμα είναι ότι αρχικά αποπειράθηκε η κίνηση της βάσης χωρίς κιβώτια ταχυτήτων. Όμως οι βηματικοί κινητήρες δεν μπορούσαν να παρέχουν την απαιτούμενη ροπή και για αυτό έγινε έρευνα και τοποθετήθηκαν τα κατάλληλα κιβώτια. Επίσης η συναρμολόγηση των πλακετών δεν ήταν πετυχημένη με την πρώτη απόπειρα. Πολλά προβλήματα αντιμετωπίστηκαν και η ανάγκη για μελέτη εις βάθος του υλικού ήταν απαραίτητη. Για παράδειγμα με την χρήση, μετρητών τάσης, μπόρεσαν να εντοπιστούν διάφορα προβλήματα και να επιλυθούν. Τέτοια προβλήματα ήταν εσφαλμένη τοποθέτηση εξαρτημάτων, προβληματικές κολλήσεις, ελαττωματικά ψηφιακά κυκλώματα, αποτυχία υλικού κατά την διάρκεια των δοκιμών, προβληματικές συνδέσεις κ.α.. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι στα πρώτα στάδια υλοποίησης, δαπανήθηκαν τρεις βδομάδες για να διαπιστωθεί μετά από πολύ έρευνα, ότι το πρόβλημα που αντιμετωπιζόταν, οφειλόταν στην διαφορετική συμπεριφορά, που είχε ένα καλώδιο παράλληλης με αρσενικούς ακροδέκτες, από ένα καλώδιο με αρσενικό και θηλυκό ακροδέκτη, όταν αυτό συνδεόταν στην πλακέτα K8000. Ένα άλλο παράδειγμα είναι η σύνδεση του υλικού διεπαφής με το υλικό οδήγησης κινητήρων. Πολλά προβλήματα υπήρχαν στην πλακέτα K8005, στην τροφοδοσία της και στην επικοινωνία της με την πλακέτα K8000. Ο μηχανισμός αποσφαλμάτωσης, που διέθετε η πλακέτα, δυο κουμπιά τα οποία κινούν τους κινητήρες, υπήρξε ιδιαίτερα σημαντικός για την αντιμετώπιση των προβλημάτων. Άλλα προβλήματα αντιμετωπίστηκαν στην δημιουργία του λογισμικού οδήγησης. Σε αυτόν τον τομέα, η ύπαρξη λογισμικού, το οποίο ήδη λειτουργούσε, αποτέλεσε παράδειγμα προς υλοποίησης και εργαλείο αποσφαλμάτωσης του νέου οδηγού που δημιουργήθηκε στα πλαίσια της εργασίας. Η δημιουργία αρχείων αποσφαλμάτωσης και ειδικών εγγραφών στην βάση, βοήθησε εξαιρετικά στην ανάπτυξη και διόρθωση των προβλημάτων που είχε η εφαρμογή. Τέλος η χρήση δοκιμασμένων εργαλείων για την λήψη και επεξεργασία των εικόνων από τον ψηφιακό αισθητήρα εικόνας, αποτέλεσε και αυτή ένα σημαντικό εργαλείο για την παρακολούθηση της ορθής λειτουργίας του συστήματος. Επομένως έναν σύστημα σαν αυτό που υλοποιήθηκε στην εργασία, απαιτεί μηχανισμούς αποσφαλμάτωσης σε κάθε επίπεδο λειτουργίας.

- Η κατασκευή αισθητήρων φωτεινότητας είναι εξαιρετικά απλή και φθηνή, με την χρήση φωτοαντιστάσεων.
- Τα κιβώτια ταχυτήτων επιτρέπουν την υλοποίηση τέτοιων συστημάτων, με μικρούς βηματικούς κινητήρες, κάτι που μειώνει το κόστος του συστήματος.
- Με την χρήση αισθητήρων είναι εφικτή η αντιμετώπιση των προβλημάτων που προκύπτουν από την μη ακριβή κίνηση των αξόνων. Τα συστήματα αυτά δεν απαιτούν σερβομηχανές, γιατί καθορίζουν την κίνηση τους με βάση τις τιμές των αισθητήρων.
- Εξαιρετικά σημαντική για την ανίχνευση της φωτεινής πηγής, είναι η ύπαρξη ανιχνευτών ορίων και αυτό γιατί, επιτρέπουν τον καθορισμό του πεδίου τιμών, που μπορούν να πάρουν οι αισθητήρες φωτεινότητας, για όλο τον χώρο που επιτρέπεται η κίνηση της βάσης. Με καθορισμένο το πεδίο τιμών, μπορούν να εντοπιστούν τα μέγιστα σημεία φωτεινότητας και να πραγματοποιηθούν οι κατάλληλες κινήσεις, ώστε να τοποθετηθεί η βάση στα σημεία αυτά.
- Αισθητήρες ανίχνευσης γωνίας υλοποιήθηκαν με ποτενσιόμετρα στους άξονες κίνησης, και τα αποτελέσματα των μετρήσεων έδειξαν, ικανοποιητική ακρίβεια.

Παρόλα αυτά οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν δεν είναι αρκετές για την επιβεβαίωση της πρότασης αυτής.

- Με την εργασία αυτή αποδείχθηκε πόσο σημαντικός είναι ένας υπολογιστής στην σχεδίαση και ανάπτυξη τέτοιων συστημάτων. Ο υπολογιστής λόγω του μεγάλου πλήθους υπηρεσιών, που προσφέρει αποτελεί ένα εξαιρετικά ευέλικτο και αποτελεσματικό εργαλείο για έρευνες τέτοιου είδους. Ένας υπολογιστής διαθέτει πλέον εξειδικευμένες εφαρμογές, οι οποίες μπορούν να βοηθήσουν στην σχεδίαση του συστήματος, υλικού και λογισμικού, διαθέτει μεγάλη επεξεργαστική ισχύ και μπορεί να εκτελέσει πολύπλοκους αλγορίθμους, όπως είναι αυτοί της μηχανικής όρασης. Επίσης διαθέτει μια σειρά από εξαρτήματα, όπως παράλληλη, usb, Bluetooth, τα οποία επιτρέπουν την σύνδεση του με άλλα συστήματα. Αν και στα αρχικά στάδια της ανάπτυξης υπήρχε η σκέψη να αγοραστεί εξειδικευμένο υλικό για την υλοποίηση του συστήματος, τελικά ο προσωπικός υπολογιστής υπήρξε επαρκής και μάλιστα εξαιρετικά ευέλικτος.
- Εξαιρετικά σημαντικό ρόλο στην επίτευξη των στόχων της εργασίας αυτής διαδραμάτισε η γρήγορη και συνεχής πρόσβαση στο διαδίκτυο. Σχεδόν όλο το θεωρητικό κομμάτι της εργασίας, αντλήθηκε από τις ηλεκτρονικές βιβλιοθήκες, που προσφέρει το πανεπιστήμιο, με την χρήση εικονικού ιδιωτικού δικτύου (virtual private network). Σημαντικά κομμάτια από το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε, αντλήθηκαν επίσης από το διαδίκτυο, μέσω τόπων, που φιλοξενούν ελεύθερο λογισμικό (sourceforge). Καθοριστικό ρόλο για την εύρεση όλων αυτών των πληροφοριών διαδραμάτισε η μηχανή αναζήτησης google, όπως επίσης πολλές πληροφορίες βρέθηκαν από την παγκόσμια ηλεκτρονική βιβλιοθήκη, wiki. Μια άλλη πηγή πληροφοριών ειδικά για το υλικό, υπήρξαν, ηλεκτρονικά καταστήματα εταιριών. Τέλος για την κατασκευή της βάσης περιστροφής, βοήθησαν σημαντικά, βίντεο που ήταν προσπελάσιμα μέσα από τον διαδικτυακό τόπο, youtube.

7 Βελτιώσεις

Το σύστημα που κατασκευάστηκε, μπορεί να αποτελέσει την βάση για την δημιουργία πολλών χρήσιμων συστημάτων. Μια από τις χρήσεις του είναι η κατεύθυνση της αντανάκλασης του ήλιου σε σκιώδης περιοχές όπου βρίσκονται ανθοφόρα φυτά. Τα ανθοφόρα φυτά προκειμένου να βγάλουν άνθη, απαιτούν την λήψη ηλιακής ακτινοβολίας, για χρονικά διαστήματα, περίπου οκτώ ωρών. Αυτό όμως, ειδικά στις πόλεις όπου υπάρχουν πολλά κτίρια, είναι εξαιρετικά δύσκολο. Το σύστημα που κατασκευάστηκε θα αποτελέσει την βάση για την δημιουργία ενός τέτοιου συστήματος. Οι αλλαγές που απαιτούνται σχετίζονται κυρίως με την βάση περιστροφής. Θα πρέπει να κατασκευαστεί μια βάση η οποία θα είναι πιο μεγάλη έτσι ώστε να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις της εφαρμογής. Λόγω της μεγαλύτερης βάσης και κατ' επέκταση των ισχυρότερων βηματικών κινητήρων που θα απαιτούνται, θα πρέπει να πραγματοποιηθούν τροποποιήσεις στο υλικό οδήγησης. Τέτοιου είδους τροποποιήσεις έχουν ήδη μελετηθεί και είναι πολύ απλό να πραγματοποιηθούν. Ουσιαστικά χρειάζεται αλλαγή των τρανζίστορ, που οδηγούν τον κινητήρα. Επίσης θα πρέπει να ληφθεί μέριμνα για την αντιμετώπιση των καιρικών φαινομένων ειδικά των ισχυρών ανέμων. Αισθητήρες ανέμων και μηχανισμοί ακινητοποίησης θα πρέπει να ενσωματωθούν, έτσι ώστε το σύστημα να μην υποστεί ζημιά σε περίπτωση ακραίων καιρικών φαινομένων. Μια άλλη παράμετρος που θα πρέπει να μελετηθεί είναι η αποφυγή πρόκλησης πυρκαγιάς. Αυτό θα επιτευχθεί με την χρήση μηχανισμών ορίων, έτσι ώστε να μην αντανάκλαται ο ήλιος σε μην επιθυμητά όρια. Επιπλέον θα γίνεται τακτική κίνηση των κινητήρων, ώστε να μην παραμένει στάσιμη η αντανάκλαση σε ένα σημείο και αναπτύσσονται μεγάλες θερμοκρασίες. Επιπρόσθετα θα ενσωματωθούν αισθητήρες θερμότητας για την μέτρηση της θερμοκρασίας που αναπτύσσεται από την αντανάκλαση. Μια άλλη βελτίωση του συστήματος θα μπορούσε να είναι η δημιουργία υλικού με μικροελεγκτή που θα εκτελεί τις διάφορες ενέργειες αυτόνομα χωρίς την χρήση προσωπικού υπολογιστή. Αυτό θα περιορίσει αισθητά το κόστος υλοποίησης, θα μειώσει τις ενεργειακές ανάγκες, θα αυξήσει την αυτονομία και θα μηδενίσει τα προβλήματα καλωδίωσης. Πέρα από αυτές τις βελτιώσεις θα ήταν θεμιτή η τροποποίηση του αλγορίθμου εύρεσης αντανάκλασης. Η ενσωμάτωση εξειδικευμένων αλγορίθμων μηχανικής όρασης θα βελτίωνε την απόδοση του συστήματος και θα περιόριζε τα λάθη. Ένα λογισμικό ανοιχτού κώδικα που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί θα ήταν το OpenCV.

Μια άλλη χρήση του συστήματος θα μπορούσε να είναι η κατεύθυνση της αντανάκλασης σε μια ομάδα από ηλιακούς θερμοσίφωνες, ώστε να παράγουν ζεστό νερό κατά τις πρωινές και απογευματινές ώρες. Για αυτήν την χρήση θα ήταν θεμιτή η ύπαρξη περισσοτέρων από έναν ηλιοστάτη, έτσι ώστε η αντανάκλαση τους να συγκεντρώνεται και να θερμαίνει περισσότερο τον ηλιακό θερμοσίφωνα. Για την αποτελεσματική εστίαση μπορούν να χρησιμοποιηθούν λέιζερ διαφορετικού χρώματος ή σχήματος. Στην περίπτωση αυτή το σύστημα θα πρέπει να επεξεργάζεται έγχρωμες φωτογραφίες, να εντοπίζει τα λέιζερ και να διορθώνει την θέση των ηλιοστατών, ανάλογα με την απόσταση που έχει κάθε λέιζερ από τον επιθυμητό στόχο.

Φυσικά η εφαρμογή μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για φωτοβολταϊκά συστήματα και να λειτουργεί σαν συσκευή παρακολούθησης, της πορείας του ήλιου. Σε αυτήν την περίπτωση θα πρέπει να τροποποιηθεί ο αλγόριθμος εύρεσης φωτεινών πηγών, έτσι ώστε, πέρα από την αρχική ανίχνευση της θέσης του ήλιου, να προσαρμόζει διαρκώς την θέση της βάσης περιστροφής, ώστε να παρακολουθεί την πορεία του.

8 Ορολογία Συντμήσεις Αρκτικόλεξα

8.1 Ορολογίας

Πίνακας 7: Πίνακας Ορολογίας

Photoresistor	Φωτοαντίσταση
Sleep mode	Ανενεργή κατάσταση
Microcontroller	Μικροελεγκτή
Driver	Οδηγός
Photodiode	Φωτοδίοδος
Inclionometers	Αισθητήρες κλίσης
Relay	Ηλεκτρονόμος
Led	Ψηφιακός λαμπτήρας
Fuzzy logic	Ασαφής Λογική
CCD	Ψηφιακός Αισθητήρας Εικόνας
Threshold	Τιμή ορίου
Programmable logic controller	Ελεγκτή προγραμματιζόμενης λογικής
Adaptive neuro-fuzzy inference system	Προσαρμοζόμενο νευρωνικό συμπερασματικό σύστημα ασαφής λογικής
Direct radiation	Απευθείας ακτινοβολία
Diffuse radiation	Διάχυτη ακτινοβολία
Albedo radiation	Ανακλώμενη στο έδαφος ακτινοβολία
Global radiation	Ολική ακτινοβολία
Irradiance	Ακτινοβολία
Irradiation	Ακτινοβόλιση
Pulse frequency	Ρυθμός παλμών
Positioning error	Λάθος γωνίας

Σχεδίαση Αυτοελεγχόμενων Ηλιακών Συστημάτων

Variable reluct angle	Μεταβλητής μαγνητικής αντίστασης
Permanent –magnet	Μόνιμου μαγνήτη
Hibrid	Υβριδικοί
Holding torque	Συγκρατούμενη ροπή
Detent torque	Ανασταλτική ροπή
Residual torque	Παραμένουσα ροπή
Stepping rate	Ποσοστό βήματος
Pin	Ακίδα
Acknowledge	Βεβαίωση
Busy	Απασχολημένο
Auto feed	Αυτόματη τροφοδοσία
GearBox	Κιβώτιο Ταχυτήτων
Clock stretching	Επιμήκυνση ρολογιού
Arbitration	Διαιτησία
Java virtual machine	Εικονική Java μηχανή
Optocoupler	Οπτικά μονωμένη
Graphic component	Γραφικό μέρος
Frame	Γραφικό παράθυρο
Thread	Νήμα
Virtual private network	Εικονικό ιδιωτικό δίκτυο

8.2 Συντμήσεις- Αρκτικόλεξα

Πίνακας 8: Πίνακας συντμήσεων

JNI	Java native interface
DC	<i>Direct current</i>
LDR	Light dependent resistors
CCD	<i>Charge-coupled device</i>
PLC	<i>Programmable logic controller</i>
ANFIS	Adaptive neuro-fuzzy inference system
SDA	Serial data line
Bit	Basic unit of <i>information</i>
SCL	Serial clock line

9 Βιβλιογραφία

- [1] <http://zone.ni.com/devzone/cda/ph/p/id/287> (step motor)
- [2] <http://ams2000.com/stepping101.html>
- [3] http://en.wikipedia.org/wiki/Stepper_motor
- [3] Colin D.Simpson Industrial Electronics
<http://computer.howstuffworks.com/parallel-port1.htm> (Παράλληλη)
- [5] [http://en.wikipedia.org/wiki/Transmission_\(mechanics\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Transmission_(mechanics))
- [6] <http://www.pololu.com/catalog/product/77> (gearbox-motor)
- [7] <http://bvsystems.be/k8000.php>
- [8] <http://www.esr.co.uk/velleman/k8000.htm>
- [9] Industrial Circuits Application Note Drive circuit
www.solarbotics.net/library/pdflib/pdf/drive.pdf
- [10] <http://en.wikipedia.org/wiki/I2C> (wiki I2C)
- [11] Algifri, A.H.; Al-Towaie, H.A. Efficient orientation impacts of box-type solar cooker on the cooker performance. *Solar Energ.* 2001, 70, 165-170. (5)
- [12] Wen, J.; Smith, T.F. Absorption of solar energy in a room. *Solar Energy* 2002, 72, 283-297. (6)
- [13] Hj Mohd Yakup, M.A.; Malik, A.Q. Optimum tilt angle and orientation for solar collector in Brunei Darussalam. *Renew. Energ.* 2001, 24, 223-234 (7)
- [14] Carden, P.O. Steering a field of mirrors using a shared computerbased controller. *Sol. Energ.* 1977, 20, 343-355. (8)
- [15] Hughes, R.O. Effects of tracking errors on the performance of point focusing solar collectors. *Sol. Energ.* 1980, 24, 83-92.
- [16] Badescu, V. Theoretical derivation of heliostat tracking error distribution. *Sol. Energ.* 2008, 82, 1192-1197.
- [17] Maish, A. B. Performance of a self-aligning solar array tracking controller. In *Proceedings of the IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Kissimmee, FL, USA, May 21-25, 1990.*

- [18] Agarwal, A.K. Two axis tracking system for solar concentrators. *Renew. Energ.* 1992, 2, 181-182. *Sensors* 2009, 9 3889
- [19] Enslin, J.H.R. Maximum power point tracking: a cost saving necessity in solar systems. *Renew. Energ.* 1992, 2, 543-549.
- [20] Kalogirou, S.A. Design and construction of a one-axis sun-tracking system. *Sol. Energ.* 1996, 57, 465-469.
- [21] Roth, P.; Georgieg, A.; Boudinov, H. Design and construction of a system for sun-tracking, *Renew. Energ.* 2004, 29, 393-402.
- [22] 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.
- [23] Kim, I.S. Robust maximum power point tracker using sliding mode controller for the three-phase grid-connected photovoltaic system. *Sol. Energ.* 2007, 81, 405-414.
- [24] Lorenz, W. Design guidelines for a glazing with a seasonally dependent solar transmittance. *Sol. Energ.* 1998, 63, 79-96.
- [25] Blanco-Muriel, M.; Alarcón-Padilla, D.C.; López-Moratalla, T.; Lara-Coira, M. Computing the solar vector. *Sol. Energ.* 2001, 70, 431-441.
- [26] Michalsky, J. J. The astronomical almanac's algorithm for approximate solar position. *Sol. Energ.* 1988, 40, 227-235.
- [27] Reda, I.; Andreas, A. Solar position algorithm for solar radiation applications. *Sol. Energ.* 2004, 76, 577-589.
- [28] Chen, Y.T.; Chong, K.K.; Lim, C.S. Report of the first prototype of non-imaging focusing heliostat and its application in high temperature solar furnace. *Sol. Energ.* 2002, 72, 531-544.
- [29] Chong, K.K.; Siaw, F.L.; Wong, C.W.; Wong, G.S. Design and construction of non-imaging planar concentrator for concentrator photovoltaic system. *Renew. Energ.* 2009, 34, 1364-1370.
- [30] Chong, K.K.; Wong, C.W. General formula for on-axis sun tracking system and its application in improving tracking accuracy of solar collector. *Sol. Energ.* 2009, 83, 298-305.
- [31] *Solar Energy Engineering - Processes and Systems* 2009 S. Kalogirou

[32] Raasakka, B. Solar skylight apparatus. *Renew. Energ.* 1997, 12, 117.

[33] Kowalski S. Solar powered light fixture. *Renew. Energ.* 1997, 11, 399.

[34] Popat, P.P.; Arlington, V.A. Autonomous, low-cost, automatic window covering system for daylighting applications. *Renew. Energ.* 1998, 13, 146. [35] Badescu, V. Different strategies for maximum solar radiation collection on Mars surface. *Acta Astronaut.* 1998, 43, 409-421.

[36] Hj Mohd Yakup, M.A.; Malik, A.Q. Optimum tilt angle and orientation for solar collector in Brunei Darussalam. *Renew. Energ.* 2001, 24, 223-234.

[37] Bari, S. Optimum slope angle and orientation of solar collectors for different periods of possible utilization. *Energy Convers. Manage.* 2000, 41, 855-860. 9. Bairi, A. Method of quick determination of the angle of slope and the orientation of solar collectors without a sun tracking system. *Solar Wind Technol.* 1990, 7, 327-330.

[38] McFee, R.H. Power collection reduction by mirror surface nonflatness and tracking error for a central receiver solar power system. *Appl. Opt.* 1975, 14, 1493-1502.

[39] Semma, R. P.; Imamura, M. S. Sun tracking controller for multi-kW photovoltaic concentrator system. In *Proceedings of the 3rd International Photovoltaic Sol Energy Conf, Cannes, France, Oct. 27-31, 1980.*

[40] Badescu, V. Une evaluation probabiliste pour l'erreur d'orientation des heliostats. *Rev. Phys. Appl.* 1982, 17, 421-434.

[41] Akhmedyarov, K.A.; Bazarov, B.A.; Ishankuliev. B.; Karshenas, K.E.; Schaimerdangulyev, G. Economic efficiency of the FV-500 solar photoelectric station with automatic tracking of the sun. *Appl. Solar Energ.* 1986, 22, 44-47.

[42] Brown, D.G.; Stone, K.W. High accuracy/low cost tracking system for solar concentrators using a neural network. In *Proceedings of the 28th Intersociety Energy Conversion Engineering Conference, Atlanta, GA, USA, Aug. 8-13, 1993.*

[43] Stone, K.W.; Sutherland J.P. Solar two heliostat tracking performance. In *Proceedings of International Solar Energy Conference, Washington DC, USA, Apr. 27-30, 1997.*

[44] Khalifa A.N.; Al-Mutawalli S.S. Effect of two-axis sun tracking on the performance of compound parabolic concentrators. *Energ. Convers. Manage.* 1998, 39, 1073-1079.

- [45] Yousef, H.A. Design and implementation of a fuzzy logic computer-controlled sun tracking system. In Proceedings of IEEE International Symposium on Industrial Electronics, Bled, Slovenia, Jul. 12-16, 1999.
- [46] Kim, T.Y.; Ahn, H.G.; Park, S.K.; Lee, Y.K. A novel maximum power point tracking control for photovoltaic power system under rapidly changing solar radiation. In Proceedings of ISIE, Pusan, Korea, Jun. 12-16, 2001.
- [47] Falbel, G.; Puig-Suari, J.; Peczalski, A. Sun oriented and powered, 3 axis and spin stabilized cubesats. In Proceedings of IEEE Aerospace Conference, Big Sky, MT, USA, Mar. 9-16, 2002.
- [48] Urbano, J.A.; Matsumoto, Y; Asomoxa, R. 5 Wp PV module-based stand-alone solar tracking system. In Proceedings of 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Osaka, Japan, May 11-18, 2003.
- [49] Jiang, W.; Cao, M. Emulation sunflower. In Proceedings of the International Symposium on Test and Measurement, Shenzhen, China, Jun. 1-5, 2003.
- [50] Luque-Heredia, I.; Martin, C.; Mananes, M.T.; Moreno, J.M., Auger, J.L.; Bodin, V.; Alonso, J.; Diazr, V.; Sala, G. A subdegree precision sun tracker for 1000X microconcentrator modules, In Proceedings of the 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Osaka, Japan, May 11-18, 2003.
- [51] Georgiev, A.; Roth, P.; Olivares, A. Sun following system adjustment at the UTFSM. *Energ. Convers. Manage.* 2004, 45, 1795-1806.
- [52] Abdallah, S. The effect of using sun tracking systems on the voltage-current characteristics and power generation of flat plate photovoltaics. *Energ. Convers. Manage.* 2004, 45, 1671-1679.
- [53] Al-Mohamad, A. Efficiency improvements of photo-voltaic panels using a sun-tracking system. *Appl. Energ.* 2004, 79, 345-354.
- [54] Aiuchi, K.; nakamura, M.; Yoshida, K.; Katayama, Y.; nakamura, K. Sun tracking photo-sensor for solar thermal concentrating system. In Proceedings of International Solar Energy Conference, Portland, OR, USA, Jul. 11-14, 2004.
- [55] Alata, M.; Al-Nimr, M.A.; Qaroush, Y. Developing a multipurpose sun tracking system using fuzzy control. *Energ. Convers. Manage.* 2005, 46, 1229-1245.
- [56] McCluney, R. Passive optical solar tracking system. *Appl. Optics* 1983, 22, 3433-3439.

- [57] Al-Naima, F.M.; Yaghobian, N.A. Design and construction of a solar tracking system. *Solar Wind Technol.* 1990, 7, 611-617.
- [58] Beshears, D. L.; Capps, G. J.; Earl, D. D.; Jordan, J. K.; Maxey, L. C.; Muhs, J. D.; Leonard, T. M. Tracking systems evaluation for the Hybrid Lighting System. In *Proceedings of International Solar Energy Conference, Kohala Coast, HI, USA, Mar. 15-18, 2003.*
- [59] Abdallah, S.; Nijmeh, S. Two axes sun tracking system with PLC control. *Energ. Convers. Manage.* 2004, 45, 1931-1939.
- [60] Chen, F.; Feng, J.; Hong, Z. 2006 Digital sun sensor based on the optical vernier measuring principle. *Meas. Sci. Technol.* 2006, 17, 2494-2498.
- [61] Chen, F.; Feng, J. Analogue sun sensor based on the optical nonlinear compensation measuring principle. *Meas. Sci. Technol.* 2007, 18, 2111-2115.
- [62] Grena, R. An algorithm for the computation of the solar position. *Sol. Energy* 2008, 82, 462-470.
- [63] Chen, Y.T.; Lim, B.H.; Lim, C.S. General sun tracking formula for heliostats with arbitrarily oriented axes. *J. Sol. Energ. Eng.* 2006, 128, 245-250.