



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**« ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΗΛΙΟΣΤΑΤΙΚΟΥ
ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΥ »**

Αλεξιάδης Δημήτριος

ΑΜ 4853

Επιβλέπων καθηγητής : Καβουσσανός Μανώλης

Ηράκλειο 2011

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. <u>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</u>	3
2. <u>ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΙΣΗ</u>	5
2.1 <u>ΑΝΑΣΚΟΠΙΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ</u> <u>ΗΛΙΑΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ</u>	5
2.2 <u>ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΒΡΟΓΧΟΥ</u>	7
2.3 <u>ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΟΙΚΤΟΥ ΒΡΟΓΧΟΥ</u>	10
3. <u>ΜΕΛΕΤΗ ΘΕΣΗΣ ΗΛΙΟΥ</u>	13
3.1 <u>ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ</u>	13
3.1.1 <u>ΓΩΝΙΑ ΑΠΟΚΛΙΣΗΣ ΤΟΥ ΗΛΙΟΥ(δ)</u>	13
3.1.2 <u>ΑΖΙΜΟΥΘΙΟ ΚΑΙ ΥΨΟΣ ΗΛΙΟΥ</u>	14
3.2 <u>ΜΕΛΕΤΗ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΑΣ</u>	15
4 <u>ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ</u>	19
4.1 <u>ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ</u>	19
4.1.1 <u>ΜΕΡΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ</u>	19
4.1.2 <u>ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΙΝΗΣΗΣ</u>	20
4.1.2.1 <u>ΒΗΜΑΤΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ</u>	20
4.1.2.2 <u>ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΚΙΝΗΣΗΣ</u>	22
4.1.3 <u>ΜΙΚΡΟΕΛΕΓΚΤΗΣ</u>	23
4.1.4 <u>ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ</u>	23
4.1.5 <u>ΣΥΣΤΗΜΑ ΨΥΞΗΣ</u>	23
4.1.6 <u>ΛΟΙΠΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ</u>	25
4.2 <u>ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ</u>	26
4.2.1 <u>ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΘΕΣΗΣ ΗΛΙΟΥ</u>	26
4.2.2 <u>ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ</u>	28
4.2.3 <u>ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΚΙΝΗΣΕΩΝ</u>	28
4.2.4 <u>ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΣΕ C</u>	31
5. <u>ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ</u>	50
5.1 <u>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</u>	50
5.2 <u>ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ</u>	50
6. <u>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</u>	55
7. <u>ΒΕΛΤΙΩΣΕΙΣ</u>	56
8. <u>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</u>	58

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε λιγότερο από 0.5'' εισέρχεται στην ατμόσφαιρα της γης η ακτίνα φωτός, που ξεκινάει από την επιφάνεια του Ήλιου, προσφέροντας έτσι πληθώρα οφελών. Ανάμεσα σε αυτά είναι και η αξιοποίηση αυτής της ενέργειας και η μετατροπή της σε ηλεκτρική. Αυτή η τεχνολογία μετράει ήδη 172 χρόνια, (1839 *Alexandre Edmund Becquerel*) όπου έγινε η πρώτη παρατήρηση για το πως είναι δυνατόν να παραχθεί ηλεκτρικό ρεύμα από την ηλιακή ενέργεια. Ωστόσο, η πρώτη συσκευή κατασκευάστηκε στην δεκαετία 1940 με απόδοση 6%. Μεχρι σήμερα έχουν γίνει άλματα στις τεχνολογίες που χρησιμοποιούν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ανεβάζοντας την απόδοση. Νέες τεχνολογίες έκαναν την εμφάνιση τους όπως ο ηλιακός πύργος, που συγκεντρώνει την ηλιακή ακτινοβολία σε ένα σημείο, προκαλώντας αύξηση της θερμοκρασίας με αποτέλεσμα την παραγωγή ατμού, που χρησιμοποιείται σε ατμοστρόβιλο για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος σε γεννήτρια.

Η εκπόνηση αυτής της πτυχιακής εργασίας αφορά μια συσκευή που θα υπολογίζει τη θέση του ηλίου και θα κατευθύνει τις ηλιακές ακτίνες σε ένα σημείο κατά τη διάρκεια της μέρας. Στα πλαίσια της εργασίας σχεδιάστηκε ένα σύστημα δυο αξόνων, κινούμενων με δυο βηματικά μοτέρ και ένα μικροελεγκτή για την οδήγηση της κατασκευής στη σωστή θέση, ακολουθώντας ένα πρόγραμμα γραμμένο σε γλώσσα c. Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μια σύντομη ιστορική ανασκόπηση στα συστήματα παρακολούθησης της ηλιακής κίνησης και αναφορά στα κλειστού και ανοικτού βρόγχου συστήματα.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι βασικές έννοιες που σχετίζονται με τον προσδιορισμό της θέσης του ήλιου καθώς και της ανάκλασης, όπως και το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε στην συγκεκριμένη εργασία. Στο τέταρτο κεφάλαιο παρατίθενται οι τεχνολογίες που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση της εργασίας καθώς και οι αρχές λειτουργίας βηματικών κινητήρων, το είδος και ο τρόπος οδήγησης τους· ακολουθεί η αρχιτεκτονική του και κατόπιν αναλύεται κάθε τμήμα του. Στα επόμενα κεφάλαια περιγράφεται το πειραματικό μέρος της πτυχιακής, τα αποτελέσματα, τα συμπεράσματα και τέλος οι βελτιώσεις που θα μπορούσαν να συμβάλουν στην δημιουργία ενός τελικού προϊόντος.

2 ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

2.1 Ιστορική ανασκόπηση συστημάτων παρακολούθησης ηλιακής κίνησης

Η ιστορία της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από την ηλιακή ακτινοβολία ξεκίνησε όπως αναφέρθηκε το 1839, αλλά οι πρώτες χρήσεις αναφέρονται στις δεκαετίες του 1940-50 με τη μορφή φωτοβολταϊκών, χρησιμοποιώντας σαν πρώτο συστατικό το πυρίτιο με απόδοση περίπου 6%. Λόγω του αυξημένου ενδιαφέροντος τέτοιων ειδών τεχνολογιών, κυρίως για την προστασία του περιβάλλοντος αλλά και για διαστημικές χρήσεις, όπου η ηλιακή ενέργεια είναι η μόνη που μπορεί να συσσωρεύεται χωρίς να απαιτεί άλλες πρώτες ύλες, πραγματοποιήθηκαν μεγάλα ερευνητικά άλματα. Απόρροια αυτών των αλμάτων είναι η μεγαλύτερη απόδοση των φωτοβολταϊκών και η ευρεία χρήση θερμοηλιακών συστημάτων όπως ηλιακοί θερμοσίφωνες για την εξοικονόμηση της ηλεκτρικής ενέργειας.[1]

Ένα από τα τελευταία επιτεύγματα του τομέα είναι η κατασκευή θερμοηλιακών σταθμών, όπως αυτού που επιχειρεί η Ισπανία στην περιοχή της Σεβίλλης · 624 κινούμενοι καθρέφτες ανακλούν τις ακτίνες του ηλίου σε μια μικρή εστία στην κορυφή ενός πύργου, όπου η θερμοκρασία αυξάνεται έως 1000 βαθμούς Κελσίου. Η θερμότητα προκαλεί το βρασμό ενός υγρού και παράγει ατμό που κινεί τις ηλεκτρογεννήτριες.[2,3]



Εικόνα 1 Θερμοηλιακός σταθμός Ισπανία

Αναφορές για τη χρήση της ηλιακής ακτινοβολίας υπάρχουν από τα αρχαία χρόνια που ο Αρχιμήδης τα χρησιμοποίησε για την καταστροφή Ρωμαϊκών πλοίων, με παραβολικά ηλιακά κάτοπτρα, όπως αποδείχτηκε από το μηχανικό Ιωάννη Σακκά το 1973. [4]

Παρόλα αυτά, η αυτοματοποίηση των κατόπτρων ήρθε το 1975, που παρουσιάστηκε ένα σύστημα αυτόματου εντοπισμού της θέσης του ήλιου χρησιμοποιώντας έναν αλγόριθμο, όπου το σφάλμα ήταν 0.5-1 μοίρα. Αρκετά χρόνια αργότερα, χρησιμοποιήθηκε ένας απλός μικροεπεξεργαστής, για να προσαρμόζει τις θέσεις ηλιακών συλλεκτών ώστε να δείχνουν προς τον ήλιο ανά πάσα στιγμή κατά τη διάρκεια της μέρας.[5]

Με την ταχεία πρόοδο της τεχνολογίας των υπολογιστών και των συστημάτων ελέγχου εφευρέθηκαν πολλά συστήματα παρακολούθησης του ήλιου, σχεδιασμένα για να μεγιστοποιούν την αποτελεσματικότητα των θερμικών ηλιακών και φωτοβολταϊκών συστημάτων. Σε γενικές γραμμές μπορούμε να πούμε πως τα συστήματα αυτά ταξινομούνται σε δυο κατηγορίες ανάλογα τον τρόπο λειτουργίας τους : σε κλειστού βρόγχου και σε ανοικτού βρόγχου - μερικοί από τους σημαντικότερους αναφέρονται στον παρακάτω πίνακα.

Algorithm	References	Error	Gain in Energy Production Compared with a Non-tracking System
Closed-loop Control	Akhmedyarov <i>et al.</i> (1986)	-	40%
	Maish (1990)	1°	-
	Enslin (1992)	-	10-15%
	Brown <i>et al.</i> (1993)	< 0.01°	-
	Kalogirou (1996)	0.05-0.2°	-
	Khalifa <i>et al.</i> (1998)	-	75%
	Falbel <i>et al.</i> (2002)	0.05°	-
	Al-Mohamad (2004)	-	20%
	Abdallah (2004)	-	15-44%
	Aiuchi <i>et al.</i> (2004)	0.1°	-
Open-loop Control	McFee (1975)	0.5-1°	-
	Blanco-Muriel <i>et al.</i> (2001)	0.08°	-
	Abdallah <i>et al.</i> (2004)	-	41%
	Reda <i>et al.</i> (2004)	0.0003°	-
	Chen F. <i>et al.</i> (2006)	0.02°	-
	Chen F. <i>et al.</i> (2007)	0.2°	-
	Grena (2008)	0.0027°	-
	Chong <i>et al.</i> (2009)	-	-

Πίνακας 1 Σημαντικότερα συστήματα παρακολούθησης ηλιακής κίνησης

2.2 Συστήματα κλειστού βρόγχου

Τα συστήματα κλειστού βρόγχου βασίζουν τη λειτουργία τους σε αισθητήρια που εισάγουν τις παραμέτρους, όπως την φωτεινότητα που διακρίνουν σε έναν ελεγκτή και αυτός με την σειρά του προγραμματίζει την επόμενη κίνηση που πρέπει να κάνουν οι κινητήρες. Η αρχή σε τέτοιου είδους συστήματα έγινε το 1986, όταν ο Akhmedyarov αύξησε την παραγόμενη ενέργεια σε ένα ηλιακό φωτοβολταϊκό σταθμό από 357 W σε 500W, ενσωματώνοντας ένα αυτόματο σύστημα παρακολούθησης της κίνησης του ήλιου.[6,8]

Αρκετά χρόνια αργότερα, ο Maish ανέπτυξε ένα σύστημα ελέγχου που ονομαζόταν SolarTrak, και πρόσφερε τη δυνατότητα παρακολούθησης του ηλίου. Είχε την δυνατότητα να ελέγχεται από μακριά, όπως επίσης υποστήριζε μηχανικό τρόπο οδήγησης. Η παρακολούθηση που πρόσφερε ήταν σε ένα ή σε δυο άξονες κίνησης και ήταν πολύ εύκολο στην εγκατάσταση του. Το σύστημα πρόσφερε τη δυνατότητα αυτόματης ρύθμισης των κινητήρων, έτσι ώστε να βελτιώνεται η ακρίβεια και η αξιοπιστία του. Πειράματα έδειξαν ότι σε μια πλήρη μέρα η ακρίβεια που είχε ήταν μεγαλύτερη από 0,1 μοίρες. 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.

Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που αντιμετώπιζαν ορισμένοι κατασκευαστές φωτοβολταϊκών συστημάτων, ήταν η κατανάλωση ενέργειας από τους ελεγκτές παρακολούθησης. Αυτός ήταν ο κύριος λόγος που ώθησε την εξέλιξη των ήδη υπάρχοντων συστημάτων σε χαμηλότερης κατανάλωσης, αλλά και ακόμα μεγαλύτερης ακρίβειας.

Η ακρίβεια είναι σημαντική διότι έτσι γίνεται εφικτή η μετατροπή ενός αναλογικού σήματος σε ψηφιακό, έτσι ώστε οι ελεγκτές να λαμβάνουν τις ενδείξεις από διάφορους αισθητήρες θέσεων, όπως ποτενσιόμετρα και ψηφιακούς αισθητήρες κλίσης. Τέτοιοι αισθητήρες μπορούσαν να πετύχουν ακρίβεια μέχρι και 0,05 μοίρες.

Ένα ακόμα σημαντικό χαρακτηριστικό των συστημάτων παρακολούθησης ήλιου, είναι η δυνατότητα ακινητοποίησης και η σύνδεση με αισθητήρες ανίχνευσης ισχυρών ανέμων. Η ικανότητα ακινητοποίησης μπορεί να μειώσει αισθητά το κόστος κατασκευής της βάσης του συστήματος.

Ένα άλλο σύστημα που παρουσιάστηκε το 1996 ήταν από τον Καλογύρου, 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 τη νύχτα. Οι έξοδοι των τριών αντιστάσεων τροφοδοτούσαν ένα ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου, το οποίο οδηγούσε ένα 12V DC κινητήρα χαμηλών στροφών. Στη συνέχεια ο κινητήρας δεχόταν σήματα, έτσι ώστε να στρέφει το συλλέκτη πάντα προς τον ήλιο.

Το σφάλμα που είχε, σχετικά με την παρακολούθηση της τροχιά του ήλιου, ήταν από 0,05 έως 0,2 ,ανάλογα με την ηλιοφάνεια. [7,8]

Ο Urbano 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 τη βοήθεια δυο 12 V DC κινητήρων, καθένας από τους οποίους είχε κατανάλωση 36W, οι οποίοι λάμβαναν ρεύμα από μια μπαταρία φορτιζόμενη από το φωτοβολταϊκό.

Ο Al -Mohamad [8] χρησιμοποίησε έναν ελεγκτή προγραμματιζόμενης λογικής (PLC) για τον 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.

Το 2005 ο Alata [8] σχεδίασε και προσομοίωσε τρία συστήματα παρακολούθησης. Το ένα ήταν ενός άξονα με τη γωνία κλίσης ίση με το γεωγραφικό πλάτος, το δεύτερο μπορούσε να παρακολουθήσει τον ήλιο και με τους 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 καθώς και εφαρμόζοντας έναν αφαιρετικό αλγόριθμο ομαδοποίησης, δημιουργήθηκαν 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 δημιουργήθηκαν χρησιμοποιήθηκαν αργότερα για τη δημιουργία ενός συστήματος παρακολούθησης ανοιχτού βρόχου.

2.3 Συστήματα ανοικτού βρόγχου

Τα συστήματα ανοικτού βρόγχου υπολογίζουν την ενέργεια που θα πραγματοποιήσουν, με βάση μόνο την παρούσα κατάσταση και κάποιον αλγόριθμο, χωρίς τη χρήση στοιχείων επαλήθευσης για να διαπιστωθεί αν έχουν πετύχει τον επιθυμητό στόχο. Τα συστήματα αυτά είναι πιο απλά και φθηνότερα συγκριτικά με εκείνα του κλειστού βρόγχου. Επιπλέον δεν παρατηρούν το αποτέλεσμα της ενέργειας τους και εξαιτίας αυτού, ένα σύστημα ανοικτού βρόγχου δεν μπορεί να αντιληφθεί πιθανά λάθη που συμβαίνουν κατά τη λειτουργία του. Τα συστήματα ανοικτού βρόγχου χρησιμοποιούν κάποιο μοντέλο υπολογισμού της κίνησης του ήλιου [8,9].

Το 1983, οι Al-Naima και Yaghobian [8,10] κατασκεύασαν ένα σύστημα παρακολούθησης του ήλιου, το οποίο μπορούσε να κινηθεί και στους δυο άξονες. Με τη βοήθεια ενός μικροεπεξεργαστή μπορούσε να παρακολουθήσει την πορεία του, με βάση ένα αστρονομικό μοντέλο υπολογισμού της θέσης του. Τα πειράματα έδειξαν, ότι το προτεινόμενο σύστημα προήγαγε καλύτερα αποτελέσματα από ένα συμβατικό σύστημα με αισθητήρες(κλειστού βρόγχου).

Αρκετά χρόνια αργότερα ο Lorenz [8,11] πρότεινε ένα σύνολο από σχεδιαστικές αρχές για παράθυρα, τα οποία θα αντανακλούν την ηλιακή ακτινοβολία το καλοκαίρι και θα την απορροφούν το 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 [8,12] υποστήριξε ότι στα συστήματα παρακολούθησης του ήλιου, που χρησιμοποιούν ελεγκτές ανοικτού βρόγχου απαιτείται η ακρίβεια υπολογισμού να είναι πολύ μεγάλη, ώστε να αυξάνεται η απόδοση τους και επίσης απαιτείται οι αλγόριθμοι να είναι υπολογιστικά απλοί, ώστε να είναι μικρό το κόστος τους.

Έχοντας αναλύσει υπάρχοντες αλγόριθμους υπολογισμού του ανύσματος του ήλιου, δημιούργησαν ένα νέο αλγόριθμο με βάση τον καθολικό χρόνο και την τοποθεσία, γραμμένο σε γλώσσα *c++* [24]. Η απόδοση του προτεινόμενου αλγορίθμου πιστοποιήθηκε, υπολογίζοντας τη θέση του ήλιου για 447.048 σημεία για τη χρονική περίοδο 1999-2015. Διαπιστώθηκε ότι, ο αλγόριθμος επέτρεπε τον υπολογισμό του ανύσματος του ήλιου με λάθος μικρότερο από 0,008 μοίρες. Ο πίνακας 2 δείχνει τα λάθη στον υπολογισμό της θέσης του ήλιου από τον αλγόριθμο του Blanco-Muriel (PSA) και του Michalsky, που είχε προταθεί το 1988 [8,13].

	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

Πίνακας 2 σύγκριση απόκλισης υπολογισμού μεταξύ PSA και Michalsky

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 ο Beshears [8,14] παρουσίασε ένα σύστημα, που βασιζόταν σε ένα 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 [8,15] σχεδίασαν ένα ηλεκτρομηχανικό σύστημα παρακολούθησης του ήλιου δυο αξόνων, το οποίο ελέγχονταν από έναν αλγόριθμο ανοιχτού βρόχου, υλοποιημένο σε ελεγκτή προγραμματιζόμενης λογικής (PLC). Το προτεινόμενο σύστημα αποτελούνταν 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 οδηγούσε στην αύξηση της ημερήσιας συλλογής 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 [8,16] παρουσίασαν μια απλή, βήμα προς βήμα, διαδικασία για τον υπολογισμό της θέσης του ήλιου. Οι παράμετροι που χρησιμοποίησαν, 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 [8,17] παρουσιάστηκε ένας νέος αλγόριθμος για τον υπολογισμό της θέσης του ήλιου με μεγάλη ακρίβεια. Λαμβάνοντας υπόψη τον καθολικό χρόνο, (Universal Time) την ημερομηνία και τη διαφορά μεταξύ καθολικού χρόνου και τοπικού ο αλγόριθμος υπολόγιζε τη γωνία που σχηματίζει η γη σε σχέση με τον ήλιο, ως προς το ελλειπτικό της επίπεδο και χρησιμοποιούσε τη γωνία αυτή μαζί με άλλα δεδομένα για να υπολογίσει τη θέση του ήλιου. Το μέγιστο λάθος αυτού του αλγορίθμου ήταν περίπου 0,0027 μοίρες. Το λάθος αυτό είναι μεγαλύτερο από αυτό του αλγορίθμου των Reda και Andreas, αλλά ο αλγόριθμος έχει πολύ μικρότερο υπολογιστικό κόστος.

Πρόσφατα, ο Chen και ο Chong [18] παρουσίασαν μια γενική φόρμουλα υπολογισμού της θέσης του ήλιου, για συστήματα ανοιχτού βρόγχου. Με τη φόρμουλα αυτή λύνεται το πρόβλημα της ακριβής τοποθέτησης των αξόνων της βάσης κατά την εγκατάσταση των συστημάτων αυτών.

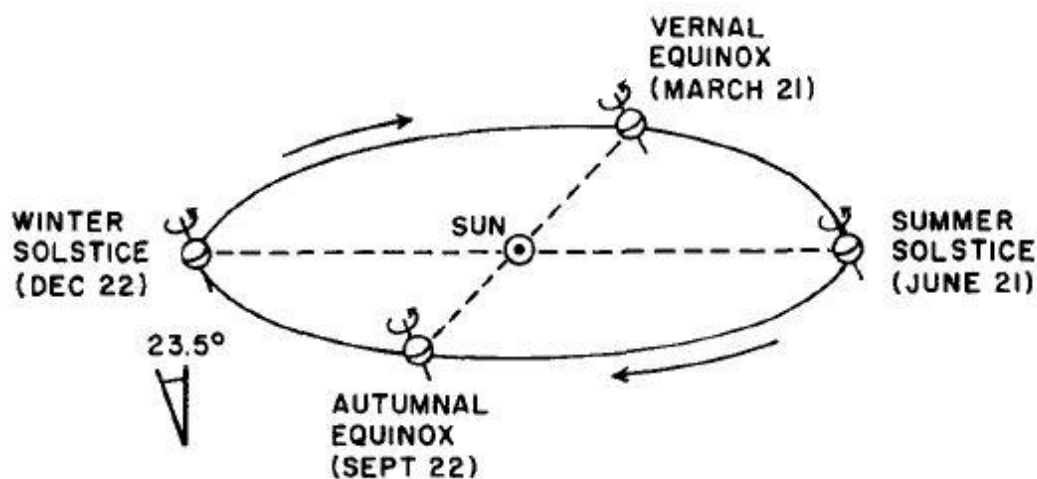
Στη συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία, χρησιμοποιείται ένας αλγόριθμος, που παρουσιάστηκε από τον Robert Walraven το 1977 [19] στο πανεπιστήμιο της California. Ο τρόπος υλοποίησης του αλγορίθμου βασίζεται στον υπολογισμό της θέσης του ήλιου, με βάση την τοπική ώρα, την ημερομηνία, το γεωγραφικό πλάτος και το γεωγραφικό μήκος της εκάστοτε περιοχής. Έχει αρκετές ομοιότητες με τους αλγόριθμους των Reda και Andreas, και του Grena, αλλά η ακρίβεια του περιορίζεται στη 0,1 μοίρα. Ως εκ τούτου είναι σαφώς ικανοποιητικό, αφού το αποτέλεσμα του πειραματικού μέρους κρίνεται και από την ακρίβεια των βηματικών κινητήρων που το μέγιστο σφάλμα θα φτάσει την 0.9 μοίρα, το οποίο είναι και το μικρότερο βήμα των συγκεκριμένων κινητήρων. Βέβαια, με τον τρόπο που είναι υλοποιημένος ο αλγόριθμος, το μέγιστο σφάλμα δεν ξεπερνά την τιμή των 0,45° διότι μόλις η ανάκλαση προπορευθεί του προκαθορισμένου επιθυμητού σημείου κατά 0,45°, τότε το κάτοπτρο κινείται κατά ένα βήμα με αποτέλεσμα να προπορεύεται αυτό αντί της ακτίνας κατά 0,45°, οπότε και περιορίζει το σφάλμα σε αυτήν την τιμή.

3 ΜΕΛΕΤΗ ΘΕΣΗΣ ΗΛΙΟΥ

3.1 Βασικές έννοιες

3.1.1 Γωνία απόκλισης του Ηλίου (δ)

Το επίπεδο του ισημερινού της γης σχηματίζει γωνία περίπου 23.5° σε σχέση με το επίπεδο της τροχιάς της γης για τον ήλιο, όπως φαίνεται στην εικόνα 2. Είναι αυτή η κλίση που προκαλεί την αλλαγή του ύψους του ήλιου το μεσημέρι με αποτέλεσμα να ποικίλλει όλο το χρόνο και να υπάρχουν εποχές. Έτσι περιπλέκεται ο υπολογισμός της θέσης του ήλιου σε μία συγκεκριμένη χρονική στιγμή.



Εικόνα 2 τροχιά της Γης γύρο από τον Ήλιο με κλίση $23,5^\circ$

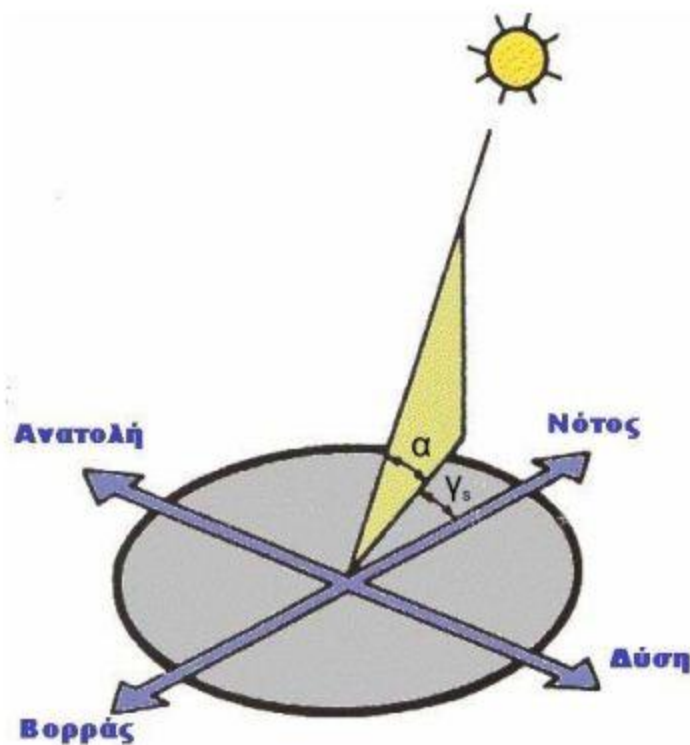
Ο ήλιος διασχίζει τον ουράνιο ισημερινό στην εαρινή ισημερία στην 21 Μαρτίου και στη φθινοπωρινή ισημερία στην 23 Σεπτεμβρίου.

Ο ήλιος είναι σε μεγαλύτερη απόσταση από τον ουράνιο ισημερινό στο θερινό ηλιοστάσιο στην 21 Ιουνίου και το χειμερινό ηλιοστάσιο, στην 22 Δεκεμβρίου. Αποτέλεσμα αυτών, είναι η μεταβολή της γωνίας απόκλισης (δ) με ακραίες τιμές $\pm 23,45^\circ$.

Λόγω αυτής της μεταβολής επηρεάζεται και η ισχύς της ηλιακής ακτινοβολίας, δημιουργώντας τις μετεωρολογικές και κλιματολογικές συνθήκες στην ατμόσφαιρα του πλανήτη [19].

3.1.2 Αζιμούθιο και ύψος Ηλίου

Η πραγματική θέση του ήλιου στον ουρανό εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος του παρατηρητή ενός τόπου. Η θέση του ήλιου στον ουρανό ενός τόπου περιγράφεται συνήθως με δύο γωνίες : το ύψος του ήλιου (α) και το αζιμούθιο του ήλιου (γ). Το ύψος του ήλιου (α) είναι η γωνία, που σχηματίζεται ανάμεσα στην κατεύθυνση του ήλιου και στον ορίζοντα. Οι τιμές της γωνίας είναι 0° έως 90° .



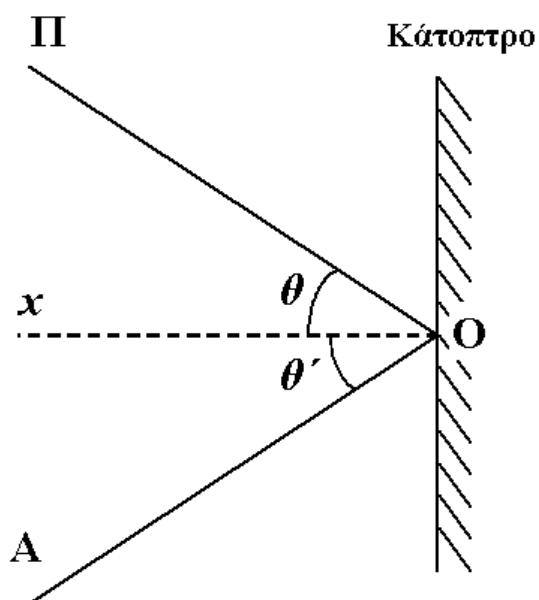
Εικόνα 3 ύψος (α) και αζιμούθιο (γ)

Αζιμούθιο (γ) είναι η γωνία που σχηματίζεται πάνω στο οριζόντιο επίπεδο, ανάμεσα στην προβολή της κατεύθυνσης του ήλιου και στον τοπικό μεσημβρινό βορρά -νότου.

Στον αλγόριθμο που θα χρησιμοποιηθεί, οι τιμές δυτικά από το νότο είναι αρνητικές και ανατολικά θετικές (-90° , $+90^\circ$). Κατά τη διάρκεια της ημέρας, το ύψος του ήλιου και του αζιμούθιου μεταβάλλονται συνεχώς, καθώς ο ήλιος διατρέχει τον ουρανό[19].

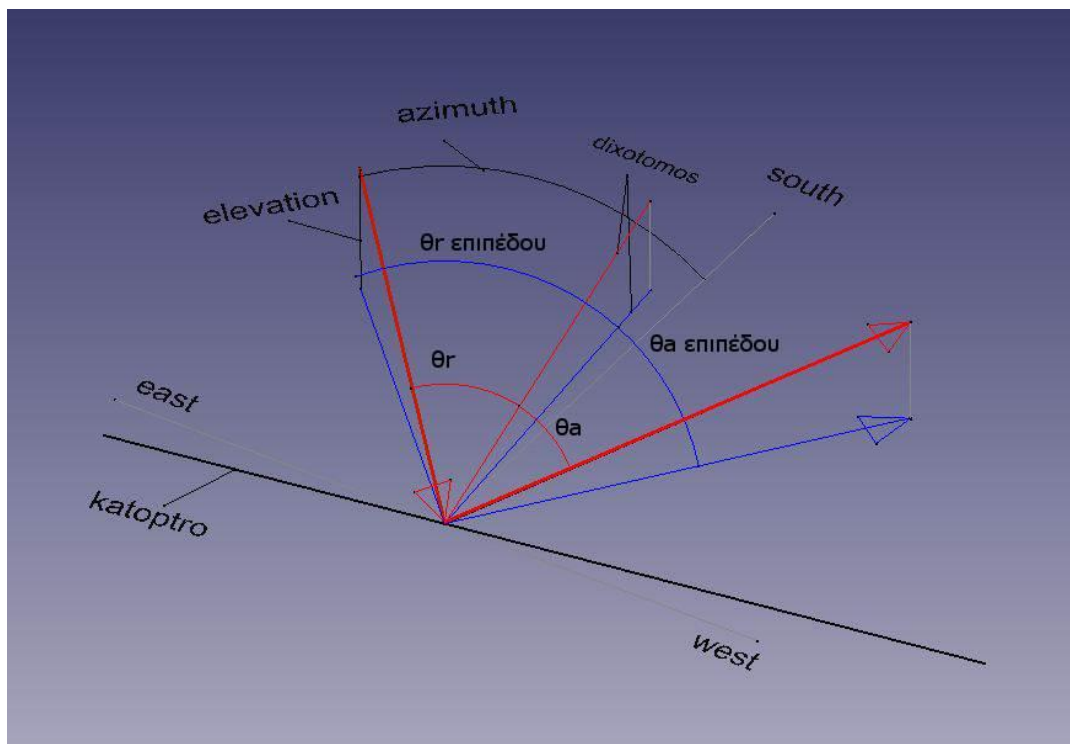
3.2 Μελέτη ανάκλασης ηλιακής ακτίνας

Όπως φαίνεται στο σχήμα 1, μία ακτίνα φωτός (ΠΟ) προσπίπτει σε ένα κάτοπτρο στο σημείο Ο και ανακλάται από την επιφάνεια του (ακτίνα ΟΑ). Επιπλέον, θεωρούμε μια ευθεία κάθετη στο κάτοπτρο, που περνάει από το σημείο Ο (Οx). Ορίζουμε ως γωνία πρόσπτωσης την γωνία θ και ως γωνία ανάκλασης την γωνία θ' . Ο νόμος της ανάκλασης ορίζει, ότι $\theta = \theta'$, δηλαδή ότι η γωνία πρόσπτωσης είναι ίση με την γωνία ανάκλασης.[25]



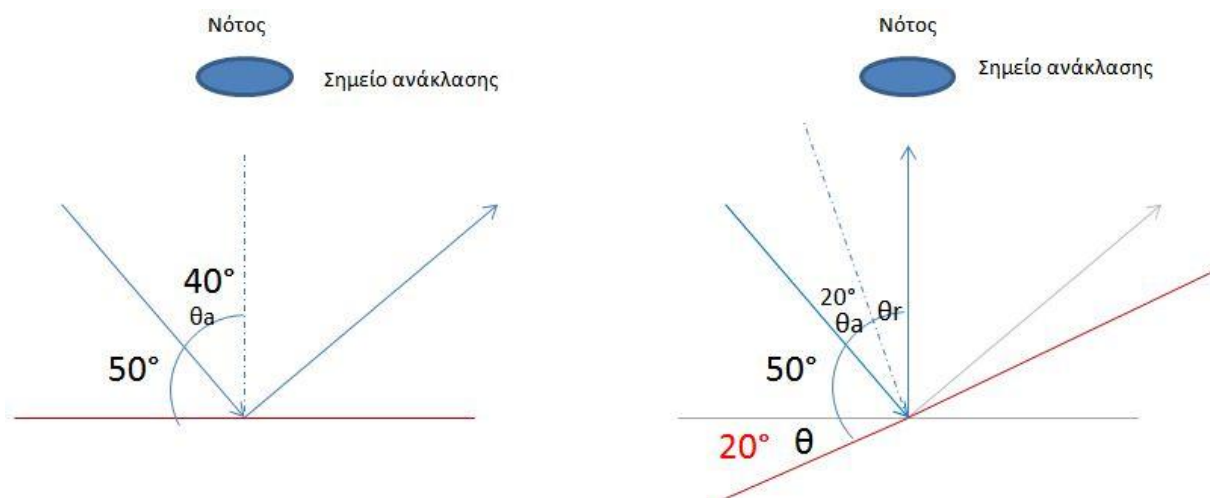
σχήμα 1 Νόμος ανάκλασης

Ο νόμος της ανάκλασης αναφέρετε σε γωνίες πάνω σε ένα επίπεδο. Στην περίπτωση της ανάκλασης της ακτίνας του ήλιου έχουμε γωνία στον χώρο. Όπως φαίνεται στο σχήμα 2α, αν τοποθετηθούν οι προβολές της ακτίνας τότε η προβολή της διχοτόμου στο επίπεδο, είναι και διχοτόμος της προβολής της γωνίας των ακτινών. Πράγμα που είναι πολύ κοντά στην πραγματικότητα.



Σχήμα 2α παράδειγμα ανάκλασης ακτίνας ηλίου στο επίπεδο

Με αυτήν την υπόθεση υπολογίζουμε την αντανάκλαση για κάθε στιγμή της μέρας βρίσκοντας την διχοτόμο της ακτίνας η οποία είναι πάντα κάθετη στο κάτοπτρο. Στην περίπτωση της κίνησης του ηλίου μεταβάλλοντας την αζιμουθιακή γωνία, η επιθυμητή ανάκλαση βρίσκεται στην ευθεία του Νότου. Η γνωστή γωνία, είναι η γωνία σε σχέση με το Νότο, δηλαδή η θ_a (σχήμα 2β). η κάθετη ευθεία του κατόπτρου πρέπει να διχοτομήσει τη γωνία της ακτίνας και το κάτοπτρο θα μετατοπιστεί, όπως φαίνεται στο σχήμα 2γ, 20° .



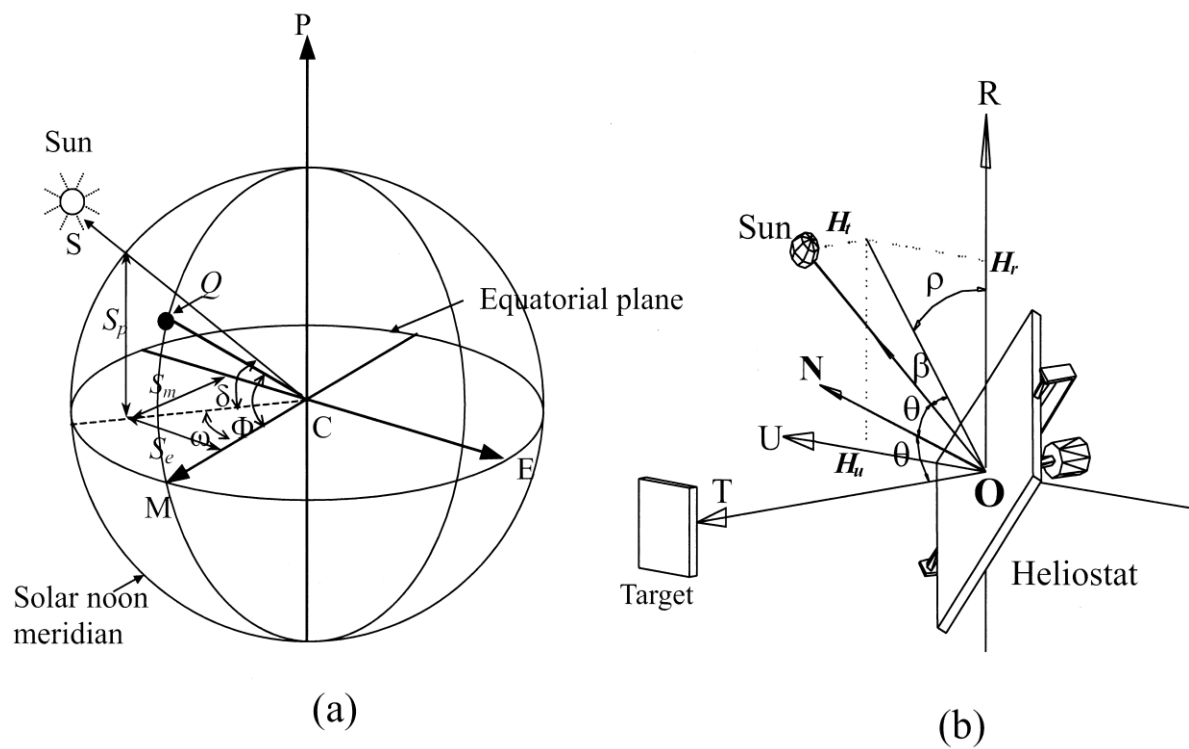
Σχήμα 2β,γ παράδειγμα ανάκλασης ακτίνας ηλίου

Όπως αναφέρθηκε, αυτός είναι ένας υπολογισμός υποθέτοντας τον χώρο σαν επίπεδα. Στην πραγματικότητα, στην δημοσίευση του Chen το 2001 αναλύεται ο τρόπος υπολογισμού την ανάκλασης [26]. Οι τύποι που προκύπτουν για τις δύο γωνίες είναι :

$$\beta = \text{ArcSin} \left\{ -\cos\delta \cdot \cos\omega \cdot (\sin\lambda \cdot \cos\Phi + \cos\lambda \cdot \cos\varphi \cdot \sin\Phi) - \cos\delta \cdot \sin\omega \cdot \cos\lambda \cdot \sin\varphi + \sin\delta (\cos\lambda \cdot \cos\varphi \cdot \cos\Phi - \sin\varphi \cdot \sin\lambda) \right\}$$

$$\rho = \frac{\text{ArcSin} \left\{ -\cos\delta \cdot \cos\omega \cdot \sin\varphi \cdot \sin\Phi + \cos\delta \cdot \sin\omega \cdot \cos\varphi + \sin\delta \cdot \sin\varphi \cdot \cos\Phi \right\}}{\cos\beta}$$

$$\theta = \pi/4 - \frac{1}{2} \cdot \beta$$



Όπου δ = γωνιακή απόκλιση του ήλιου

ω = γωνία ώρας

λ = η γωνία που σχηματίζεται από την διαφορά ύψους του καθρέπτη από τον στόχο. $\lambda = 0^\circ$ αν κάτοπτρο και στόχος είναι στο ίδιο ύψος

φ = η γωνία περιστροφής από το ζενίθ ως προς τον άξονα OT

Φ = γεωγραφικό πλάτος

4 ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

4.1 Αρχιτεκτονική συστήματος

4.1.1 Μέρη συστήματος

Το σύστημα αποτελείται από τα εξής μέρη:

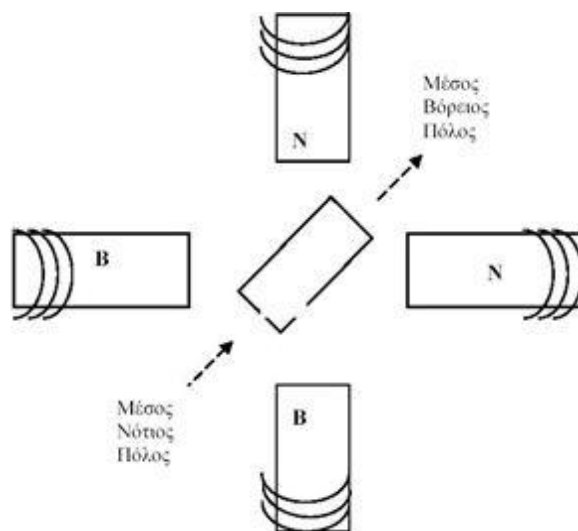
- Σύστημα κίνησης: Βηματικοί κινητήρες, που εκτελούν τις προκαθορισμένες κινήσεις από εντολές που λαμβάνουν μέσω του μικροελεγκτή και των αντίστοιχων οδηγιών.
- Μικροελεγκτής atmega16: ο ελεγκτής πραγματοποιεί τους υπολογισμούς για την κίνηση του κατόπτρου και λειτουργεί όλα τα υποσυστήματα μέσω του αλγόριθμου που προγραμματίστηκε.
- Τροφοδοσία: τροφοδοτικά που αναλαμβάνουν την τροφοδοσία του κάθε υποσυστήματος με την ανάλογη τάση που απαιτείται.
- Σύστημα ψύξης: εξαρτήματα που διατηρούν τη θερμοκρασία σε επιθυμητά επίπεδα.
- Λοιπά υποσυστήματα: λοιπά υποσυστήματα που καθορίζουν την αρχικοποίηση του συστήματος, καθώς και τα δεδομένα, που πρέπει να εισαχθούν στους υπολογισμούς.

4.1.2 Σύστημα κίνησης

Το σύστημα κίνησης της κατασκευής βασίζεται σε κινητήρες συνδεδεμένους με άξονες και έδρανα στήριξης για τη μεταφορά της κίνησης σε έναν επίπεδο καθρέφτη, που αναλαμβάνει την ανάκλαση της ακτίνας του ηλίου.

4.1.2.1 Βηματικοί κινητήρες

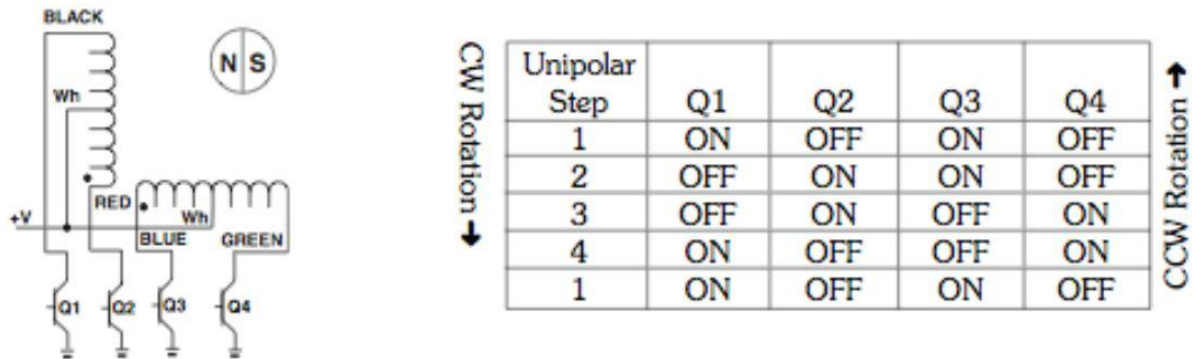
Οι βηματικοί κινητήρες είναι σύγχρονοι ηλεκτρικοί κινητήρες, οι οποίοι μπορούν να χωρίσουν μια πλήρη περιστροφή σε ένα μεγάλο πλήθος από βήματα. Για την ακρίβεια, στο συγκεκριμένο σύστημα χρησιμοποιήθηκαν δυο βηματικοί, οι οποίοι έχουν τη δυνατότητα να πραγματοποιήσουν 400 βήματα για μια πλήρη περιστροφή, δηλαδή $0,9^\circ$ το βήμα. Αυτό πραγματοποιείται με τη βοήθεια μόνιμων μαγνητών και πηνίων που φορτίζονται ηλεκτρικά, με συγκεκριμένη φορά, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η περιστροφή του ρότορα, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.



Σχήμα 3 Αρχή λειτουργίας βηματικού κινητήρα

Όταν ένα ζευγάρι πηνίων του στάτη, πάρει ρεύμα, τότε δημιουργείται ηλεκτρομαγνητικό πεδίο, που επιδρά στο μόνιμο μαγνήτη του ρότορα με αποτέλεσμα να παράγεται κίνηση κατά ένα βήμα. Ο συνδυασμός λοιπόν των ενεργοποιημένων πηνίων δίνει και τη φορά που θα έχει ο κινητήρας (σχήμα 4).

Υπάρχουν διάφορες κατηγορίες βηματικών: ανάλογα με τον τύπο του μαγνήτη (μόνιμος, μεταβλητή μαγνητική αντίδραση, υβριδικός) και τον αριθμό των πόλων (μονοπολικό, διπολικό, τετραπολικό).[20,21]



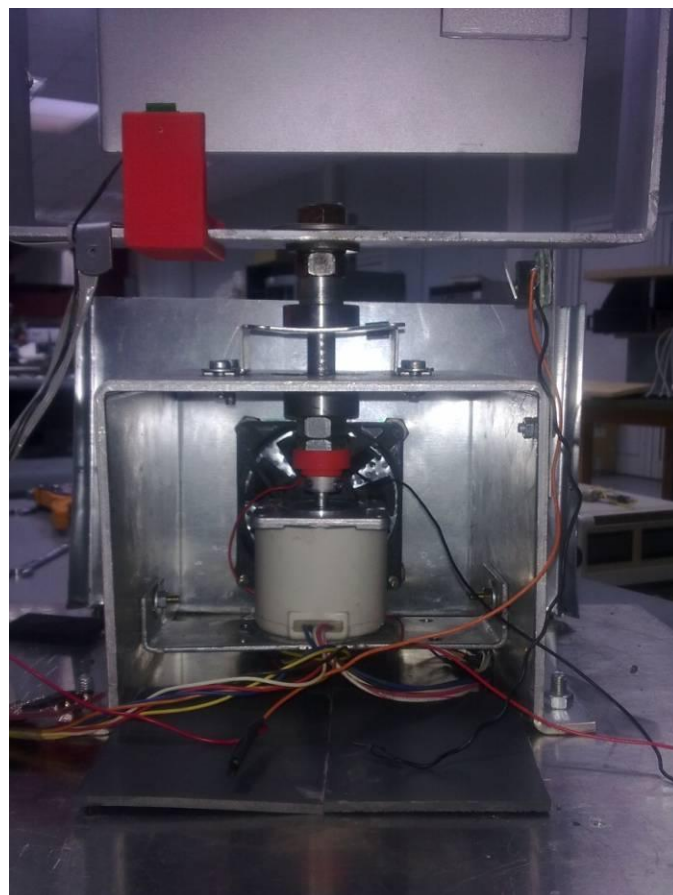
Οι βηματικοί κινητήρες σαν είσοδο έχουν μια παλμοσειρά ,που καθορίζει τα βήματα που θα κάνει. Αυτοί οι παλμοί καθορίζονται από το μικροελεγκτή, αλλά ενισχύονται από την πλακέτα οδήγησης (εικόνα 4). Αυτή λαμβάνει τέσσερις παλμούς τάσης των 5 volt και στέλνει στον κινητήρα το ανάλογο βήμα και την ανάλογη τάση που χρειάζεται [22].



Εικόνα 4 stepper driver της Microsystems

4.1.2.2 Μετάδοση κίνησης

Η μετάδοση της κίνησης στον καθρέπτη γίνεται με άξονες, απευθείας από τους άξονες των κινητήρων στους άξονες του κατόπτρου. Η σχέση δηλαδή μετάδοσης είναι 1:1. Για την στήριξη υπάρχουν ρουλεμάν, δυο σε κάθε άξονα, που συμπληρώνουν όλη τη μετάδοση.(εικόνα 5,6)



Εικόνα 5 κάθετος άξονας μετάδοσης κίνησης

4.1.3 Μικροελεγκτής

Ο Μικροελεγκτής είναι ένας mega 16 προγραμματισμένος κατάλληλα, ώστε να επεξεργάζεται τα δεδομένα που εισάγονται σε αυτόν, ανά δύο λεπτά περίπου. Η μνήμη που διαθέτει είναι επαρκής, αφού χρησιμοποιήθηκε το 61% αυτής (10.000 bytes) [23] .

4.1.4 τροφοδοσία

Η τροφοδοσία του μικροεπεξεργαστή απαιτείται να είναι 12 volt και των λοιπών συστημάτων από 5 έως 12 volt. Λόγω λοιπόν των ποικίλων τάσεων που χρησιμοποιούνται, συνδέθηκε ένα τροφοδοτικό ηλεκτρονικού υπολογιστή, καταφέροντας έτσι, να καλυφθούν οι απαιτήσεις των 5 και 12 volt, ενώ για την τάση των 8 volt χρησιμοποιήθηκε ένας μετασχηματιστής με την απαιτούμενη τάση εξόδου.

4.1.5 Σύστημα ψύξης

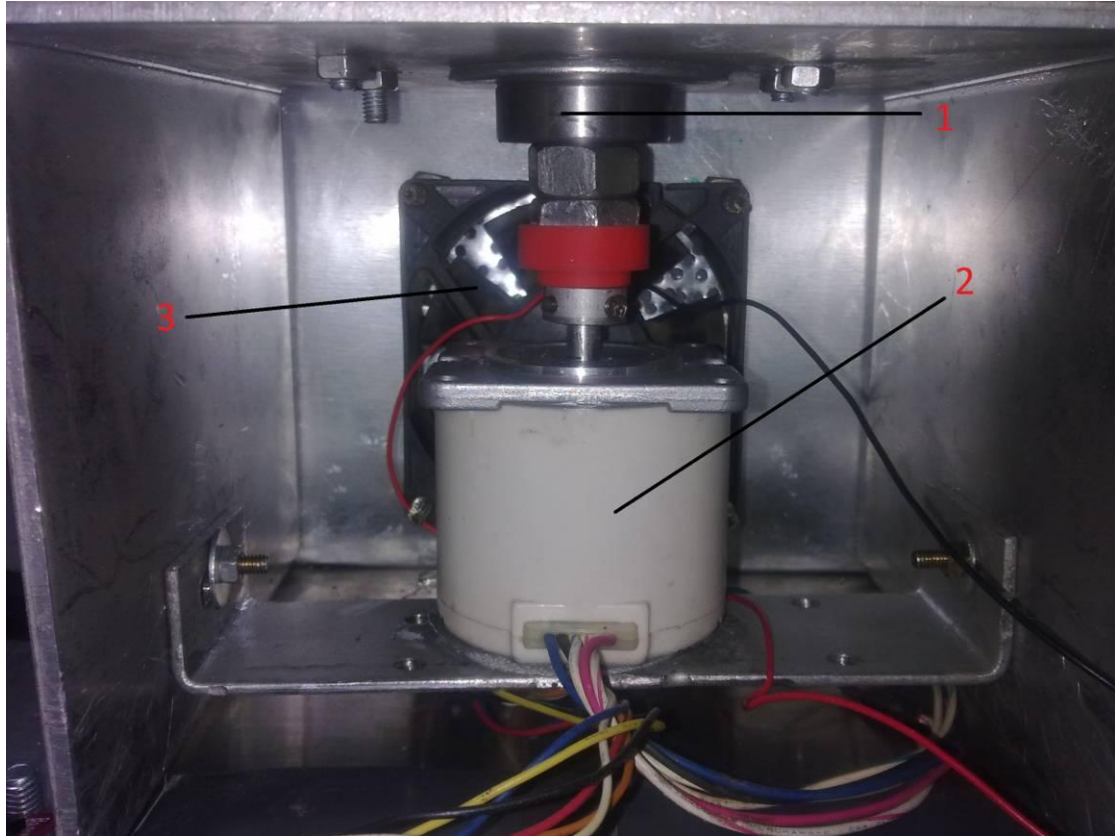
Οι βηματικοί κινητήρες, εκτός από τη στιγμή που κινείται ο άξονας, τροφοδοτούνται με ρεύμα ακόμα και στην περίπτωση που δεν υπάρχει εντολή για κίνηση. Έτσι ώστε, να καταφέρουν να κρατήσουν την προκαθορισμένη θέση του κατόπτρου.

Αποτέλεσμα αυτού, είναι η αύξηση της θερμοκρασίας σε επίπεδα που είναι δυνατόν, λόγω του φαινομένου αυτού, να χαθούν πληθώρα βημάτων. Συνεπώς και της ακρίβειας που επιδιώκεται.

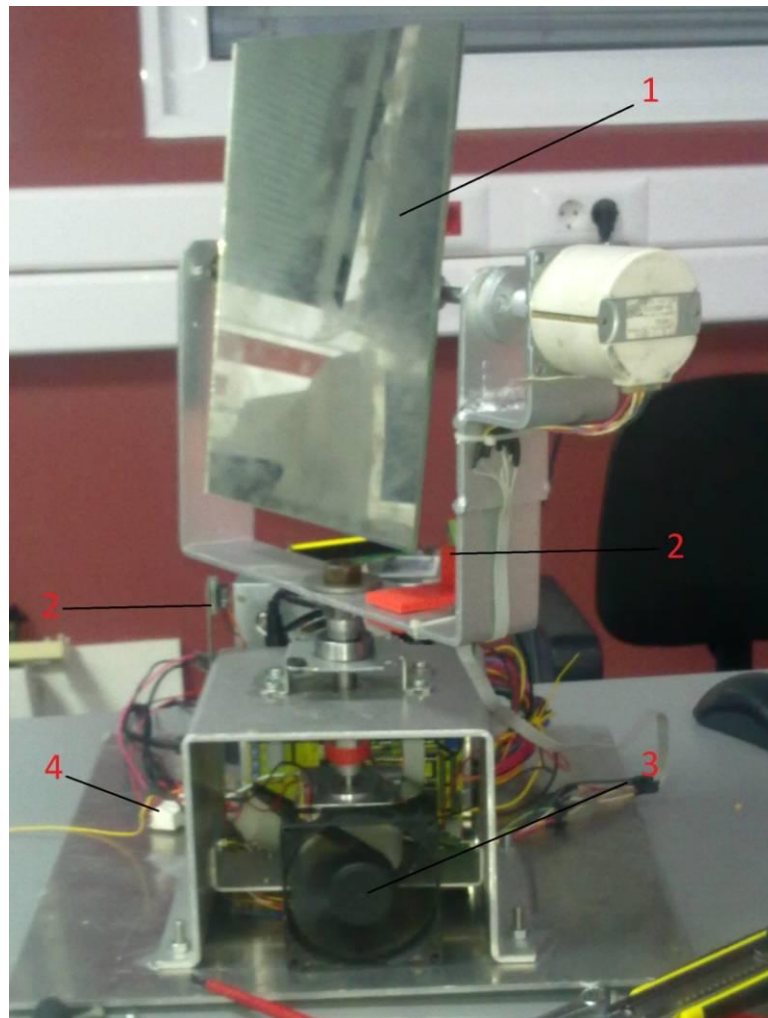
Η λύση του προβλήματος μπορεί να δοθεί με δυο ανεμιστήρες ψύξης, σε μικρή απόσταση από τους κινητήρες, ώστε να ψύχονται αποτελεσματικά (εικόνα 6) .

Επιπλέον ένα δεύτερο μέτρο είναι η αυξομείωση της τάσης. Οι δυο κινητήρες για να επιδιώξουν να κάνουν κάποια σειρά από βήματα, απαιτούν τάση ίση με 8 volt. Στην περίπτωση όμως που απλά επιδιώκουν να κρατήσουν τη θέση που έχουν,

παρατηρήθηκε, ότι είναι αρκετή μια τάση της τάξεως των 5 volt. Για αυτόν το λόγο, προσαρμόστηκε ένας διακόπτης ρελέ με τάσης των 5 και 8 volt (εικόνα 7).



Εικόνα 6 Ανεμιστήρας ψύξης (1 έδρανο στήριξης, 2 βηματικός κινητήρας, 3 ανεμιστήρας ψύξης)



Εικόνα 7 (1 κάτοπτρο, 2 τερματική διακόπτες, 3 ανεμιστήρας ψύξης, 4 διακόπτης ρελέ)

4.1.6 Λοιπά υποσυστήματα

Ανάμεσα στα δεδομένα που απαιτούνται για τον υπολογισμό της θέσης του Ηλίου, είναι η ώρα και η ημερομηνία της εκάστοτε χρονικής στιγμής. Για αυτό το λόγο απαιτείται η μέτρηση του χρόνου σε στιγμές, που ο μικροελεγκτής είναι εκτός λειτουργίας. Αυτό επιτεύχθηκε, τοποθετώντας ένα dataset εν ονόματι DS1302 της εταιρείας Dallas, μαζί με ένα κρύσταλλο 32.768 kHz, καθώς και μια μπαταριά 3.3

volt. Έτσι, κάθε φορά που ο μικροελεγκτής χρειάζεται αυτά τα δεδομένα λαμβάνονται μέσω μιας ψηφιακής θύρας.

Ένα άλλο θέμα προς λύση, είναι αυτό της αρχικοποίησης του κατόπτρου. Αφού δεν υπάρχουν αισθητήρες, για να γνωρίζει ο μικροελεγκτής που βρίσκεται το κάτοπτρο κάθε στιγμή, αλλά το υποθέτει. Έτσι, χρειάζεται κάθε φορά που μπαίνει σε λειτουργία το σύστημα, να προκαθορίζει τη θέση του καθρέπτη και έπειτα να υπολογίζει τη θέση που πρέπει να πάρει. Για αυτόν το λόγο, το πρώτο πράγμα που ζητείται από το μικροελεγκτή να κάνει, είναι η αρχικοποίηση της θέσης των δύο αξόνων, με τη βοήθεια τερματικών διακοπών σε κάθε άξονα (εικόνα 7).

Επιπρόσθετα, τοποθετήθηκε και μια οθόνη lcd για την απεικόνιση πληροφοριών όπως: το αζιμούθιο, το ύψος, η ώρα και η ημερομηνία, ο αριθμός βημάτων που πραγματοποιήθηκε στον εκάστοτε κύκλο προγράμματος κ.α. .

4.2 Αλγόριθμος συστήματος

Το πρόγραμμα του μικροελεγκτή ουσιαστικά χωρίζεται σε 3 ενότητες:

- Υπολογισμός της θέσης του Ήλιου
- Υπολογισμός της ανάκλασης
- Πραγματοποίηση κινήσεων

4.2.1 Υπολογισμός της Θέσης του Ήλιου

Όπως προαναφέρθηκε, ο αλγόριθμος για την εύρεση της θέσης του ηλίου δημιουργήθηκε από τον Robert Walraven το 1977 [19]. Τα δεδομένα εισόδου για τον υπολογισμό του είναι οι συντεταγμένες της περιοχής, η ώρα και η ημερομηνία . Χρησιμοποιεί σαν αρχή τη χρονιά 1980 και προσθέτει το χρόνο σε μια μεταβλητή με τη μορφή ημερών.

$$A = \text{YEAR} - 1980$$

$$\text{LEAP} = A/4 \text{ (MOD } 4)$$

$$\text{TIME} = A*365 + \text{LEAP} + \text{DAY} - 1 + (\text{HOUR}$$

$$+ (\text{MINUTE} + \text{SECOND}/60)/60)/24$$

$$\text{IF}(A = \text{LEAP}*4) \text{ TIME} = \text{TIME} - 1$$

$$\text{!F}((A < 0) \text{ AND } (\Delta \neq \text{LEAP}*4))$$

$$\text{TIME} = \text{TIME} - 1$$

Ο υπολογισμός της θέσης του ηλίου στην ουράνια σφαίρα καθορίζεται από μια μόνο παράμετρο : το γεωγραφικό μήκος του ηλίου και υπολογίζεται, όπως φαίνεται παρακάτω σε radians.

$$\Theta = 2\pi * \text{TIME}/365.25$$

$$g = -0.031271 - (4.53963 \times 10^{-7}) * \text{TIME} + \Theta$$

$$L = 4.900968 + (3.67474 \times 10^{-7}) * \text{TIME}$$

$$+ (0.033434 - 2.3 \times 10^{-9} * \text{TIME}) * \sin g$$

$$+ 0.000349 * \sin 2g + \Theta$$

Για τον υπολογισμό της θέσης του ηλίου στον ουρανό ,είναι απαραίτητο όχι μόνο να γνωρίζουμε τη θέση του στην ουράνια σφαίρα, αλλά και τη θέση της ουράνιας σφαίρας σε σχέση με τη γη για τη συγκεκριμένη στιγμή. Η περιστροφή της ουράνιας σφαίρας μετρείται σε αστρικό χρόνο, όπου διαφέρει από περιοχή σε περιοχή ανάλογα με το γεωγραφικό μήκος.

$$\text{ST} = 6.720165 + 24 * (\text{TIME}/365.25 - (\text{YEAR} - 1980))$$

$$+ 0.000001411 * \text{TIME}.$$

$$S = \text{ST} - \text{LONG} + 1.0027379 * (\text{LST} + \text{ZONE} - C).$$

Όπου LST η τοπική standard ώρα, ZONE η ζώνη ώρας της περιοχής (+2 για την Ελλάδα) και C η αλλαγή ώρας για την εξοικονόμηση της ηλεκτρικής ενέργειας (τιμές 1 ή 0).

Εφόσον υπολογιστούν αυτοί οι παράμετροι, μέσω τριγωνομετρίας μπορούμε να υπολογίσουμε το τοπικό αζιμούθιο και το τοπικό ύψος του Ηλίου.

4.2.2 Υπολογισμός ανάκλασης

Ο υπολογισμός της ανάκλασης, όπως διατυπώθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, είναι σχετικά απλός εφόσον χρησιμοποιείται επίπεδος καθρέπτης και ακολουθώντας την απλοποιημένη μορφή. Γνωρίζοντας το αζιμούθιο και το ύψος του ηλίου, η γωνία της ανάκλασης είναι η μισή από το σύνολο της γωνίας. Στο πρόγραμμα υπολογίζεται όπως φαίνεται παρακάτω:

```
reflex_azimuth_new=AZIMUTH/2
```

```
reflex_elevation_new=ELEVATION/2
```

Οι μεταβλητές έχουν την επέκταση new διότι στο πρόγραμμα χρησιμοποιείται και ο προηγούμενος υπολογισμός, ώστε να συσχετιστεί η κίνηση που πρέπει να πραγματοποιηθεί με την προηγούμενη.

```
rotate_azimuth=reflex_azimuth_new - reflex_azimuth_old
```

```
rotate_elevation=reflex_elevation_new - reflex_elevation_old
```

4.2.3 Πραγματοποίηση κινήσεων

Εφόσον έχουν υπολογιστεί οι γωνίες, μένει μόνο να πραγματοποιηθεί η κίνηση, δημιουργώντας την κατάλληλη παλμοσειρά για τους κινητήρες. Το πρόγραμμα είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε στην υπορουτίνα που ευθύνεται για την κίνηση, να δίνεται ο

αριθμός των βημάτων που πρέπει να πραγματοποιήσει. Άρα το πρώτο πράγμα που γίνεται είναι να τροποποιούμε τη γωνία, από μοίρες σε αριθμό βημάτων.

Όπως προαναφέρθηκε, οι βηματικοί κινητήρες πραγματοποιούν βήματα της τάξεως των 0.9° οπότε ισχύει

```
steps_az_real=rotate_azimuth / 0.9
```

```
steps_el_real=rotate_elevation/0.9
```

το real στις μεταβλητές τοποθετήθηκε διότι, αφενός η διαίρεση της γωνίας με το 0.9 δε θα δίνει έναν ακέραιο αριθμό και αφετέρου οι κινητήρες χρειάζονται έναν ακέραιο αριθμό. Οπότε, αποθηκεύεται προσωρινά ο πραγματικός αριθμός και έπειτα μετατρέπεται σε ακέραιο.

```
steps_az=steps_az_real
```

```
steps_el=steps_el_real
```

Θα μπορούσε το αποτέλεσμα της διαίρεσης να μπει απευθείας σε έναν ακέραιο, αφαιρώντας τα δεκαδικά ψηφία, αλλά έτσι η ακρίβεια του όλου συστήματος θα μειωθεί και το σφάλμα θα φτάσει σε πολλές μοίρες. Για αυτόν το λόγο η διαφορά του ακέραιου από τον πραγματικό αριθμό αποθηκεύεται ξεχωριστά και λαμβάνεται υπόψη στον επόμενο κύκλο προγράμματος. Έτσι, όταν το υπόλοιπο φτάσει τις $0,45^\circ$ πραγματοποιείται ένα παραπάνω βήμα.

```
steps_el=steps_el_real;
```

```
steps_el_real=steps_el_real-steps_el;
```

```
upolel=upolel + steps_el_real;
```

```
if(upolel>=0.45)
```

```
{
```

```
steps_el=steps_el+1;
```

```
upolel=upolel-0.9;
```

```
}
```

Οι υπορουτίνες για την κίνηση είναι τρεις : μια για την αζιμουθιακή γωνία, αφού κατά τη διάρκεια της μέρας κινείται από ανατολή προς την δύση· και δυο για το ύψος του ηλίου, αφού κατά τη διάρκεια της μέρας αυξομειώνει το ύψος του, κορυφώνοντας την αύξηση τις μεσημεριανές ώρες και στη συνέχεια κινείται πτωτικά ως τη δύση του ήλιου. Εντός της κάθε ρουτίνας, ελέγχεται αν πραγματοποιήθηκε ο αριθμός των βημάτων και έπειτα τερματίζεται ο βρόγχος. Να σημειωθεί ότι ο κάθε βρόγχος αποτελείται από οκτώ βήματα, δηλαδή οκτώ πιθανοί συνδυασμοί του άξονα του κινητήρα, σε σχέση με τα πηνία που έχει εσωτερικά ο κινητήρας. Ένα πρόβλημα που δημιουργήθηκε κατά τα αρχικά πειράματα ήταν το φαινόμενο, όπου το πρόγραμμα έδινε στις υπορουτίνες κίνησης έναν αριθμό βημάτων, μετακινώντας τον άξονα του κινητήρα σε μία θέση. Υπήρχε πολύ συχνά η περίπτωση όπου ,το πρώτο βήμα που θα κάνει το μοτέρ στον επόμενο κύκλο προγράμματος να μην αντιστοιχεί στο επόμενο βήμα της σειράς του παλμού. Τα πηνία δηλαδή που θα έχουν ρεύμα στη συγκεκριμένη φορά, να είναι τα λάθος πηνία, χάνοντας έτσι σειρά βημάτων και μεγαλώνοντας το σφάλμα κατά 0.9° την κάθε φορά που συμβαίνει. Για το λόγο αυτό σε όλες τις υπορουτίνες κίνησης χρησιμοποιούνται κάποιες «σημαίες» , που καθορίζουν ποιο είναι το σωστό βήμα που πρέπει να γίνει μετά και τι παλμός πρέπει να αποσταλεί στον κινητήρα. Η αρχικοποίηση των σημαιών γίνεται κατά την αρχικοποίηση του συστήματος, καταφέροντας έτσι να μη χάνονται βήματα από εκείνη τη στιγμή και έπειτα.

4.2.4 αλγόριθμος σε c

Παρακάτω δίνεται όλο το πρόγραμμα όπως είναι γραμμένο στο μικροελεγκτή.

```
/*
```

```
PTUXIAKI ERGASIA: DIMITRIOS ALEXIADIS AM 4853
```

```
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.Ι. ΚΡΗΤΗΣ ΣΕΠΤΕΒΡΙΟΣ 2011
```

```
EPIBLEPON KATHIGITIS: KABOUSSANOS EMANOUHL
```

```
*/
```

```
#include <mega16.h>
```

```
#asm
```

```
.equ __ds1302_port=0x18 ;PORTC
```

```
.equ __ds1302_io=3
```

```
.equ __ds1302_sclk=5
```

```
.equ __ds1302_rst=1
```

```
#endasm
```

```
#asm
```

```
.equ __lcd_port=0x15 ;PORTB
```

```
#endasm
```

```
#include <ds1302.h>
```

```
#include <lcd.h>
```

```
#include <delay.h>
```

```
#include <math.h>
```

```
#include <stdlib.h>
```

```
float ELEVATION,AZIMUTH;
```

```
unsigned char H,D,MI,S,Y,MO ;
```

```
int flage1,flage2,flage3,flage4,flage5,flage6,flage7,flage8,flag1,flag2,flag3,flag4,flag5,flag6,flag7,flag8;
```

```
int hr,day,mini,sec,year,month,checksec;
```

```
volatile int P;
```

```
char display[16];
```

```
interrupt [EXT_INT2] void ext_int2_isr(void)           //uporoutina termatikon diakopton
{
P=0;
}

float Calculate_sun_coordinates()                     //uporoutina upologismou thesis iliou
{
float TIME,SEC,MIN,DAY,MONTH,YEAR,HR;
float pi,theta,g,L,epsilon,delta,ra,LST,ST,S,DE;
float LONG=334.898;                                  //i 25.102 to idio einai
float LAT=35.318;
float ZONE=-2;                                       //gia to anatoliko imisfairio einai -
pi=3.1415926;
SEC=sec;
MIN=mini;
HR=hr;
DAY=day;
MONTH=month;
YEAR=year;
YEAR=YEAR+2000;                                     //+2000 GIATI TO ROLOI DINEI 11(gia etos 2011)

if (MONTH==2) DAY=DAY+31;                            //+ianouarios
if (MONTH==3) DAY=DAY+59;                            //+febrouar
if (MONTH==4) DAY=DAY+90;                            //+martios
if (MONTH==5) DAY=DAY+120;                           //+aprilios
if (MONTH==6) DAY=DAY+151;                           //+maios
if (MONTH==7) DAY=DAY+181;                           //+iounios
if (MONTH==8) DAY=DAY+212;                           //+ioulios
if (MONTH==9) DAY=DAY+243;                           //+augoustos
if (MONTH==10) DAY=DAY+273;                          //+septebri
if (MONTH==11) DAY=DAY+304;                          //+oktobrios
if (MONTH==12) DAY=DAY+334;                          //+noebrios
```



```
DE=YEAR-1980;
TIME=DE*365+(DAY-1)+(HR+(MIN+SEC/60)/60)/24;

//Calculate the Longitude (L) of the sun
theta=2*pi*TIME/365.25;
g=-0.031271 - 4.53963e-7*TIME + theta;
L=4.900968+3.67474e-7*TIME + (0.033434-2.3e-9*TIME)*sin(g) + 0.000349*sin(2*g) + theta;

//Calculate Right Ascension and Declination
epsilon=(23.4420-3.56e-7*TIME)*pi/180;
delta=asin(sin(epsilon)*sin(L));
ra=atan2((cos(epsilon)*sin(L)),cos(L));
if(ra<0) ra=ra+2*pi;

//Calculate siderial time
LST=HR + MIN/60 + SEC/3600; //Local Standard Time
ST = 6.720165 + 24*(TIME/365.25 - (YEAR-1980)) + 0.000001411*TIME;
S=ST - LONG/15 + 1.0027379*(LST+ZONE-1); //Local siderial time

//Convert to radians
S=S*pi/12; if(S>=(2*pi)) S=S-2*pi;

//Calculate local azimuth and elevation
ELEVATION=asin(sin(LAT*pi/180)*sin(delta) + cos(LAT*pi/180)*cos(delta)*cos(ra-S));
AZIMUTH=asin(cos(delta)*sin(ra-S)/cos(ELEVATION))*180/pi;//
if(sin(ELEVATION)<(sin(delta)/sin(LAT*pi/180)))
{
    if(AZIMUTH<0) AZIMUTH=AZIMUTH+360;
    AZIMUTH=180-AZIMUTH;
}
ELEVATION=ELEVATION*180/pi;
return 0;
}
```

```
void stepper_az_right(int steps_az) //uporoutina kiniseis gia to azimuthio
{
    int counter=0;

    while(counter<steps_az)
    {
        if (counter<steps_az&&flag1==1&&flag2==0)
        {
            counter=counter+1;
            PORTD=0xFA;
            flag1=0;
            delay_ms(30);
        }
        if (counter<steps_az&&flag8==1&&flag1==0)
        {
            counter=counter+1;
            PORTD=0xFE;
            flag8=0;
            delay_ms(30);
        }
        if (counter<steps_az&&flag7==1&&flag8==0)
        {
            counter=counter+1;
            PORTD=0xF6;
            flag7=0;
            delay_ms(30);
        }
        if (counter<steps_az&&flag6==1&&flag7==0)
        {
            counter=counter+1;
            PORTD=0xF7;
            flag6=0;
            delay_ms(30);
        }
        if (counter<steps_az&&flag5==1&&flag6==0)
        {
            counter=counter+1;
```

```
PORTD=0xF5;

flag5=0;

delay_ms(30);

}

if (counter<steps_az&&flag4==1&&flag5==0)

{ counter=counter+1;

PORTD=0xFD;

flag4=0;

delay_ms(30);

}

if (counter<steps_az&&flag3==1&&flag4==0)

{ counter=counter+1;

PORTD=0xF9;

flag3=0;flag2=1;

delay_ms(30);

}

if (counter<steps_az&&flag2==1&&flag3==0)

{ counter=counter+1;

PORTD=0xFB;

flag1=1;flag2=0;flag3=1;flag4=1;flag5=1;flag6=1;flag7=1;flag8=1;

delay_ms(30);

}

}

}
```

```
void stepper_el_left(int steps_el) //uporoutina kiniseis upsous
```

```
{

int counter=0;

while(counter<steps_el)

{

if (counter<steps_el&&flage1==0&&flage8==1)

{ counter=counter+1;
```

```
PORTA=0xEB;

flage1=1;

delay_ms(30);

}

if (counter<steps_el&&flage2==0&&flage1==1)

{ counter=counter+1;

PORTA=0xE9;

flage2=1;

delay_ms(30);

}

if (counter<steps_el&&flage3==0&&flage2==1)

{ counter=counter+1;

PORTA=0xED;

flage3=1;

delay_ms(30);

}

if (counter<steps_el&&flage4==0&&flage3==1)

{ counter=counter+1;

PORTA=0xE5;

flage4=1;

delay_ms(30);

}

if (counter<steps_el&&flage5==0&&flage4==1)

{ counter=counter+1;

PORTA=0xE7;

flage5=1;

delay_ms(30);

}

if (counter<steps_el&&flage6==0&&flage5==1)

{ counter=counter+1;

PORTA=0xE6;

flage6=1;

delay_ms(30);
```

```
    }  
    if (counter<steps_el&&flage7==0&&flage6==1)  
    {  
        counter=counter+1;  
        PORTA=0xEE;  
        flage7=1;flage8=0;  
        delay_ms(30);  
    }  
    if (counter<steps_el&&flage8==0&&flage1==1)  
    {  
        counter=counter+1;  
        PORTA=0xEA;  
        flage1=0;flage2=0;flage3=0;flage4=0;flage5=0;flage6=0;flage7=0;flage8=1;  
        delay_ms(30);  
    }  
    }  
    }  
    }
```

```
void stepper_el_right(int steps_el)           //uporoutina kiniseis upsous  
{  
    int counter=0;  
    while(counter<steps_el)  
    {  
        if (counter<steps_el&&flage1==1 &&flage2==0)  
        {  
            counter=counter+1;  
            PORTA=0xEA;  
            flage1=0;  
            delay_ms(30);  
        }  
        if (counter<steps_el&&flage8==1 &&flage1==0)  
        {  
            counter=counter+1;  
            PORTA=0xEE;  
            flage8=0;  
            delay_ms(30);  
        }  
    }  
}
```

```
}  
  
if (counter<steps_el&&flage7==1&&flage8==0)  
{ counter=counter+1;  
  
PORTA=0xE6;  
  
flage7=0;  
  
delay_ms(30);  
  
}  
  
if (counter<steps_el&&flage6==1&&flage7==0)  
{ counter=counter+1;  
  
PORTA=0xE7;  
  
flage6=0;  
  
delay_ms(30);  
  
}  
  
if (counter<steps_el&&flage5==1&&flage6==0)  
{ counter=counter+1;  
  
PORTA=0xE5;  
  
flage5=0;  
  
delay_ms(30);  
  
}  
  
if (counter<steps_el&&flage4==1&&flage5==0)  
{ counter=counter+1;  
  
PORTA=0xED;  
  
flage4=0;  
  
delay_ms(30);  
  
}  
  
if (counter<steps_el&&flage3==1&&flage4==0)  
{ counter=counter+1;  
  
PORTA=0xE9;  
  
flage3=0;flage2=1;  
  
delay_ms(30);  
  
}  
  
if (counter<steps_el&&flage2==1&&flage3==0)  
{ counter=counter+1;
```

```
PORTA=0xEB;

flage1=1;flage2=0;flage3=1;flage4=1;flage5=1;flage6=1;flage7=1;flage8=1;

delay_ms(30);

}

}

}
```

```
void monades(float a) //uporoutina gia metatropi metabliton
{ // kai proboli stin othoni
int inta;
float reala;
inta=a;
reala=(a - inta) * 1000;
if(reala<0)reala=reala*(-1);
itoa(inta,display);
lcd_puts(display);
lcd_puts(".");
itoa(reala,display);
lcd_puts(display);
return;
}
```

```
void monadesak(int a) //uporoutina gia metatropi metabliton
{ //kai proboli stin othoni
int inta;
inta=a;
itoa(inta,display);
lcd_puts(display);
return;
}
```

```
void setup(void)                                //uporoutina arxikopoiisis
{
  int f,i;
  while (P==1)
  {
    if(P==1)
    {
      PORTA=0xEA;
      delay_ms(30);
      f=1;
    }

    if(P==1)
    {
      PORTA=0xE6;
      delay_ms(30);
      f=2;
    }

    if(P==1)
    {
      PORTA=0xE5;
      delay_ms(30);
      f=3;
    }

    if(P==1)
    {
      PORTA=0xE9;
      delay_ms(30);
      f=4;
    }
  }
  i=0;
```



```
while(i<=9) //10 bimata gia na kinithei stin thesi 0 tou upsous
{
if(f==1&& i<=9)
{
PORTA=0xE9;
delay_ms(30);
i=i+1;
f=2;
flage1=1;flage2=1;flage3=0;flage4=0;flage5=0;flage6=0;flage7=0;flage8=1;
} //arxikopoiisi ton flag gia ta sosta epomena bimata

if(f==2&& i<=9)
{
PORTA=0xE5;
delay_ms(30);
i=i+1;
f=3;
flage1=1;flage2=1;flage3=1;flage4=1;flage5=0;flage6=0;flage7=0;flage8=1;
}

if(f==3&& i<=9)
{
PORTA=0xE6;
delay_ms(30);
i=i+1;
f=4;
flage1=1;flage2=1;flage3=1;flage4=1;flage5=1;flage6=1;flage7=0;flage8=0;
}

if(f==4&& i<=9)
{
PORTA=0xEA;
delay_ms(30);
i=i+1;
f=1;
}
```

```
flag1=0;flag2=0;flag3=0;flag4=0;flag5=0;flag6=0;flag7=0;flag8=1;
}
}
GICR = 0b00100000;           //midenismos tou interrupt
delay_ms(1000);             // arxikopoiisi azimouthiaki gonia
P=1;
while(P==1)
{
if (P==1)
{
PORTD=0xF9;
delay_ms(60);
f=1;
}
if (P==1)
{
PORTD=0xF5;
delay_ms(60);
f=2;
}
if (P==1)
{
PORTD=0xF6;
delay_ms(60);
f=3;
}
if (P==1)
{
PORTD=0xFA;
delay_ms(60);
f=4;
}
}
```

```
i=0;
while(i<=16) //16 bimata gia tin thesi tis anapolis
{
  if(f==1&& i<=16)
  {
    PORTD=0xFA;
    delay_ms(30);
    i=i+1;
    flag1=0;flag2=0;flag3=1;flag4=1;flag5=1;flag6=1;flag7=1;flag8=1;
    f=2;
  }
  if(f==2&& i<=16)
  {
    PORTD=0xF6;
    delay_ms(30);
    i=i+1;
    flag1=0;flag2=0;flag3=1;flag4=1;flag5=1;flag6=1;flag7=0;flag8=0;
    f=3;
  }
  if(f==3&& i<=16)
  {
    PORTD=0xF5;
    delay_ms(30);
    i=i+1;
    flag1=0;flag2=0;flag3=1;flag4=1;flag5=0;flag6=0;flag7=0;flag8=0;
    f=4;
  }
  if(f==4&& i<=16)
  {
    PORTD=0xF9;
    delay_ms(30);
    i=i+1;
    flag1=0;flag2=1;flag3=0;flag4=0;flag5=0;flag6=0;flag7=0;flag8=0;
```

```
f=1;
}
}
delay_ms(1000);
GICR = 0b00100000;
P=1;    }           //midenismos tou inerupt gia etoimotita ston epanelenxo ana 2 ores

void main()           //kuria rutina
{
float reflex_azimuth_old,reflex_elevation_old,reflex_azimuth_new,reflex_elevation_new;
float rotate_azimuth,rotate_elevation,upol,upolel,steps_az_real,steps_el_real;
int steps_az,steps_el;

DDRD=0xFF;           //port D katheto moter
PORTD=0xFF;
DDRA=0xFF;           //port A orizontio moter
PORTA=0xFF;
DDRB.2=0;PORTB.2=1;   //port B othoni LCD kai interupt gia tous termatikous diakoptes
DDRC.3=1;PORTC.3=1;
PORTC.3=0;           //port C real time clock kai sima gia allagi stin tasi ton moter
lcd_init(16);
rtc_init(1,1,1);

lcd_gotoxy(4,0);
lcd_puts("WELCOME");
delay_ms(1000);
lcd_clear();
lcd_gotoxy(5,0);
lcd_puts("SETUP");
lcd_gotoxy(2,1);
lcd_puts("IN PROGRESS");
```

```
GICR = 0b00100000;
MCUCSR = 0b00000000;
#asm("sei")
#asm("wdr")
#pragma optsize-
WDTCR=0x1F;
#ifdef _OPTIMIZE_SIZE_
#pragma optsize+
#endif
P=1;
setup();                //uporoutina gia arxikopoiisi
reflex_azimuth_old=90;    //90=anatoli
reflex_elevation_old=0;  //0=KATHETO

while (1)
{
PORTC.3=0;              //thesi 0 sto rele= upsili tasi sto rele (8 VOLT)
delay_ms(1000);
rtc_get_time(&H,&MI,&S);    //eisagogi oras se metablites
hr=(int)H;
mini=(int)MI;
sec=(int)S;
rtc_get_date(&D,&MO,&Y);    //eisagogi hmerominias se metablites
day=(int)D;
month=(int)MO;
year=(int)Y;
if((mini==0 && hr%2==0) || (mini==1 && hr%2==0))    //ana 2 ores setup gia epanelenxo
{
lcd_clear();
lcd_gotoxy(4,0);
lcd_puts("re-setup");
delay_ms(1);
lcd_gotoxy(2,1);
```

```
lcd_puts("in progress");

setup ();

reflex_azimuth_old=90;
reflex_elevation_old=0;
}

Calculate_sun_coordinates( );           //upologismos azimuthiou kai elevesion

reflex_azimuth_new=AZIMUTH/2;           //upologismos anaklasis
reflex_elevation_new=ELEVATION/2;
rotate_azimuth=reflex_azimuth_new - reflex_azimuth_old;   //upologismos gonias metakiniseis
rotate_elevation=reflex_elevation_new - reflex_elevation_old;

if (rotate_azimuth<0)
{
rotate_azimuth=rotate_azimuth*(-1);
}                                           //ta steps einai panta thetika

steps_az_real=rotate_azimuth / 0.9;
steps_az=steps_az_real;
steps_az_real=steps_az_real-steps_az;
upol=upol + steps_az_real;
if (upol>=0.45)                             //apothikeusi upoleipou apo akeraio arithmo bimatou
{ steps_az=steps_az + 1;
upol=upol - 0.9;
}

steper_az_right(steps_az);                 //yporoutina kinisis
delay_ms(1000);

if (rotate_elevation>=0)
{
steps_el_real=rotate_elevation/0.9;
steps_el=steps_el_real;
steps_el_real=steps_el_real-steps_el;
upolel=upolel + steps_el_real;
```

```
if(upolel>=0.45)
{
steps_el=steps_el+1;
upolel=upolel-0.9;
}
steper_el_left(steps_el);           //uporoutina kinisis
}

if (rotate_elevation<0)
{
rotate_elevation=rotate_elevation*(-1);           //ta steps einai panta thetika
steps_el_real=rotate_elevation/0.9;
steps_el=steps_el_real;
steps_el_real=steps_el_real-steps_el;
upolel=upolel+steps_el_real;
if(upolel>=0.45)
{
steps_el=steps_el+1;
upolel=upolel-0.9;
}
steper_el_right(steps_el);           //uporoutina kinisis
}

reflex_azimuth_old=reflex_azimuth_new;           //i nea thesi ginetai palia gia ton epomeno kuklo
reflex_elevation_old=reflex_elevation_new;

PORTC.3=1;           //allagi tasis (5 volt)

lcd_clear();

lcd_gotoxy(0,0);           //proboli pliroforion stin othoni
lcd_puts("time:");
monadesak(hr);
lcd_puts(":");
monadesak(mini);
```

```
lcd_puts(":");
monadesak(sec);
lcd_gotoxy(0,1);
lcd_puts("date:");
monadesak(day);
lcd_puts("/");
monadesak(month);
lcd_puts("/");
monadesak(year);
delay_ms(5000) ;
lcd_clear();
if (steps_el!=0 || steps_az!=0)
{
lcd_gotoxy(0,0);
lcd_puts("steps-Az:");
monadesak(steps_az);
lcd_gotoxy(0,1);
lcd_puts("steps-El:");
monadesak(steps_el);
}
else
{
lcd_puts("upol-Az:");
monades(upol);
lcd_gotoxy(0,1);
lcd_puts("upol-El:");
monades(upolel);
}
delay_ms(5000);
lcd_clear();
lcd_gotoxy(0,0);
lcd_puts("Azim:");
monades(AZIMUTH);
```



```
lcd_gotoxy(0,1);
lcd_puts("Elev:");
monades(ELEVATION);
delay_ms(5000);
checksec=105; //105 sec antistrofi metrisi sunolo 120,06 sec anamonis
while(checksec!=0)
{
lcd_clear();
lcd_gotoxy(0,0);
lcd_puts(" next check at:");
lcd_gotoxy(7,1);
monadesak(checksec);
delay_ms(1000);
checksec=checksec-1;
}

// +15,06 sec ta delay sunolo kuklou: 120,06 sec +upologismoi microelekti

}
}
```

5 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

5.1 Εισαγωγή

Το πειραματικό μέρος περιλαμβάνει τη χρήση της συσκευής κατά τη διάρκεια μιας ημέρας, καθώς και την προβολή των αποτελεσμάτων για τον υπολογισμό του σφάλματος και της ακρίβειας του συστήματος.

Η συσκευή τοποθετήθηκε σε απόσταση 8 μέτρων από την περιοχή προβολής της ανάκλασης, με διεύθυνση προς τον Νότο. Η συσκευή ρυθμίστηκε ώστε η αντανάκλαση να στοχεύει νότια και σε ύψος 0° παράλληλα δηλαδή με το έδαφος. Τα αποτελέσματα αποτυπώνονται με φωτογραφίες ανά 30 λεπτά.

5.2 φωτογραφίες πειράματος



Εικόνα 8α ώρα 9:00



Εικόνα 8β ώρα 9:30



Εικόνα 8γ ώρα 10:00



Εικόνα 8δ ώρα 10:30



Εικόνα 8ε ώρα 11:00



Εικόνα 8ζ ώρα 11:30



Εικόνα 8η ώρα 12:00



Εικόνα 8θ ώρα 12:30



Εικόνα 8ι ώρα 13:00



Εικόνα 8κ ώρα 13:30



Εικόνα 8λ ώρα 14:00



Εικόνα 8μ ώρα 14:30



Εικόνα 8ν ώρα 15:00



Εικόνα 8ξ ώρα 15:30



Εικόνα 8ο ώρα 16:00



Εικόνα 8π ώρα 16:30



Εικόνα 8ρ ώρα 17:00



Εικόνα 8σ ώρα 17:30



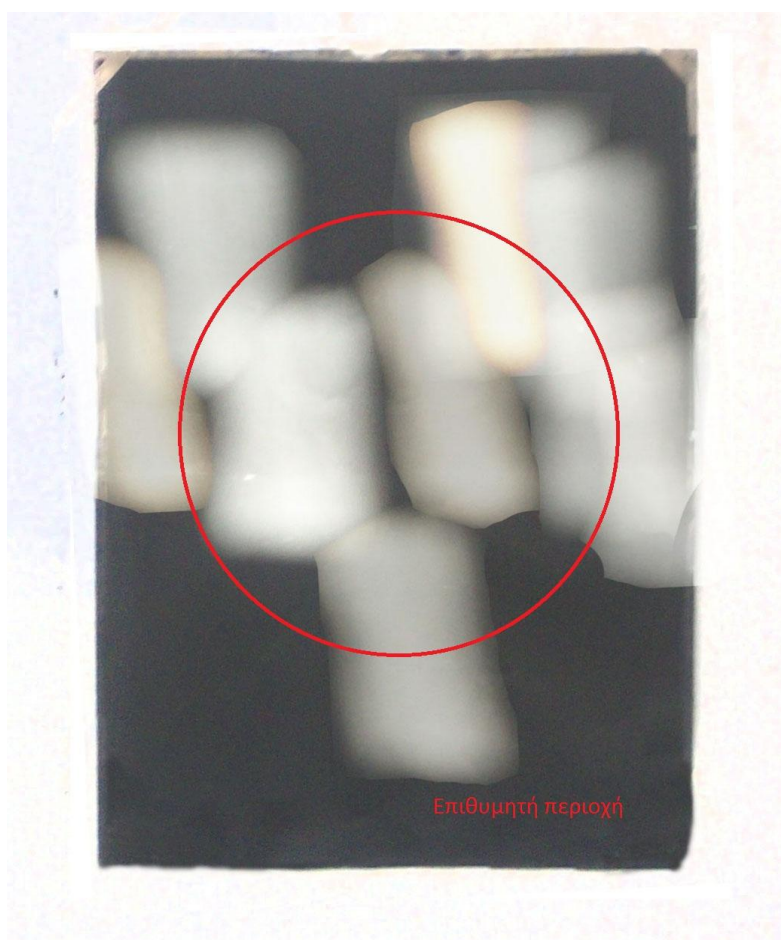
Εικόνα 8τ ώρα 18:00



Εικόνα 8υ ώρα 18:30



Εικόνα 8φ ώρα 19:00



Εικόνα 9 Διασπορά

6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το μαύρο επίπεδο που αποτυπώνει την ανάκλαση έχει διαστάσεις 70 X 98 cm. Το κάθε βήμα της συσκευής είναι $0,9^\circ$ και η απόσταση μεταξύ τους είναι 8 μέτρα. Οπότε μπορούμε να υπολογίσουμε την απόσταση των ανακλάσεων στο επίπεδο από τον πολλαπλασιασμό της απόστασης σε εκατοστά και της γωνίας του βήματος σε rad.

Άρα $x=800 \cdot (0,9 \cdot \pi/180) \Rightarrow x = 12,56$ cm.

Αυτό σημαίνει ότι η ιδανική περιοχή περικλείεται από έναν κύκλο με διάμετρο περίπου 35 cm (22 cm είναι το μήκος του καθρέπτη). Όπως φαίνεται από το σχήμα διασποράς (εικόνα 9), σε μερικές περιπτώσεις η ανάκλαση φτάνει τα όρια του επιπέδου. Έχει δηλαδή μια απόκλιση από το ιδανικό 17,5 cm ή αλλιώς $1,25^\circ$ σφάλμα πέρα από το σφάλμα του βηματικού κινητήρα. Σε βήματα, αυτό μεταφράζεται με σφάλμα ενός βήματος. Αυτό οφείλεται είτε από σφάλμα κατά την αρχικοποίηση, είτε από εξωτερικούς παράγοντες όπως η ταχύτητα του ανέμου που θα μπορούσε να προκαλέσει την μετακίνηση, κατά ένα βήμα του κατόπτρου. Κατά το πείραμα η ταχύτητα του ανέμου έφτασε μέχρι 4 Μποφώρ.

Σε γενικές γραμμές, μπορούμε να πούμε ότι κατά προσέγγιση η γωνία ανάκλασης είναι σωστή, όπως και ο υπολογισμός της θέσης του ήλιου. Το σύστημα ανταποκρίθηκε αρκετά καλά κατά τη διάρκεια του πειράματος, καθώς όλη τη διάρκεια της μέρας βρισκόταν εκτεθειμένο στον ήλιο και σε καιρικές συνθήκες με μεγάλες θερμοκρασίες, ιδίως κατά τις μεσημβρινές ώρες. Η συσκευή λόγω του συστήματος ψύξης κατάφερε να διατηρήσει χαμηλή θερμοκρασία χωρίς να προκαλέσει τυχόν προβλήματα στην ομαλή λειτουργία του.

Εν κατακλείδι, για αποστάσεις της τάξεως μερικών μέτρων και στόχους μεγέθους περίπου ενός τετραγωνικού μέτρου, το σύστημα είναι αποτελεσματικό για αντανάκλαση με εύρος τιμών 50 cm περίπου.

7 ΒΕΛΤΙΩΣΕΙΣ

Σε τέτοιου είδους συστήματα, κύριο λόγο έχει η ακρίβεια της γωνίας ανάκλασης. Στο συγκεκριμένο σύστημα για να επιτευχθεί αυτό θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί διαφορετικό σύστημα κίνησης. Οι βηματικοί κινητήρες που χρησιμοποιήθηκαν έχουν βήμα 1.8° , και μισό βήμα όπου και χρησιμοποιήθηκε 0.9° . Για βηματικούς μεγαλύτερης ακρίβειας απαιτείται μεγαλύτερο κόστος, οπότε ένας τρόπος βελτίωσης είναι να χρησιμοποιηθούν βηματικοί ίδιου βήματος αλλά και γρανάζι ώστε να υπάρχει μια σχέση μετάδοσης, που θα ωφελήσει στον αριθμό βημάτων ανά μοίρα. Ένας άλλος τρόπος είναι να χρησιμοποιηθούν άλλου είδους κινητήρες όπως servo, ώστε να μην υπάρχουν βήματα αλλά χρόνος που θα τροφοδοτείται με ρεύμα για την κίνηση του κατόπτρου. Η αύξηση της ισχύς των κινητήρων μπορεί να βελτιώσει την αντίσταση του κατόπτρου στον άνεμο έτσι ώστε να μην υπάρχει η αμφιβολία της δημιουργίας σφάλματος από τον εν λόγω παράγοντα. Η ισχύς των υπαρχόντων κινητήρων είναι 9,6 watt (8volt, 1,2 ampere). Ένας κινητήρας 12 volt και άνω θα βελτίωνε το σύστημα ικανοποιητικά. 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 ακόμα βελτίωση που πρέπει να υπάρχει για την δημιουργία ενός τελικού προϊόντος, είναι η δυνατότητα να αλλάζει η γεωγραφική θέση της συσκευής. Στην παρούσα εργασία, η τοποθεσία είναι η γεωγραφική θέση του ΤΕΙ Κρήτης (long=25.102, lat=35.318). Για την αλλαγή της θέσης πρέπει να επέμβουμε στον κώδικα του μικροελεγκτή. Ένας τρόπος για βελτίωση είναι να τοποθετηθεί ένα πληκτρολόγιο στη συσκευή και να υπάρχει η επιλογή από ένα μενού της αλλαγής θέσης, ώρας και ημερομηνίας.

Εφαρμογές που μπορεί να έχει η συσκευή είναι πολλές. Μεταξύ άλλων, είναι η κατεύθυνση της αντανάκλασης του ήλιου σε σκιώδης περιοχές όπου βρίσκονται ανθοφόρα φυτά. Τα ανθοφόρα φυτά προκειμένου να βγάλουν άνθη, απαιτούν τη 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. Μια άλλη χρήση του συστήματος θα μπορούσε να είναι η κατεύθυνση της αντανάκλασης σε μια ομάδα από ηλιακούς θερμοσίφωνες, ώστε να παράγουν ζεστό νερό. Για αυτήν τη χρήση θα ήταν θεμιτή η ύπαρξη περισσότερων από έναν ηλιοστάτη, έτσι ώστε η αντανάκλαση τους να συγκεντρώνεται και να θερμαίνει περισσότερο τον ηλιακό θερμοσίφωνα. Μια εφαρμογή που προαναφέρθηκε είναι στους ηλιακούς πύργους για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Τέλος, με την αντανάκλαση της ακτίνας είναι εφικτό να φωτιστούν εσωτερικοί χώροι που δεν έχουν την δυνατότητα να λάβουν φώς κατά τη διάρκεια της μέρας.

8 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] http://www.kee.gr/perivallontiki/teacher5_2.html
- [2] http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_solar_thermal_power_stations
- [3] <http://www.guardian.co.uk/environment/2010/jul/13/spain-solar-power>
- [4] <http://el.wikipedia.org/wiki/Αρχιμήδης>
- [5] 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
- [6] Akhmedyarov, K.A.; Bazarov, B.A.; Ishankuliev. B.; Karshenas, K.E.; Schaimerangulyev, G. Economic efficiency of the FV-500 solar photoelectric station with automatic tracking of the sun. Appl. Solar Energ. 1986
- [7] Kalogirou, S.A. Design and construction of a one-axis sun-tracking system. Sol. Energ. 1996, 57, 465-469.
- [8] <http://www.mdpi.com/1424-8220/9/5/3875/pdf>
- [9] McCluney, R. Passive optical solar tracking system. Appl. Optics 1983, 22, 3433-3439.
- [10] Al-Naima, F.M.; Yaghobian, N.A. Design and construction of a solar tracking System. Solar Wind Technol. 1990, 7, 611-617
- [11] Lorenz, W. Design guidelines for a glazing with a seasonally dependent solar transmittance. Sol.Energ. 1998, 63, 79-96
- [12] Blanco-Muriel, M.; Alarcon-Padilla, D.C.; Lopez-Moratalla, T.; Lara-Coira, M. Computing the solar vector. Sol. Energ. 2001, 70, 431-441
- [13] Michalsky, J. J. The astronomical almanac's algorithm for approximate solar position. Sol. Energ. 1988, 40, 227-235

- [14] 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
- [15] Abdallah, S.; Nijmeh, S. Two axes sun tracking system with PLC control. *Energ. Convers. Manage.* 2004, 45, 1931-1939
- [16] Reda, I.; Andreas, A. Solar position algorithm for solar radiation applications. *Sol. Energ.* 2004, 76, 577-589
- [17] Grena, R. An algorithm for the computation of the solar position. *Sol. Energy* 2008, 82, 462-470
- [18] <http://infolib.hua.edu.vn/Fulltext/ChuyenDe/ChuyenDe07/CDe112/64.pdf>
- [19] <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0038092X7890155X>
- [20] http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc8017.pdf
- [21] εισαγωγή στη μηχανική I. Φασουλάς TEI Κρητης
- [22] <http://www.superrobotica.com/download/s310410/easy-step-1000.pdf>
- [23] http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2466.pdf
- [24] <http://www.psa.es/sdg/sunpos.htm>
- [25] <http://el.wikipedia.org/wiki/Ανάκλαση>
- [26] NON-IMAGING, FOCUSING HELIOSTAT
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X0100041X>