

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ



Διπλωματική Εργασία

Σχεδιασμός και ανάπτυξη συστήματος προσανατολισμού δύο αξόνων φωτοβολταικών πλαισίων με χρήση μικροελεγκτή.

Καγκαράκης Κωνσταντίνος

Χανιά 2010

Καταρχήν θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την αμέριστη υποστήριξη που μου παρείχε όλα αυτά τα χρόνια (ηθική και υλική) καθώς και τους φίλους μου για τα ωραία φοιτητικά χρόνια που περάσαμε, τα οποία θα μείνουν για πάντα χαραγμένα στην μνήμη μου.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή κ. Καλαϊτζάκη Κωνσταντίνο για την επίβλεψη της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας, την αρωγή και την καθοδήγησή του. Επιπρόσθετα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή κ. Σταυρακάκη Γεώργιο και τον Δρ. κ. Κουτρούλη Ευτύχη για τη συμμετοχή τους ως μέλη στην εξεταστική επιτροπή.

Πρόλογος

Η ηλιακή ενέργεια είναι μια καθαρή, ανεξάντλητη, ήπια και ανανεώσιμη μορφή ενέργειας. Η ηλιακή ακτινοβολία δεν ελέγχεται από κανέναν και αποτελεί ένα εγγώριο ενεργειακό πόρο ο οποίος παρέχει ανεξαρτησία, προβλεψιμότητα και ασφάλεια στην ενεργειακή τροφοδοσία. Έρευνες έχουν δείξει ότι η ηλιακή ενέργεια που προσπίπτει σε ένα τετραγωνικό μέτρο κάθε χρόνο ισοδυναμεί με ένα βαρέλι πετρέλαιο. Η αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας με τη χρήση φωτοβολταϊκών παρουσιάζει τα εξής πλεονεκτήματα: μηδενική ρύπανση, αθόρυβη λειτουργία, αξιοπιστία και μεγάλη διάρκεια ζωής (που ξεπερνά τα 30 χρόνια), απεξάρτηση από τα ρυπογόνα ορυκτά καύσιμα, δυνατότητα επέκτασης ανάλογα με τις ανάγκες, ελάχιστη συντήρηση.

Για κάθε ηλιακή κιλοβατώρα που παράγεται, αποσοβείται η έκλυση 1 περίπου κιλού διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) στην ατμόσφαιρα. Δηλαδή, εγκαθιστώντας 1 KWp φωτοβολταϊκών αποσοβούμε 1.300 κιλά CO₂ το χρόνο.

Στόχος μας είναι η ανάπτυξη ενός συστήματος το οποίο θα μπορεί να παρακολουθεί συνεχώς την πορεία του ήλιου για να την πλήρη εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας.

Περίληψη

Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται η ανάπτυξη ενός συστήματος sun-tracking δύο αξόνων για την μεγιστοποίηση της ενέργειας που παράγεται από φωτοβολταϊκά στοιχεία. Ο αλγόριθμος και ο κώδικας προσομοιώθηκαν στην αυτόνομη πλακέτα (χωρίς παρεμβολή δηλαδή του υπολογιστή) που φέρει τον controller PIC18F452. Για την δημιουργία του κώδικα χρησιμοποιήθηκε το περιβάλλον MicroC PRO for PIC. Η κίνηση έγινε με την βοήθεια δυο ίδιων servo κινητήρων της εταιρίας Tower Pro και συγκεκριμένα των μοντέλων SG-90 οι οποίοι μπορούν να κινήσουν την βάση με τις φωτοαντιστάσεις που έχει φτιαχτεί από LEGO για περιορισμό του βάρους της. Επίσης υλοποιήθηκε και μια πλακέτα η οποία φέρει τον controller PIC18F4550 και συνδέεται με τον υπολογιστή μέσω της θύρας USB, όχι μόνο για να παίρνει ρεύμα αλλά και να ανταλλάσσει δεδομένα με αυτόν. Η δημιουργία του κώδικα για την αναγνώριση της θύρας USB έγινε σε Visual C++.

Πιο αναλυτικά στο **Κεφάλαιο 1** γίνεται μια σύντομη αναφορά στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, στα πλεονεκτήματα / μειονεκτήματα που παρουσιάζουν καθώς και της κατάστασης που επικρατεί στην Ελλάδα σε σχέση με άλλες ευρωπαϊκές χώρες. Στο **Κεφάλαιο 2** γίνεται μια μικρή ανάλυση των φωτοβολταϊκών, παρουσιάζονται οι τρεις τεχνικές ιχνηλατήσεις (για σταθερά πλαίσια, για πλαίσια ενός άξονα και δύο αξόνων) και τα ποσοστά απόδοσης τους, αναλύεται η αρχή λειτουργίας των servo κινητήρων, των φωτοαντιστάσεων, γίνεται μια σύντομη αναφορά στους μικροελεγκτες και τέλος γίνεται περιγραφή της πλακέτας που σχετίζεται με τον υπολογιστή και φέρει τον PIC18F4550. Στο **Κεφάλαιο 3** αναπτύσσεται η μεθοδολογία και ο σχεδιασμός του sun tracking system, πως έγινε η κίνηση σε δύο άξονες, η διάταξη των φωτοαντιστάσεων για τους απαραίτητους ελέγχους και η αρχιτεκτονική του PIC18F4550. Στο **Κεφάλαιο 4** γίνεται λόγος για το περιβάλλον MicroC PRO for PIC στο οποίο αναπτύχτηκε ο κώδικας κίνησης των servo κινητήρων, παρουσιάζεται η αυτόνομη πλακέτα στην οποία προσομοιώθηκε η κίνηση των servo, επίσης γίνεται λόγος για το firmware του usb και η διαδικασία αναγνώρισης πλακέτας-υπολογιστή, και τέλος αναλύεται το εργαλείο το οποίο φορτώνει τους κώδικες στους controllers.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1	8
1.1 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας	8
1.2 Κατηγορίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας	9
1.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα	10
1.4 Κατάσταση ΑΠΕ σε Ελλάδα και Ευρώπη	11
Κεφάλαιο 2	14
2.1 Φωτοβολταϊκά	14
2.1.1 Γενικοί ορισμοί	14
2.1.2 Τεχνολογίες Φ/Β Στοιχείων	14
2.1.3. Δομή Φ/Β Πλαισίου	17
2.1.4 Διάκριση Φ/Β Συστημάτων	18
2.1.5 Συλλογή του ηλιακού φωτός	20
2.2 Τεχνικές Tracking	24
2.2.1 Θέση ήλιου και ηλιακού συλλέκτη	25
2.2.2 Διακύμανση της ηλιακής ακτινοβολίας	26
2.2.3 Χαρακτηριστικές καμπύλες τάσης – ρεύματος	28
2.2.4 Πλαίσια με σύστημα ιχνηλάτησης	35
2.3 Servo-κινητήρες	49
2.4 Φωτοαντιστάσεις	51
2.5 Μικροελεγκτές	52
2.5.1 Σύντομη αναφορά στους PIC της Microchip	53
2.5.2 Κατηγορίες PIC	54
2.5.3 Προγραμματισμός ενός μικροελεγκτή	56
2.6 Πλακέτα συλλογής δεδομένων	57
2.6.1 Επιλογή Control Chip	57

2.6.2 Περιγραφή πλακέτας.....	57
Κεφάλαιο 3.....	61
3.1 Μεθοδολογία	61
3.2 Σχεδιασμός.....	61
3.3 Μέθοδος κίνησης σε 2 άξονες	62
3.4 Φωτοαντιστάσεις : Δημιουργία ρεύματος (Light Sensor Theory)	63
3.5 Σχεδιασμός αισθητήρων και σύνδεση στο κύκλωμα	64
3.6 Αλγόριθμος	66
3.7 Μικροελεγκτής PIC 18F4550	68
3.7.1 Ταλαντωτής.....	75
3.7.2 Αρχικοποίηση	76
3.7.3. Οργάνωση μνήμης.....	77
3.7.4 Flash Program Memory.....	79
3.7.5 Μνήμη Δεδομένων EEPROM.....	81
3.7.6 I/O Ports	82
3.7.7 Παλμοί με Εύρος Διαμόρφωσης (Pulse-Width-Modulation /PWM).....	84
3.7.8 Universal Serial Bus (USB).....	85
Κεφάλαιο 4.....	88
4.1 Micro C PRO for PIC	88
4.2 Firmware USB.....	91
4.3 Programmer Kit	93
4.4 Μελλοντικές προεκτάσεις	95
Βιβλιογραφία.....	96

Κεφάλαιο 1

1.1 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ή ήπιες μορφές ενέργειας, είναι μορφές εκμεταλλεύσιμης ενέργειας που προέρχονται από διάφορες φυσικές διαδικασίες, όπως ο άνεμος, ο ήλιος, η γεωθερμία, η κυκλοφορία του νερού και άλλες. Ο όρος «ήπιες» αναφέρεται σε δυο βασικά χαρακτηριστικά τους. Καταρχάς, για την εκμετάλλευσή τους δεν απαιτείται κάποια ενεργητική παρέμβαση, όπως εξόρυξη, άντληση ή καύση, όπως με τις μέχρι τώρα χρησιμοποιούμενες πηγές ενέργειας, αλλά απλώς η εκμετάλλευση της ήδη υπάρχουσας ροής ενέργειας στη φύση. Δεύτερον, πρόκειται για «καθαρές» μορφές ενέργειας, πολύ «φιλικές» στο περιβάλλον, που δεν αποδεδεσμεύουν υδρογονάνθρακες, διοξείδιο του άνθρακα ή τοξικά και ραδιενεργά απόβλητα, όπως οι υπόλοιπες πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται σε μεγάλη κλίμακα. Έτσι οι ΑΠΕ θεωρούνται από πολλούς μία αφετηρία για την επίλυση των οικολογικών προβλημάτων που αντιμετωπίζει η Γη.

Ως «ανανεώσιμες πηγές» θεωρούνται γενικά οι εναλλακτικές των παραδοσιακών πηγών ενέργειας (π.χ. του πετρελαίου ή του άνθρακα), όπως η ηλιακή και η αιολική. Ο χαρακτηρισμός «ανανεώσιμες» είναι κάπως καταχρηστικός, μιας και ορισμένες από αυτές τις πηγές, όπως η γεωθερμική ενέργεια δεν ανανεώνονται σε κλίμακα χιλιετιών. Σε κάθε περίπτωση οι ΑΠΕ έχουν μελετηθεί ως λύση στο πρόβλημα της αναμενόμενης εξάντλησης των (μη ανανεώσιμων) αποθεμάτων ορυκτών καυσίμων. Τελευταία από την Ευρωπαϊκή Ένωση, αλλά και από πολλά μεμονωμένα κράτη, υιοθετούνται νέες πολιτικές για τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, που προάγουν τέτοιες εσωτερικές πολιτικές και για τα κράτη μέλη. Οι ΑΠΕ αποτελούν τη βάση του μοντέλου οικονομικής ανάπτυξης της πράσινης οικονομίας και κεντρικό σημείο εστίασης της σχολής των οικολογικών οικονομικών, η οποία έχει κάποια επιρροή στο οικολογικό κίνημα.

Οι ήπιες μορφές ενέργειας βασίζονται κατ' ουσίαν στην ηλιακή ακτινοβολία, με εξαίρεση τη γεωθερμική ενέργεια, η οποία είναι ροή ενέργειας από το εσωτερικό του φλοιού της γης, και την ενέργεια απ' τις παλίρροιες που εκμεταλλεύεται τη βαρύτητα. Οι βασιζόμενες στην ηλιακή ακτινοβολία ήπιες πηγές ενέργειας είναι ανανεώσιμες, μιας και δεν πρόκειται να εξαντληθούν όσο υπάρχει ο ήλιος, δηλαδή για μερικά ακόμα δισεκατομμύρια χρόνια. Ουσιαστικά είναι ηλιακή ενέργεια "συσκευασμένη" κατά τον ένα ή τον άλλο τρόπο: η βιομάζα είναι ηλιακή ενέργεια δεσμευμένη στους ιστούς των φυτών μέσω της φωτοσύνθεσης, η αιολική εκμεταλλεύεται τους ανέμους που προκαλούνται απ' τη θέρμανση του αέρα ενώ αυτές που βασίζονται στο νερό εκμεταλλεύονται τον κύκλο εξάτμισης-συμπύκνωσης του νερού και την κυκλοφορία του. Η γεωθερμική ενέργεια δεν είναι ανανεώσιμη, καθώς τα γεωθερμικά πεδία κάποια στιγμή εξαντλούνται.

Χρησιμοποιούνται είτε άμεσα (κυρίως για θέρμανση) είτε μετατρεπόμενες σε άλλες μορφές ενέργειας (κυρίως ηλεκτρισμό ή μηχανική ενέργεια). Υπολογίζεται ότι το τεχνικά εκμεταλλεύσιμο ενεργειακό δυναμικό απ' τις ήπιες μορφές ενέργειας είναι πολλαπλάσιο της παγκόσμιας συνολικής κατανάλωσης ενέργειας. Η υψηλή όμως μέχρι πρόσφατα τιμή των νέων ενεργειακών εφαρμογών, τα τεχνικά προβλήματα εφαρμογής καθώς και πολιτικές και οικονομικές σκοπιμότητες που έχουν να κάνουν με τη διατήρηση του παρόντος status quo στον ενεργειακό τομέα εμπόδισαν την εκμετάλλευση έστω και μέρους αυτού του δυναμικού. Ειδικά στην Ελλάδα, που έχει μορφολογία και κλίμα κατάλληλο για νέες ενεργειακές εφαρμογές, η εκμετάλλευση αυτού του ενεργειακού δυναμικού θα βοηθούσε σημαντικά στην ενεργειακή αυτονομία της χώρας.

1.2 Κατηγορίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μπορούν να ταξινομηθούν στις παρακάτω κατηγορίες:

- ❖ **Αιολική ενέργεια.** Χρησιμοποιήθηκε παλιότερα για την άντληση νερού από πηγάδια καθώς και για μηχανικές εφαρμογές (π.χ. την άλεση στους ανεμόμυλους). Έχει αρχίσει να χρησιμοποιείται πλατιά για ηλεκτροπαραγωγή.
- ❖ **Ηλιακή ενέργεια.** Χρησιμοποιείται περισσότερο για θερμικές εφαρμογές ενώ η χρήση της για την παραγωγή ηλεκτρισμού έχει αρχίσει να κερδίζει έδαφος, με την βοήθεια της πολιτικής προώθησης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας από το ελληνικό κράτος και την Ευρωπαϊκή Ένωση.
- ❖ **Υδατοπτώσεις.** Είναι τα γνωστά υδροηλεκτρικά έργα, που στο πεδίο των ήπιων μορφών ενέργειας εξειδικεύονται περισσότερο στα μικρά υδροηλεκτρικά. Είναι η πιο διαδεδομένη μορφή ανανεώσιμης ενέργειας.
- ❖ **Βιομάζα.** Χρησιμοποιεί τους υδατάνθρακες των φυτών (κυρίως αποβλήτων της βιομηχανίας ξύλου, τροφίμων και ζωοτροφών και της βιομηχανίας ζάχαρης) με σκοπό την αποδέσμευση της ενέργειας που δεσμεύτηκε απ' το φυτό με τη φωτοσύνθεση. Ακόμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν αστικά απόβλητα και απορρίμματα. Μπορεί να δώσει βιοαιθανόλη και βιοαέριο, που είναι καύσιμα πιο φιλικά προς το περιβάλλον από τα παραδοσιακά. Είναι μια πηγή ενέργειας με πολλές δυνατότητες και εφαρμογές που θα χρησιμοποιηθεί πλατιά στο μέλλον.
- ❖ **Γεωθερμική ενέργεια.** Προέρχεται από τη θερμότητα που παράγεται απ' τη ραδιενεργό αποσύνθεση των πετρωμάτων της γης. Είναι εκμεταλλεύσιμη εκεί όπου η θερμότητα αυτή ανεβαίνει με φυσικό τρόπο στην επιφάνεια, π.χ. στους θερμοπίδακες ή στις πηγές ζεστού νερού. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε απευθείας για θερμικές εφαρμογές είτε για την παραγωγή ηλεκτρισμού. (Η Ισλανδία καλύπτει το 80-90% των ενεργειακών της αναγκών, όσον αφορά τη θέρμανση, και το 20%, όσον αφορά τον ηλεκτρισμό, με γεωθερμική ενέργεια.)
- ❖ **Ενέργεια από παλίρροιες.** Εκμεταλλεύεται τη βαρύτητα του Ήλιου και της Σελήνης, που προκαλεί ανύψωση της στάθμης του νερού. Το νερό αποθηκεύεται καθώς ανεβαίνει και για να ξανακατέβει αναγκάζεται να περάσει μέσα από μια τουρμπίνα, παράγοντας ηλεκτρισμό. (Έχει εφαρμοστεί στην Αγγλία, τη Γαλλία, τη Ρωσία και αλλού.)
- ❖ **Ενέργεια από κύματα.** Εκμεταλλεύεται την κινητική ενέργεια των κυμάτων της θάλασσας.

- ❖ **Ενέργεια από τους ωκεανούς.** Εκμεταλλεύεται τη διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στα στρώματα του ωκεανού, κάνοντας χρήση θερμικών κύκλων. (Βρίσκεται στο στάδιο της έρευνας.)

1.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχουν τόσο πλεονεκτήματα όσο και μειονεκτήματα. Παρακάτω παρουσιάζονται επιγραμματικά:

➤ *Πλεονεκτήματα :*

- Είναι πολύ φιλικές προς το περιβάλλον, έχοντας ουσιαστικά μηδενικά κατάλοιπα και απόβλητα.
- Δεν πρόκειται να εξαντληθούν ποτέ, σε αντίθεση με τα ορυκτά καύσιμα.
- Μπορούν να βοηθήσουν την ενεργειακή αυτάρκεια μικρών και αναπτυσσόμενων χωρών, καθώς και να αποτελέσουν την εναλλακτική πρόταση σε σχέση με την οικονομία του πετρελαίου.
- Είναι ευέλικτες εφαρμογές που μπορούν να παράγουν ενέργεια ανάλογη με τις ανάγκες του επί τόπου πληθυσμού, καταργώντας την ανάγκη για τεράστιες μονάδες παραγωγής ενέργειας (καταρχήν για την ύπαιθρο) αλλά και για μεταφορά της ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις.
- Ο εξοπλισμός είναι απλός στην κατασκευή και τη συντήρηση και έχει μεγάλο χρόνο ζωής.
- Επιδοτούνται από τις περισσότερες κυβερνήσεις.

➤ *Μειονεκτήματα :*

- Έχουν αρκετά μικρό συντελεστή απόδοσης, της τάξης του 30% ή και χαμηλότερο. Συνεπώς απαιτείται αρκετά μεγάλο αρχικό κόστος εφαρμογής σε μεγάλη επιφάνεια γης. Γι' αυτό το λόγο μέχρι τώρα χρησιμοποιούνται σαν συμπληρωματικές πηγές ενέργειας.
- Για τον παραπάνω λόγο προς το παρόν δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κάλυψη των αναγκών μεγάλων αστικών κέντρων.
- Η παροχή και απόδοση της αιολικής, υδροηλεκτρικής και ηλιακής ενέργειας εξαρτάται από την εποχή του έτους αλλά και από το γεωγραφικό πλάτος και το κλίμα της περιοχής στην οποία εγκαθίστανται.
- Για τις αιολικές μηχανές υπάρχει η άποψη ότι δεν είναι κομψές από αισθητική άποψη κι ότι προκαλούν θόρυβο και θανάτους πουλιών. Με την εξέλιξη όμως της τεχνολογίας τους και την προσεκτικότερη επιλογή χώρων εγκατάστασης (π.χ. σε πλατφόρμες στην ανοιχτή θάλασσα) αυτά τα προβλήματα έχουν σχεδόν λυθεί.
- Για τα υδροηλεκτρικά έργα λέγεται ότι προκαλούν έκλυση μεθανίου από την αποσύνθεση των φυτών που βρίσκονται κάτω απ' το νερό κι έτσι συντελούν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

1.4 Κατάσταση ΑΠΕ σε Ελλάδα και Ευρώπη

Παρατηρώντας το παρακάτω Σχήμα 1.1 βλέπουμε ότι η Ελλάδα συγκρινόμενη με τις άλλες χώρες του ΟΟΣΑ βρίσκεται στις χαμηλές βαθμίδες αξιοποίησης των ΑΠΕ. Σε παρόμοια θέση βρίσκονται αρκετές ευρωπαϊκές και μη χώρες, ενώ ξεχωρίζει η Ισλανδία που το ποσοστό της συνεισφοράς των ΑΠΕ στα ενεργειακά της αποθέματα ξεπερνάει το 70%. Σημειώνεται ότι στην παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ τη μεγαλύτερη συνεισφορά έχουν η προερχόμενη ενέργεια από τα υδροηλεκτρικά έργα και τα απορρίμματα.

	1971	1990	2000	2001	2002	2003
Γαλλία	8,4	7,0	6,7	6,9	6,2	6,4
Γερμανία	1,2	1,8	3,1	3,4	3,7	3,9
Ελλάδα	7,4	5,0	5,3	4,7	4,9	5,4
Ιταλία	5,1	4,4	5,4	5,7	5,5	6,2
Πορτογαλία	18,9	18,5	15,2	16,1	13,8	16,7
Ισπανία	6,4	6,9	5,7	6,5	5,4	6,7
Ισλανδία	42,9	64,5	71,1	72,9	72,3	73,4
Νορβηγία	39,9	53,3	51,6	44,2	47,4	44,1
Δανία	1,7	6,8	11,3	11,9	13,1	13,2
ΕΕ-15	4,1	5,0	6,0	6,1	5,9	6,2
ΟΟΣΑ	4,7	6,0	6,1	5,8	5,9	5,9

Σχήμα 1.1 : Συνεισφορά των ΑΠΕ στα ενεργειακά αποθέματα (Ως ποσοστό των συνολικών αποθεμάτων πρωτογενούς ενέργειας)

Περιφέρεια	Μεγάλα υδροηλεκτρικά	Αιολικά	Μικρά υδροηλεκτρικά	Φωτοβολταϊκά	Βιομάζα	ΣΥΝΟΛΑ
Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης	500,0	162,2	1,00			663,20
Αττικής		2,6		0,2	20,70	23,30
Βορείου Αιγαίου		28,7				28,70
Δυτικής Ελλάδας	1.282,2	36,1	17,62			1335,92
Κεντρικής Μακεδονίας	492,0	17,0	23,90	0,15	2,50	535,55
Ηπείρου	543,6		28,7			571,40
Ιονίων Νήσων		10,2				10,20
Θεσσαλίας	130,0		4,94		0,35	135,29
Κρήτης		104,5	0,60	0,80	0,17	106,27
Νοτίου Αιγαίου		20,1				20,10
Πελοποννήσου	70,0	36,0	2,00			108,00
Στερεάς Ελλάδας		204,3	22,0			226,30
Σύνολα	3.017,8	621,7	99,86	1,15*	23,72	3.764,23

μέγιστη

ελάχιστη

Σχήμα 1.2 : Εγκατεστημένη ισχύς συστημάτων ΑΠΕ στην Ελλάδα, σε MW (Δεκέμβριος 2005-Ιανουάριος 2006)

➤ **Για την αιολική ενέργεια :**

- Η εγκατεστημένη ισχύς στην ΕΕ-15 αυξήθηκε κατά 23% το 2003.
- Η Γερμανία, η Ισπανία και η Δανία καταλαμβάνουν το 84% της συνολικής ισχύος αιολικής ενέργειας στην ΕΕ-15.
- Στην Ελλάδα, την πλέον διαδεδομένη τεχνολογία αξιοποίησης ανανεώσιμων ενεργειακών πόρων αποτελούν οι ανεμογεννήτριες, καλύπτοντας το 2003 το 94,1% της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος των ΑΠΕ (μη λαμβάνοντας υπόψη τα μεγάλα και μικρά υδροηλεκτρικά).

➤ **Για την ηλιακή ενέργεια :**

- Η Ελλάδα είναι τρίτη στον κόσμο στην εγκατάσταση θερμικών ηλιακών συλλεκτών ανά κάτοικο (350m²/1000 κατοίκους). Πρώτη στην εγκατάσταση είναι η Κύπρος (≈ 860m²/1000 κατοίκους) και δεύτερο το Ισραήλ (≈ 590m²/1000 κατοίκους). Στην ΕΕ-25 και σε απόλυτους αριθμούς έρχεται δεύτερη μετά την Γερμανία.
- Από το διπλασιασμό της εγκατεστημένης ισχύος φωτοβολταϊκών στην Ευρώπη μεταξύ 2001 και 2003, το μεγαλύτερο ποσοστό, 70%, καταλαμβάνει η Γερμανία. Ωστόσο, η φωτοβολταϊκή ενέργεια διπλασιάστηκε επίσης στην Ισπανία και στην Αυστρία.
- Η συνολικά εγκατεστημένη ισχύς φωτοβολταϊκών στην Ελλάδα ήταν στα τέλη του 2004 περί τα 4.5 MW, ποσοστό μόλις 0,1% επί των συνολικών φωτοβολταϊκών συστημάτων παγκοσμίως. Έκθεση της Ευρωπαϊκής Ένωσης με τίτλο “Photovoltaics 2010” αναφέρει ότι το δυναμικό των φωτοβολταϊκών σε οικιακές εφαρμογές αρκεί για να καλύψει το 25-30% των αναγκών της Ελλάδας σε ηλεκτρισμό (κι αυτό λαμβάνοντας υπόψη μόνο τα κατάλληλα για μια τέτοια χρήση κτίρια).

➤ **Για την γεωθερμία :**

- Η πιο συνηθισμένη μη-ηλεκτρική χρήση της γεωθερμίας παγκόσμια είναι οι αντλίες θερμότητας (heat-pumps) και ακολουθούν η λουτροθεραπεία, η θέρμανση χώρων, η θέρμανση θερμοκηπίων, οι υδατοκαλλιέργειες και οι βιομηχανικές χρήσεις.
- Τα τελευταία έτη έχει αυξηθεί σημαντικά η θέρμανση και η ψύξη χώρων με τη χρήση αντλιών θερμότητας εδάφους. Την πρώτη θέση καταλαμβάνει η Σουηδία. Ακολουθούν η Γερμανία και η Γαλλία. Η Ιταλία είναι η πρωτοπόρος χώρα στην Ευρώπη στις χαμηλής ενέργειας εφαρμογές της γεωθερμίας ακολουθούμενη από την Γαλλία και την Γερμανία.
- Στην Ελλάδα υπάρχουν αρκετές περιοχές με διαπιστωμένα γεωθερμικά αποθέματα, καθώς οι γεωλογικές συνθήκες ευνόησαν τη δημιουργία ενός πολύ σημαντικού γεωθερμικού δυναμικού χαμηλής ενθαλπίας.

➤ **Για την βιομάζα :**

- Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει παγκοσμίως η ενεργειακή αξιοποίηση των απορριμμάτων. Σε μεγάλες ευρωπαϊκές πόλεις όπως η Βιέννη, η Φρανκφούρτη και η Κολωνία λειτουργούν εργοστάσια ηλεκτρικής ενέργειας με καύσιμη ύλη τα απορρίμματα των κατοίκων τους.
- Η αντιμετώπιση της βιομάζας ως ενεργειακού πόρου έχει μεγάλη βαρύτητα σε αγροτικές χώρες, όπως η Ελλάδα (ενεργειακές καλλιέργειες, αξιοποίηση αγροτικών και κτηνοτροφικών παραπροϊόντων που σήμερα λογίζονται ως απόβλητα και συνεπώς ως κόστος).
- Σε ευρωπαϊκό επίπεδο βραχυπρόθεσμα (2010) η μεγαλύτερη εν δυνάμει βιοενέργεια θα προέρχεται από τα στερεά απόβλητα – εκτιμάται στους 100Mt ΠΠ (μεγατόνους ισοδύναμου πετρελαίου) -, ενώ μακροπρόθεσμα (2030) οι ενεργειακές καλλιέργειες θα αποτελούν την κύρια πηγή βιοενέργειας - εκτιμάται στους 142 Mt ΠΠ -.
- Για την Ελλάδα η δυναμική για παραγωγή βιοενέργειας σε περιβαλλοντικά πλαίσια (χωρίς πιέσεις στους φυσικούς πόρους) είναι ιδιαιτέρως χαμηλή. Αναφέρεται ότι το 2010 θα αντιπροσωπεύει μόλις το 0,8%, το 2020 το 1,4% και το 2030 το 1,3% της συνολικής παραγωγής βιοενέργειας της ΕΕ-25.

Κεφάλαιο 2

2.1 Φωτοβολταϊκά

2.1.1 Γενικοί ορισμοί

Με τον γενικό όρο φωτοβολταϊκά χαρακτηρίζονται οι βιομηχανικές διατάξεις μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική.

Το Φ/Β φαινόμενο ανακαλύφθηκε το 1839 από τον Μπεκερέλ (Becquerel) και πρόκειται για την απορρόφηση της ενέργειας του φωτός από τα ηλεκτρόνια των ατόμων του Φ/Β στοιχείου και την απόδραση των ηλεκτρονίων αυτών από τις κανονικές τους θέσεις με αποτέλεσμα την δημιουργία ρεύματος. Το ηλεκτρικό πεδίο που προϋπάρχει στο Φ/Β στοιχείο οδηγεί το ρεύμα στο φορτίο.

Τα Φ/Β πλαίσια έχουν ως βασικό μέρος το ηλιακό στοιχείο (solar cell) που είναι ένας κατάλληλα επεξεργασμένος ημιαγωγός λεπτού πάχους σε επίπεδη επιφάνεια. Η πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας δημιουργεί ηλεκτρική τάση και με την κατάλληλη σύνδεση σε φορτίο παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα.

Τα Φ/Β στοιχεία ομαδοποιούνται κατάλληλα και συγκροτούν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια ή γεννήτριες (module), τυπικής ισχύος από 20W έως 300W.

Οι Φ/Β γεννήτριες συνδέονται ηλεκτρολογικά μεταξύ τους και δημιουργούνται οι φωτοβολταϊκές συστοιχίες (arrays). [1] [2] [3] [4]

2.1.2 Τεχνολογίες Φ/Β Στοιχείων

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία χωρίζονται σε δυο βασικές κατηγορίες:

✓ Κρυσταλλικού Πυριτίου

-Μονοκρυσταλλικού πυριτίου, με ονομαστικές αποδόσεις πλαισίων 14,5% έως 21%,

-Πολυκρυσταλλικού πυριτίου, με ονομαστικές αποδόσεις πλαισίων 13% έως 14,5%.

✓ Λεπτών Μεμβρανών

-Άμορφο Πυριτίου, ονομαστικής απόδοσης ~7%.

-Χαλκοπυριτών CIS / CIGS, ονομαστικής απόδοσης από 7% έως 11%.

Το πυρίτιο (Si) είναι η βάση για το 90% περίπου της παγκόσμιας παραγωγής Φ/Β. Η κυριαρχία αυτή οφείλεται αρχικά στην τεράστια παγκόσμια επιστημονική και τεχνική υποδομή για το υλικό αυτό από τη δεκαετία του '60. Μεγάλες κυβερνητικές και βιομηχανικές επενδύσεις έγιναν σε προγράμματα για τις χημικές και ηλεκτρονικές ιδιότητες του Si, ώστε να δημιουργηθεί ο εξοπλισμός που απαιτείται στα βήματα της επεξεργασίας για την απόκτηση της απαραίτητης καθαρότητας και της κρυσταλλικής δομής του υλικού.

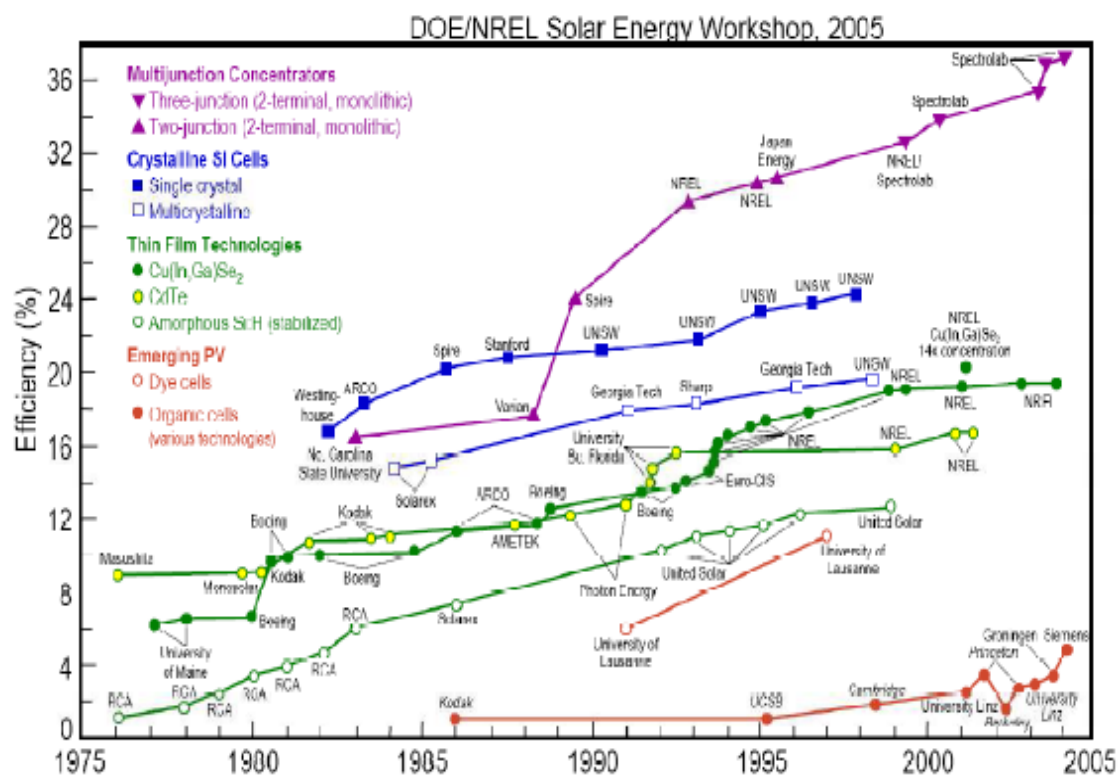
Η γνώση που προέκυψε έτσι για το πυρίτιο, τα χαρακτηριστικά του και η αφθονία του στη γη, το κατέστησαν ικανό και συμφέρον μέσο για την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας. Εντούτοις, λόγω του ότι είναι εύθραυστο, το πυρίτιο απαιτεί τον σχηματισμό στοιχείων σχετικά μεγάλου πάχους. Αυτό σημαίνει ότι μερικά από τα ηλεκτρόνια που απελευθερώνονται μετά την απορρόφηση της ηλιακής ενέργειας πρέπει να ταξιδέψουν μεγάλες αποστάσεις για να ενταχθούν στην ροή του ρεύματος και να συνεισφέρουν στο ηλεκτρικό κύκλωμα. Συνεπώς, το υλικό θα πρέπει να έχει υψηλή καθαρότητα και δομική τελειότητα, ώστε να αποτρέψει την επιστροφή των ηλεκτρονίων στις φυσικές τους θέσεις. Οι ατέλειες πρέπει να αποφευχθούν ώστε η ενέργεια του ηλεκτρονίου να μην μετατραπεί σε θερμότητα. Η παραγωγή θερμότητας, η οποία είναι επιθυμητή στα ηλιακά θερμικά πλαίσια, όπου αυτή η θερμότητα μεταφέρεται σε ένα ρευστό, είναι ανεπιθύμητη στα Φ/Β πλαίσια, όπου η ηλιακή ενέργεια θα πρέπει να μετατραπεί σε ηλεκτρική.

Το πυρίτιο, ανάλογα με την επεξεργασία του, δίνει μονοκρυσταλλικά, πολυκρυσταλλικά ή άμορφα υλικά, από τα οποία παράγονται τα Φ/Β στοιχεία. Τα λεπτά υλικά είναι ένας τρόπος να μειωθεί το κόστος των Φ/Β πλαισίων και να αυξηθεί η απόδοσή τους. Εκτός από τη χρήση μικρότερης ποσότητας υλικού, ένα άλλο πλεονέκτημα είναι ότι ολόκληρα πλαίσια μπορούν να κατασκευαστούν παράλληλα με τη διαδικασία απόθεσης. Αυτό είναι συμφέρον οικονομικά, αλλά επίσης πολύ απαιτητικό τεχνικά, επειδή η επεξεργασία χωρίς ατέλειες αφορά μεγαλύτερη επιφάνεια.

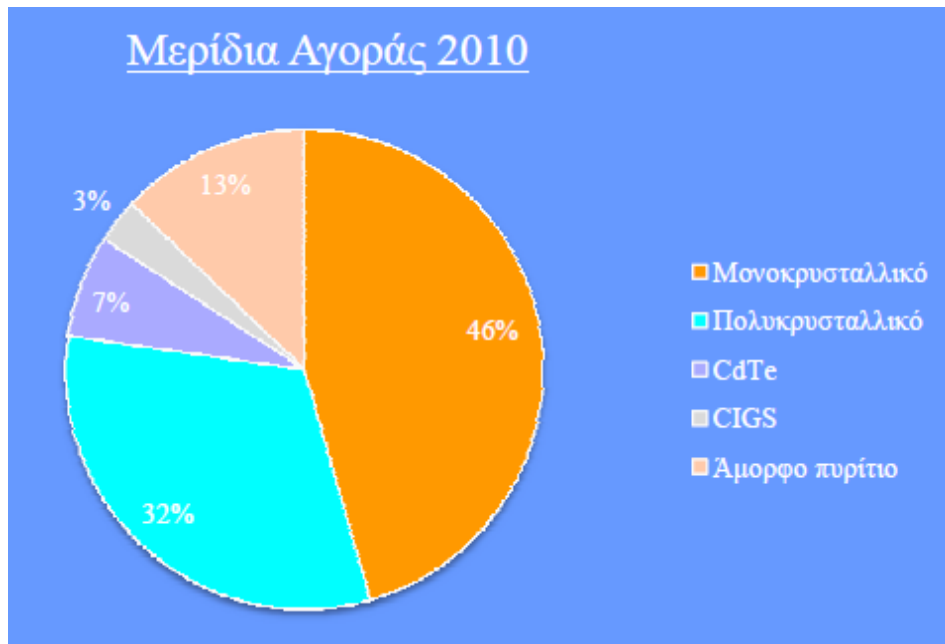
Στα πλεονεκτήματα των λεπτών πλαισίων τα οποία αναφέρθηκαν παραπάνω, θα πρέπει να αντιπαρατεθεί η χαμηλότερη ως τώρα απόδοσή τους, η οποία περιορίζεται στο 5-10%, ανάλογα με το υλικό. Πάντως η τεχνολογία λεπτού στρώματος (thin film) είναι σε φάση ανάπτυξης, αφού με διάφορες μεθόδους επεξεργασίας και χρήση διαφορετικών υλικών αναμένεται αύξηση της απόδοσης, σταθεροποίηση των χαρακτηριστικών τους και αύξηση της διείσδυσης στην αγορά. Σήμερα πάντως αποτελούν την πιο φθηνή επιλογή Φ/Β πλαισίων. [1] [2] [3] [4]

ΤΥΠΟΣ	'Λεπτού υμενίου' ή 'Thin Film'	Πολυκρυσταλλικά	Μονοκρυσταλλικά
Εμφάνιση			
Απόδοση	a-Si: 4,2-6,6% μ-Si: 8,1-8,5% CIS-CIGS: 6-11% CdTe: 6-11,1%	11-14,8%	11-19,3%
Απαιτούμενη επιφάνεια ανά kWp	9-25 m ²	7-9 m ²	5,5-9 m ²
Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας (kWh ανά kWp) (μέση τιμή για Ελλάδα και για ένα τυπικό σύστημα με νότιο προσανατολισμό και κατάλληλη κλίση)	1.300-1.450	1.300	1.300
Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας (kWh ανά m ²) (μέση τιμή για Ελλάδα και για ένα τυπικό σύστημα με νότιο προσανατολισμό και κατάλληλη κλίση)	50-160	145-185	145-235
Ετήσια μείωση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (kg CO ₂ ανά kWp)	1.300-1.450	1.300	1.300

Σχήμα 2.1 : Εξοπλισμός Φ/Β στην αγορά το 2008



Σχήμα 2.2 : Είδη Φ/Β και απόδοση τους από την δεκαετία 1970-2005

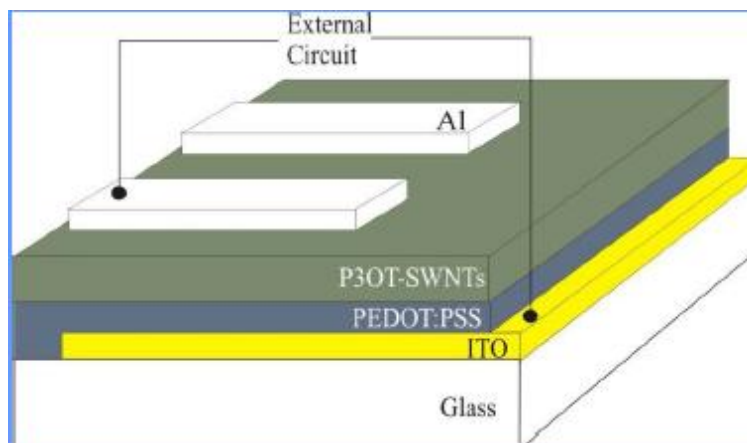


Σχήμα 2.3 : Μερίδια αγοράς Φ/Β για το 2010

2.1.3. Δομή Φ/Β Πλαισίου

Το φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται από ένα αριθμό μερών ή υποσυστημάτων:

- ✓ Τη φωτοβολταϊκή γεννήτρια με τη μηχανική υποστήριξη και πιθανόν ένα σύστημα παρακολούθησης της ηλιακής τροχιάς.
- ✓ Μπαταρίες (υποσύστημα αποθήκευσης).
- ✓ Καθορισμό ισχύος και συσκευή ελέγχου που περιλαμβάνει φροντίδα για μέτρηση και παρατήρηση.
- ✓ Εφεδρική γεννήτρια. Η επιλογή του πώς και ποια από αυτά τα στοιχεία ολοκληρώνονται μέσα στο σύστημα εξαρτάται από ποικίλες εκτιμήσεις.

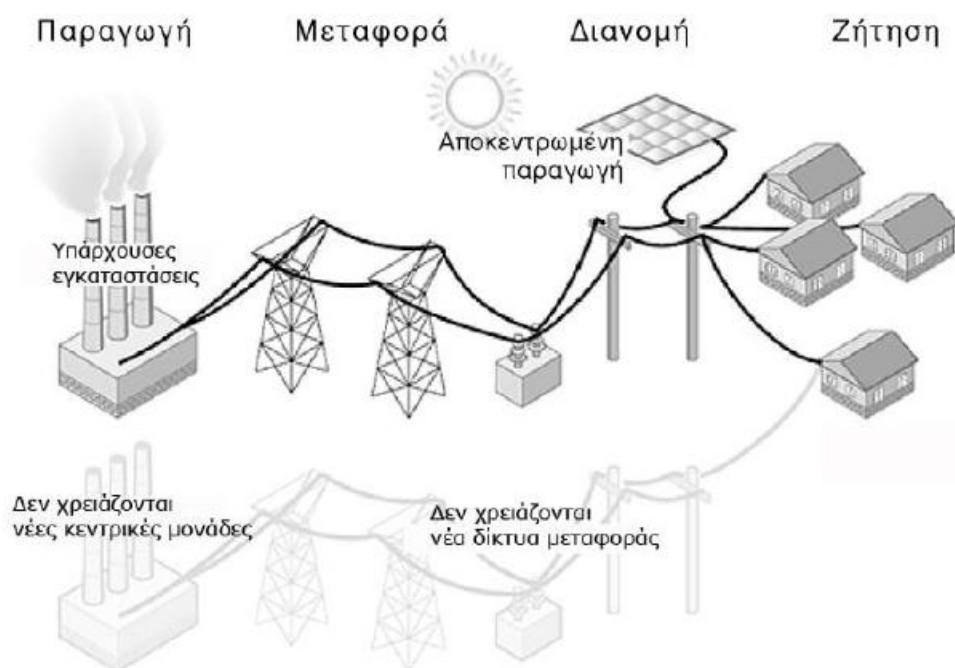


Σχήμα 2.4 : Δομή ενός Φ/Β

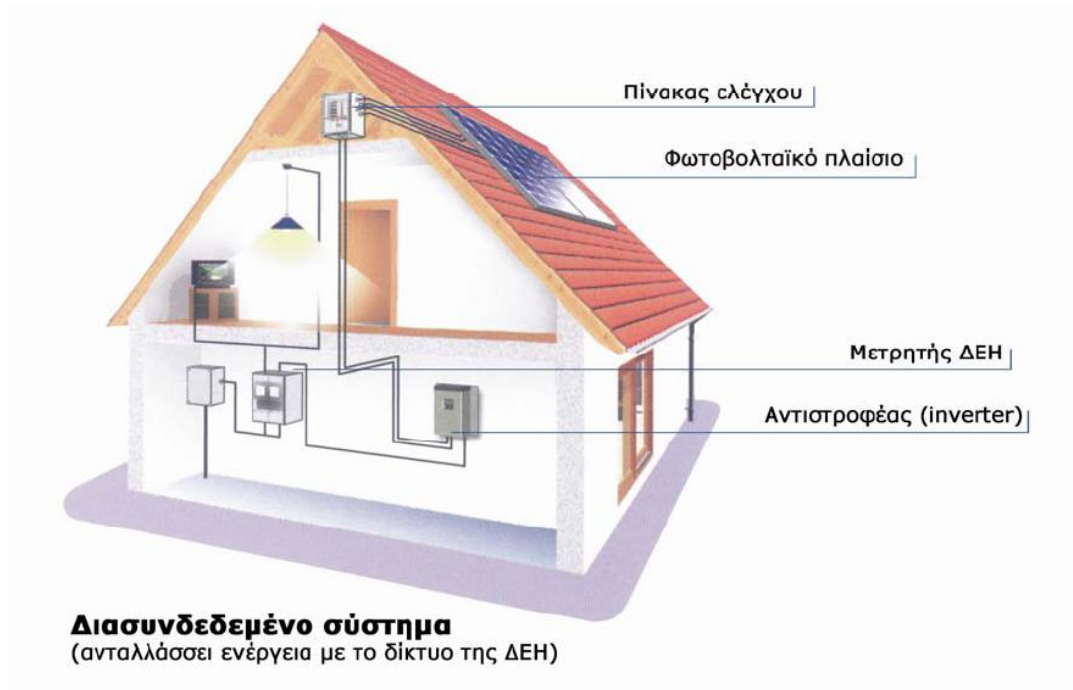
2.1.4 Διάκριση Φ/Β Συστημάτων

Υπάρχουν δυο κύριες κατηγορίες συστημάτων, το διασυνδεδεμένο με το δίκτυο και το αυτόνομο. Η απλούστερη μορφή του δεύτερου εκ των δυο αποτελείται απλώς από μια φωτοβολταϊκή γεννήτρια, η οποία μόνη της τροφοδοτεί με συνεχές ρεύμα ένα φορτίο οποτεδήποτε υπάρχει επαρκής φωτεινότητα. Αυτού του τύπου το σύστημα είναι κοινό σε εφαρμογές άντλησης. Σε άλλες περιπτώσεις το σύστημα περιέχει συνήθως μια φροντίδα για αποθήκευση ενέργειας από τις μπαταρίες. Συχνά συμπεριλαμβάνεται κάποια μορφή ρύθμισης της ισχύος, όπως στην περίπτωση που απαιτείται εναλλασσόμενο ρεύμα να εξέρχεται από το σύστημα. Σε μερικές περιπτώσεις το σύστημα περιέχει μια εφεδρική γεννήτρια.

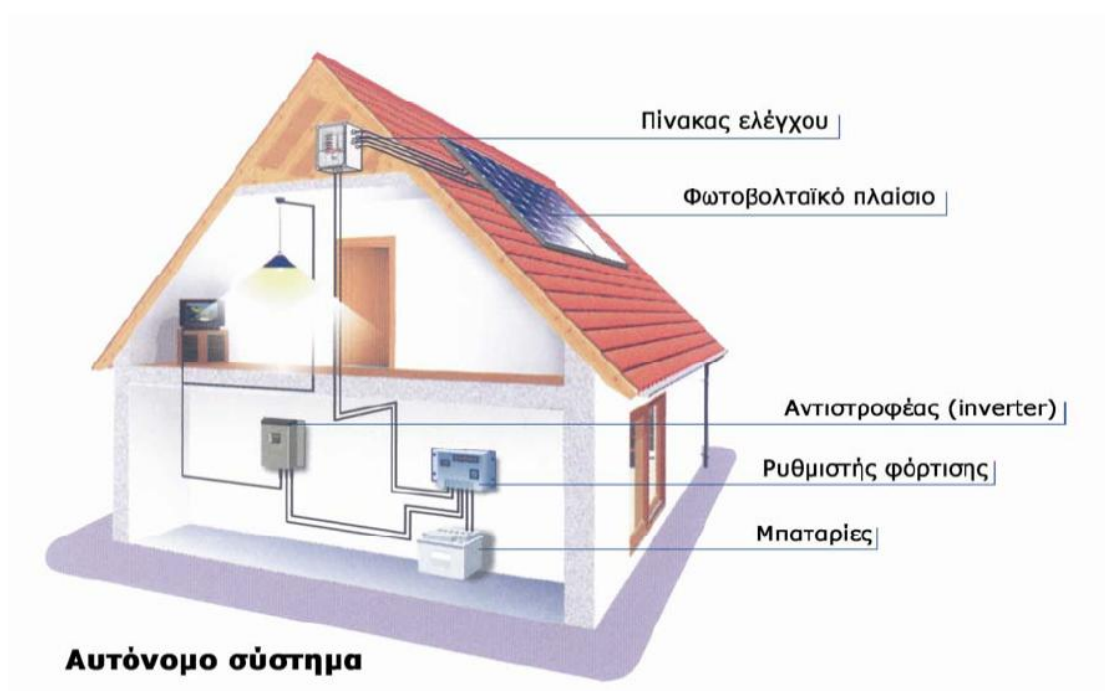
Τα συνδεδεμένα στο δίκτυο συστήματα μπορούν να υποδιαιρεθούν σ' εκείνα στα οποία το δίκτυο ενεργεί απλώς ως μια βοηθητική τροφοδοσία (εφεδρικό δίκτυο) και εκείνα τα οποία ίσως λάβουν επίσης πρόσθετη ισχύ από τη Φ.Β. γεννήτρια (αλληλοεπιδρώμενο δίκτυο). Μέσα στους Φ/Β σταθμούς όλη η παραγόμενη ισχύς τροφοδοτείται στο δίκτυο. [1] [2] [3] [4]



Σχήμα 2.5 : Ενσωμάτωση Φ/Β στο υπάρχων δίκτυο μεταφοράς



Σχήμα 2.6 : Δομή διασυνδεδεμένου συστήματος σε οικία



Σχήμα 2.7 : Δομή αυτόνομου συστήματος σε οικία

2.1.5 Συλλογή του ηλιακού φωτός

Ένα σημαντικό πρόβλημα που αντιμετωπίζει ο σχεδιαστής μιας διάταξης είναι το που θα στερεωθούν οι βασικές μονάδες, αν θα στερεωθούν σε σταθερές θέσεις ή οι προσανατολισμοί τους θα ακολουθούν (ιχνηλατούν) την κίνηση του ηλίου.

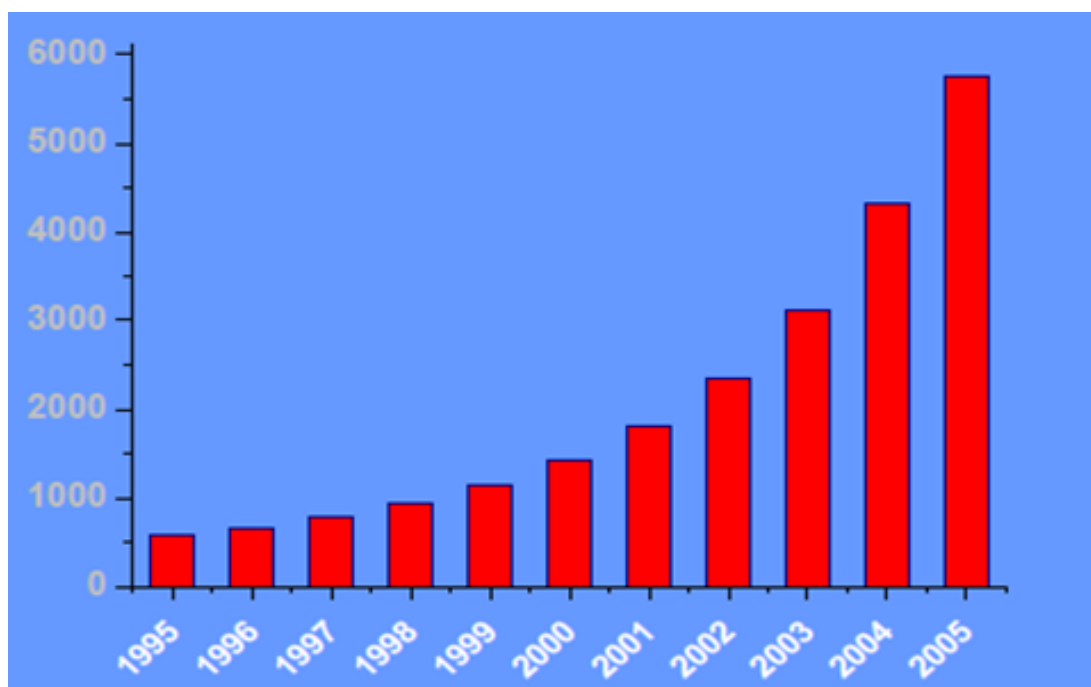
Στις περισσότερες διατάξεις οι βασικές μονάδες στερεώνονται σ' ένα σταθερό κεκλιμένο επίπεδο με την πρόσοψη προς τον ισημερινό. Αυτό έχει την αρετή της απλότητας, δηλαδή κανένα κινούμενο τμήμα και χαμηλό κόστος. Η άριστη γωνία κλίσης εξαρτάται κυρίως από το γεωγραφικό πλάτος, την αναλογία της διάχυτης ακτινοβολίας στην τοποθεσία και το είδος του φορτίου.

Στερεώνοντας τη διάταξη πάνω σε σύστημα με δύο άξονες παρακολούθησης του Ηλίου, μπορεί να συλλεχθεί μέχρι 25% περισσότερη ηλιακή ενέργεια κατά τη διάρκεια ενός έτους, σε σύγκριση με την εγκατάσταση σταθερής κλίσης. Κάτι τέτοιο όμως αυξάνει την πολυπλοκότητα και έχει ως αποτέλεσμα μια χαμηλότερης αξιοπιστίας και υψηλότερου κόστους συντήρηση. Η μονού άξονα παρακολούθηση (ιχνηλάτηση) είναι λιγότερο σύνθετη αλλά παρουσιάζει μικρότερο κέρδος. Ο προσανατολισμός μπορεί να ρυθμίζεται χειροκίνητα, εκεί που η προσφορά εργασίας είναι διαθέσιμη, αυξάνοντας έτσι τις όποιες απολαβές. Έχει υπολογιστεί ότι σε κλίματα με ηλιοφάνεια μια διάταξη επίπεδης κινούμενης πλάκας που έχει κατάλληλη ρύθμιση ώστε να στρέφεται προς τον ήλιο δυο φορές την ημέρα και να παίρνει την κατάλληλη κρίση τέσσερις φορές το χρόνο, μπορεί να συλλαμβάνει το 95% της ενέργειας, που συλλέγετε με ένα σύστημα δυο αξόνων παρακολούθησης πλήρως αυτοματοποιημένο.

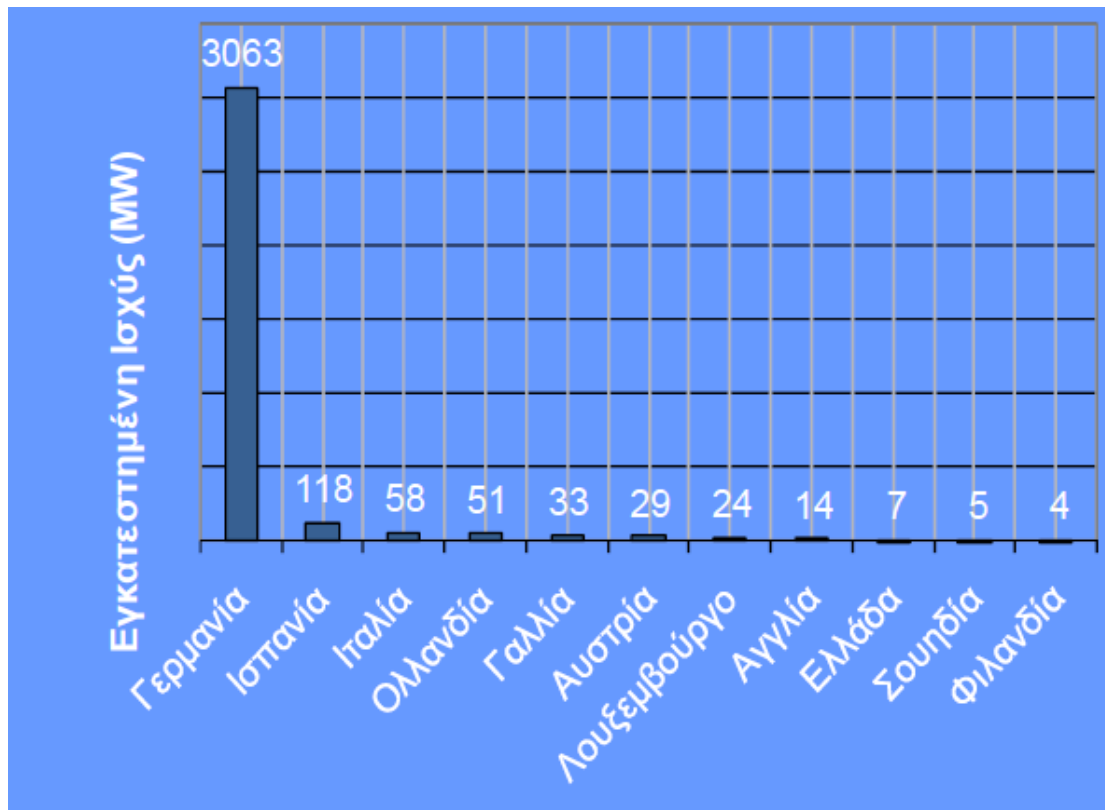
Το σύστημα παρακολούθησης είναι ιδιαίτερα σημαντικό στα συστήματα, που λειτουργούν κάτω από συγκεντρωμένο ηλιακό φως. Η δομή αυτών των συστημάτων εκτείνεται από έναν απλό σχεδιασμό βασισμένο πάνω σε πλευρικούς ενισχυτικούς καθρέπτες μέχρι τα συγκεντρωτικά συστήματα, τα οποία χρησιμοποιούν υπερσύγχρονες οπτικές τεχνικές, για να αυξήσουν την είσοδο φωτός προς τα ηλιακά στοιχεία κατά μερικές τάξεις του μεγέθους. Αυτά τα συστήματα πρέπει να προνοούν για ένα σημαντικό γεγονός, ότι δηλαδή συγκεντρώνοντας το ηλιακό φως ελαττώνουν το γωνιακό άνοιγμα των ακτίνων, που το σύστημα μπορεί να δεχθεί. Η παρακολούθηση γίνεται απαραίτητη από τη στιγμή που ο λόγος συγκέντρωσης υπερβαίνει το 10 περίπου και το σύστημα μπορεί να μετατρέψει μόνο την άμεση συνιστώσα της ηλιακής ακτινοβολίας. [2] [3]

Προσανατολισμός	Κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο		
	0 °	30 °	90 °
			
Ανατολικός - Δυτικός	90	85	50
Νοτιοανατολικός- Νοτιοδυτικός	90	95	60
Νότιος	90	100	60
Βορειοανατολικός- Βορειοδυτικός	90	67	30
Βόρειος	90	60	20

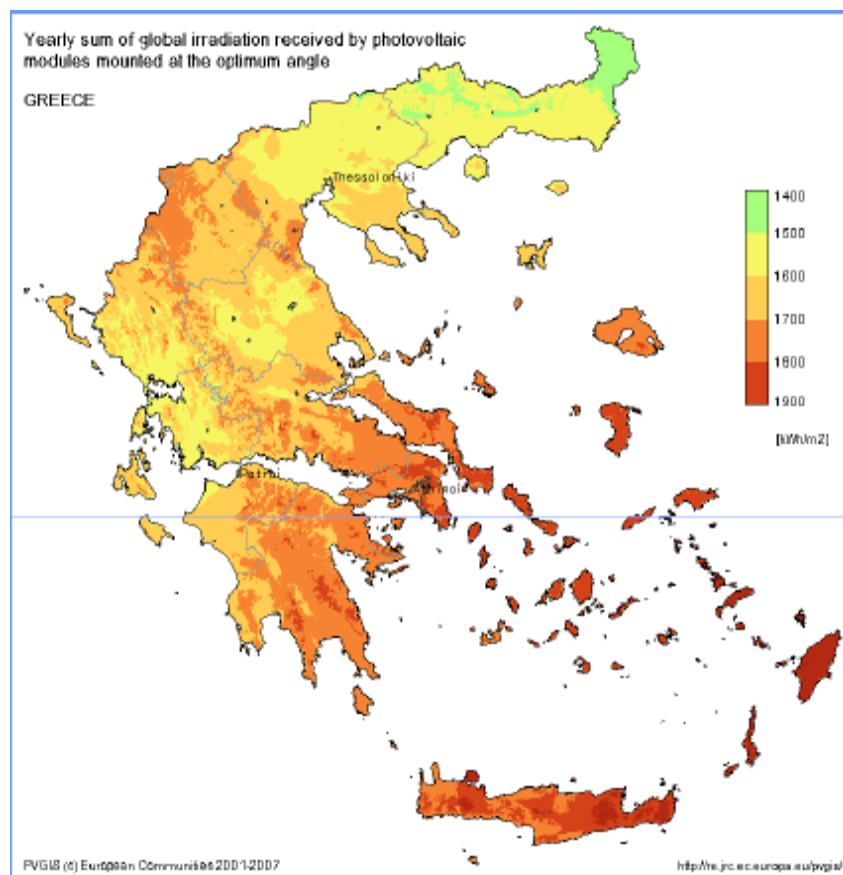
Σχήμα 2.8 : Απόδοση κεκλιμένων Φ/Β σε σχέση με τον προσανατολισμό.



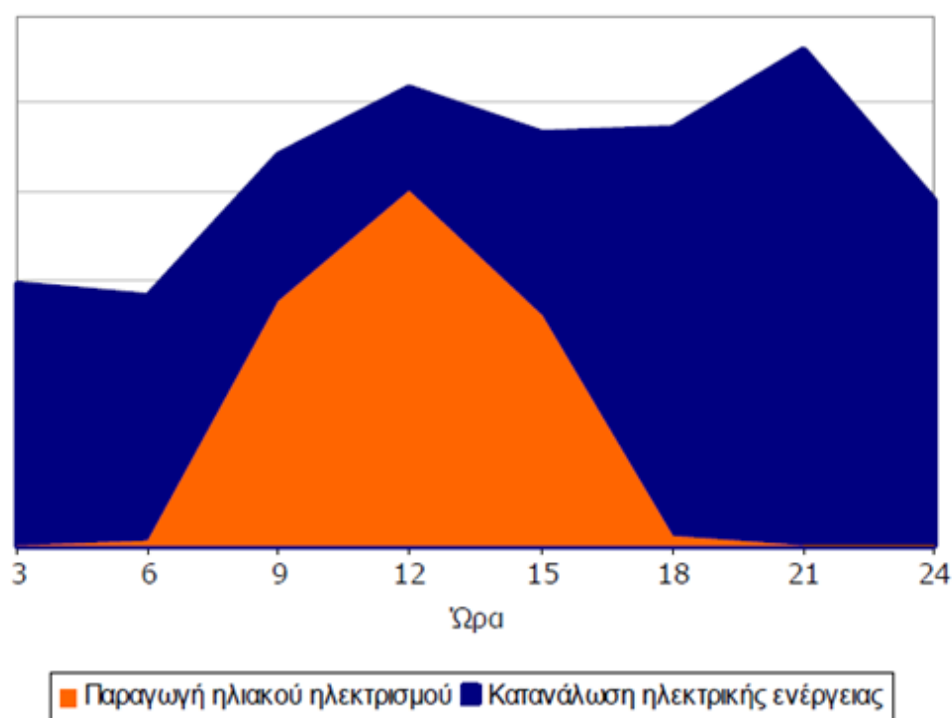
Σχήμα 2.9 : Εξέλιξη εγκατεστημένης Φ/Β ισχύος (MWp) παγκοσμίως



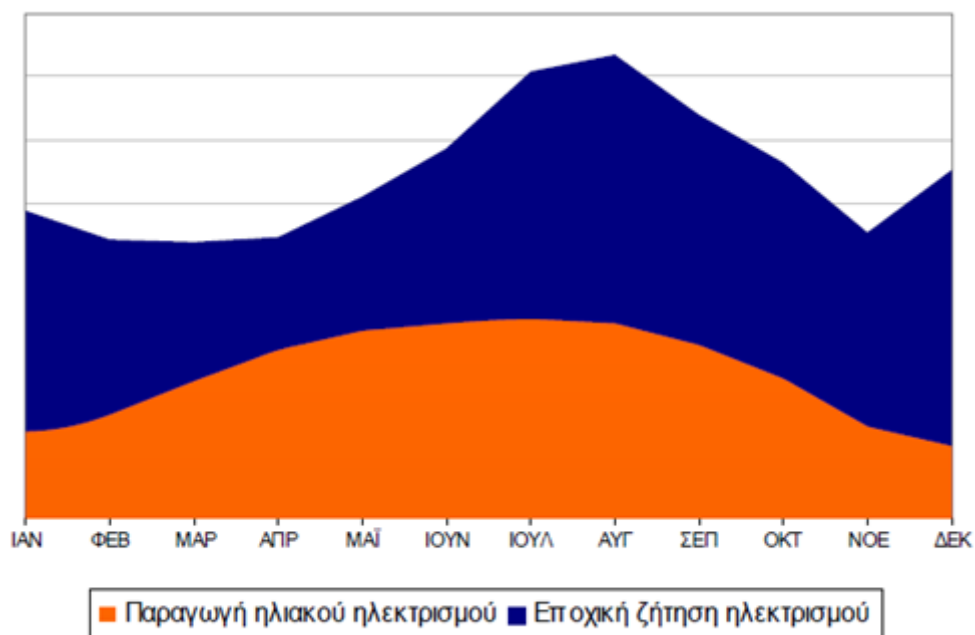
Σχήμα 2.10 : Εγκατεστημένη ισχύς σε χώρες της Ευρώπης



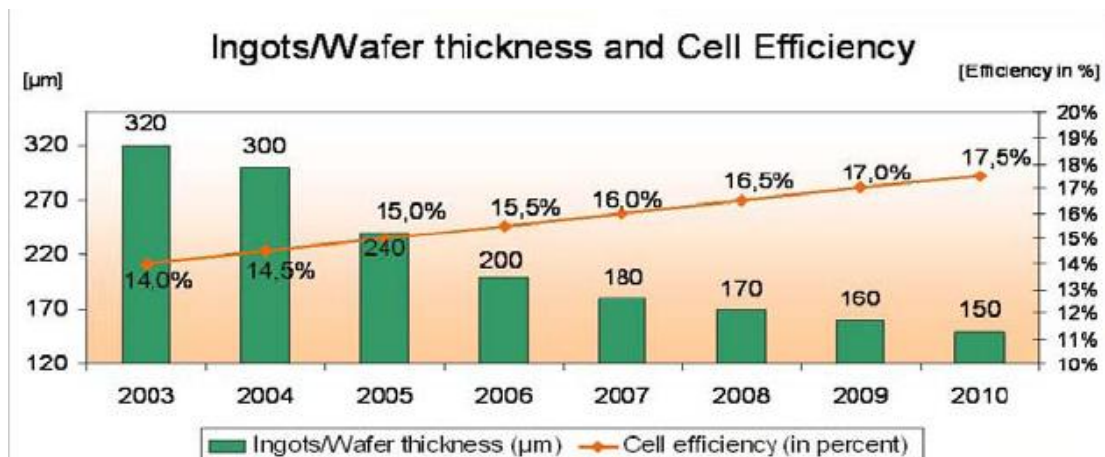
Σχήμα 2.11 : Ποσότητα ηλιακής ενέργειας στην Ελλάδα



Σχήμα 2.12 : Κάλυψη κατανάλωσης Φ/Β σε ώρες μεσημεριανής αιχμής



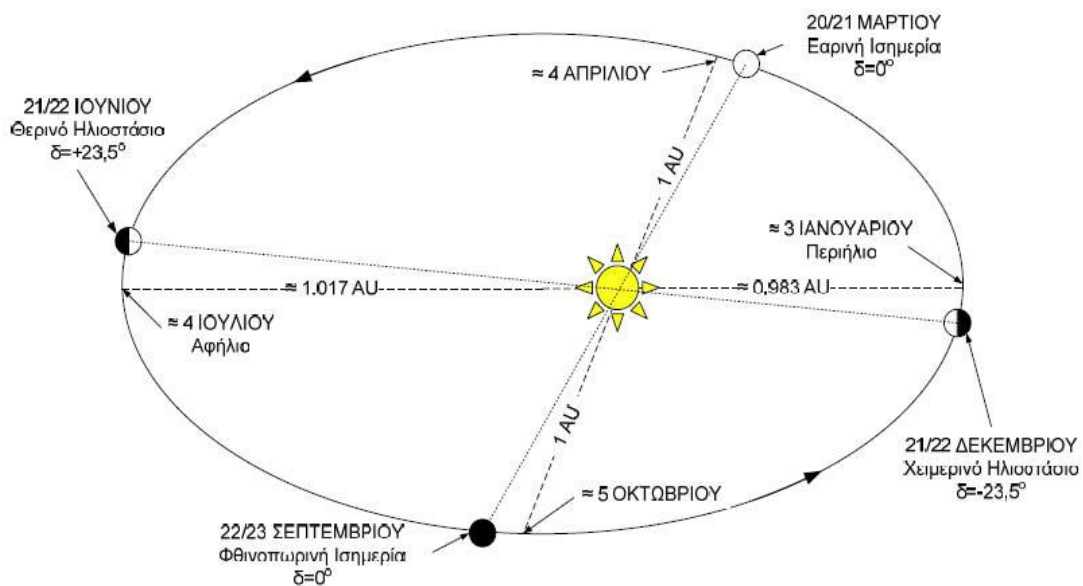
Σχήμα 2.13 : Παραγωγή ηλιακού ηλεκτρισμού σε σχέση με την εποχική ζήτηση



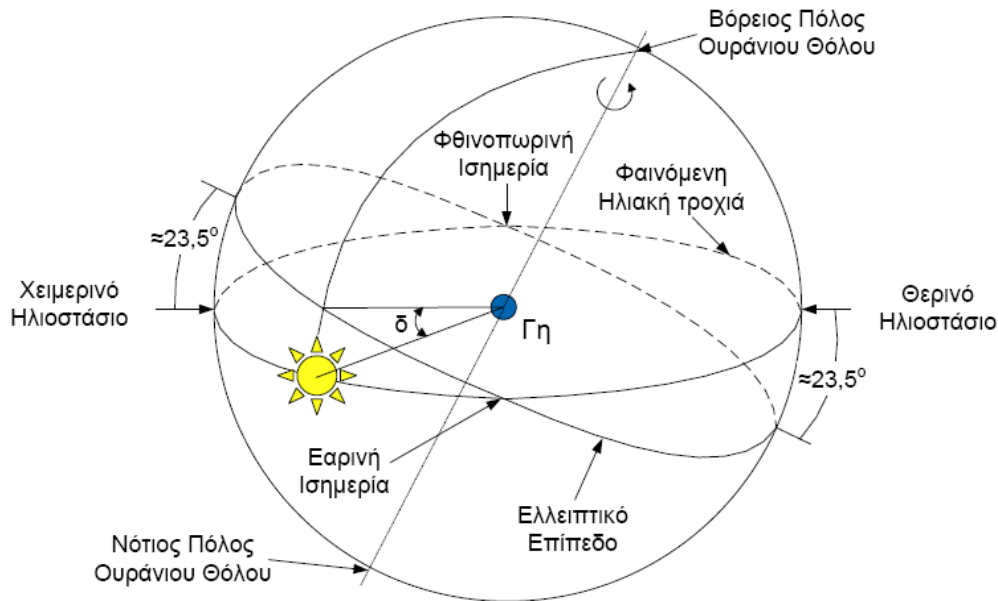
Σχήμα 2.14 : Εξέλιξη υλικών για Φ/Β και Απόδοσης

2.2 Τεχνικές Tracking

Οι βασικότερες τεχνικές ιχνηλάτησης συνίστανται σε συστήματα ιχνηλάτησης ενός άξονα και συστήματα δύο αξόνων. Τα συστήματα ενός άξονα ακολουθούν την κίνηση του ήλιου από την ανατολή προς τη δύση ενώ τα συστήματα δύο αξόνων εκτός από την παραπάνω κίνηση μεταβάλλουν και την κλίση του πλαισίου ώστε να ακολουθούν τη γωνία ανόδου του ήλιου κατά τη διάρκεια του έτους.



Σχήμα 2.15 : Χαρακτηριστικές σχετικές θέσεις των μελών του συστήματος γης – ήλιου.



Σχήμα 2.16 : Χαρακτηριστικές γης – ήλιου με βάση τις ουρανογραφικές συντεταγμένες

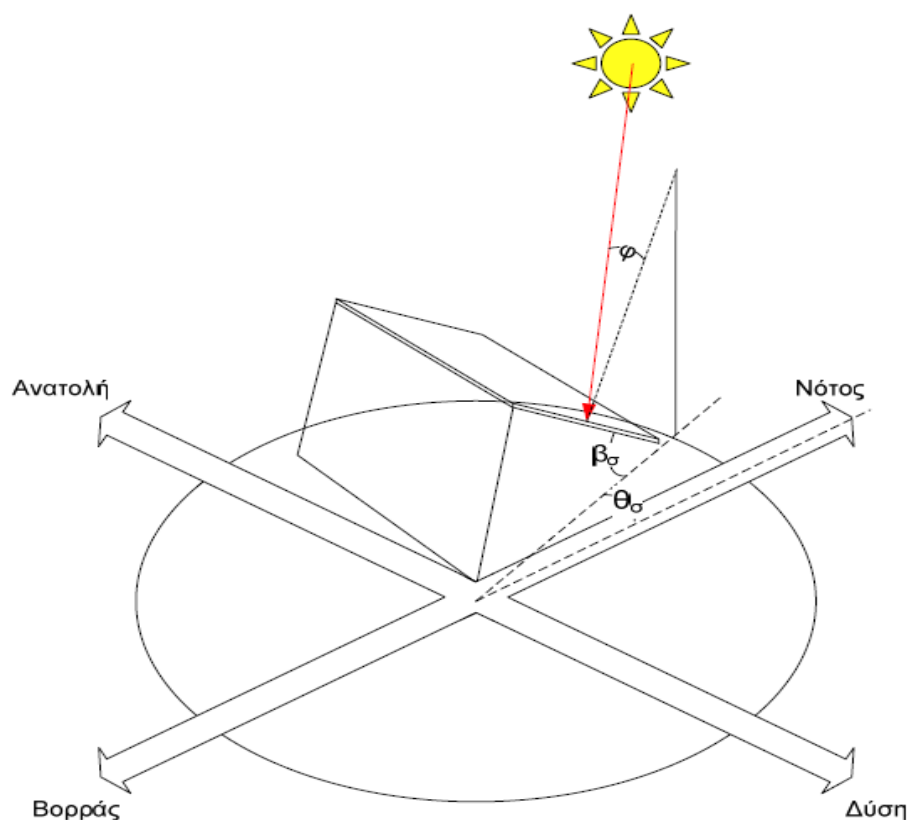
2.2.1 Θέση ήλιου και ηλιακού συλλέκτη

Επειδή η θέση του ήλιου στον ουρανό, λόγω της περιστροφής της γης, επηρεάζει την πυκνότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνει στη γη, η κλίση του ηλιακού συλλέκτη επηρεάζει το ποσοστό της ακτινοβολίας που προσπίπτει πάνω στην επιφάνειά του. Στον παρακάτω Πίνακα 2.1 απεικονίζονται διάφορες τιμές πυκνότητας της ηλιακής ακτινοβολίας [12].

Πρότυπες τιμές πυκνότητας ηλιακής ακτινοβολίας Συμβατικές συνθήκες	Πυκνότητα ηλιακής ακτινοβολίας (W/m^2)
Στο διάστημα (εκτός ατμόσφαιρας)	1350
$\zeta=0^\circ$ ο ήλιος στο ζενίθ, στο επίπεδο της θάλασσας, ξερή ατμόσφαιρα	1060
$\zeta=60^\circ$ σε κάθετη επιφάνεια, στο επίπεδο της θάλασσας, ξερή ατμόσφαιρα	880
$\zeta=70.5^\circ$ σε κάθετη επιφάνεια, στο επίπεδο της θάλασσας, ξερή ατμόσφαιρα	750

Πίνακας 2.1 : Πρότυπες τιμές πυκνότητας ηλιακής ακτινοβολίας

Η κλίση ενός ηλιακού συλλέκτη ως προς τον ήλιο, μπορεί να περιγραφεί με την κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο β_s και την αζιμούθια γωνία του συλλέκτη θ_s . Τα μεγέθη αυτά φαίνονται στο παρακάτω Σχήμα 2.17 [12]

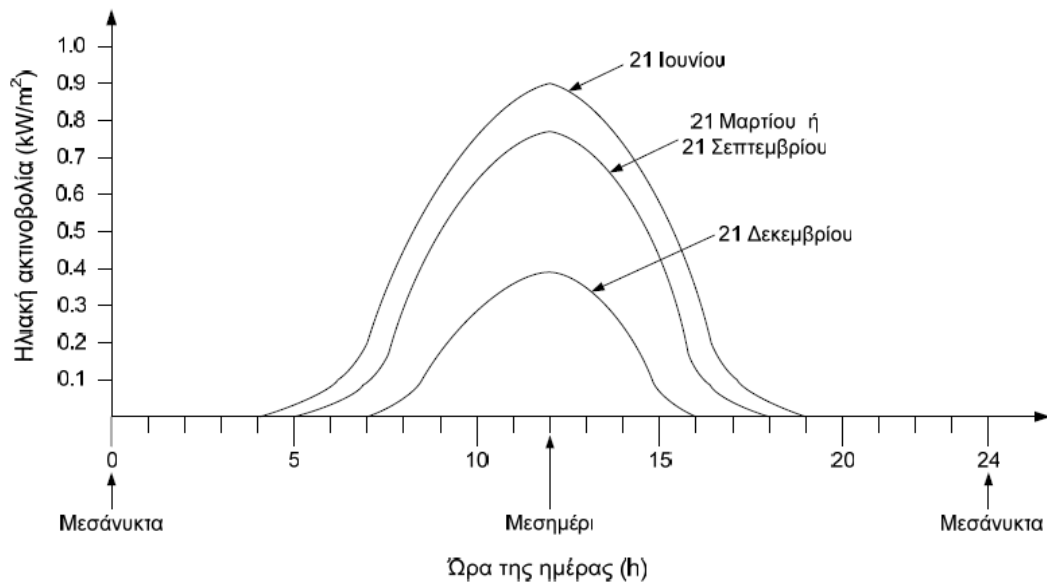


Σχήμα 2.17 : Θέση ηλιακού συλλέκτη ως προς τον ήλιο. (Η γωνία φ είναι η γωνία πρόσπτωσης)

2.2.2 Διακύμανση της ηλιακής ακτινοβολίας

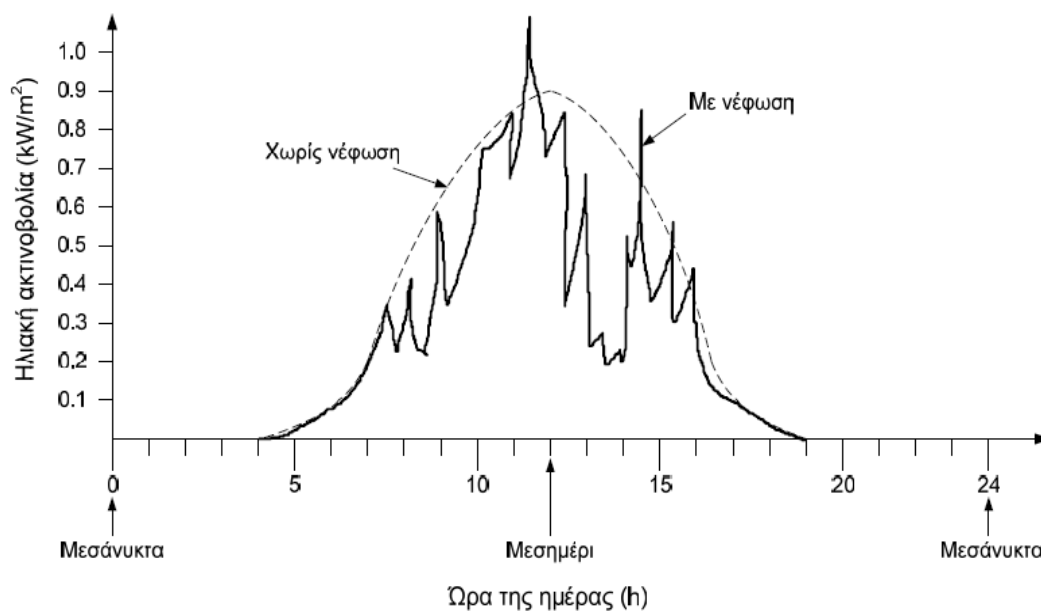
Η ηλιακή ακτινοβολία μεταβάλλεται από εποχή σε εποχή, αλλά και κατά τη διάρκεια ενός 24ώρου. Έχει παρατηρηθεί πως το μέγιστο της ηλιακής ακτινοβολίας σημειώνεται κατά το ηλιακό μεσημέρι, όταν δηλαδή ο ήλιος βρίσκεται στο υψηλότερο σημείο της τροχιάς του στον ουρανό σε σχέση με τον ορίζοντα, ανεξάρτητα από την εποχή. Ας σημειωθεί πως το ηλιακό μεσημέρι, δε συμπίπτει πάντα με το ωρολογιακό μεσημέρι.

Στο Σχήμα 2.18 [12] φαίνεται η διακύμανση της ηλιακής ακτινοβολίας για ένα 24ωρο, για ορισμένες χαρακτηριστικές ημερομηνίες του έτους. Το σχήμα αναφέρεται σε συνθήκες όπου δεν επικρατεί καθόλου νέφωση, για αυτό και διακρίνεται μια σχετικά ομαλή διακύμανση της ακτινοβολίας. Ως «ώρα ημέρας» θεωρείται η «ηλιακή ώρα» και ως «μεσημέρι» το «ηλιακό μεσημέρι».



Σχήμα 2.18 : Ημερήσια διακύμανση ηλιακής ακτινοβολίας

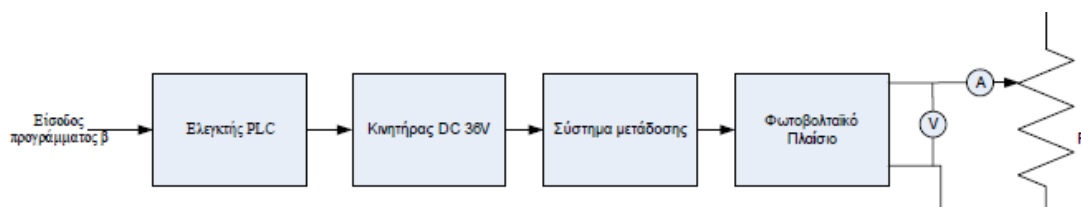
Στο Σχήμα 2.19 [12] φαίνεται ο τρόπος που επιδρά η παρουσία νεφών στη διακύμανση της ηλιακής ακτινοβολίας. Το σχήμα αυτό παριστά μια τυπική περίπτωση της επίδρασης νεφών κατά τη διάρκεια της ημέρας στη μεταβολή της ηλιακής διακύμανσης. Διακρίνεται ότι πολλές φορές η ακτινοβολία ξεπερνά σε ποσότητα αντίστοιχες τιμές της ακτινοβολίας χωρίς νέφωση. Αυτό συμβαίνει καθώς η παρουσία νεφών μειώνει την άμεση ακτινοβολία, αλλά αυξάνει σημαντικά τη διάχυτη. Προφανώς, η παρουσία νεφών έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της μετατρεπόμενης ηλιακής ενέργειας.



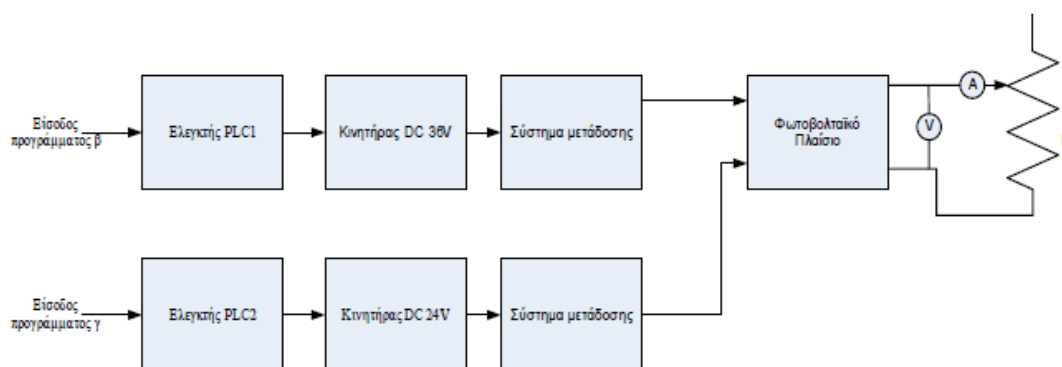
Σχήμα 2.19 : Επίδραση νεφών στη διακύμανση της ηλιακής ακτινοβολίας

2.2.3 Χαρακτηριστικές καμπύλες τάσης – ρεύματος

Ο Salah Abdallah χρησιμοποίησε τη μέθοδο του κλειστού βρόγχου στο σχεδιασμό των συστημάτων ιχνηλάτησης. Στην παρούσα εργασία τόσο στο σύστημα δύο αξόνων όσο και στο σύστημα ενός άξονα χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του ανοιχτού βρόγχου βασισμένη σε προγραμματιζόμενους λογικούς ελεγκτές (PLC). Τα λειτουργικά διαγράμματα των συστημάτων ενός άξονα και δύο αξόνων παρίστανται στα Σχήματα 2.20 και 2.21 [13]. Η μονάδα PLC διαθέτει προγραμματιζόμενη μνήμη για την αποθήκευση οδηγιών βάση των οποίων εκτελούνται οι λειτουργίες ελέγχου στους μηχανισμούς [14]. Το ηλεκτρομηχανικό σύστημα που απεικονίζεται στο Σχήμα 2.20 χρησιμοποιεί κινητήρα 36 V dc και σύστημα μετάδοσης με ατέρμονα. Η μονάδα PLC ενεργοποιεί τον κινητήρα ώστε να μετακινεί το πλαίσιο με καθορισμένο τρόπο. Τα εξαρτήματα που χρησιμοποιούνται στο σύστημα δύο αξόνων, Σχήμα 2.21 είναι ίδια με τα παραπάνω με προσθήκη ενός κινητήρα 24 V dc και αξονικό σύστημα μετάδοσης για τον κάθετο άξονα ιχνηλάτησης. Προφανώς στη δεύτερη περίπτωση έχουμε δύο εισόδους στη μονάδα PLC εκ των οποίων η πρώτη είναι η κλίση της επιφάνειας β και η δεύτερη η γωνία αζιμουθίου γ αυτής.

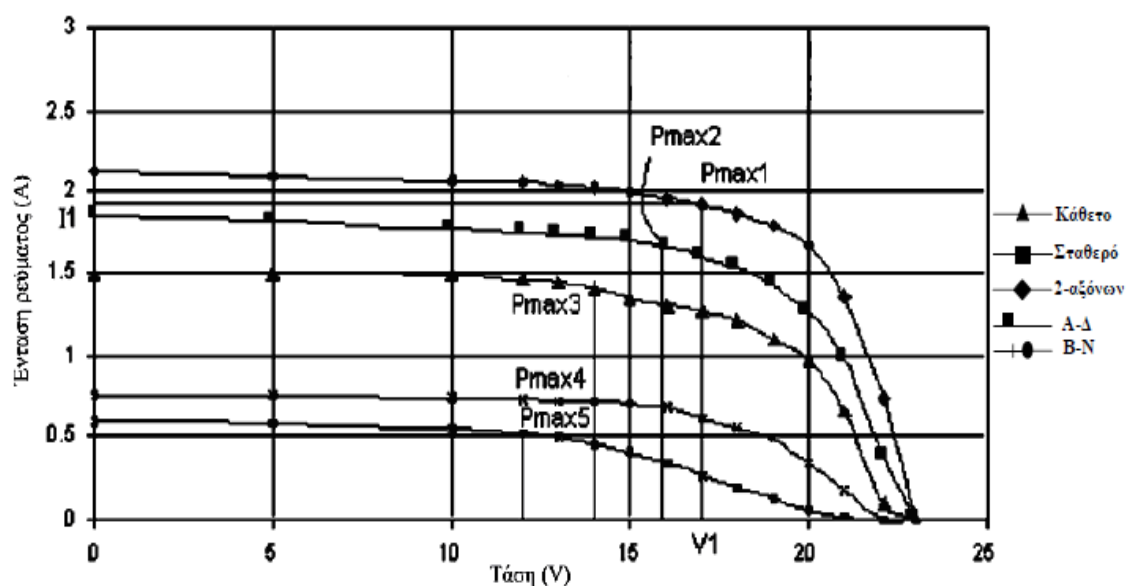


Σχήμα 2.20 : Λειτουργικό διάγραμμα συστήματος ενός άξονα



Σχήμα 2.21 : Λειτουργικό διάγραμμα συστήματος δυο αξόνων

Κατά την διάρκεια του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν πέντε ίδια πλαίσια, ένα για κάθε τύπο ιχνηλάτησης (ιχνηλάτηση δύο αξόνων, ενός άξονα κάθετου, ενός άξονα ανατολή / δύση, και ενός άξονα βορρά / νότου, σταθερού σημείου με κλίση-30°) και τα αποτελέσματα φαίνονται στο Σχήμα 2.22 [6]



Σχήμα 2.22 : Χαρακτηριστικές καμπύλες τάσης – ρεύματος για διαφορετικούς τύπους ιχνηλάτησης εν συγκρίσει με σταθερό πλαίσιο στις 7:30 π.μ.

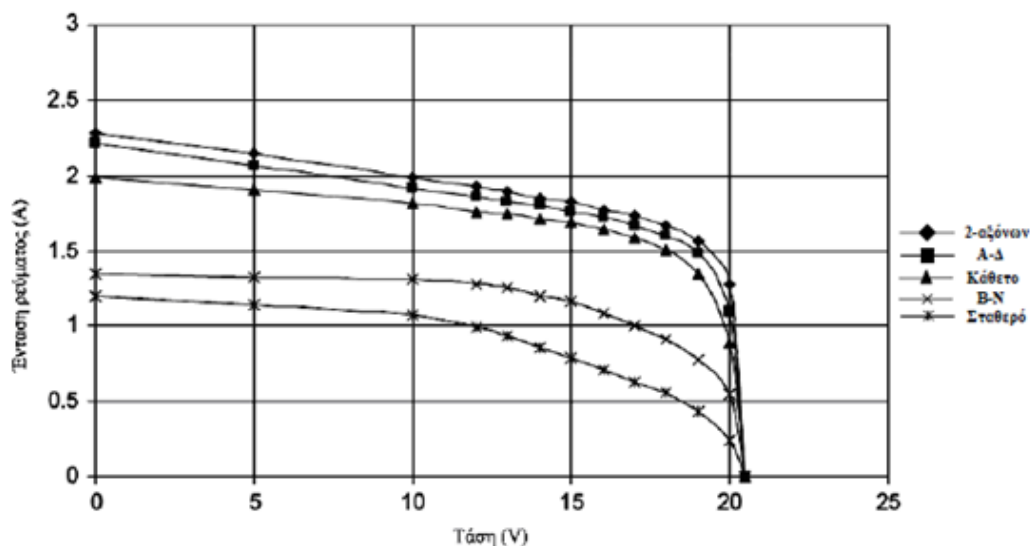
Τα χαρακτηριστικά των πλαισίων που χρησιμοποιήθηκαν είναι στον παρακάτω Πίνακα 2.2:

Ονομαστική Ισχύς	35W
Ονομαστική ένταση ρεύματος	2.1A
Ονομαστική τάση	17V
Μήκος	62cm
Πλάτος	51cm

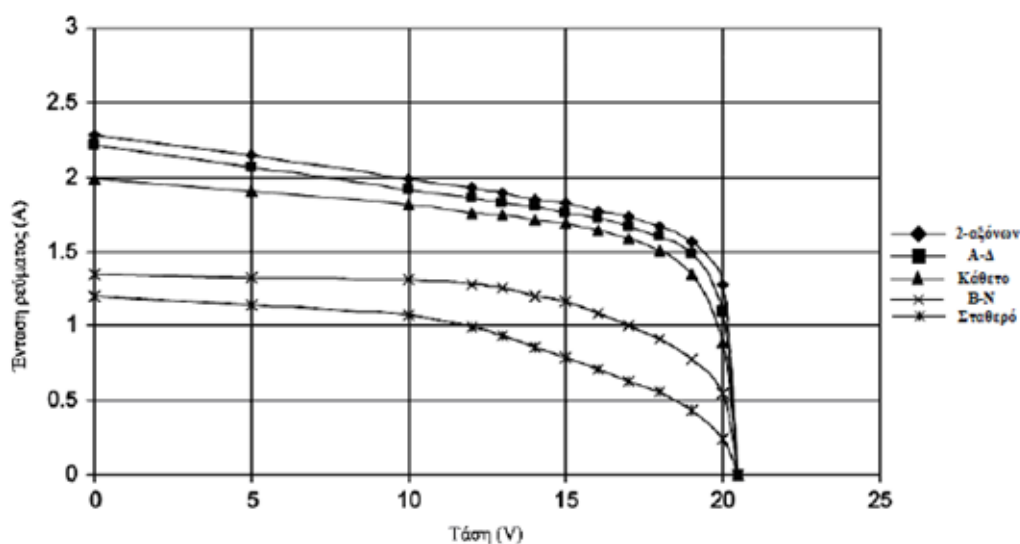
Πίνακας 2.2 : Χαρακτηριστικά πλαισίων

Βάση του σχεδιασμού οι κινητήρες που μετακινούν τα πλαίσια μένουν ανενεργοί για περίπου 10 λεπτά και ενεργοποιούνται μόνο για λίγα δευτερόλεπτα. Η βηματική ιχνηλάτηση απλοποιεί την εργασία χωρίς σημαντικές απώλειες ως προς την απορροφούμενη ενέργεια. Συνολικά κάθε κινητήρας ιχνηλάτησης λειτουργεί μόνο για λίγα λεπτά κατά τη διάρκεια της ημέρας. Η συνολική ενέργεια που δαπανάται για τη λειτουργία του συστήματος ιχνηλάτησης (κινητήρες και μονάδα ελέγχου) είναι λιγότερη από 2% της απορροφούμενης ενέργειας. Μία μεταβλητή αντίσταση R τοποθετήθηκε στην έξοδο των πλαισίων ώστε να μεταβάλλονται οι χαρακτηριστικές καμπύλες τάσης / ρεύματος. Η μεταβολή αυτή προκαλείται με αύξηση της αντίστασης από το μηδέν στο άπειρο. Στο άξονα τάσης – ρεύματος ο άξονας του ρεύματος ($V=0$) παριστά το ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{sc} ενώ ο άξονας της τάσης ($I=0$) παριστά την τάση ανοιχτού κυκλώματος V_{oc} .

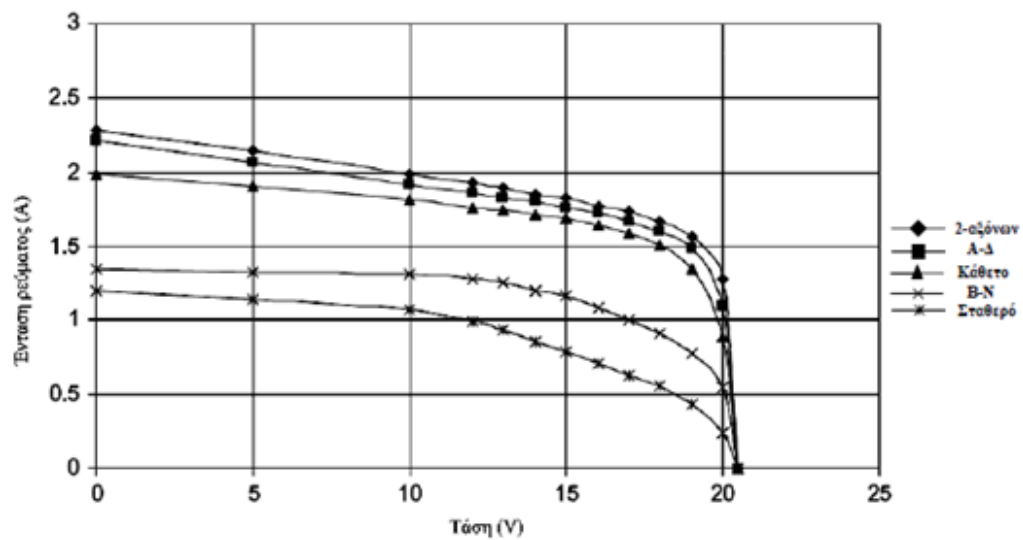
Τα παρακάτω σχήματα δείχνουν τις μετρούμενες καμπύλες τάσης – ρεύματος για τους διάφορους τύπους tracking σε σχέση με σταθερά τοποθετημένα πλαίσια.[6]



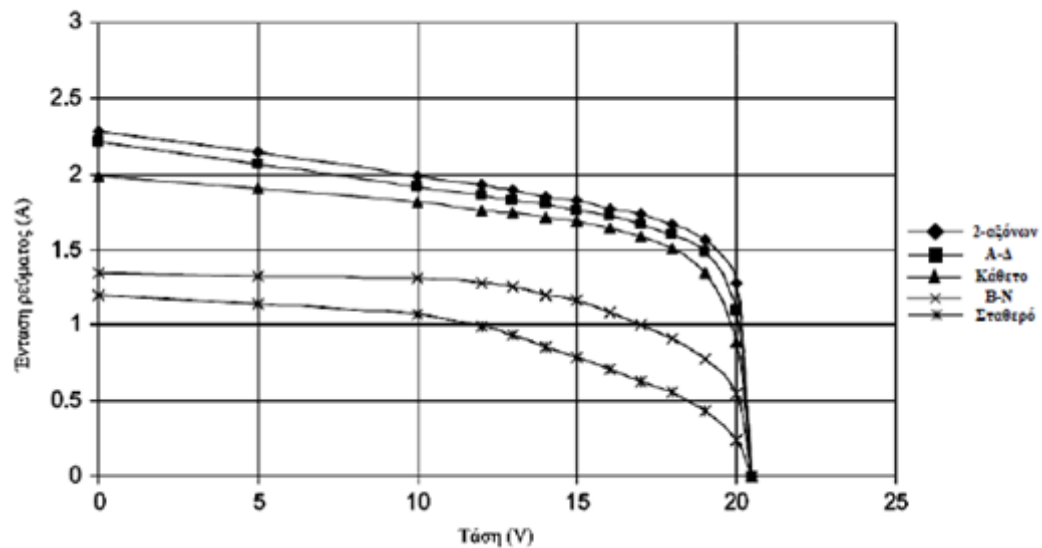
Σχήμα 2.23 : Χαρακτηριστικές καμπύλες τάσης – ρεύματος για διαφορετικούς τύπους ιχνηλάτησης εν συγκρίσει με σταθερό πλαίσιο στις 8.30 π.μ.



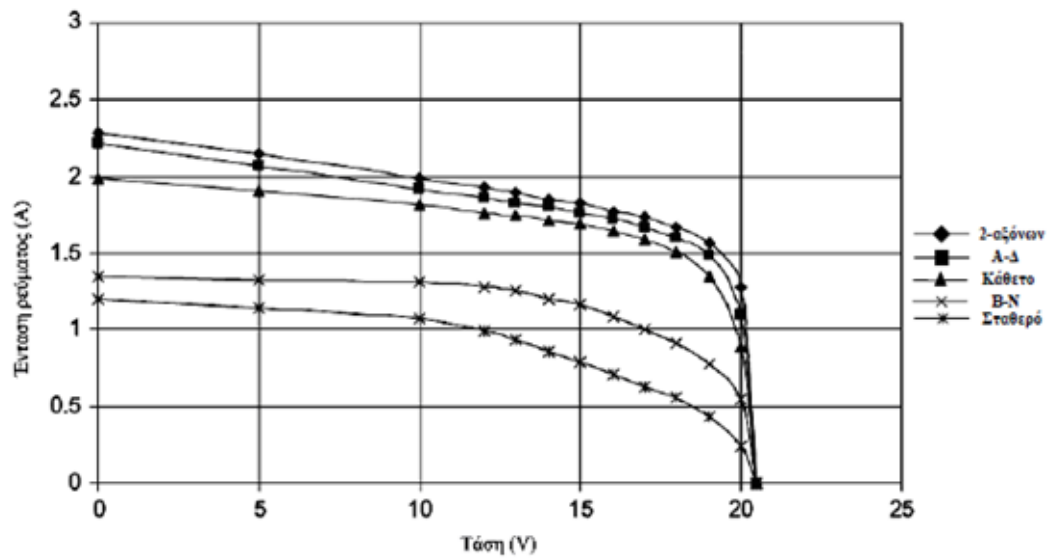
Σχήμα 2.24 : Χαρακτηριστικές καμπύλες τάσης – ρεύματος για διαφορετικούς τύπους ιχνηλάτησης εν συγκρίσει με σταθερό πλαίσιο στις 9.30 π.μ.



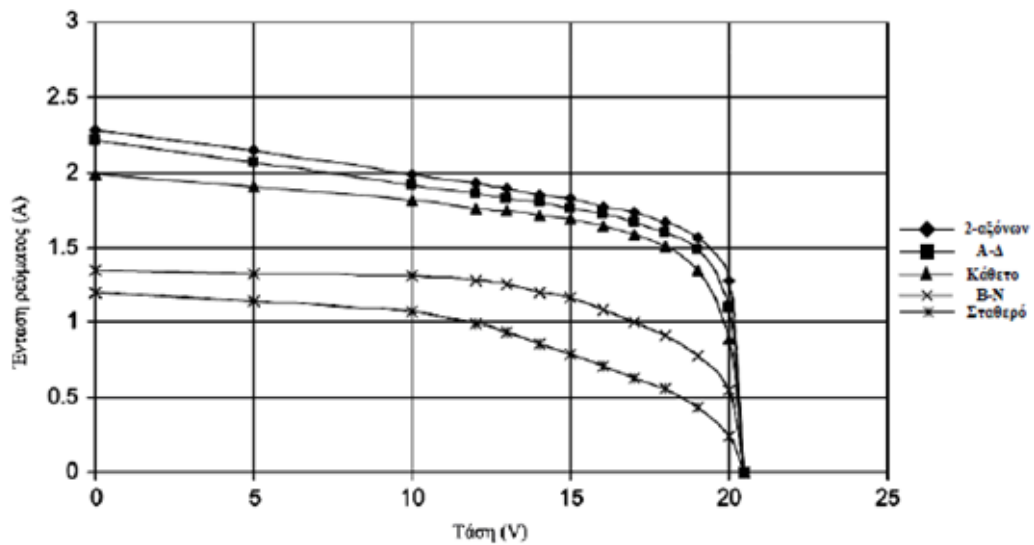
Σχήμα 2.25 : Χαρακτηριστικές καμπύλες τάσης – ρεύματος για διαφορετικούς τύπους ιχνηλάτησης εν συγκρίσει με σταθερό πλαίσιο στις 10.30 π.μ.



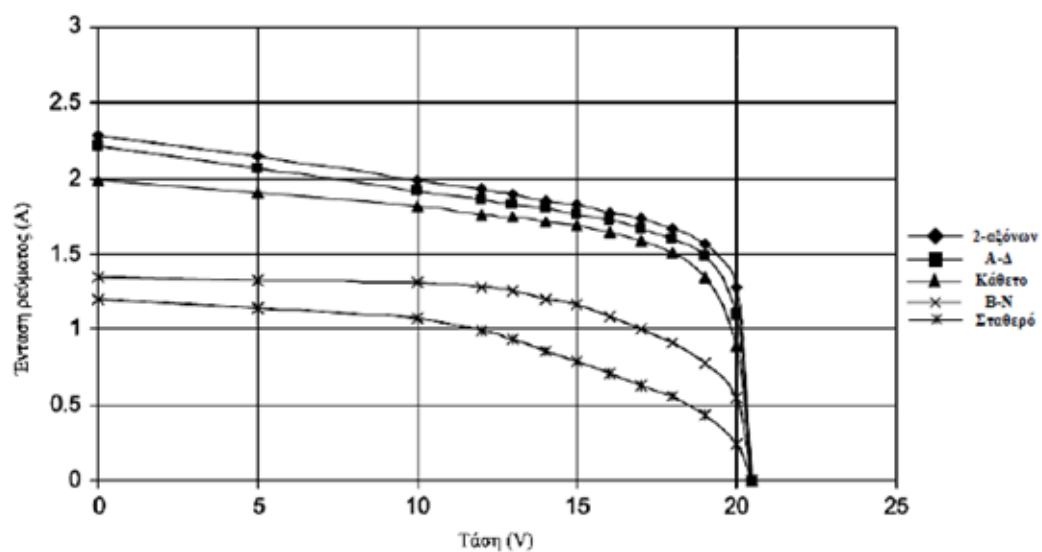
Σχήμα 2.26 : Χαρακτηριστικές καμπύλες τάσης – ρεύματος για διαφορετικούς τύπους ιχνηλάτησης εν συγκρίσει με σταθερό πλαίσιο στις 11.30 π.μ.



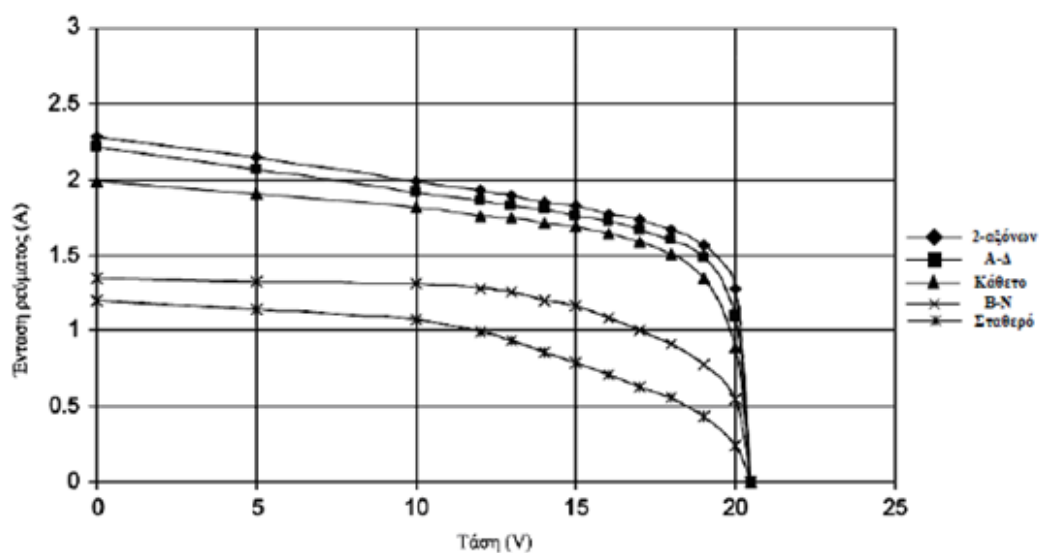
Σχήμα 2.27 : Χαρακτηριστικές καμπύλες τάσης – ρεύματος για διαφορετικούς τύπους ιχνηλάτησης εν συγκρίσει με σταθερό πλαίσιο στις 12.30 π.μ.



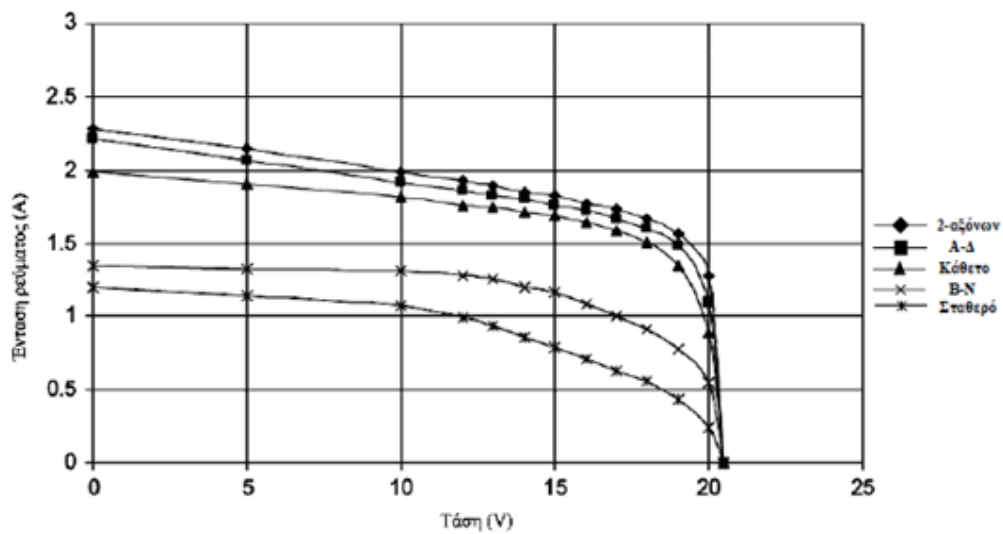
Σχήμα 2.28 : Χαρακτηριστικές καμπύλες τάσης – ρεύματος για διαφορετικούς τύπους ιχνηλάτησης εν συγκρίσει με σταθερό πλαίσιο στις 1.30 π.μ.



Σχήμα 2.29 : Χαρακτηριστικές καμπύλες τάσης – ρεύματος για διαφορετικούς τύπους ιχνηλάτησης εν συγκρίσει με σταθερό πλαίσιο στις 2.30 π.μ.



Σχήμα 2.30 : Χαρακτηριστικές καμπύλες τάσης – ρεύματος για διαφορετικούς τύπους ιχνηλάτησης εν συγκρίσει με σταθερό πλαίσιο στις 3.30 π.μ.



Σχήμα 2.31 : Χαρακτηριστικές καμπύλες τάσης – ρεύματος για διαφορετικούς τύπους ιχνηλάτησης εν συγκρίσει με σταθερό πλαίσιο στις 4.30 π.μ.

Η μέγιστη ισχύς εξόδου ενός πλαισίου μπορεί να ευρεθεί αντιστοιχίζοντας το ορθογώνιο μέγιστης επιφάνειας κάτω από την χαρακτηριστική καμπύλη τάσης – ρεύματος, όπως αυτό φαίνεται στο Σχήμα 2.22. Τα σημεία Pmax1, Pmax2, Pmax3, Pmax4, Pmax5 είναι τα σημεία μέγιστης ισχύος για συστήματα ιχνηλάτησης δύο αξόνων, ενός άξονα κάθετου, ενός άξονα ανατολή – δύση, και ενός άξονα βορρά – νότου, και σταθερού σημείου αντίστοιχα.

Ως γνωστό για την ισχύ έχουμε:

$$P = V * I.$$

Έτσι η μέγιστη ισχύς για ένα σύστημα δύο αξόνων θα είναι :

$$P_{max1} = V_1 * I_1.$$

Πρακτικά ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο λειτουργεί σε εκείνα τα σημεία της χαρακτηριστικής τάσης – ρεύματος τα οποία αποτελούν σημεία τομής με την χαρακτηριστική τάσης – ρεύματος του φορτίου [15]. Βάση των καμπυλών που παρουσιάζονται στα Σχήματα 2.22 έως 2.31 παρατηρούμε ότι στο σημείο μέγιστης ισχύος η αντίσταση είναι περί τα 10Ω. Στον Πίνακα 2.3 παρουσιάζονται οι μετρούμενες τιμές ισχύος για φορτίο 10Ω για κάθε τύπο ιχνηλάτησης.

Παρατηρούμε ότι από την ανάλυση των καμπυλών όπως αυτές παρουσιάζονται στα Σχήματα 2.22 έως 2.31 [6] είναι εμφανές ότι όλοι οι τύποι ιχνηλάτησης παρουσιάζουν αισθητά μεγαλύτερη απόδοση εν σχέση με πλαίσια σταθερού σημείου, πράγμα που

σημαίνει περισσότερη παραγωγή ενέργειας. Η παραπάνω παρατήρηση προκύπτει από το εμβαδόν που περικλείεται κάτω από την κάθε καμπύλη.

Επίσης είδαμε ότι η προσπίπτουσα ενέργεια είναι ακόμα μεγαλύτερη κατά τη δύση και κατά την ανατολή του ηλίου. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα πλαίσια σταθερού σημείου είναι τοποθετημένα κατά τέτοιο τρόπο ώστε να απορροφούν τη μέγιστη ακτινοβολία κατά την μεσημβρία.

Τέλος από τη μελέτη του Πίνακα 2.3 [6] προκύπτει ότι η αύξηση που προκύπτει κατά τη διάρκεια μίας μέρας στην συλλεγόμενη ενέργεια είναι 43.87%, 37.53%, 34.43% και 15.69% για σύστημα δύο αξόνων, ενός άξονα κάθετου, ενός άξονα ανατολή – δύση, και ενός άξονα βορρά-νότου αντίστοιχα, σε σύγκριση με σταθερά τοποθετημένα πλαίσια με κλίση 32°.

Ωρα	Ρ _{εξόδου} (W)				
	2- αξόνων	N-S	Κάθετο	E-W	Σταθερό
7:30 πμ	29.6	10.4	20.7	26.6	6.7
8:30 πμ	30.6	17.7	27.9	29.2	11.5
9:30 πμ	30.3	24.6	29.6	28.9	19.6
10:30 πμ	31	29.6	29.6	28.9	25.3
11:30 πμ	30.6	28.9	28.9	28.9	27.6
12:30 μμ	30.6	29.6	29.9	29.2	26.2
1:30 μμ	31	30.3	31.3	30.3	27.2
2:30 μμ	29.2	27.9	28.2	28.6	25.9
3:30 μμ	29.6	25.9	28.2	29.2	21.3
4:30 μμ	29.2	17.7	27.6	28.9	18.4
Μέση Τιμή Ισχύος (W)	30.17	24.26	28.19	28.84	20.97
Κέρδος Ισχύος	43.8722	15.2891	34.4301	37.5298	-

Πίνακας 2.3 : Μετρούμενη ισχύς εξόδου πλαισίων στις 29 Μαΐου 2002

2.2.4 Πλαίσια με σύστημα ιχνηλάτησης

Σε φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις μεγάλης κλίμακας η απόφαση για το αν θα πρέπει να γίνει χρήση ιχνηλάτησης εξαρτάται από το εάν το κέρδος ενέργειας που θα παρουσιαστεί θα υπερκεράσει το κόστος της επένδυσης. Στο κόστος μιας τέτοιας επένδυσης περιλαμβάνεται όχι μόνο το κόστος απόκτησης και εγκατάστασης αλλά και το κόστος συντήρησης αυτής. Σκοπός σε μια τέτοια περίπτωση είναι η εγκατάσταση απλών και αξιόπιστων συστημάτων που θα μειώνουν το ύψος της επένδυσης.

Όταν στην ανάλυση της λειτουργίας ληφθεί υπόψη η αντανάκλαση της επιφάνειας του πλαισίου τότε παρατηρούνται διαφορές στον καθορισμό της βέλτιστης κλίσης και του προσανατολισμού. Η βέλτιστη κλίση για νότια προσανατολισμένα πλαίσια, για τρεις περιοχές φαίνονται στον Πίνακα 2.4 [16]

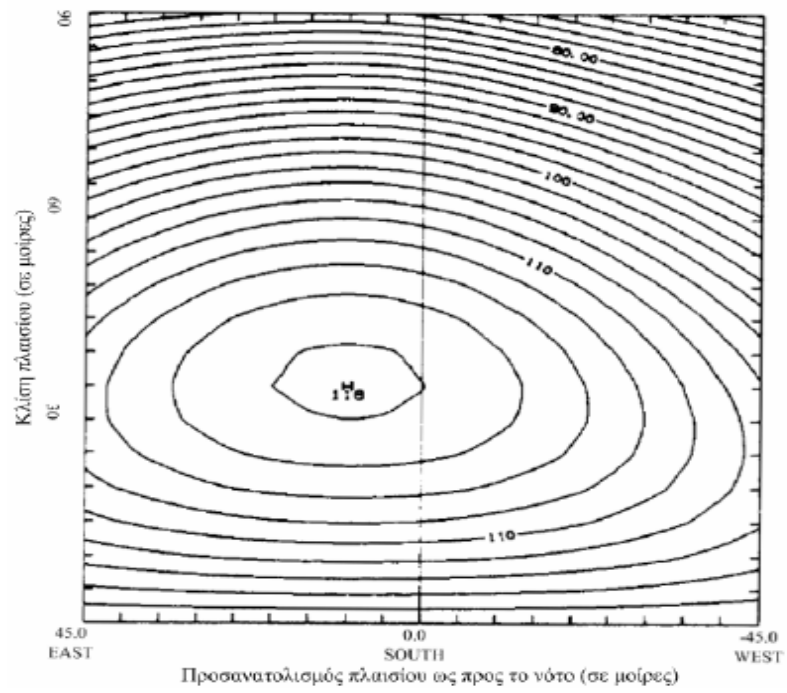
Phoenix - Az	Madison - Wi					Miami - Fl			
JAN	58 °	58 °	58 °	63 °	62 °	63 °	47 °	47 °	48 °
FEB	49 °	49 °	49 °	53 °	53 °	53 °	40 °	39 °	40 °
MAR	35 °	35 °	35 °	43 °	42 °	43 °	26 °	26 °	26 °
APR	19 °	18 °	19 °	26 °	25 °	26 °	11 °	11 °	11 °
MAY	6 °	5 °	5 °	13 °	12 °	12 °	1 °	0 °	0 °
JUN	1 °	0 °	0 °	9 °	8 °	8 °	0 °	0 °	0 °
JUL	5 °	4 °	4 °	12 °	11 °	11 °	0 °	0 °	0 °
AUG	14 °	13 °	13 °	22 °	21 °	21 °	6 °	6 °	6 °
SEP	29 °	28 °	28 °	36 °	35 °	35 °	18 °	17 °	18 °
OCT	44 °	44 °	44 °	49 °	48 °	48 °	33 °	33 °	33 °
NOV	56 °	56 °	56 °	60 °	59 °	60 °	46 °	46 °	46 °
DEC	60 °	60 °	60 °	63 °	63 °	63 °	51 °	51 °	51 °

Πίνακας 2.4 : Βέλτιστη κλίση πλαισίων με νότιο προσανατολισμό

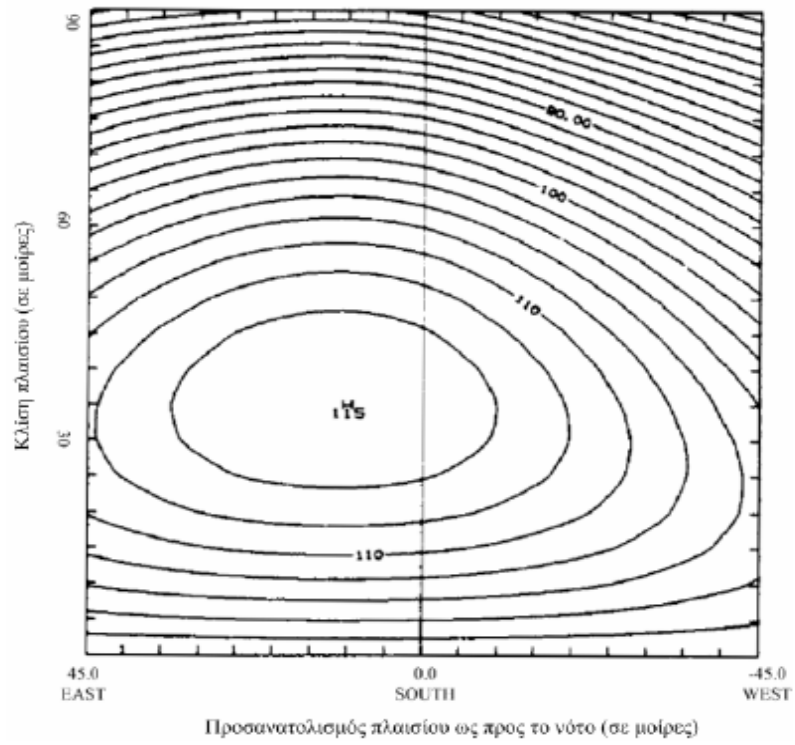
Στην πρώτη στήλη του πίνακα, για κάθε τοποθεσία, αποτυπώνεται η βέλτιστη κλίση για μέγιστη απορρόφηση ενέργειας, στη δεύτερη η βέλτιστη κλίση στην περίπτωση που δεν λαμβάνεται υπόψη η αντανάκλαση τα ου πλαισίου, και στην τρίτη η βέλτιστη κλίση όταν λαμβάνεται υπόψη η αντανάκλαση του πλαισίου. Θεωρώντας μικρές μεταβολές της ενέργειας γύρω από το μέγιστο συνάγεται το συμπέρασμα ότι η βέλτιστη κλίση δεν διαφέρει ανάμεσα σε φωτοβολταϊκά πλαίσια και άλλου είδους συλλέκτες όταν αυτά έχουν νότιο προσανατολισμό.

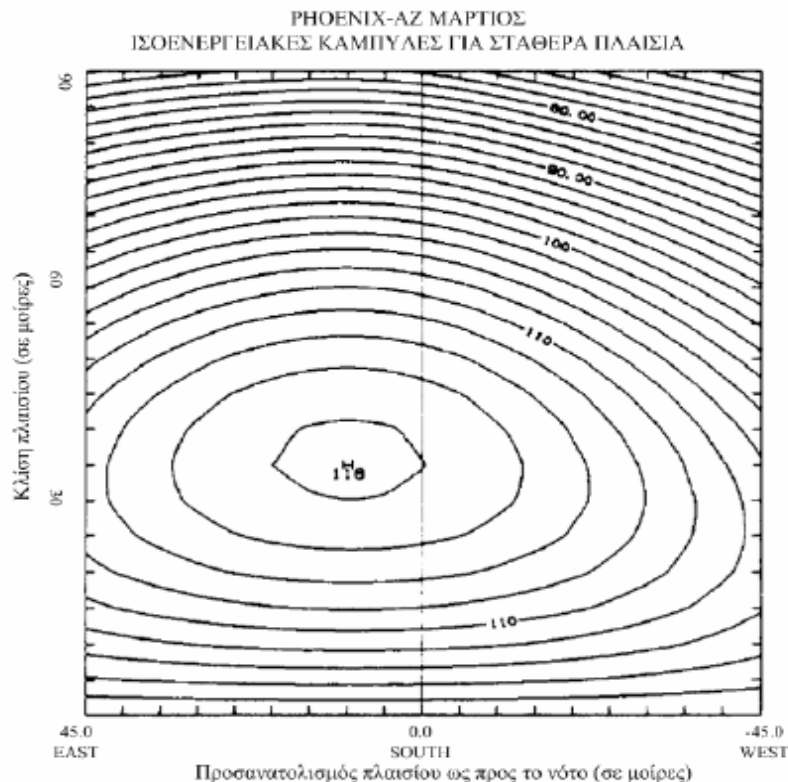
Ο βέλτιστος προσανατολισμός για σταθερά τοποθετημένα πλαίσια, που δεν έχουν νότια διεύθυνση μπορεί να διαφέρει αρκετά σε σχέση με τον προσανατολισμό βέλτιστης απορρόφησης ενέργειας, εξαιτίας των παραγόντων της θερμοκρασίας και της αντανάκλασης. Ο λόγος που συμβαίνει το παραπάνω φαινόμενο είναι για συγκεκριμένους μήνες του έτους η βέλτιστη κλίση ενός πλαισίου είναι αρκετά μικρή ώστε ακόμα και μεγάλες μεταβολές στον προσανατολισμό του πλαισίου να μην αλλάζει δραστικά την απόδοσή του. Συνεπώς βάση του παραπάνω συμπεράσματος δεν είναι αναγκαίο να προσπαθούμε να κάνουμε ακριβείς ρυθμίσεις σε ότι αφορά τον προσανατολισμό. Τα παραπάνω προκύπτουν από τη μελέτη των ισοενεργειακών γραμμών του Σχήματος 2.32

PHOENIX-AZ ΜΑΡΤΙΟΣ
ΙΣΟΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΓΙΑ ΣΤΑΘΕΡΑ ΠΛΑΙΣΙΑ



PHOENIX-AZ ΜΑΡΤΙΟΣ
ΙΣΟΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΓΙΑ ΣΤΑΘΕΡΑ ΠΛΑΙΣΙΑ



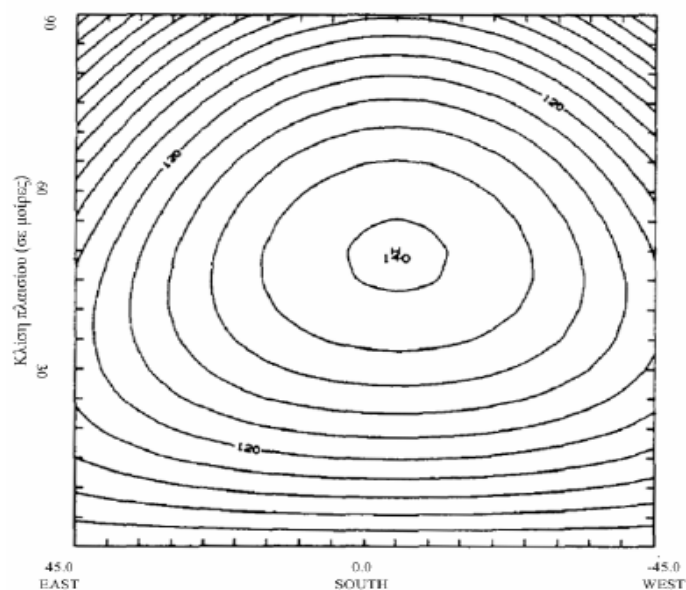


Σχήμα 2.32 : Ισοενεργειακές καμπύλες σταθερού πλαισίου

Στο Phoenix κατά τη διάρκεια του μήνα Μαρτίου είναι σύνηθες να επικρατεί συννεφιά. Για το λόγο αυτό ο βέλτιστος προσανατολισμός είναι 10 μοίρες προς την ανατολή. Η απορρόφηση στη θέση βέλτιστης κλίσης και προσανατολισμού είναι 1.180 φορές, περίπου, σε σχέση με την οριζόντια θέση του πλαισίου. Μετά την αντιστάθμιση του παράγοντα της θερμοκρασίας (δεν λαμβάνεται υπόψη η αντανάκλαση του πλαισίου) η θέση βέλτιστου προσανατολισμού μετακινείται προς την ανατολή ώστε να εκμεταλλευθεί τις χαμηλές θερμοκρασίες του πρωινού. Παρά ταύτα η παραπάνω κίνηση είναι μικρότερη από 3 μοίρες. Σε αυτή τη θέση βέλτιστου η ενέργεια εξόδου του πλαισίου είναι μόνο 1.154 φορές μεγαλύτερη σε σχέση με αυτή της οριζόντιας θέσης και ο λόγος είναι η αυξημένη θερμοκρασία των κυψελών εξαιτίας της μεγαλύτερης απορρόφησης. Στην περίπτωση που λάβουμε υπόψη και την αντανάκλαση του πλαισίου η αύξηση στη θέση βέλτιστου εν σχέση με το οριζόντιο είναι 1.182 λόγω της μικρότερης γωνίας πρόσπτωσης της ακτινοβολίας.

Παρόμοια συμπεράσματα συνάγονται και για την περίπτωση της ιχνηλάτησης δύο βημάτων, όπως αυτά φαίνονται στο Σχήμα 2.33

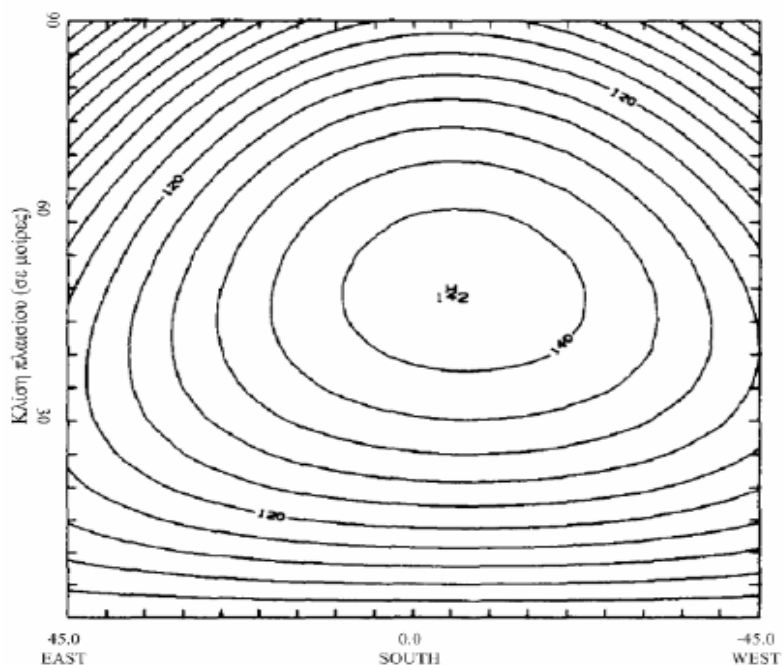
PHOENIX-AZ ΜΑΡΤΙΟΣ
ΙΣΟΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΓΙΑ ΠΛΑΙΣΙΑ ΜΕ
ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗ 2 ΒΗΜΑΤΩΝ



Προσανατολισμός πλαισίου ως προς το νότο (σε μοίρες)

ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΑΡΑΠΑΝΩ ΜΗΝΑ (kj/m ²)				
ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ ΠΛΑΙΣΙΟ	650596	100%		
ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΚΛΙΣΗ 35°	768017	118.0%	100%	
ΣΥΝΕΧΗΣ ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗ	974469	149.8%	126.9%	100%
ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗ 2 ΒΗΜΑΤΩΝ	915620	140.7%	119.2%	94%

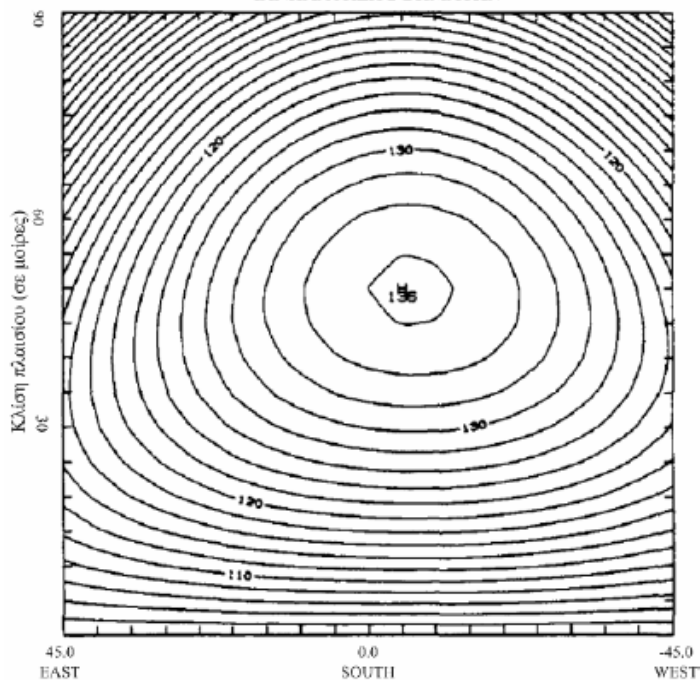
PHOENIX-AZ ΜΑΡΤΙΟΣ
ΙΣΟΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΓΙΑ ΠΛΑΙΣΙΑ ΜΕ
ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗ 2 ΒΗΜΑΤΩΝ



Προσανατολισμός πλαισίου ως προς το νότο (σε μοίρες)

ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΕΞΟΔΟΥ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΑΡΑΠΑΝΩ ΜΗΝΑ (kj/m ²)				
ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ ΠΛΑΙΣΙΟ	573560	100%		
ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΚΛΙΣΗ 35°	678099	118.2%	100%	
ΣΥΝΕΧΗΣ ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗ	868538	151.4%	128.1%	100%
ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗ 2 ΒΗΜΑΤΩΝ	818646	142.7%	120.7%	94.3%

PHOENIX-AZ ΜΑΡΤΙΟΣ
ΙΣΟΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΓΙΑ ΠΛΑΙΣΙΑ ΜΕ
ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗ 2 ΒΗΜΑΤΩΝ



Προσανατολισμός πλαισίου ως προς το νότο (σε μοίρες)

ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΕΞΟΔΟΥ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΑΡΑΠΑΝΩ ΜΗΝΑ (kj/m ²)				
ΟΡΙΖΟΝΙΟ ΠΛΑΙΣΙΟ	602640	100%		
ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΚΛΙΣΗ 35°	695616	115.4%	100%	
ΣΥΝΕΧΗΣ ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗ	888538	144.1%	124.9%	100%
ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗ 2 ΒΗΜΑΤΩΝ	821947	136.4%	118.2%	94.6%

Σχήμα 2.33 : Ισοενεργειακές καμπύλες πλαισίου για ιχνηλάτηση 2 αξόνων

Κάνοντας χρήση των ισοενεργειακών γραμμών ο σχεδιαστής μπορεί να σχεδιάσει ένα σύστημα με ιχνηλάτηση δύο βημάτων που δεν θα χρειάζεται να μεταβάλλει την κλίση του και τον προσανατολισμό του κατά τη διάρκεια του χρόνου και το οποίο θα ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις συγκεκριμένου φορτίου.

Συγκρίνοντας τώρα την ενέργεια εξόδου σταθερών και ιχνηλατούντων πλαισίων, τόσο για διάρκεια ενός τυπικού έτους όσο και για διάρκεια ενός μήνα, παρατηρείται ότι τα οφέλη της ιχνηλάτησης γίνονται ακόμα μεγαλύτερα όταν στη σχεδίαση υπεισέρχεται ο παράγοντας της αντανάκλασης. Από τον Πίνακα 2.5 [16] παρατηρείται ότι η παραγόμενη ενέργεια παρουσιάζει αύξηση κατά 29.2% για συνεχή ιχνηλάτηση σε σχέση με σταθερά νότια τοποθετημένα πλαίσια, ενώ η αύξηση φθάνει το 33% όταν ληφθεί υπόψη ο παράγοντας της αντανάκλασης.

ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ (kj/m ²)					
ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	7762351	100.0%			
ΕΤΗΣΙΑ ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΚΛΙΣΗ 29 °	8635933	111.3%	100.0%		
ΜΗΝΙΑΙΑ ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΚΛΙΣΗ	9143661	117.8%	105.9%	100.0%	
ΣΥΝΕΧΗΣ ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗ	11414101	147.0%	132.2%	124.8%	100.0%
ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗ 2 ΒΗΜΑΤΩΝ	10764525	138.7%	124.6%	117.7%	94.3%

ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΕΞΟΔΟΥ ΧΩΡΙΣ ΑΝΤΑΝΑΚΛΑΣΗ ΤΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ (kj)					
ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	6877388	100.0%			
ΕΤΗΣΙΑ ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΚΛΙΣΗ 29 °	7607466	110.6%	100.0%		
ΜΗΝΙΑΙΑ ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΚΛΙΣΗ	8016025	116.6%	105.4%	100.0%	
ΣΥΝΕΧΗΣ ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗ	9830036	142.9%	129.2%	122.6%	100.0%
ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗ 2 ΒΗΜΑΤΩΝ	9340792	135.8%	122.8%	116.5%	95.0%

ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΕΞΟΔΟΥ ΜΕ ΑΝΤΑΝΑΚΛΑΣΗ ΤΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ (kj)					
ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	6547544	100.0%			
ΕΤΗΣΙΑ ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΚΛΙΣΗ 29 °	7389097	112.9%	100.0%		
ΜΗΝΙΑΙΑ ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΚΛΙΣΗ	7832070	119.6%	100.0%		
ΣΥΝΕΧΗΣ ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗ	9830036	150.1%	133.0%	100.0%	
ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗ 2 ΒΗΜΑΤΩΝ	9306068	142.1%	125.9%	94.7%	

Πίνακας 2.5: Μεταβολή ηλιακής ενέργειας για το PHOENIX-AZ

ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ (kj/m ²)					
ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	4929990	100.0%			
ΕΤΗΣΙΑ ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΚΛΙΣΗ 29 °	5592587	113.4%	100.0%		
ΜΗΝΙΑΙΑ ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΚΛΙΣΗ	5837466	118.4%	104.4%	100.0%	
ΣΥΝΕΧΗΣ ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗ	6980727	141.6%	124.8%	119.6%	100.0%
ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗ 2 ΒΗΜΑΤΩΝ	6631275	134.5%	118.6%	113.6%	95.0%

ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΕΞΟΔΟΥ ΧΩΡΙΣ ΑΝΤΑΝΑΚΛΑΣΗ ΤΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ (kj)					
ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	4793412	100.0%			
ΕΤΗΣΙΑ ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΚΛΙΣΗ 29 °	5408127	112.8%	100.0%		
ΜΗΝΙΑΙΑ ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΚΛΙΣΗ	5529456	120.7%	104.5%	100.0%	
ΣΥΝΕΧΗΣ ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗ	5630593	117.5%	104.1%	117.5%	100.0%
ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗ 2 ΒΗΜΑΤΩΝ	6342994	132.3%	117.3%	112.7%	95.6%

ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΕΞΟΔΟΥ ΜΕ ΑΝΤΑΝΑΚΛΑΣΗ ΤΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ (kj)					
ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	4581598	100.0%			
ΕΤΗΣΙΑ ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΚΛΙΣΗ 29 °	5290178	115.5%	100.0%		
ΜΗΝΙΑΙΑ ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΚΛΙΣΗ	7832070	120.7%	104.5%	100%	
ΣΥΝΕΧΗΣ ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗ	6637478	144.9%	125.5%	120.0%	100.0%
ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗ 2 ΒΗΜΑΤΩΝ	6320677	138.0%	119.5%	114.3%	95.2

Πίνακας 2.6 : Μεταβολή ηλιακής ενέργειας για το MADISON-WI

ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ (kj/m ²)					
ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	6141634	100.0%			
ΕΤΗΣΙΑ ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΚΛΙΣΗ 29 °	6505600	105.9%	100.0%		
ΜΗΝΙΑΙΑ ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΚΛΙΣΗ	6797869	110.7%	104.5%	100.0%	
ΣΥΝΕΧΗΣ ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗ	7930898	129.1%	121.9%	116.7%	100.0%
ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗ 2 ΒΗΜΑΤΩΝ	7608760	123.9%	123.9%	117.0%	95.9%

ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΕΞΟΔΟΥ ΧΩΡΙΣ ΑΝΤΑΝΑΚΛΑΣΗ ΤΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ (kj)					
ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	5571914	100.0%			
ΕΤΗΣΙΑ ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΚΛΙΣΗ 29 °	5872739	105.4%	100.0%		
ΜΗΝΙΑΙΑ ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΚΛΙΣΗ	6112119	109.7%	104.1%	100.0%	
ΣΥΝΕΧΗΣ ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗ	7050602	126.5%	120.1%	115.4%	100.0%
ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗ 2 ΒΗΜΑΤΩΝ	6796365	122.0%	115.7%	111.2%	96.4%

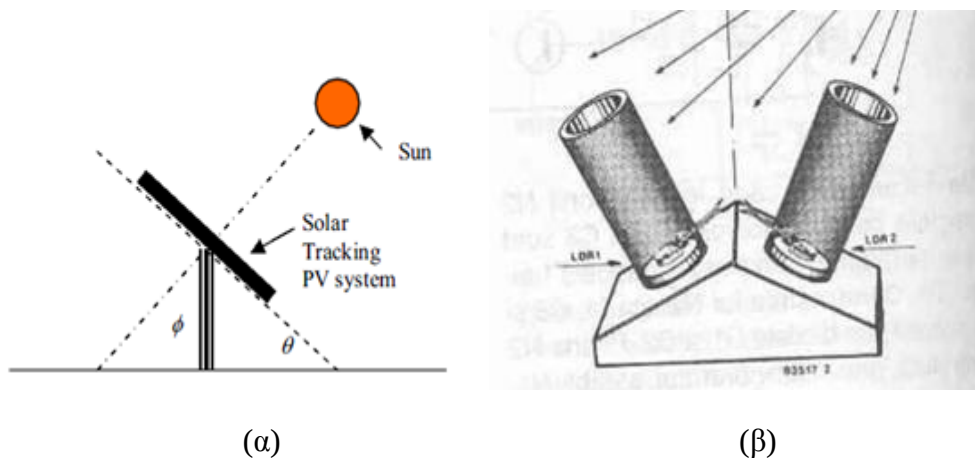
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΕΞΟΔΟΥ ΜΕ ΑΝΤΑΝΑΚΛΑΣΗ ΤΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ (kj)					
ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	5406051	100.0%			
ΕΤΗΣΙΑ ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΚΛΙΣΗ 29 °	5751877	106.4%	100.0%		
ΜΗΝΙΑΙΑ ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΚΛΙΣΗ	6014052	111.2%	104.6%	100.0%	
ΣΥΝΕΧΗΣ ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗ	7050602	130.4%	122.6%	117.2%	100.0%
ΙΧΝΗΛΑΤΗΣΗ 2 ΒΗΜΑΤΩΝ	6777216	125.4%	117.8%	112.7%	96.1%

Πίνακας 2.7 : Μεταβολή ηλιακής ενέργειας για το MIAMI-FL

Συγκρίνοντας επίσης την ενέργεια εξόδου για διάφορους τύπους ιχνηλάτησης παρατηρούμε πως η ιχνηλάτηση δύο βημάτων παρέχει το 95% της ενέργειας που παρέχει η συνεχής ιχνηλάτηση. Ακόμη τα πλεονεκτήματα της συνεχούς ιχνηλάτησης εν σχέση με σταθερά τοποθετημένα πλαίσια μεταβάλλονται από περιοχή σε περιοχή. Για παράδειγμα στο Phoenix όπου η ακτινοβολία είναι κατά κύριο λόγο άμεση καθώς και το μεγαλύτερο μέρος της διάχυτης περιηλιακή, η αύξηση προσεγγίζει το 33%, ενώ στο Madison και στο Miami, πέφτει στο 25.5% και 22.6% αντίστοιχα. Η αύξηση για νότια προσανατολισμένα και μηνιαία ρυθμιζόμενα πλαίσια εν σχέση με σταθερά τοποθετημένα νότιου προσανατολισμού πλαίσια, δείχνει να είναι περί το 5% για όλες ανεξαιρέτως τις τοποθεσίες (Πίνακες 2.6 και 2.7) [16].

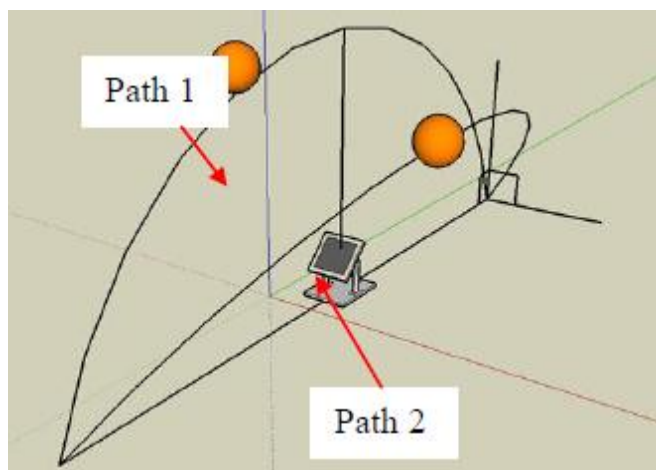
Τέλος η απώλεια ενέργειας λόγω αντανάκλασης του ίδιου του πλαισίου συνοψίζεται στα ακόλουθα. Για νότια σταθερά τοποθετημένα πλαίσια με κλίση -5 μοίρες η μέση απώλεια ενέργειας προσεγγίζει το 2.4%. Για συγκεκριμένους δε μήνες η απώλεια αυτή μπορεί να φθάσει το 4%. Για νότια προσανατολισμένα πλαίσια όπου η κλίση τους ρυθμίζεται σε μηνιαία βάση η απώλεια φθάνει τον 1.9%. Η απώλειες αυτές είναι μικρότερες στην περίπτωση αυτή εξαιτίας των μικρότερων γωνιών πρόσπτωσης που επιτυγχάνονται σε μηνιαία ρύθμιση. Προφανώς στην περίπτωση της συνεχούς ιχνηλάτησης δεν υπάρχουν απώλειες αυτού του είδους.

Μελετώντας την διπλωματική εργασία που εκπόνησε ο Bill Lane, το 2008, καταλήγουμε πάλι στο ίδιο συμπέρασμα ότι η ιχνηλάτηση δυο βημάτων υπερτερεί αυτής του ενός βήματος. Πιο συγκεκριμένα ο Lane χρησιμοποίησε για το single axis tracker του δυο φωτοαντιστάσεις Csd για τον έλεγχο της φωτεινότητας. Όταν μια φωτοαντίσταση δέχεται περισσότερο φως από την άλλη, έχει δηλαδή μικρότερη τιμή αντίστασης, τότε ενεργοποιούνται οι βηματικοί του κινητήρες και στρέφουν το φωτοβολταϊκό πλαίσιο προς την μεριά της φωτοαντίστασης με την μικρότερη τιμή αντίστασης μέχρι το σημείο που και οι δυο φωτοαντιστάσεις θα έχουν την ίδια τιμή αντίστασης. Η ενεργοποίηση των βηματικών και ο γενικότερος έλεγχος της κίνησης γίνεται από τον controller PIC16F877ο οποίος έχει 10 bits multichannel ADC, 5 input/output ports, 256x8 bytes of data EEPROM Memory.



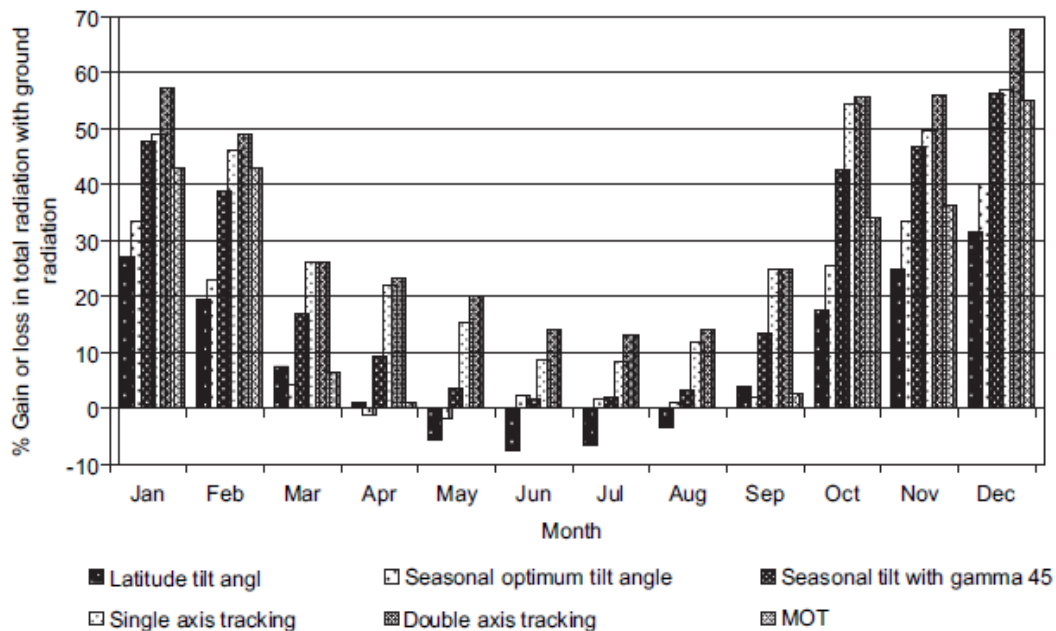
Σχήμα 2.34 : (α) One Axis Tracker, (β) Light Sensor

Η παραπάνω διάταξη όμως μπορεί να ακολουθεί μόνο το ένα μονοπάτι και όχι και τα δυο όπως έχει ειπωθεί και προηγουμένως με αποτέλεσμα να μην γίνεται σωστή εκμετάλλευση του ήλιου.



Σχήμα 2.35 : Οι δυο διαδρομές του ήλιου

Μια άλλη εργασία που εκπονήθηκε από τους H.R. Ghosh, N.C. Bhowmik, M. Hussain [9] δείχνει ότι το σύστημα ιχνηλάτησης δύο αξόνων είναι αποδοτικότερο από τα υπόλοιπα και αυτό φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα 2.36 και Πίνακα 2.8 που ακολουθούν.



Σχήμα 2.36: Σύγκριση συστημάτων ιχνηλάτησης κατά την διάρκεια του έτους

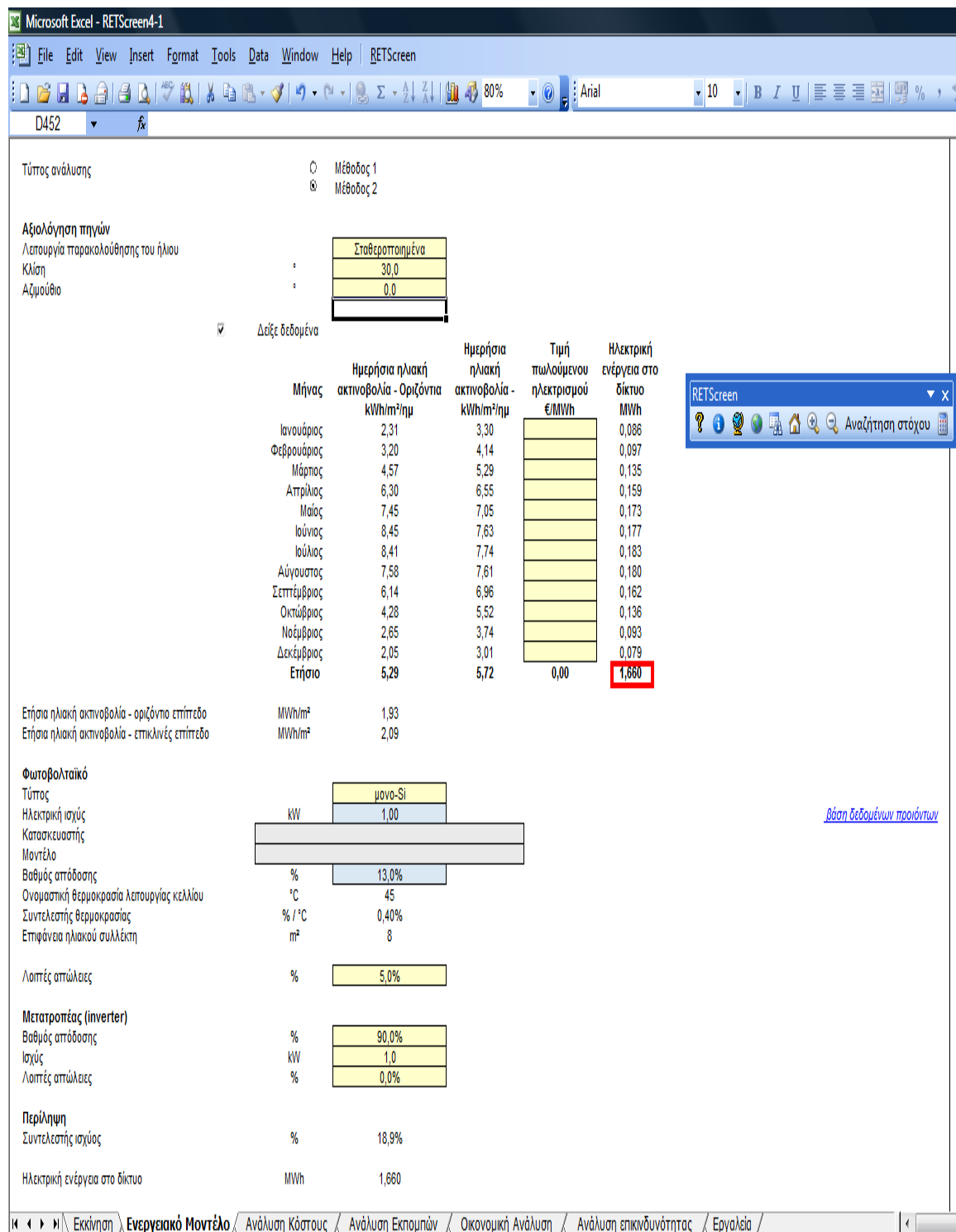
Month	Azimuth angle, γ									Tracking mode	
	0°					0°/± 30°		0°/± 45°		Polar axis	Double axis
	Tilt angle, β										
0°	23.73°	10°	40°	MOT	10°	40°	10°	40°			
Jan	3.01	3.82	3.40	4.08	4.31	3.49	4.39	3.50	4.45	4.49	4.73
Feb	3.90	4.66	4.29	4.81	5.58	4.42	5.29	4.45	5.42	5.70	5.81
Mar	4.70	5.05	4.92	4.92	5.00	5.04	5.35	5.08	5.50	5.92	5.92
Apr	5.99	6.05	6.11	5.61	6.05	6.29	6.29	6.36	6.55	7.30	7.38
May	5.52	5.22	5.47	4.62	5.52	5.64	5.22	5.71	5.49	6.36	6.62
June	4.06	3.75	3.99	3.29	4.06	4.09	3.65	4.13	3.81	4.42	4.63
July	3.65	3.41	3.60	3.02	3.65	3.68	3.32	3.72	3.46	3.95	4.13
Aug	4.00	3.87	3.99	3.52	4.00	4.09	3.87	4.13	4.01	4.48	4.56
Sep	4.06	4.22	4.20	4.02	4.18	4.31	4.46	4.36	4.61	5.07	5.08
Oct	3.95	4.65	4.32	4.74	5.30	4.51	5.43	4.56	5.64	6.10	6.15
Nov	3.27	4.08	3.66	4.33	4.45	3.76	4.72	3.79	4.80	4.89	5.10
Dec	3.31	4.35	3.81	4.72	5.13	3.91	5.11	3.93	5.17	5.19	5.55

Solar radiation for $\beta=0^\circ$ is measured data for Nov 07-Oct 08.

Πίνακας 2.8 : Μηνιαίο κέρδος Φ/B για σταθερά πλαίσια, one axis και two axes

Πιο συγκεκριμένα τα αποτελέσματα τους έδειξαν ότι η αύξηση της ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας που προσλαμβάνεται από φωτοβολταϊκά τοποθετημένα σε μηνιαία βέλτιστη γωνία κλίσης, σε εποχιακή βέλτιστη γωνία κλίσης, σε αζιμούθια απόκλιση $\pm 45^\circ$, σε ιχνηλάτηση ενός άξονα και τέλος σε ιχνηλάτηση δυο αξόνων είναι 8%, 4%, 14%, 22% και 25% αντίστοιχα [9].

Τέλος, τρέξαμε το πρόγραμμα RETScreen International [20], το οποίο παρέχεται δωρεάν, και μπορεί να χρησιμοποιηθεί παγκοσμίως για να αποτιμήσει την ενεργειακή παραγωγή και εξοικονόμηση, το κόστος κύκλου ζωής, τη μείωση εκπομπών, τα οικονομικά και την ανασφάλεια των διαφόρων τεχνολογιών ενεργειακής απόδοσης και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Το λογισμικό περιλαμβάνει επίσης βάσεις δεδομένων με προϊόντα, κόστος και κλιματολογικά δεδομένα. Η τοποθεσία που επιλέχτηκε για την εξαγωγή συμπερασμάτων είναι η Σούδα (Ν. Χανίων). Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν πρέπει να αναφέρουμε ότι επιλέγησαν να είναι ίδιες και στις τρεις περιπτώσεις για να έχουμε αξιόπιστα αποτελέσματα. Τα παρακάτω Σχήματα 2.37-2.39 δείχνουν την συνολική ετήσια απόδοση.



Σχήμα 2.37 : Συνολική ετήσια απόδοση για σταθερά πλαίσια (Κλίση 30°)

Microsoft Excel - RETScreen-4.1

File Edit View Insert Format Tools Data Window Help RETScreen

D451 fx 0

Τύπος ανάλυσης: ☐ Μέθοδος 1 ☒ Μέθοδος 2

Αξιολόγηση πηγών

Λειτουργία παρακολούθησης του ήλιου

Κλίση: 0.0

Αζιμούθιο: 0.0

☒ Δείξε δεδομένα

Μήνας	Ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία - Οριζόντια kWh/m ² /ημ	Ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία - kWh/m ² /ημ	Τιμή πωλούμενου ηλεκτρισμού €/MWh	Ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο MWh
Ιανουάριος	2,31	3,17		0,085
Φεβρουάριος	3,20	4,20		0,101
Μάρτιος	4,57	6,13		0,159
Απρίλιος	6,30	8,21		0,200
Μαΐος	7,45	10,04		0,246
Ιούνιος	8,45	11,43		0,264
Ιούλιος	8,41	11,58		0,274
Αύγουστος	7,58	10,92		0,260
Σεπτέμβριος	6,14	8,63		0,204
Οκτώβριος	4,28	6,31		0,159
Νοέμβριος	2,65	3,86		0,093
Δεκέμβριος	2,05	2,84		0,076
Ετήσιο	5,29	7,28	0,00	2,120

Ετήσια ηλιακή ακτινοβολία - οριζόντιο επίπεδο MWh/m² 1,93

Ετήσια ηλιακή ακτινοβολία - επικλινές επίπεδο MWh/m² 2,66

Φωτοβολταϊκό

Τύπος: μονο-Si

Ηλεκτρική ισχύς kW 1,00

Κατασκευαστής:

Μοντέλο:

Βαθμός απόδοσης % 13,0%

Ονομαστική θερμοκρασία λειτουργίας κελλίου °C 45

Συντελεστής θερμοκρασίας % / °C 0,40%

Επιφάνεια ηλιακού συλλέκτη m² 8

Λοιπές απώλειες % 5,0%

Μετατροπέας (inverter)

Βαθμός απόδοσης % 90,0%

Ισχύς kW 1,0

Λοιπές απώλειες % 0,0%

Περίληψη

Συντελεστής ισχύος % 24,2%

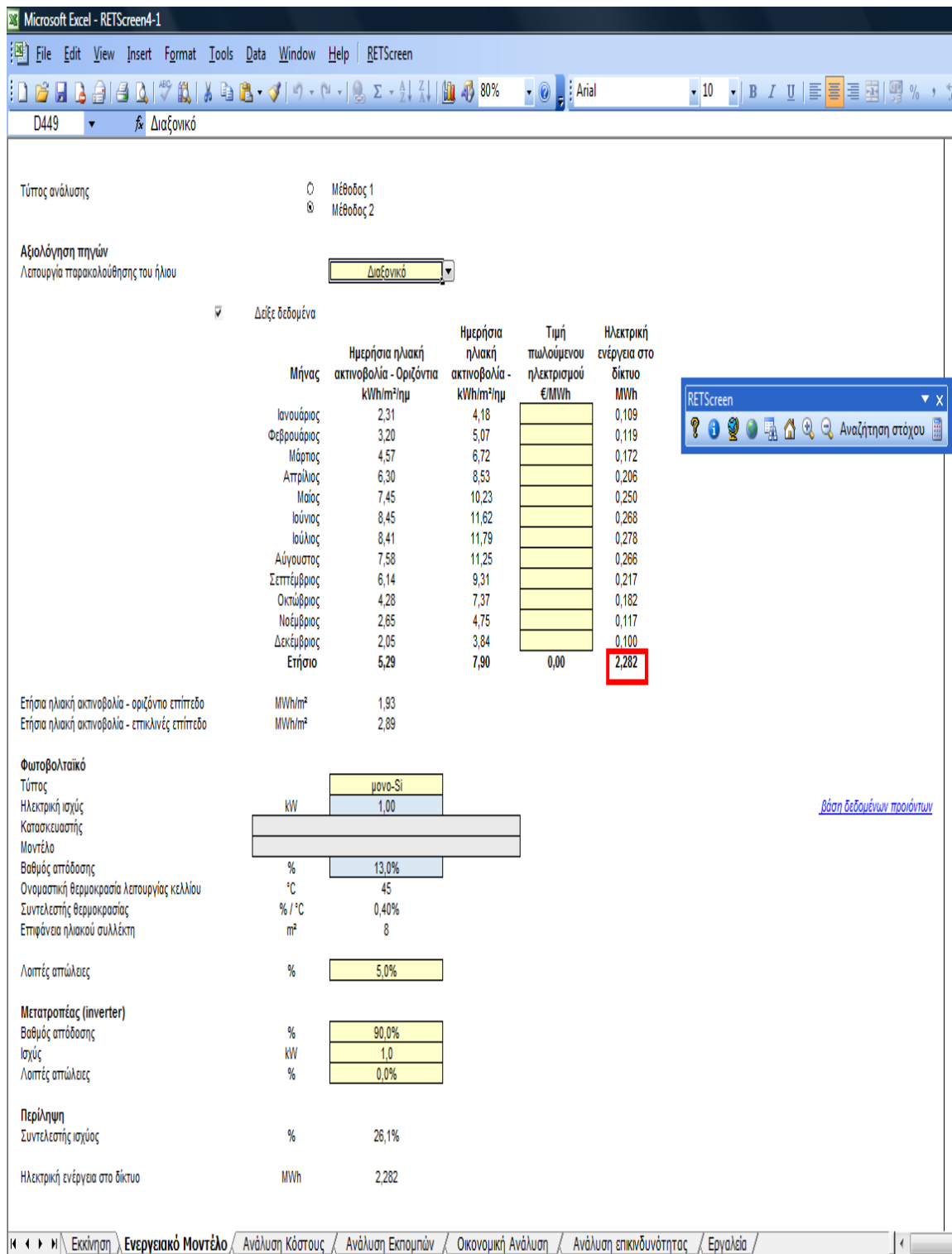
Ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο MWh 2,120

Εκκίνηση Ενεργειακό Μοντέλο Ανάλυση Κόστους Ανάλυση Εκπομπών Οικονομική Ανάλυση Ανάλυση επικινδυνότητας Εργαλεία

RETScreen

Αναζήτηση στόχου

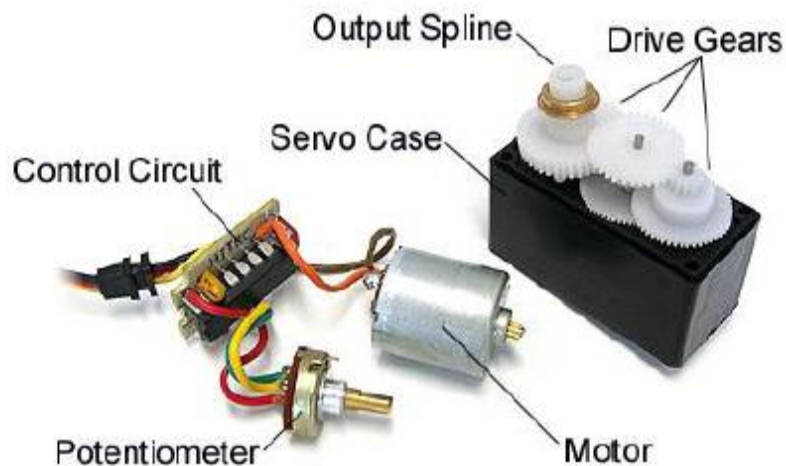
Σχήμα 2.38 : Συνολική ετήσια απόδοση για μονοαξονική ιχνηλάτηση



Σχήμα 2.39 : Συνολική ετήσια απόδοση για διαζωνική ιχνηλάτηση

Παρατηρούμε ότι η χρήση δυο αξόνων για την περιοχή της Σούδας είναι σαφώς αποδοτικότερη από τους άλλους δυο τρόπους καθώς για σταθερά πλαίσια με κλίση 30°, για μονοαξονικά και διαζωνικά πλαίσια η ετήσια απόδοση είναι 1.660, 2.120, 2.282 αντίστοιχα.

2.3 Servo-κινητήρες

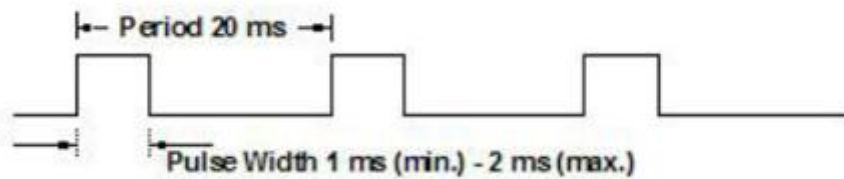


Σχήμα 2.40 : Δομή servo – κινητήρα



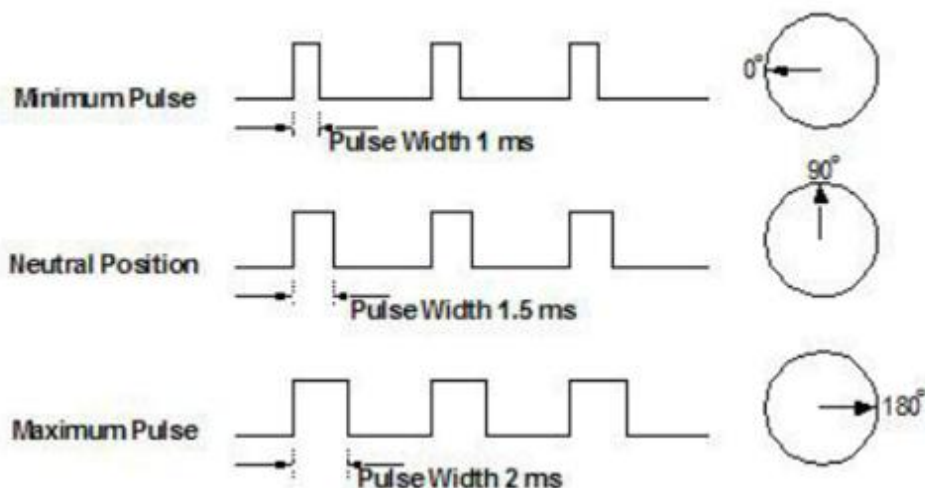
Σχήμα 2.41 : Ο servo κινητήρας που χρησιμοποιήθηκε

Οι servo κινητήρες είναι μικρές συσκευές που έχουν έναν εξωτερικό άξονα. Αυτός ο άξονας μπορεί να μετακινηθεί σε διάφορες θέσεις αν αποσταλεί στον servo ένα κωδικοποιημένο σήμα. Όσο υπάρχει αυτό το σήμα στην γραμμή εισόδου του servo τόσο αυτός θα διατηρεί τον άξονα του σε μια συγκεκριμένη θέση. Όταν αλλάζει το σήμα προκαλεί στον servo να μεταβάλει την γωνία του άξονα. Αξίζει να σημειώσουμε ότι ο παλμός για τα διαφορετικά είδη servos για την δεξιόστροφη και αριστερόστροφη κίνηση ποικίλλει ενώ ο παλμός για την ακινητοποίηση του κινητήρα καθορίζεται πάντα στα 1.5 milliseconds (neutral position).



Σχήμα 2.42 : Ευρος παλμων ενός servo-κινητήρα

Η γωνία στρέψης καθορίζεται από την διάρκεια του παλμού, δηλαδή το PWM. Ο κινητήρας περιμένει να δει έναν παλμό κάθε 20 ms. Το μήκος του παλμού θα καθορίσει την χρονική διάρκεια στρέψης. Για παράδειγμα, ένας παλμός 1.5 ms θα κάνει τον κινητήρα να κινηθεί στις 90°, δηλαδή στην neutral position και θα κρατήσει την θέση του μέχρι να έρθει ο επόμενος παλμός. Αν ο επόμενος παλμός είναι μικρότερος από 1.5 ms τότε θα κινηθεί αριστερόστροφα, ενώ αν είναι μεγαλύτερος από 1.5 ms τότε θα κινηθεί δεξιόστροφα. Το ελάχιστο και μέγιστο εύρος παλμού διαφέρει από κινητήρα σε κινητήρα αλλά στην πλειοψηφία των servos είναι 1ms το ελάχιστο και 2 ms το μέγιστο.



Σχήμα 2.43 : Θέσεις ενός servo – κινητήρα ανάλογα με τους παλμούς

Στην παρούσα διπλωματική χρησιμοποιήθηκαν δυο ίδιοι servo κινητήρες Tower Pro SG-90. Τα χαρακτηριστικά τους είναι τα εξής :

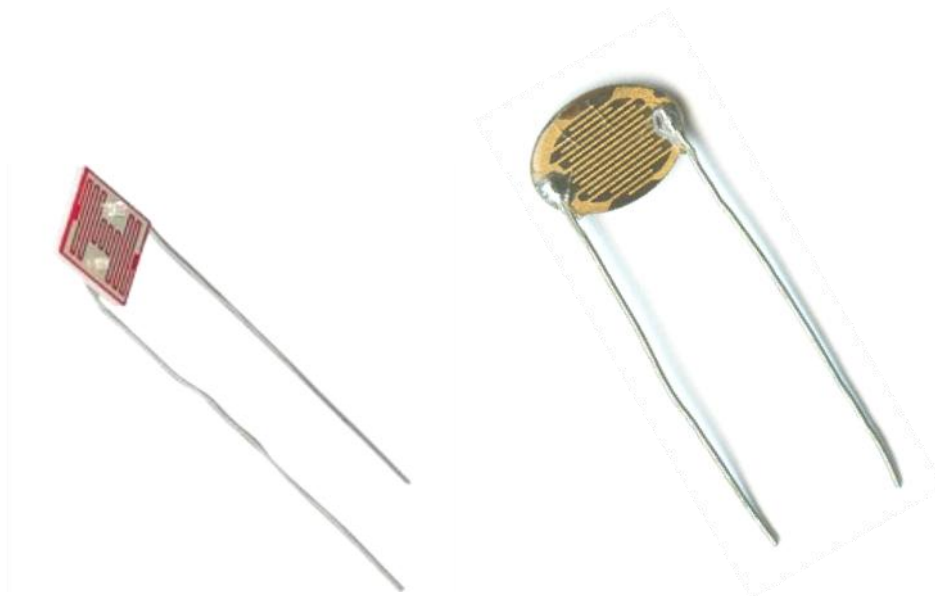
- Διαστάσεις : 22x 11.5 x 27mm

- Ταχύτητα Στρέψης (4.8V no load): 0.12sec/60 degrees
- Ταχύτητα Στρέψης (6V no load): 0.11sec/60 degrees
- Ροπή Ακινητοποίησης (4.8V): 17.5 oz/in (1.2 kg/cm)
- Ροπή Ακινητοποίησης (6V): 21 oz/in (1.6 kg/cm)
- Θερμοκρασία Λειτουργίας : -30 to +60 Degree C
- Ρεύμα Λειτουργίας : 3.0 - 7.2 Volts
- Βάρος : 9g

2.4 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 τύπο 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.



Σχήμα 2.44 : Φωτοαντιστάσεις

2.5 Μικροελεγκτές

Οι πρώτοι μικροεπεξεργαστές εμφανίστηκαν στη δεκαετία του '70. Εξέπληξαν με την παρουσία τους καθώς για πρώτη φορά υπήρχε κάτι σε μορφή ολοκληρωμένου κυκλώματος το οποίο περιείχε κεντρική μονάδα επεξεργασίας (ΚΜΕ). Μια αξιολόγηση δύναμη επεξεργασίας ήταν πλέον διαθέσιμη με χαμηλό κόστος, και σε μικρό μέγεθος. Αρχικά, όλες οι λειτουργίες, όπως η μνήμη και η διασύνδεση εισόδων-εξόδων, ήταν έξω από το μικροεπεξεργαστή, με αποτέλεσμα να υπάρχει ανάγκη υλοποίησης ενός συστήματος το οποίο και πάλι χρειαζόταν έναν μεγάλο αριθμό από ολοκληρωμένα κυκλώματα. Βαθμιαία, ο μικροεπεξεργαστής έγινε πιο ανεξάρτητος, με τη δυνατότητα, παραδείγματος χάριν, να περιλαμβάνει διαφόρους τύπους μνήμης στο ίδιο τσιπ με την κεντρική μονάδα επεξεργασίας. Συγχρόνως, η ΚΜΕ γινόταν ισχυρότερη και γρηγορότερη, με αποτέλεσμα ο μικροεπεξεργαστής να αναβαθμιστεί γρήγορα από 8bit σε 16bit και 32bit. Η ανάπτυξη του μικροεπεξεργαστή οδήγησε πολύ άμεσα σε εφαρμογές όπως ο προσωπικός Η/Υ.

Ο μικροελεγκτής είναι ένα αυτόνομο υπολογιστικό σύστημα, με πολύ μικρό μέγεθος, σε ένα και μοναδικό ολοκληρωμένο κύκλωμα (computer on a chip). Όπως και όλα τα VLSI κυκλώματα, αποτελείται από μέρη που κατασκευάζονται με διάφορες λιθογραφικές μεθόδους πάνω σε πλάκες πυριτίου, τα λεγόμενα Silicon Wafers. Πάνω σε αυτά σχηματίζονται χιλιάδες έως εκατομμύρια τρανζίστορ και κατ' επέκταση δημιουργούνται τα λεγόμενα ολοκληρωμένα κυκλώματα που είναι συνδυασμός λογικών πυλών. Συνδυάζοντας τις λογικές πύλες, δημιουργούνται υπομονάδες που επιτελούν ορισμένες πιο εξειδικευμένες λειτουργίες στον μικροελεγκτή. Μια κύρια διαφορά μεταξύ ενός μικροελεγκτή και ενός μικροεπεξεργαστή είναι πως στον μικροελεγκτή υπάρχει ενσωματωμένη μνήμη και μονάδες ελέγχου περιφερειακών συσκευών. Οι μικροελεγκτές έχουν ως κύριο σκοπό τους να επικοινωνούν με άλλες ηλεκτρονικές διατάξεις και όχι με τον άνθρωπο. Είναι αρκετά βεβαρημένοι με υπολογιστικό φόρτο υπολογιστές, κρυμμένοι σε διάφορες ηλεκτρονικές συσκευές και οι λειτουργίες τους είναι από περιορισμένες έως πολύπλοκες εργασίες ελέγχου.

Οπότε, τι είναι αυτό που διαφέρει σε έναν μικροελεγκτή από έναν μικροεπεξεργαστή; Όπως ένας μικροεπεξεργαστής, ο μικροελεγκτής πρέπει να είναι σε θέση να υπολογίσει, αν και όχι απαραίτητα πολύ μεγάλους αριθμούς. Αλλά έχει άλλες ανάγκες. Πρώτα απ' όλα, πρέπει να έχει μια εξαιρετική διαδραστικότητα εισόδου / εξόδου. Επειδή πολλά ενσωματωμένα συστήματα είναι διακριτικά σε μέγεθος και κόστος, πρέπει να είναι μικρό, ανεξάρτητο και να κοστίζει λίγο. Ο μικροελεγκτής επίσης πρέπει να μπορεί να λειτουργεί σε δύσκολες συνθήκες, όπως σε ακραίες θερμοκρασίες, βιομηχανικές ή στρατιωτικές εφαρμογές. Πρέπει να ενσωματώνει περισσότερες λειτουργίες απ' ό,τι ένας μικροεπεξεργαστής ο οποίος περιέχει μόνο κεντρική μονάδα επεξεργασίας. Εκτός των συνηθισμένων αριθμητικών και λογικών στοιχείων ενός μικροεπεξεργαστή, ο μικροελεγκτής διαθέτει επιπλέον λειτουργίες. Κάποιες από αυτές είναι η ικανότητα να χρησιμοποιεί μνήμη τυχαίας προσπέλασης για αποθήκευση δεδομένων (όπως η μνήμη RAM), μνήμη μόνο για ανάγνωση για αποθήκευση προγραμμάτων, μνήμη flash για αποθήκευση προσωρινών δεδομένων.

Η κατανάλωση τους σε ισχύ είναι σχετικά μικρή (της τάξεως των milliwatt και microwatt), και γενικώς, έχουν την ικανότητα να διατηρούν την λειτουργικότητα τους καθώς περιμένουν ένα συμβάν, όπως το πάτημα ενός κουμπιού ή μια διακοπή. Η δυνατότητα τους να ξοδεύουν σχεδόν μηδενική τάση κατά την διάρκεια που δεν

επεξεργάζονται δεδομένα, τους κάνει ιδανικούς σε εφαρμογές που λειτουργούν με χαμηλή τάση ή με μπαταρίες. Με τη μείωση του μεγέθους, του κόστους, και της κατανάλωσης ισχύος έναντι ενός μοντέλου που χρησιμοποιεί έναν ξεχωριστό μικροεπεξεργαστή, μνήμη, και συσκευές εισόδου-εξόδου, οι μικροελεγκτές είναι μια οικονομική λύση για να ελεγχθούν ηλεκτρονικά πολλαπλές διαδικασίες. Η πλειοψηφία των υπολογιστικών συστημάτων που χρησιμοποιούνται σήμερα, είναι ενσωματωμένα σε άλλα μηχανήματα, όπως για παράδειγμα σε αυτοκίνητα, σε τηλέφωνα, σε συσκευές, ή σε περιφερειακές μονάδες ηλεκτρονικών υπολογιστών. Αυτή η κατηγορία υπολογιστικών συστημάτων αποκαλούνται ενσωματωμένα συστήματα (embedded systems).

Υπάρχουν χιλιάδες διαφορετικοί τύποι μικροελεγκτών στον κόσμο σήμερα, οι οποίοι φτιάχνονται από πολυάριθμους διαφορετικούς κατασκευαστές. Ένας κατασκευαστής χτίζει μια οικογένεια μικροελεγκτών η οποία βασίζεται σε έναν συγκεκριμένο πυρήνα μικροεπεξεργαστή. Οι διαφορετικοί τύποι μικροεπεξεργαστών μιας οικογένειας δημιουργούνται χρησιμοποιώντας τον ίδιο πυρήνα, συνδυάζοντας το με διαφορετικούς τύπους περιφερειακών μονάδων και διαφορετικά μεγέθη μνήμης. Ένας πυρήνας μπορεί να είναι 8-bit με περιορισμένη δύναμη, ένας άλλος 16-bit, ή να είναι μια περίπλοκη συσκευή 32-bit. Σε κάθε πυρήνα προστίθενται διαφορετικοί συνδυασμοί περιφερειακών και μεγέθους μνήμης, με αποτέλεσμα να δημιουργηθούν διαφορετικά μοντέλα σε μια οικογένεια μικροεπεξεργαστών. Επειδή ο πυρήνας είναι συγκεκριμένος για όλα τα μοντέλα μιας οικογένειας, οι οδηγίες για την χρήση του παραμένουν ίδιες και οι χρήστες δεν δυσκολεύονται όταν χειρίζονται διαφορετικά μοντέλα. Σε μια οικογένεια μπορεί να υπάρχουν περισσότεροι από 100 μικροελεγκτές, ο καθένας με ελαφρώς διαφορετικές ικανότητες ή και στοχευμένοι σε πολύ συγκεκριμένες εφαρμογές.

Οι μικροελεγκτές κατασκευάζονται σε διάφορες μορφές, συνήθως πλαστικές ή κεραμικές ως υλικό συσκευασίας. Η διασύνδεση με τον εξωτερικό κόσμο παρέχεται από τους ακροδέκτες (pins). Όπου είναι δυνατόν οι μικροελεγκτές πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μικρότεροι σε μέγεθος, τι είναι όμως αυτό που καθορίζει το μέγεθος; Κατά τρόπο ενδιαφέροντα, δεν είναι συνήθως το μέγεθος του ίδιου του εσωτερικού κυκλώματος που περιέχει, αυτό που καθορίζει το γενικό μέγεθος. Αντ' αυτού, το μέγεθος καθορίζεται από τον αριθμό των ακροδεκτών του, και το διάστημα μεταξύ τους.

Υπάρχουν διάφορες αρχιτεκτονικές, πάνω στις οποίες είναι βασισμένοι οι μικροελεγκτές. Μερικές από τις πιο κοινές αρχιτεκτονικές είναι οι: CF (32-bit), ARM, MIPS (32-bit PIC32), S08, AVR, PIC (8-bit PIC16, PIC18, 16-bit dsPIC33 / PIC24), V850, PowerPC ISE, PSoC (Programmable System-on-Chip).

2.5.1 Σύντομη αναφορά στους PIC της Microchip

Οι PIC είναι ολοκληρωμένα κυκλώματα που παράγονται από την Microchip Technology Inc., και ανήκουν στην κατηγορία των μικροελεγκτών. Μέσα τους περιλαμβάνουν όλα τα απαραίτητα στοιχεία για την κατασκευή ενός ψηφιακά προγραμματιζόμενου συστήματος. Εξωτερικά μοιάζουν με ψηφιακά ολοκληρωμένα, όμως μέσα τους κρύβουν ένα μικρό υπολογιστή.

Ο PIC ενσωματώνει κεντρική μονάδα επεξεργασίας και μνήμη. Παρότι το μέγεθος της μνήμης του για την αποθήκευση του κώδικα δεν είναι μεγάλο (εξαρτάται από τον τύπο) είναι για τις περισσότερες εφαρμογές. Η μέγιστη συχνότητα χρονισμού του είναι τα 20MHz και η χωρητικότητα μνήμης κυμαίνεται από 1 έως 4 Kb. Η συχνότητα χρονισμού είναι ανάλογη της ταχύτητας με την οποία διαβάζει και εκτελεί τις εντολές. Η αρχιτεκτονική του είναι τύπου Harvard και ο ίδιος ονομάζεται από την κατασκευάστρια εταιρεία Risk controller, (Reduced instruction set controller) επεξεργαστής ή ελεγκτής (για όσους θέλουν την ακριβή μετάφραση) με μειωμένο σετ εντολών.

Ο PIC ήταν αρχικά ένα πρότυπο μοντέλο της εταιρίας General Instruments. Προοριζόταν για απλές εφαρμογές ελέγχου, γι' αυτό και το όνομα PIC (Peripheral Interface Controller). Προς το τέλος της δεκαετίας του '70 η General Instruments κατασκεύασε τους επεξεργαστές PIC 1650 και 1655. Παρ' ότι το μοντέλο ήταν σχετικά χοντροκομμένο και ανορθόδοξο, ήταν απολύτως αυτόνομο, και περιείχε μερικά σημαντικά και προνοητικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα. Η απλή κεντρική μονάδα επεξεργασίας ήταν δομής RISC, με έναν καταχωρητή (Working) και 30 μόνο εντολές. Ήδη τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα του PIC προέκυπταν - απλότητα, αυτονομία, υψηλή ταχύτητα και χαμηλότερο κόστος.

Εξετάζοντας τους μικροελεγκτές PIC σήμερα, καθένας μπορεί να καταληφθεί από μια αίσθηση πλήρους σύγχυσης. Υπάρχουν κυριολεκτικά εκατοντάδες διαφορετικά μοντέλα, διαθέσιμα σε διαφορετικές συσκευασίες, για διαφορετικές εφαρμογές. Επομένως ας προσπαθήσουμε να καθορίσουμε τα κοινά τους χαρακτηριστικά. Αυτή τη στιγμή, όλοι οι μικροελεγκτές PIC είναι χαμηλού κόστους, αυτόνομοι, 8-bit, ακολουθούν την δομή Harvard, RISC, με έναν καταχωρητή (Working ή W), και συγκεκριμένα reset και interrupt vectors.

Σήμερα, η Microchip προσφέρει πέντε κύριες οικογένειες μικροελεγκτών. Η σειρά του μοντέλου προσδιορίζεται από τα πρώτα δύο ψηφία του κωδικού της συσκευής. Ο αλφαβητικός χαρακτήρας που ακολουθεί δίνει κάποια ένδειξη της τεχνολογίας που χρησιμοποιήθηκε. Το γράμμα 'C' απευθύνεται στην τεχνολογία CMOS, η κύρια τεχνολογία ημιαγωγών για εφαρμογή συστημάτων λογικής χαμηλής ισχύος. Το γράμμα 'F' δείχνει την ενσωμάτωση της τεχνολογίας μνήμης flash (ακόμα χρησιμοποιώντας το CMOS ως βασική τεχνολογία). Ένα 'A' μετά από τον αριθμό δείχνει μια τεχνολογική αναβάθμιση επάνω στο προηγούμενο μοντέλο.

2.5.2 Κατηγορίες PIC

- **Κατηγορία Baseline** : Αυτή η κατηγορία μικροελεγκτών PIC διαθέτει μνήμη κώδικα (code memory) εύρους 12-bit, ένα αρχείο καταχώρησης (register file) 32-byte, και μία λίστα call stack δύο επιπέδων. Αντιπροσωπεύονται από τη σειρά PIC10, καθώς επίσης και από μερικά μοντέλα PIC12 και PIC16. Η κατηγορία μικροελεγκτών Baseline διαθέτει από 6 ως 40 ακροδέκτες. Γενικά, τα πρώτα 7-9 byte του αρχείου καταχώρησης είναι καταχωρητές γενικής χρήσεως, και τα υπόλοιπα byte είναι μνήμη RAM γενικής χρήσεως. Το εύρος διευθύνσεων της μνήμης ROM είναι 512 words (12 bit κάθε

διεύθυνση), το οποίο είναι επεκτάσιμο σε 2048 words. Οι εντολές CALL και GOTO διευκρινίζουν τα τελευταία 9-bit της νέας τοποθεσίας του κώδικα.

Το σύνολο των εντολών έχει ως εξής.

Οι καταχωρητές αριθμών αναφέρονται ως "f", ενώ οι σταθερές αναφέρονται ως "k".

Οι αριθμοί των bit (0-7) επιλέγονται από το "b". Το bit "d" επιλέγει τον προορισμό: 0 για να εισάγεις δεδομένα στο W, ενώ 1 δείχνει ότι το αποτέλεσμα γράφεται πίσω στον αρχικό καταχωρητή.

- **Κατηγορία Mid-Range** : Αυτή η κατηγορία μικροελεγκτών PIC διαθέτει code memory εύρους 14-bit, και μια βελτιωμένη λίστα call stack 8 επιπέδων. Το σύνολο των εντολών διαφέρει ελάχιστα από τους Baseline, επιτρέπεται πλέον όμως η άμεση διευθέτηση και χρήση 128 καταχωρητών μνήμης και 2048 words προγράμματος. Η κατηγορία μικροελεγκτών mid-range αντιπροσωπεύονται από τη πλειονότητα της σειράς PIC12 and PIC16.

Τα πρώτα 32 bytes του χώρου μνήμης είναι αφιερωμένα για καταχωρητές γενικής χρήσεως, και τα υπόλοιπα 96 bytes είναι μνήμη RAM γενικής χρήσεως.

- **Κατηγορία PIC17 High End** : Αυτή η κατηγορία μικροελεγκτών δεν έγινε ποτέ δημοφιλής και έχουν πλέον εκτοπιστεί από την αρχιτεκτονική της κατηγορίας PIC18. Δεν συστήνεται για νέα σχέδια, καθώς η διαθεσιμότητα τους είναι περιορισμένη.

Οι βελτιώσεις σε σχέση με τις προηγούμενες κατηγορίες είναι ότι η ΚΜΕ δέχεται εντολές 16-bit (που επιτρέπουν πολλές νέες εντολές), και μια λίστα call stack 16 επιπέδων. Αυτή η κατηγορία μικροελεγκτών διέθετε από 40 ως 68 ακροδέκτες.

- **Κατηγορία PIC18 High End** : Η Microchip παρουσίασε την αρχιτεκτονική της σειράς PIC18 High End το 2002. Οι μικροελεγκτές PIC18 έγιναν πολύ δημοφιλείς, με ένα πλήθος μοντέλων να είναι διαθέσιμο στο εμπόριο. Σε αντίθεση με προηγούμενα μοντέλα, εδώ η κυρίαρχη γλώσσα προγραμματισμού είναι η C.
- **Κατηγορίες PIC24 και οι dsPIC 16** : Η Microchip παρουσίασε την σειρά dsPIC το 2001, και μπήκαν σε μαζική παραγωγή στα τέλη του 2004. Είναι τα πρώτα μοντέλα της κατηγορίας που βασίζονται σε 16-bit. Είναι σχεδιασμένα για γενική χρήση.
- **Κατηγορία PIC32MX 32** : Η Microchip παρουσίασε την σειρά PIC32MX, μιας οικογένειας 32-bit μικροελεγκτών το 2007. Το αρχικό σχέδιο των μοντέλων της κατηγορίας αυτής είναι βασισμένο στο βιομηχανικό πρότυπο MIPS32 M4K Core. Έχουν πολλά παρόμοια περιφεριακά συστήματα με τους PIC24.

2.5.3 Προγραμματισμός ενός μικροελεγκτή

Ο προγραμματισμός αυτών των συσκευών γίνεται με ένα σετ εντολών που έχουν συγκεκριμένη σύνταξη και χρησιμοποιούν δύο καταστάσεις το 1 και το 0. Οι μικροελεγκτές αρχικά, προγραμματίζονταν μόνο σε γλώσσα assembly, αλλά πλέον διάφορες γλώσσες υψηλού επιπέδου χρησιμοποιούνται για αυτόν τον σκοπό. Αυτές οι γλώσσες προγραμματισμού είναι είτε αποκλειστικά στοχευμένες για τον προγραμματισμό μικροελεγκτών, ή απλά εκδόσεις τους που μας εξυπηρετούν, όπως η γλώσσα C.

Η γλώσσα που αντιλαμβάνεται ένας μικροελεγκτής όπως και ένας μικροεπεξεργαστής ονομάζεται γλώσσα μηχανής. Στην πράξη ο χρήστης προγραμματίζει τον μικροελεγκτή σε μνημονική γλώσσα Assembly. Η γλώσσα Assembly γενικά θεωρείται χαμηλού επιπέδου καθώς βρίσκεται πολύ κοντά στην γλώσσα μηχανής.

Είναι δυνατόν να γράψουμε προγράμματα σε αυτή τη γλώσσα με την βοήθεια εργαλείων που ονομάζονται assemblers. Έτσι, όταν ο προγραμματιστής δώσει εντολές όπως την MOV, ADD, LD, (Μετακίνηση, Πρόσθεση, Φόρτωση) ο assembler αντιστοιχεί την εντολή με μια ακολουθία 0 και 1 που είναι κατανοητή από τον μικροελεγκτή και τα υποσυστήματά του. Ωστόσο, ακόμη και με αυτή την διευκόλυνση που προσφέρουν τα εργαλεία αυτά, είναι αρκετά οδυνηρό από άποψη χρόνου να γραφεί ένα πρόγραμμα τέτοιου επιπέδου.

Οι εντολές της γλώσσας μηχανής επιτελούν περιορισμένες διεργασίες και πολλές φορές χρειάζεται εκατοντάδες εντολών για να εκτελέσουν πράξεις και λειτουργίες πιο σύνθετες από τις συνηθισμένες. Υπάρχει όμως η δυνατότητα να γράψουμε το πρόγραμμα σε γλώσσα προγραμματισμού υψηλού επιπέδου.

Οι γλώσσες υψηλού επιπέδου μπορούν να μεταφραστούν σε γλώσσα χαμηλού επιπέδου με τη βοήθεια μεταφραστικών εργαλείων, όπως είναι ο compiler (μεταγλωττιστής) και ο interpreter (διερμηνέας). Το πρώτο είναι εργαλείο λογισμικού, το οποίο δέχεται τις εντολές υψηλού επιπέδου που δίνει ο χρήστης και τις μετατρέπει σε γλώσσα μηχανής.

Ο διερμηνέας από την άλλη, είναι υλικό (hardware) μέσα στον μικροελεγκτή το οποίο αποκωδικοποιεί τη γλώσσα υψηλού επιπέδου άμεσα σε γλώσσα μηχανής. Αυτό απαιτεί βεβαίως επεξεργαστική ισχύ από το μέρος του μικροελεγκτή και έχει την τάση να τρέχει πιο αργά από ένα πρόγραμμα που «μεταγλωττίστηκε» (μέσω compiler) σε γλώσσα μηχανής. Ωστόσο έχει το πλεονέκτημα της αμεσότητας, καθώς ο προγραμματιστής μπορεί να αλλάξει ένα σημείο στον κώδικα του και να δει τα αποτελέσματα χωρίς το βήμα της μεταγλώττισης.

2.6 Πλακέτα συλλογής δεδομένων

Για την υλοποίηση της διπλωματικής έπρεπε να επιλεγθεί μια κατάλληλη πλακέτα η οποία θα μπορούσε να πάρει τα δεδομένα, να τα επεξεργαστεί μέσω ενός αλγορίθμου και εν συνεχεία να δώσει τις κατάλληλες εντολές στους κινητήρες.

2.6.1 Επιλογή Control Chip

Η επιλογή του controller έγινε με μοναδικό κριτήριο τις απαιτήσεις του tracking που έπρεπε να επιτευχθούν. Μια απαίτηση είναι η εναλλαγή της αναλογικής τάσης από τις φωτοαντιστάσεις της βάσης σε ψηφιακές τιμές που πρέπει να συγκριθούν. Επίσης, ο controller πρέπει να έχει μνήμη έτσι ώστε να διαχειρίζεται τα δεδομένα εισόδου και να δίνει τις επιθυμητές εξόδους στους κινητήρες. Τα δεδομένα εισόδου και εξόδου πρέπει να προσδιοριστούν πριν την επιλογή controller. Για την διαχείριση της αναλογικής σε ψηφιακή τιμή (ADC-Analogue to Digital Convert), ο controller πρέπει να διαβάζει τέσσερις τιμές τάσης ταυτόχρονα και συνεχώς. Ύστερα, ελέγχοντας ανά δυο αυτές τις τιμές δίνει τα κατάλληλα δυο σήματα εξόδου, ένα σε κάθε servo-κινητήρα. Μετά από έρευνα καταλήξαμε στην επιλογή του PIC18F4550, καθώς αυτός πληρούσε τις παραπάνω απαιτήσεις.

2.6.2 Περιγραφή πλακέτας

Το κύκλωμα έγινε σε διάτρητη πλακέτα και εκτός από τον controller έχει τέσσερις σειρές από κλέμμες και μια θύρα USB. Κάθε σειρά από κλέμμες συνδέονται με το control chip για ανταλλαγή και επεξεργασία δεδομένων. Πιο συγκεκριμένα, όπως φαίνεται και στο σχήμα η πρώτη σειρά από κλέμμες K1 συνδέεται με τα pin RD0-RD7(8-ψηφια ψηφιακή έξοδος στάθμης TTL) του controller, η τρίτη σειρά K3 συνδέεται με τα pin RB0-RB7(8-ψηφια ψηφιακή είσοδος στάθμης TTL), η τέταρτη σειρά K4 συνδέεται με τα pin RC1, RC2 (δυο αναλογικές εξοδοι με εύρος διακύμανσης 0-5 Volts), η πέμπτη σειρά K5 συνδέεται με τα pin AN0/RA0-AN7/RA7(οκτώ αναλογικές είσοδοι) και τέλος έχουμε το K2 που είναι η θύρα USB, απαραίτητη για την σύνδεση με τον υπολογιστή.

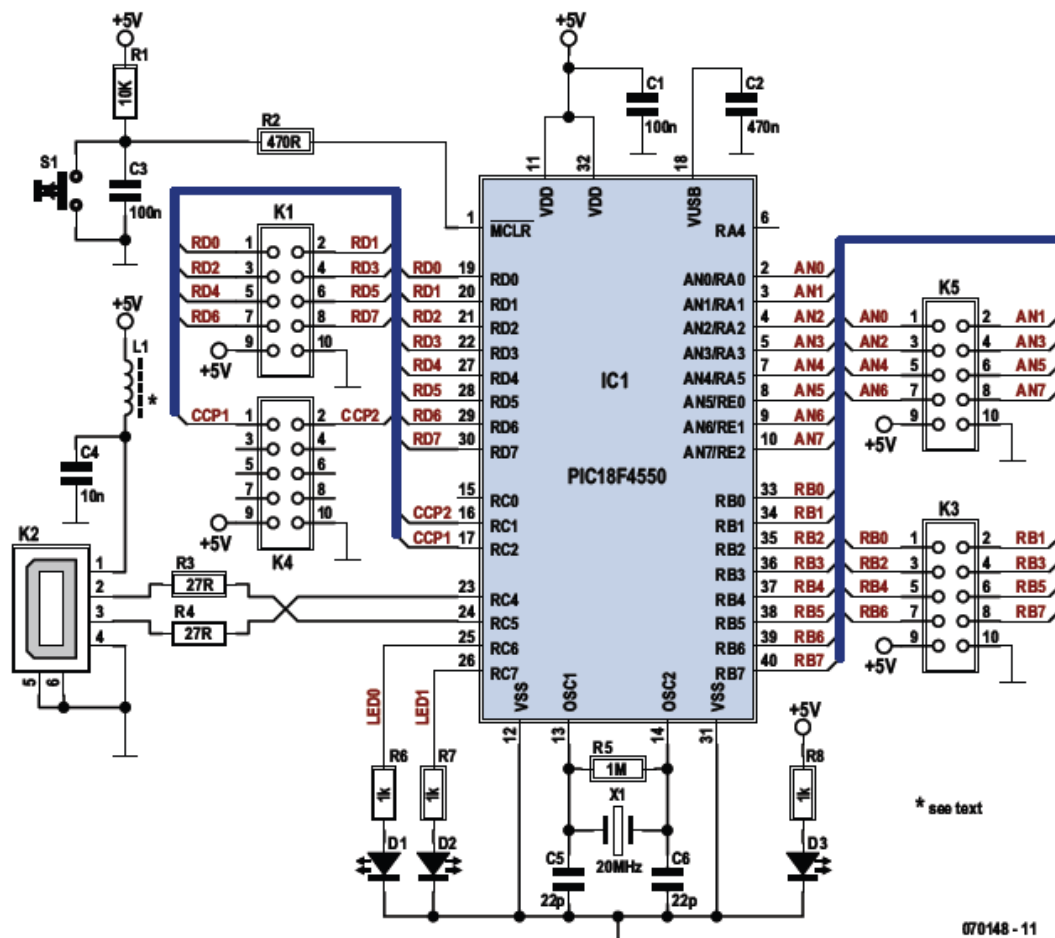
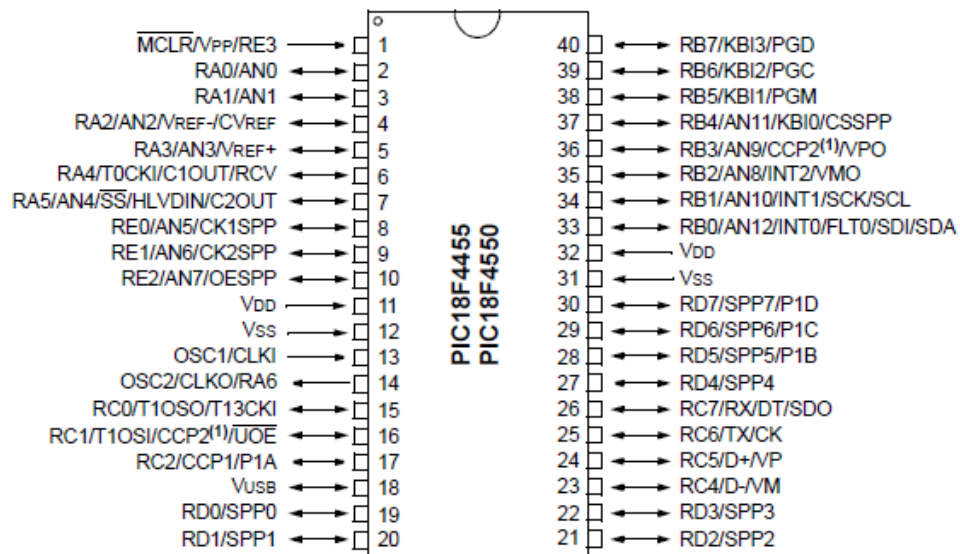
Η θύρα RB, παρόλο που είναι ψηφιακή, διαθέτει αντιστάσεις πρόσδεσης στα 5 Volts. Οι αναλογικές εξοδοι χαρακτηρίζονται από ακρίβεια 10 ψηφίων που υλοποιείται μέσω γεννητριών PWM (Pulse Width Modulation / Διαμόρφωση Εύρους Παλμών) που εργάζονται με συχνότητα 2.9 KHz. Τα σήματα τους μπορούν να φιλτραριστούν με απλά δικτυώματα RC. Η τάση που προκύπτει μετά από ένα τέτοιο φιλτράρισμα είναι ίση με $V_o = 5 \cdot D$, όπου με D δηλώνεται ο λόγος διάρκειας προς περίοδο (Duty Cycle) της κυματομορφής που εφαρμόζεται στην είσοδο του φίλτρου. Η τιμή της μεταβλητής D κυμαίνεται από 0 έως 1. Οι αναλογικές είσοδοι χαρακτηρίζονται και αυτές από την ίδια ακρίβεια. Ο ταλαντωτής του controller λειτουργεί στα 20 MHz έχοντας ως αναφορά έναν κρύσταλλο (X1) της ίδιας ονομαστικής συχνότητας και

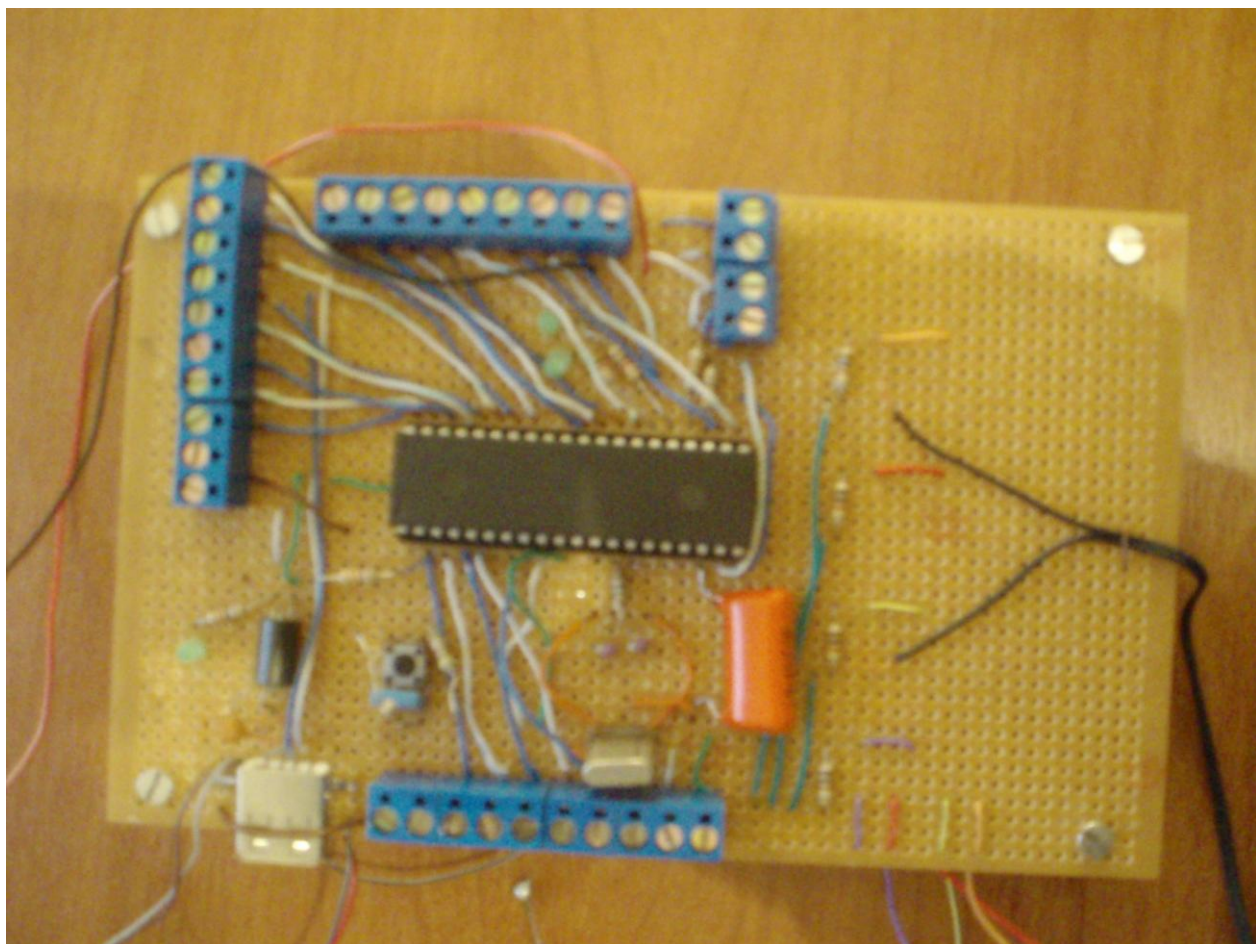
συνοδεύεται από δυο πυκνωτές παράλληλης φόρτισης και μια αντίσταση ανάδρασης για την μείωση του θορύβου. Στην πραγματικότητα η μονάδα χρονισμού του pic δουλεύει στα 48 MHz αξιοποιώντας το εσωτερικό PLL. (Τα 48MHz είναι ακέραιο πολλαπλάσιο των 12 Mbit/sec που προσδιορίζουν την ταχύτητα του διαύλου USB στην πλήρη ταχύτητα του).

Τα LED D1, D2 δείχνουν την κατάσταση της θύρας USB. Το LED D3 είναι ενδεικτικό της τάσης τροφοδοσίας, δηλαδή ανάβει όταν η πλακέτα συνδεθεί στον υπολογιστή μέσω USB. Η τροφοδοσία της πλακέτας εξασφαλίζεται μόνο από τον υπολογιστή. Το στραγγαλιστικό πηνίο L1 και ο πυκνωτής C4 φροντίζουν να περιορίζουν τις αργές και γρήγορες διακυμάνσεις της τάσης. Τα S1, R1, R2, C3 που συνδέονται με το pin1 δηλαδή το MCLR δημιουργούν ένα κύκλωμα παραγωγής σήματος αρχικοποίησης.

Τεχνικά χαρακτηριστικά PIC18F4550:

- ✓ Program Memory (Bytes) - 32768
- ✓ Program Memory (Instructions) - 16384
- ✓ Data Memory (Bytes) - 2048
- ✓ Data EEPROM Memory (Bytes) - 256
- ✓ Interrupt Sources - 20
- ✓ I/O Ports - Ports A, B, C, D, E
- ✓ Timers - 4
- ✓ Capture/Compare/PWM Modules-1Enhanced Capture/Compare/PWM Modules - 1
- ✓ Serial Communications - MSSP,Enhanced USART
- ✓ Universal Serial Bus (USB) Module -1
- ✓ Streaming Parallel Port (SPP) - Yes
- ✓ 10-Bit Analog-to-Digital Module - 13 Input Channels
- ✓ Comparators - 2
- ✓ Resets (and Delays) - POR, BOR,RESET Instruction,Stack Full,Stack Underflow(PWRT, OST),MCLR(optional),WDT
- ✓ Programmable Low-Voltage Detect - Yes
- ✓ Programmable Brown-out Reset - Yes
- ✓ Instruction Set - 75 Instructions; 83 with Extended Instruction Set enabled
- ✓ Operating Frequency - DC – 48 MHz
- ✓ Packages - 40-pin PDIP



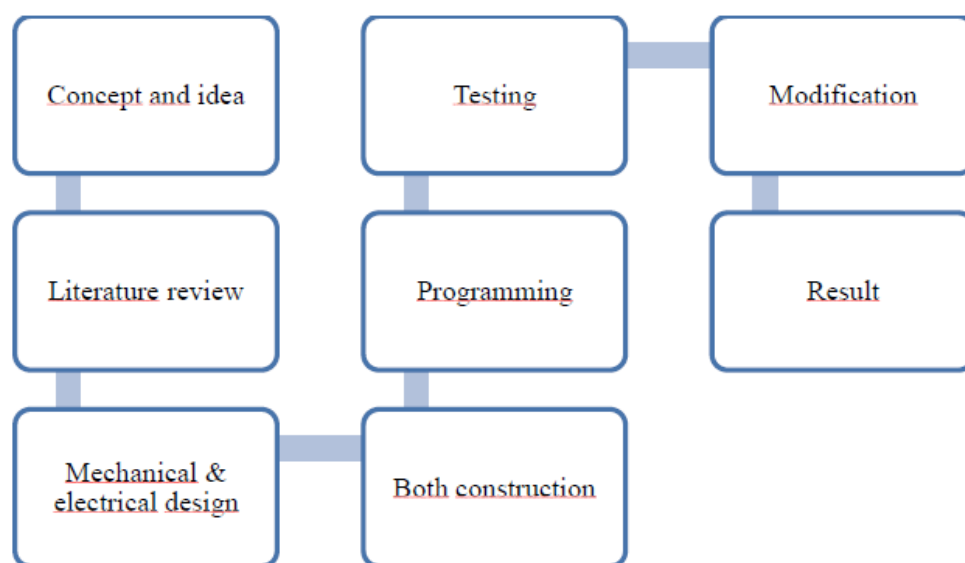


Σχήμα 2.47 : Υλοποίηση πλακέτας

Κεφάλαιο 3

3.1 Μεθοδολογία

Για την κατανόηση και την υλοποίηση του project μελετήθηκαν αρκετές βιβλιογραφίες σχετικά με το sun light radiation tracking έτσι ώστε να επιλεγεί ο κατάλληλος controller και το κύκλωμα του. Έστερα, το επόμενο βήμα είναι να σχεδιαστεί η μηχανική κατασκευή και το κύκλωμα. Παράλληλα μελετήθηκε και η αρχιτεκτονική του PIC18F4550 για τον μετέπειτα προγραμματισμό του.



Σχήμα 3.1 : Μεθοδολογίες

3.2 Σχεδιασμός

Ο σχεδιασμός έγινε ακολουθώντας τα παραπάνω μέρη με την μέθοδο UP/DOWN. Παρατηρώντας το κύκλωμα σαν σύνολο βλέπουμε ότι περιλαμβάνει διάβασμα της τάσης από τις φωτοαντιστάσεις, σύγκριση αυτών των τάσεων για να καθορίσει την κίνηση της βάσης να είναι κάθετη στην πηγή φωτός. Στις επόμενες ενότητες του κεφαλαίου αυτού θα γίνει αναλυτική αναφορά στις μεθόδους και στον σχεδιασμό του tracking system.

Σχεδιαστικές απαιτήσεις:

- ❖ Το σύστημα πρέπει να ακολουθεί την συνεχή κίνηση της πηγής φωτός (λαμπτήρας / ήλιος)

- ❖ Δεν θα υπάρχει βάση δεδομένων με αποθηκευμένες τις θέσεις της πηγής καθώς αυτή θα κινείται οποιαδήποτε χρονική στιγμή . Συνεπώς, πρέπει να υπάρχει ‘active control’. Τα σημαντικότερα μέρη του συστήματος είναι
 - Φωτοαντιστάσεις (Δεδομένα εισόδου)
 - Analog to Digital Converter (ADC)
 - Controller
 - Tracking software
 - Servo motors (Δεδομένα εξόδου)

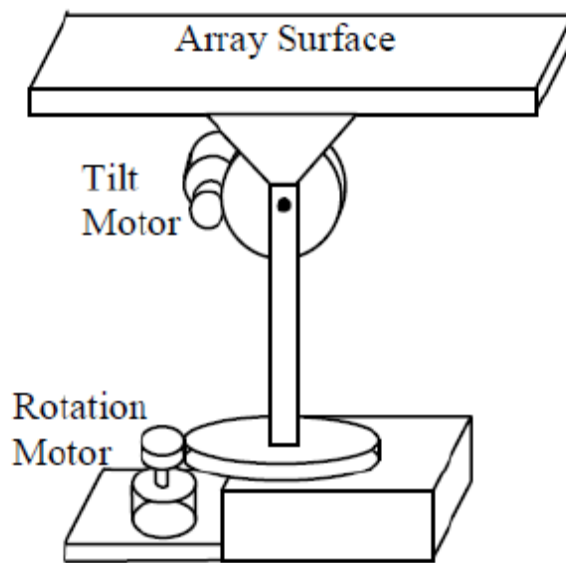
3.3 Μέθοδος κίνησης σε 2 άξονες

Υπάρχουν πολλοί τρόποι για να κάνουμε ένα σύστημα να κινηθεί σε 2 άξονες. Εμείς όμως έπρεπε να διαλέξουμε την βέλτιστη λύση τόσο σε οικονομικό επίπεδο όσο και σε σχεδιαστικό επίπεδο. Γι’ αυτό καταλήξαμε στην ένωση των δυο servo motors, δηλαδή στον άξονα περιστροφής του ενός κινητήρα κολλήθηκε το πλαϊνό τμήμα του δευτέρου κινητήρα και εν συνεχεία στον άξονα περιστροφής του τελευταίου στερεώθηκε η βάση των φωτοαντιστάσεων. Στο παρακάτω Σχήμα 3.2 φαίνεται η υλοποίηση.



Σχήμα 3.2 : Υλοποίηση περιστροφής 2 αξόνων

Μια άλλη σχεδιαστική υλοποίηση για περιστροφή σε 2 άξονες φαίνεται στο Σχήμα 3.3, είναι ξεκάθαρο όμως ότι αυτός ο σχεδιασμός απαιτεί πολύ περισσότερο χρόνο και χρήμα.



Σχήμα 3.3 : Μια άλλη υλοποίηση περιστροφής 2 αξόνων

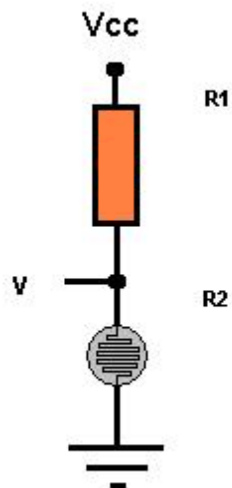
3.4 Φωτοαντιστάσεις : Δημιουργία ρεύματος (Light Sensor Theory)

Οι αισθητήρες φωτός είναι οι πιο κοινοί αισθητήρες που χρησιμοποιούνται. Το σύστημα μας χρησιμοποιεί τέτοιους για την ανίχνευση του φωτός. Η πληροφορία που δίνουν στην έξοδο τους όμως δεν μπορεί να επεξεργαστεί από έναν controller καθώς αυτός καταλαβαίνει τιμές ρεύματος. Επομένως, κρίνεται αναγκαία η χρήση του διαιρέτη τάσης. [5]

Ο διαιρέτης τάσης είναι μία απλή κυκλωματική διάταξη η οποία αποτελείται από δύο αντιστάτες συνδεδεμένους σε σειρά, στα άκρα των οποίων εφαρμόζεται η τάση εισόδου. Ως τάση εξόδου λαμβάνεται η διαφορά δυναμικού ανάμεσα στους ακροδέκτες της μίας εκ των δύο αντιστάσεων και ισούται με :

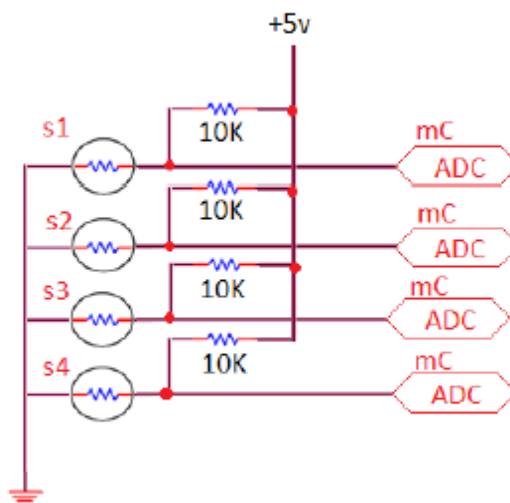
$$V = (V_{cc} * R2) / (R1 + R2)$$

Από την διάταξη παρατηρούμε ότι όσο αυξάνεται η ένταση του φωτός τόσο μειώνεται η τάση εξόδου V .



Σχήμα 3.4 : Διαίρετης τάσης

Στο Σχήμα 3.5 φαίνεται η διάταξη και των τεσσάρων φωτοαντιστάσεων



Σχήμα 3.5 : Κυκλωματική διάταξη φωτοαντιστάσεων

3.5 Σχεδιασμός αισθητήρων και σύνδεση στο κύκλωμα

Πριν προχωρήσουμε πρέπει να τονίσουμε ότι θέλαμε το βάρος της βάσης να ήταν μικρό έτσι ώστε να χρειαστούν κινητήρες μικρής ροπής γιατί και η βάση έγινε από

κομμάτια LEGO. Για την σχεδίαση της κατάλληλης βάσης η οποία θα αξιοποιούσε στο μέγιστο την εύρεση της πηγής φωτός μελετήθηκαν και δοκιμάστηκαν πολλά σχέδια. Το πιο αποτελεσματικό ήταν μια κατασκευή τεσσάρων πλευρών, σε κάθε πλευρά τοποθετήθηκε και μια φωτοαντίσταση, με ένα υπερυψωμένο κομμάτι στο κέντρο που θα λειτουργεί ως σκίαστρο. Στο Σχήμα 3.6 είναι η δομή του.



Σχήμα 3.6 : Η βάση των φωτοαντιστάσεων

Οι φωτοαντιστάσεις τοποθετήθηκαν σε κάθε πλευρά με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε όταν η κατασκευή είναι κάθετη στην πηγή φωτός, οι τάσεις από κάθε μία φωτοαντίσταση να είναι ίσες. Πιο συγκεκριμένα, οι πλευρές σχηματίζουν γωνία 45° με το οριζόντιο επίπεδο και οι αισθητήρες τοποθετήθηκαν στο πάνω μέρος και κεντρικά έτσι ώστε να εφάπτονται στο σκίαστρο. Το σκίαστρο βοηθού όταν αλλάζει η κατεύθυνση του φωτός, τότε σκιάζει τον αισθητήρα που είναι αντίθετος στην κίνηση με αποτέλεσμα να αυξάνει την τιμή του συγκεκριμένου αισθητήρα. Η κάθε κίνηση (2 axis tracking system) γίνεται με βάση τους αισθητήρες που βρίσκονται απέναντι. Επομένως όταν αυξηθεί η τιμή της τάσης του ενός αισθητήρα και μειωθεί στον απέναντι τότε δίνεται εντολή στον κινητήρα που έχει 'αναλάβει' την κίνηση του συγκεκριμένου άξονα να κινήσει κατάλληλα την βάση έτσι ώστε οι δυο αυτές τάσεις να γίνουν και πάλι ίσες.

Οι τέσσερις αυτές φωτοαντιστάσεις οι οποίες είναι τοποθετημένες σε ανατολή, δύση, βορρά και νότο συνδέονται με τα pins ADC του controller και οι κινητήρες με τα pins RD4, RD7. Αυτό φαίνεται και στον παρακάτω πίνακα :

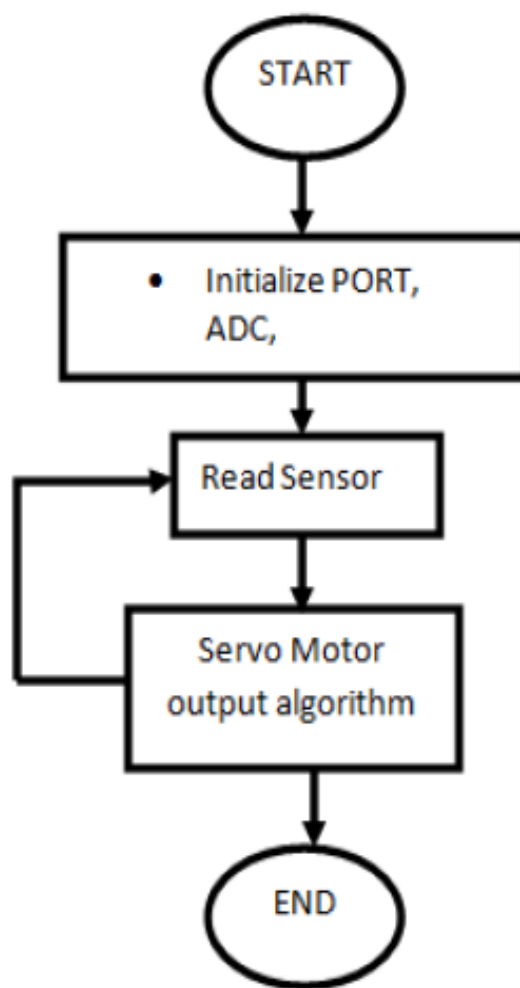
<u>PIN (NUM / TYPE)</u>	<u>ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ</u>
RA0 (pin 2 / input)	Νότιος αισθητήρας
RA1 (pin 3 / input)	Βόρειος αισθητήρας
RA2 (pin 4 / input)	Δυτικός αισθητήρας
RA3 (pin 5 / input)	Ανατολικός αισθητήρας
RD4 (pin 27 / output)	Κινητήρας 1
RD7 (pin 30 / output)	Κινητήρας 2

Πίνακας 3.1 : Σύνδεση κινητήρων και φωτοαντιστάσεων στην πλακέτα

3.6 Αλγόριθμος

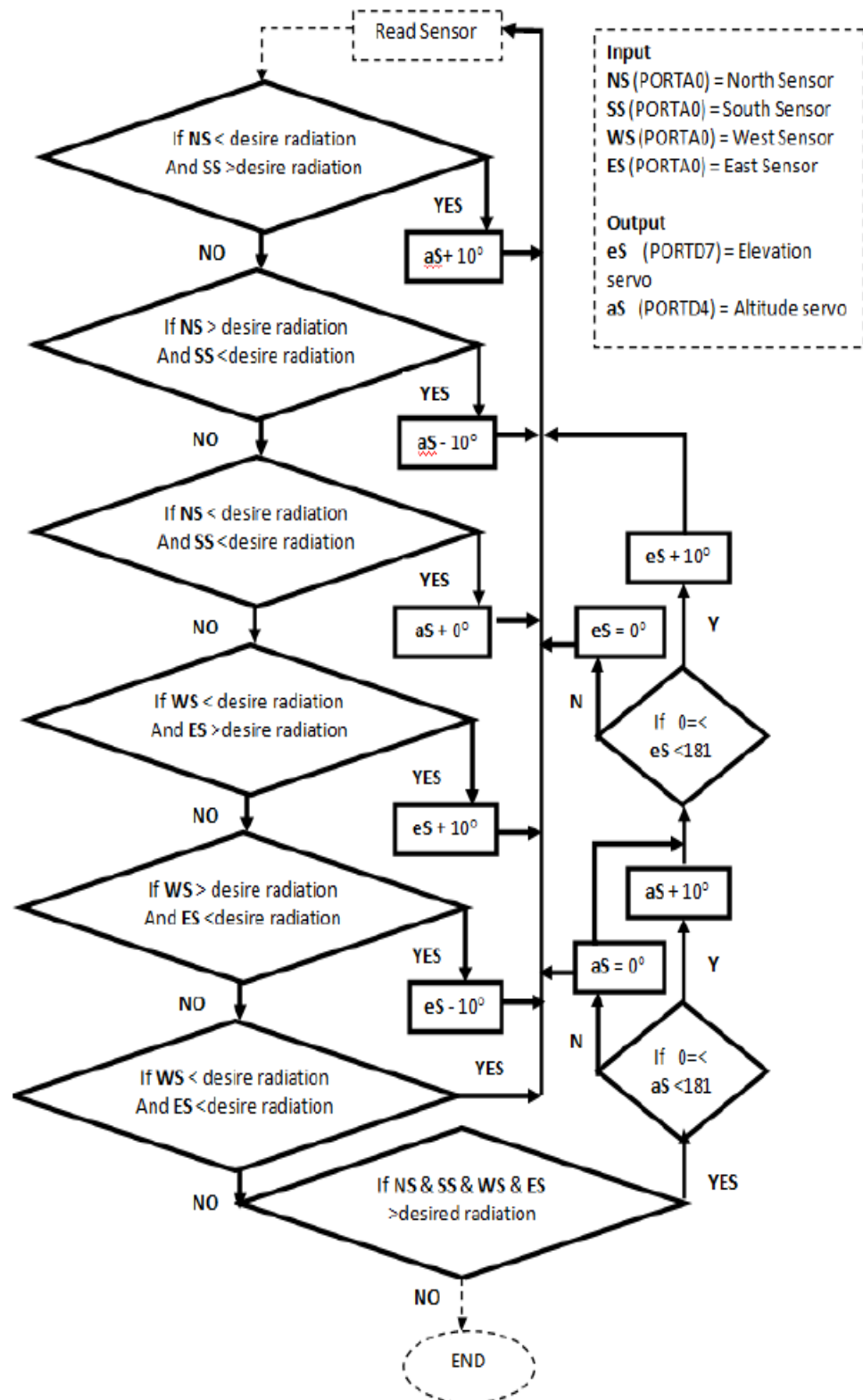
Ο controller όπως έχουμε αναφέρει αποτελεί τον ‘εγκέφαλο’ του tracking system. Θα λαμβάνει τις τέσσερις φωτεινότητες από τις φωτοαντιστάσεις και θα προσδιορίζεται μέσω της σύγκρισης η θέση της φωτεινής πηγής και εν συνεχεία θα στέλνει το κατάλληλο σήμα εξόδου στους κινητήρες για να φέρουν την βάση κάθετα στην φωτεινή πηγή.

Το Flow Chart φαίνεται στο Σχήμα 3.7 :



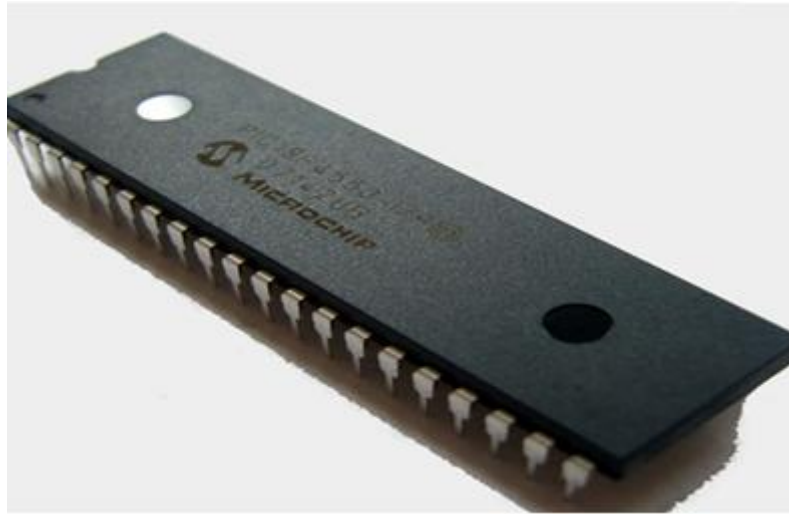
Σχήμα 3.7 : Flow Chart συστήματος

Και για τον αλγόριθμο κίνησης των servo το διάγραμμα είναι στο παρακάτω Σχήμα 3.8 :



Σχήμα 3.8 : Αλγόριθμος κίνησης των κινητήρων

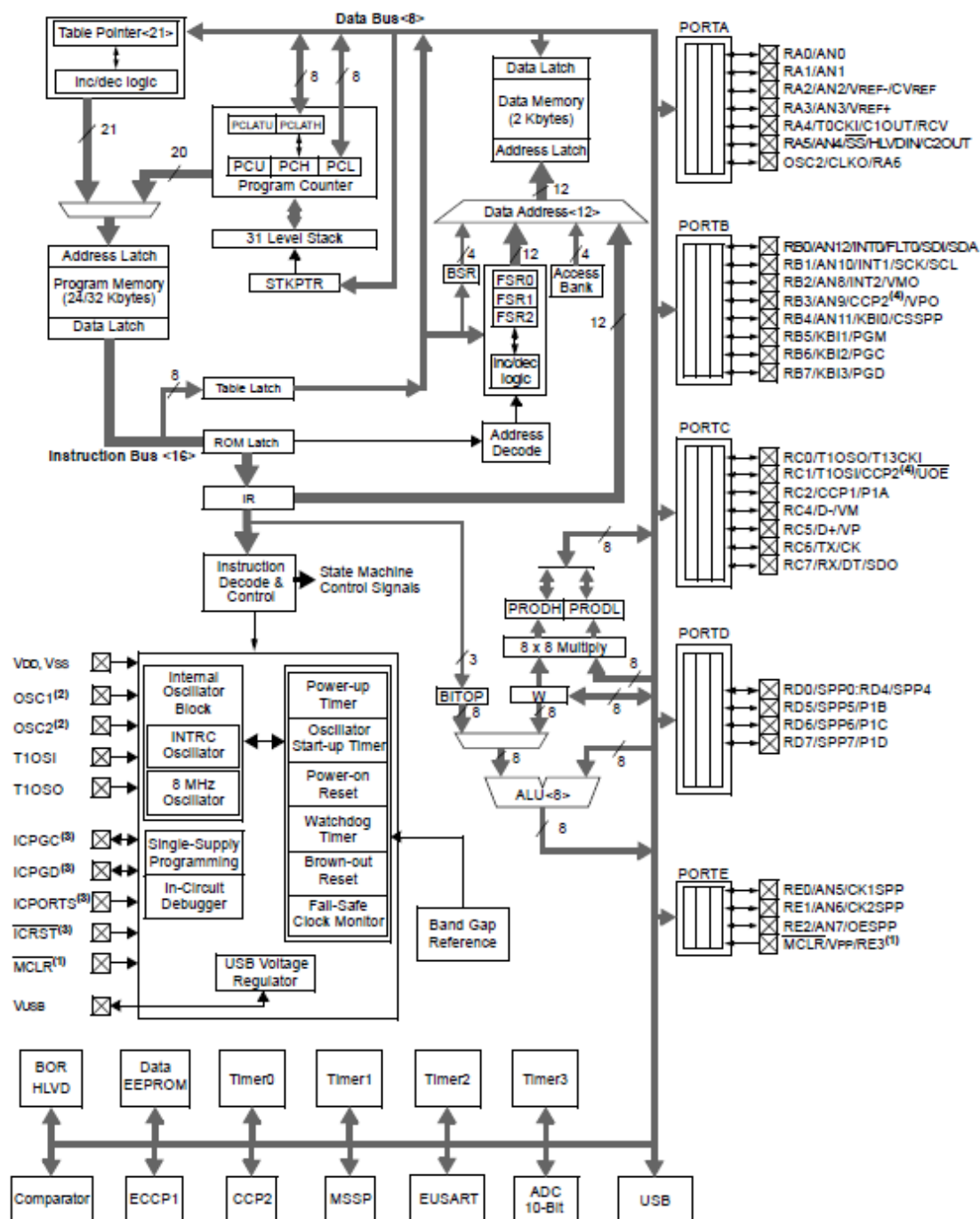
3.7 Μικροελεγκτής PIC 18F4550



Σχήμα 3.8 : Ο μικροελεγκτής PIC18F4550

Εδώ θα παρουσιάσουμε όλες τις λεπτομέρειες που αφορούν τον μικροελεγκτή που χρησιμοποιήθηκε έτσι ώστε να γίνει κατανοητός ο τρόπος λειτουργίας του και πως αυτός συμβάλλει στην υλοποίηση της διπλωματικής καθώς επίσης και σε μελλοντικές χρήσεις της ήδη υπάρχουσας πλακέτας.

Στα παρακάτω σχήματα φαίνονται το Block Diagram και η περιγραφή των I/O Pinout (PDIP) :



- Note 1:** RE3 is multiplexed with $\overline{\text{MCLR}}$ and is only available when the $\overline{\text{MCLR}}$ Resets are disabled.
- Note 2:** OSC1/CLKI and OSC2/CLKO are only available in select oscillator modes and when these pins are not being used as digital I/O. Refer to Section 2.0 "Oscillator Configurations" for additional information.
- Note 3:** These pins are only available on 44-pin TQFP packages under certain conditions. Refer to Section 25.9 "Special ICPORT Features (Designated Packages Only)" for additional information.
- Note 4:** RB3 is the alternate pin for CCP2 multiplexing.

Σχήμα 3.9 : Block Diagram του PIC18F4550

Pin Name	Pin Number			Pin Type	Buffer Type	Description
	PDIP	QFN	TQFP			
MCLR/VPP/RE3 MCLR VPP RE3	1	18	18	I P I	ST ST	Master Clear (input) or programming voltage (input). Master Clear (Reset) input. This pin is an active-low Reset to the device. Programming voltage input. Digital input.
OSC1/CLKI OSC1 CLKI	13	32	30	I I	Analog Analog	Oscillator crystal or external clock input. Oscillator crystal input or external clock source input. External clock source input. Always associated with pin function OSC1. (See OSC2/CLKO pin.)
OSC2/CLKO/RA6 OSC2 CLKO RA6	14	33	31	O O I/O	— — TTL	Oscillator crystal or clock output. Oscillator crystal output. Connects to crystal or resonator in Crystal Oscillator mode. In RC mode, OSC2 pin outputs CLKO which has 1/4 the frequency of OSC1 and denotes the instruction cycle rate. General purpose I/O pin.

Pin Name	Pin Number			Pin Type	Buffer Type	Description
	PDIP	QFN	TQFP			
RA0/AN0 RA0 AN0	2	19	19	I/O I	TTL Analog	PORTA is a bidirectional I/O port. Digital I/O. Analog input 0.
RA1/AN1 RA1 AN1	3	20	20	I/O I	TTL Analog	Digital I/O. Analog input 1.
RA2/AN2/VREF-/ CVREF RA2 AN2 VREF- CVREF	4	21	21	I/O I I O	TTL Analog Analog Analog	Digital I/O. Analog input 2. A/D reference voltage (low) input. Analog comparator reference output.
RA3/AN3/VREF+ RA3 AN3 VREF+	5	22	22	I/O I I	TTL Analog Analog	Digital I/O. Analog input 3. A/D reference voltage (high) input.
RA4/T0CKI/C1OUT/ RCV RA4 T0CKI C1OUT RCV	6	23	23	I/O I O I	ST ST — TTL	Digital I/O. Timer0 external clock input. Comparator 1 output. External USB transceiver RCV input.
RA5/AN4/SS/ HLVDIN/C2OUT RA5 AN4 SS HLVDIN C2OUT RA6	7 —	24 —	24 —	I/O I I I O —	TTL Analog TTL Analog — —	Digital I/O. Analog input 4. SPI slave select input. High/Low-Voltage Detect input. Comparator 2 output. See the OSC2/CLKO/RA6 pin.

Pin Name	Pin Number			Pin Type	Buffer Type	Description
	PDIP	QFN	TQFP			
RB0/AN12/INT0/ FLT0/SDI/SDA RB0 AN12 INT0 FLT0 SDI SDA	33	9	8			PORTB is a bidirectional I/O port. PORTB can be software programmed for internal weak pull-ups on all inputs. Digital I/O. Analog input 12. External interrupt 0. Enhanced PWM Fault input (ECCP1 module). SPI data in. I ² C™ data I/O.
RB1/AN10/INT1/SCK/ SCL RB1 AN10 INT1 SCK SCL	34	10	9			Digital I/O. Analog input 10. External interrupt 1. Synchronous serial clock input/output for SPI mode. Synchronous serial clock input/output for I ² C mode.
RB2/AN8/INT2/VMO RB2 AN8 INT2 VMO	35	11	10			Digital I/O. Analog input 8. External interrupt 2. External USB transceiver VMO output.
RB3/AN9/CCP2/VPO RB3 AN9 CCP2 ⁽¹⁾ VPO	36	12	11			Digital I/O. Analog input 9. Capture 2 input/Compare 2 output/PWM 2 output. External USB transceiver VPO output.
RB4/AN11/KBI0/CSSPP RB4 AN11 KBI0 CSSPP	37	14	14			Digital I/O. Analog input 11. Interrupt-on-change pin. SPP chip select control output.
RB5/KBI1/PGM RB5 KBI1 PGM	38	15	15			Digital I/O. Interrupt-on-change pin. Low-Voltage ICSP™ Programming enable pin.
RB6/KBI2/PGC RB6 KBI2 PGC	39	16	16			Digital I/O. Interrupt-on-change pin. In-Circuit Debugger and ICSP programming clock pin.
RB7/KBI3/PGD RB7 KBI3 PGD	40	17	17			Digital I/O. Interrupt-on-change pin. In-Circuit Debugger and ICSP programming data pin.

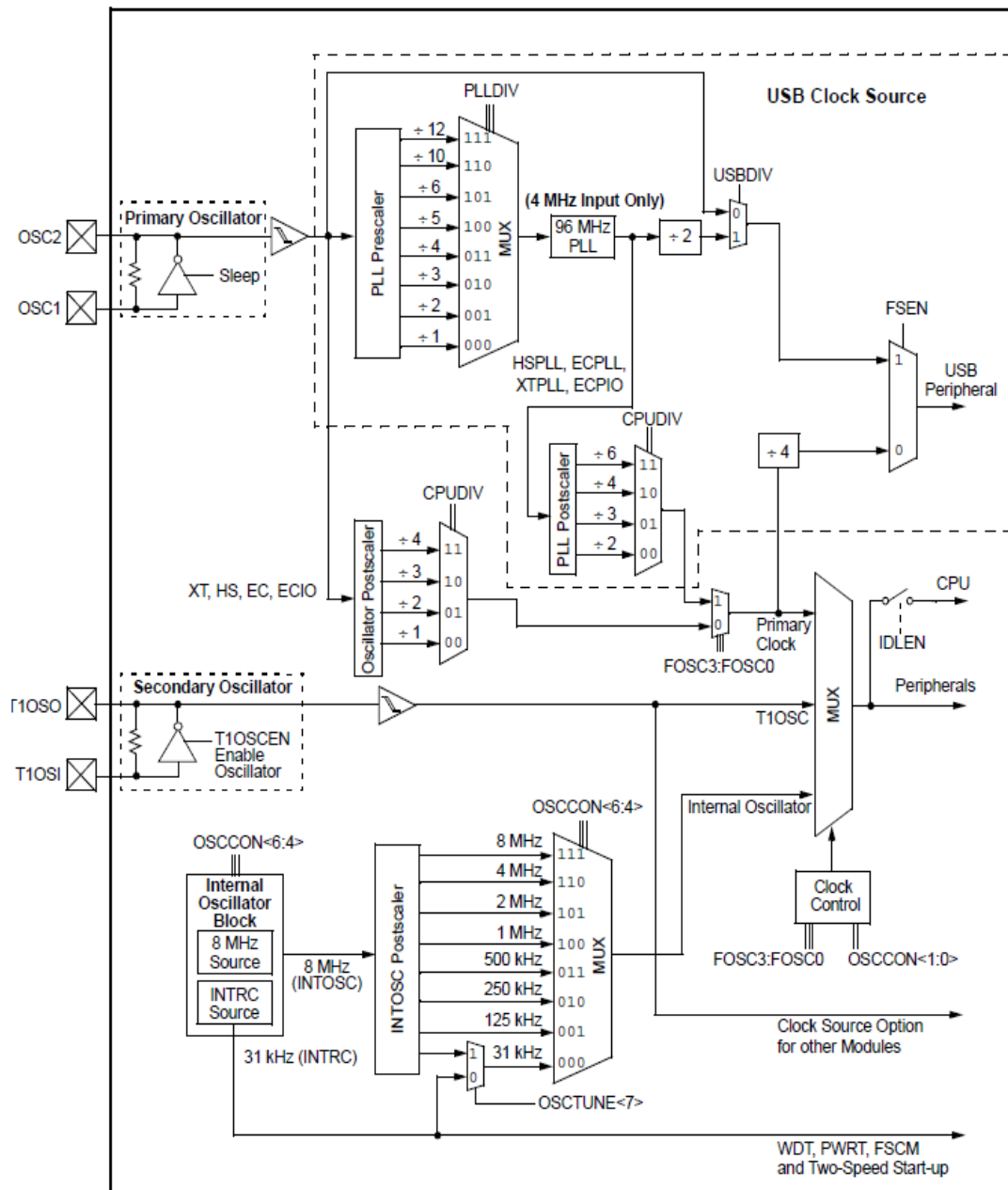
Pin Name	Pin Number			Pin Type	Buffer Type	Description
	PDIP	QFN	TQFP			
RC0/T1OSO/T13CKI	15	34	32			PORTC is a bidirectional I/O port.
RC0				I/O	ST	Digital I/O.
T1OSO				O	—	Timer1 oscillator output.
T13CKI	16	35	35	I	ST	Timer1/Timer3 external clock input.
RC1/T1OSI/CCP2/ UOE						
RC1				I/O	ST	Digital I/O.
T1OSI				I	CMOS	Timer1 oscillator input.
CCP2 ⁽²⁾				I/O	ST	Capture 2 input/Compare 2 output/PWM 2 output.
UOE				O	—	External USB transceiver OE output.
RC2/CCP1/P1A	17	36	36			
RC2				I/O	ST	Digital I/O.
CCP1				I/O	ST	Capture 1 input/Compare 1 output/PWM 1 output.
P1A	23	42	42	O	TTL	Enhanced CCP1 PWM output, channel A.
RC4/D-/VM						
RC4				I	TTL	Digital input.
D-				I/O	—	USB differential minus line (input/output).
VM				I	TTL	External USB transceiver VM input.
RC5/D+/VP	24	43	43			
RC5				I	TTL	Digital input.
D+				I/O	—	USB differential plus line (input/output).
VP	25	44	44	I	TTL	External USB transceiver VP input.
RC6/TX/CK						
RC6				I/O	ST	Digital I/O.
TX				O	—	EUSART asynchronous transmit.
CK	26	1	1	I/O	ST	EUSART synchronous clock (see RX/DT).
RC7/RX/DT/SDO						
RC7				I/O	ST	Digital I/O.
RX				I	ST	EUSART asynchronous receive.
DT				I/O	ST	EUSART synchronous data (see TX/CK).
SDO				O	—	SPI data out.

Pin Name	Pin Number			Pin Type	Buffer Type	Description
	PDIP	QFN	TQFP			
RD0/SPP0	19	38	38			PORTD is a bidirectional I/O port or a Streaming Parallel Port (SPP). These pins have TTL input buffers when the SPP module is enabled.
RD0				I/O	ST	Digital I/O.
SPP0				I/O	TTL	Streaming Parallel Port data.
RD1/SPP1	20	39	39			
RD1				I/O	ST	Digital I/O.
SPP1				I/O	TTL	Streaming Parallel Port data.
RD2/SPP2	21	40	40			
RD2				I/O	ST	Digital I/O.
SPP2				I/O	TTL	Streaming Parallel Port data.
RD3/SPP3	22	41	41			
RD3				I/O	ST	Digital I/O.
SPP3				I/O	TTL	Streaming Parallel Port data.
RD4/SPP4	27	2	2			
RD4				I/O	ST	Digital I/O.
SPP4				I/O	TTL	Streaming Parallel Port data.
RD5/SPP5/P1B	28	3	3			
RD5				I/O	ST	Digital I/O.
SPP5				I/O	TTL	Streaming Parallel Port data.
P1B				O	—	Enhanced CCP1 PWM output, channel B.
RD6/SPP6/P1C	29	4	4			
RD6				I/O	ST	Digital I/O.
SPP6				I/O	TTL	Streaming Parallel Port data.
P1C				O	—	Enhanced CCP1 PWM output, channel C.
RD7/SPP7/P1D	30	5	5			
RD7				I/O	ST	Digital I/O.
SPP7				I/O	TTL	Streaming Parallel Port data.
P1D				O	—	Enhanced CCP1 PWM output, channel D.

3.7.1 Ταλαντωτής

Ο μικροελεγκτής μπορεί να λειτουργήσει σε δώδεκα διαφορετικές λειτουργίες ταλαντωτή. Οι χρήστες μπορούν να προγραμματίσουν την FOSC3- FOSC0 μέσω της επιλογής ενός από τα παρακάτω:

1. XT Crystal / Resonator
2. XTPLL Crystal / Resonator με PLL ενεργοποιημένη
3. HS κρύσταλλο υψηλής ταχύτητας / Resonator
4. HSPLL κρύσταλλος υψηλής ταχύτητας / Resonator με PLL ενεργοποιημένη
5. EC Εξωτερικό ρολόι με έξοδο FOSC/4
6. ECIO Εξωτερικό ρολόι με I/O στο pin RA6
7. ECPLL Εξωτερικού Ρολόι με PLL ενεργοποιημένη και έξοδος FOSC / 4 στο pin RA6.
8. ECPIO Εξωτερικού Ρολόι με PLL ενεργοποιημένη, I / O στο pin RA6
9. INTHS Εσωτερικός ταλαντωτής που χρησιμοποιείται στον μικροελεγκτή ως clock source, (ο HS ταλαντωτής χρησιμοποιείται ως USB clock source).
10. INTXT Εσωτερικός ταλαντωτής που χρησιμοποιείται στον μικροελεγκτή ως clock source (ο XT ταλαντωτής χρησιμοποιείται ως USB clock source).
11. INTIO Εσωτερικός ταλαντωτής που χρησιμοποιείται στον μικροελεγκτή ως clock source (ο EC ταλαντωτής χρησιμοποιείται ως USB clock source).
12. INTCKO Εσωτερικός ταλαντωτής που χρησιμοποιείται στον μικροελεγκτή ως clock source (ο EC ταλαντωτής χρησιμοποιείται ως USB clock source).



Σχήμα 3.11 : Clock Diagram

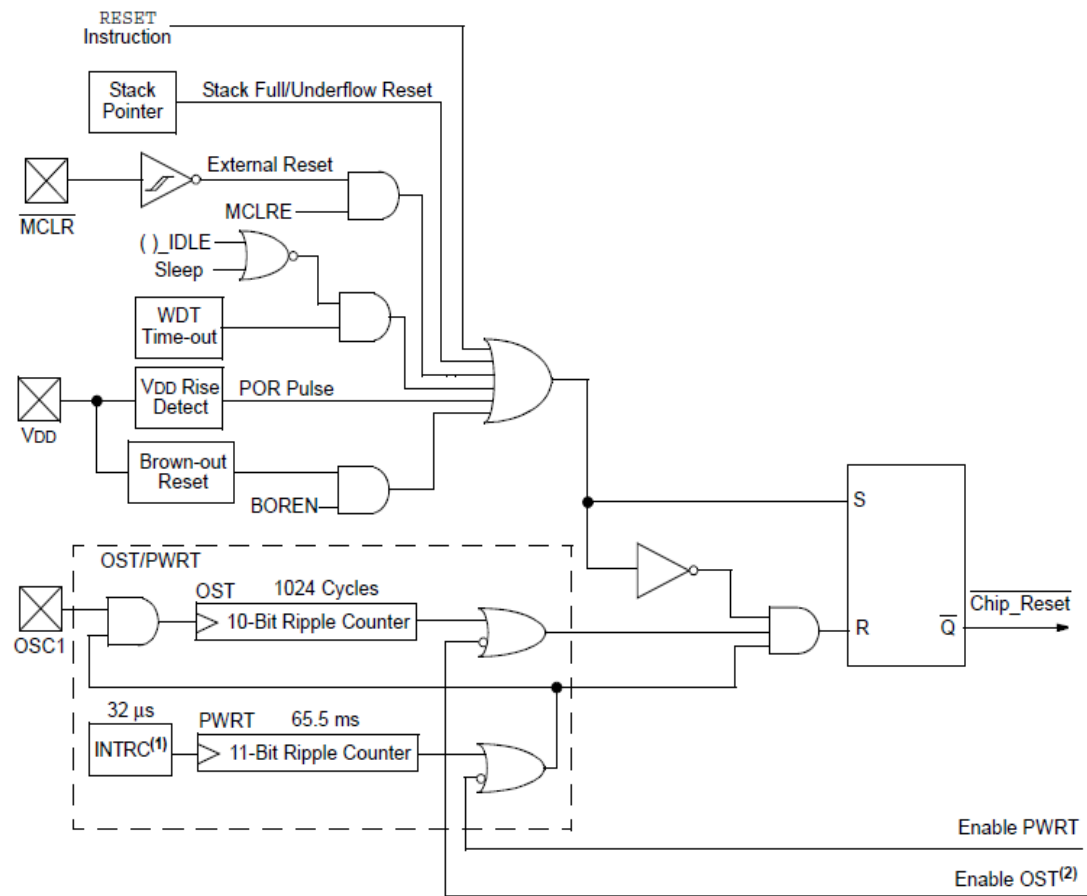
3.7.2 Αρχικοποίηση

Ο PIC δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να του κάνει αρχικοποίηση με οκτώ διαφορετικούς τρόπους :

1. Power-on Reset (POR)
2. MCLR Reset during normal operation
3. MCLR Reset during power-managed modes

4. Watchdog Timer (WDT) Reset (during execution)
5. Programmable Brown-out Reset (BOR)
6. RESET Instruction
7. Stack Full Reset
8. Stack Underflow Reset

Το κύκλωμα μας είναι φτιαγμένο έτσι ώστε να παρέχει τον τρίτο τρόπο αρχικοποίησης (μέσω Button στο πρώτο pin του pic).



Σχήμα 3.12 : Block Diagram κυκλώματος αρχικοποίησης

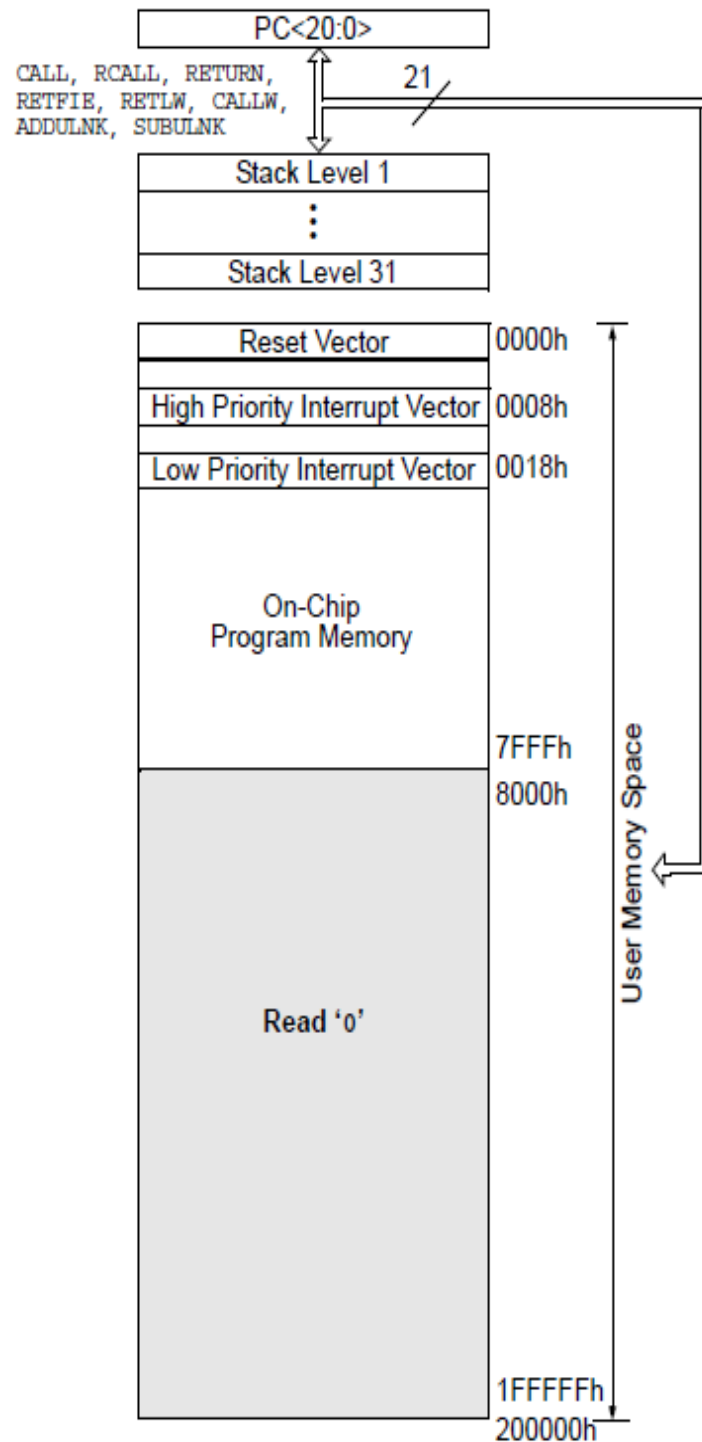
3.7.3. Οργάνωση μνήμης

Ο pic χρησιμοποιεί τρεις τύπους μνήμης :

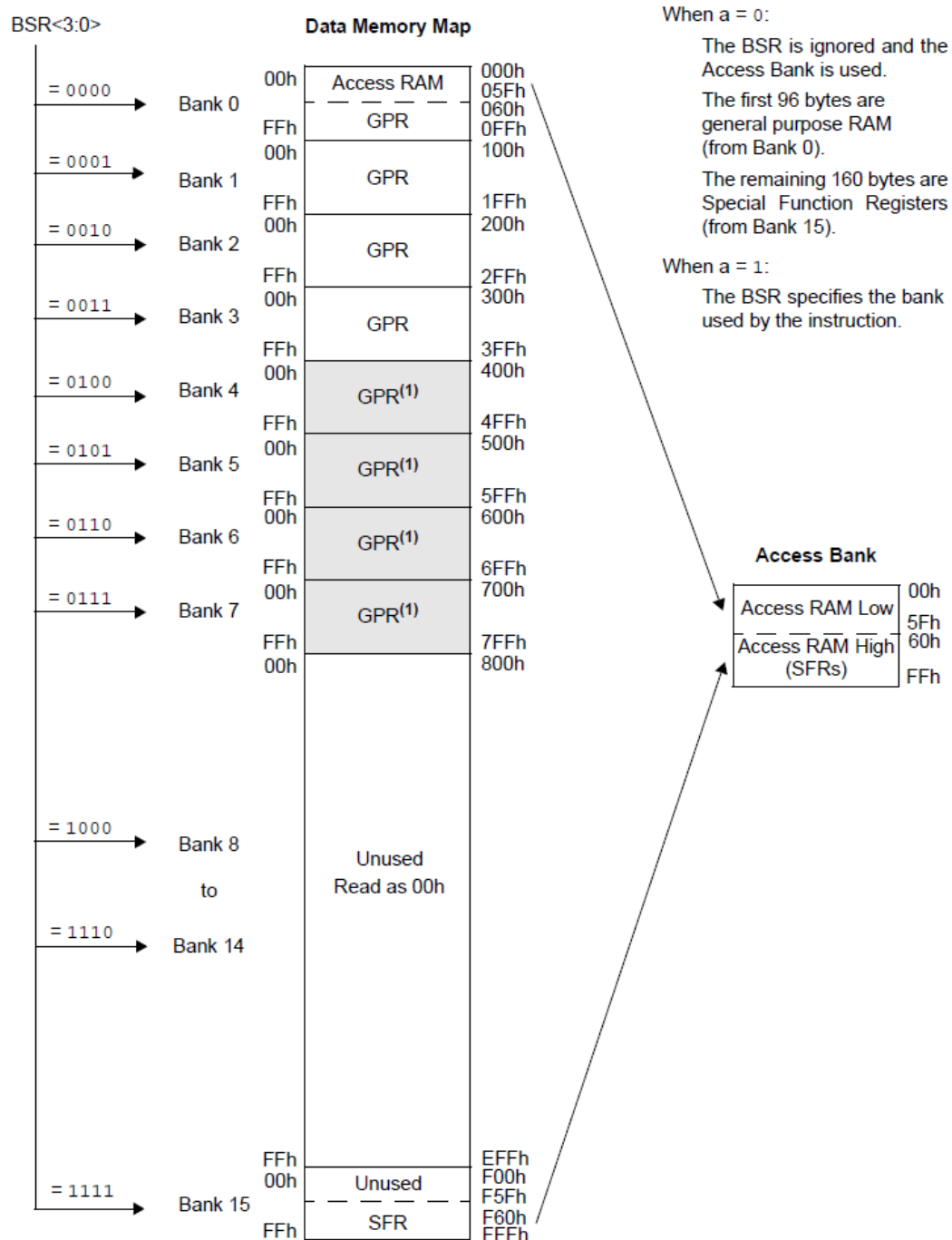
1. Program Memory
2. Data RAM

3. Data EEPROM

Μπορεί να διευθύνσιοδοτήσει πρόγραμμα μνήμης 2 Mbytes μέσω του 21 Bit-Program-Counter.



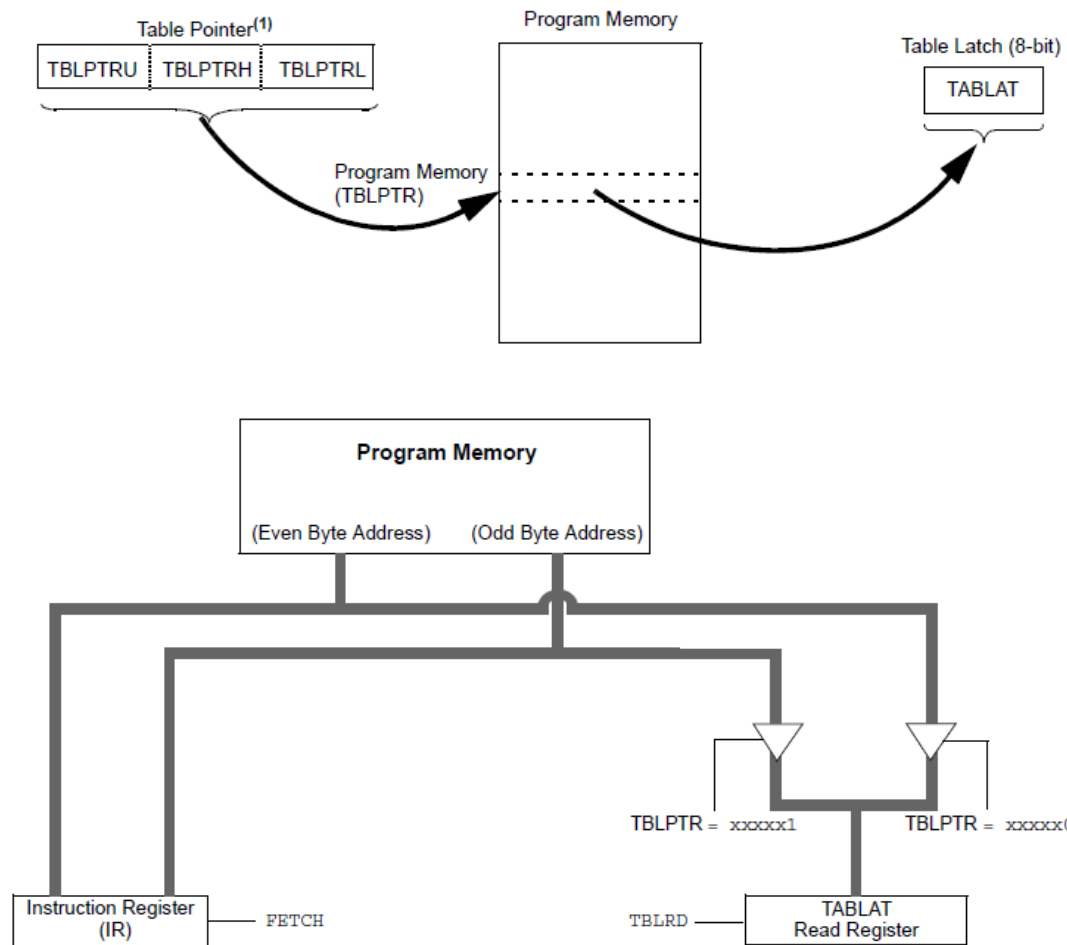
Σχήμα 3.13 : Program Memory Map



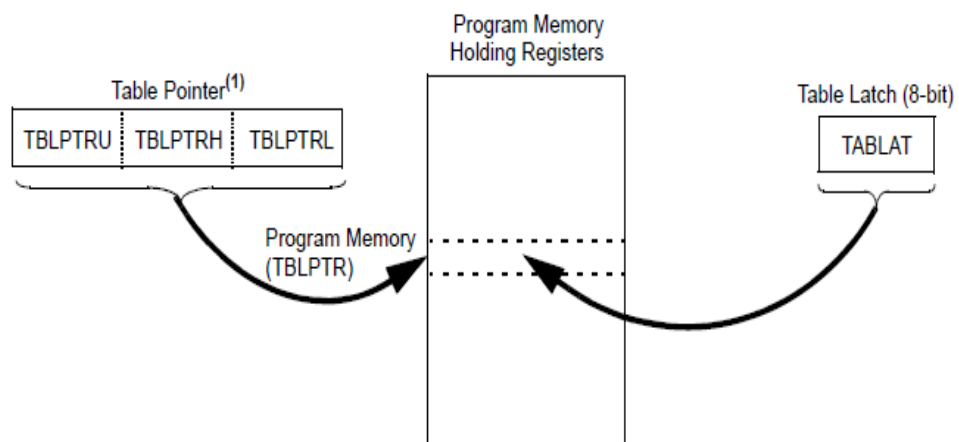
Σχήμα 3.14 : Data Memory Map

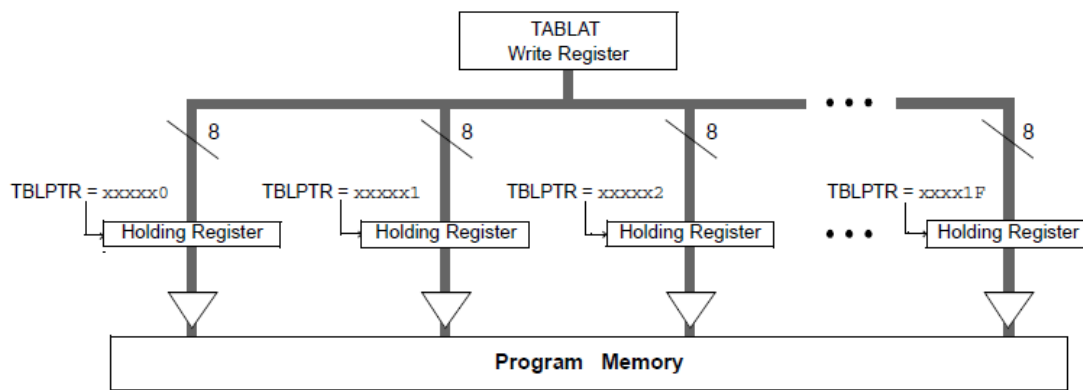
3.7.4 Flash Program Memory

Η Flash Memory Program μπορεί να κάνει ανάγνωση, εγγραφή και διαγραφή κατά την διάρκεια μιας κανονικής διαδικασίας χρησιμοποιώντας το εύρος του VDD. Η ανάγνωση γίνεται με ένα Byte κάθε φορά, η εγγραφή γίνεται σε block των 32 Bytes κάθε φορά και η διαγραφή σε block των 64 Bytes κάθε φορά.



Σχήμα 3.15 : Διαδικασία ανάγνωσης





Σχήμα 3.16 : Διαδικασία εγγραφής

3.7.5 Μνήμη Δεδομένων EEPROM

Η EEPROM δεδομένων είναι μια ‘σταθερή’ σειρά μνήμης, η οποία είναι ξεχωριστή από τη μνήμη RAM δεδομένων και την μνήμη προγράμματος, και χρησιμοποιείται για τη μακροπρόθεσμη αποθήκευση των δεδομένων του προγράμματος. Η EEPROM μπορεί να κάνει ανάγνωση και εγγραφή κατά τη διάρκεια μιας κανονικής διαδικασίας χρησιμοποιώντας το εύρος του VDD. Για την ανάγνωση και την εγγραφή χρησιμοποιούνται 4 SFR’s (Special Function Registers) που είναι :

- EECON1
- EECON2
- EEDATA
- EEADR

Η EEPROM δεδομένων επιτρέπει να διαβάζονται και να γράφονται bytes. Όταν γίνεται διασύνδεση με το data memory block, η EEDATA κρατάει τα 8-bit δεδομένων για read / write και ο καταχωρητής EEADR κρατάει την διεύθυνση της θέσης EEPROM που προσπελάζεται.

Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
INTCON	GIE/GIEH	PEIE/GIEL	TMR0IE	INT0IE	RBIE	TMR0IF	INT0IF	RBIF
EEADR	EEPROM Address Register							
EEDATA	EEPROM Data Register							
EECON2	EEPROM Control Register 2 (not a physical register)							
EECON1	EEPGD	CFG5	—	FREE	WRERR	WREN	WR	RD
IPR2	OSCFIP	CMIP	USBIP	EEIP	BCLIP	HLVDIP	TMR3IP	CCP2IP
PIR2	OSCFIF	CMIF	USBIF	EEIF	BCLIF	HLVDIF	TMR3IF	CCP2IF
PIE2	OSCFIE	CMIE	USBIE	EEIE	BCLIE	HLVDIE	TMR3IE	CCP2IE

Σχήμα 3.17 : Διασύνδεση καταχωρητών με την μνήμη δεδομένων EEPROM

3.7.6 I/O Ports

Κάθε θύρα έχει τρεις καταχωρητές για να εκτελεί τις διάφορες διαδικασίες :

- Καταχωρητής TRIS (data direction) / TRISA,TRISB,TRISC,TRISD,TRISE
- Καταχωρητής PORT (reads the levels on the pins of the device) / PORTA, PORTB, PORTC, PORTD, PORTE
- Καταχωρητής LAT (output latch) / LATA, LATB, LATC, LATD, LATE

Ας πάρουμε την πρώτη τριάδα PORTA, TRISA, LATA για ανάλυση. Το PORTA έχει εύρος 8-bit και είναι θύρα εισόδου / εξόδου. Αυτό (δηλαδή αν θα χαρακτηριστεί θύρα εισόδου / εξόδου) εξαρτάται από τον καταχωρητή TRISA. Αν θέσουμε τον καταχωρητή TRISA ίσο με '1' τότε ο καταχωρητής PORTA θα είναι θύρα εισόδου, αλλιώς αν θέσουμε TRISA ίσο με '0' τότε ο καταχωρητής PORTA θα είναι θύρα εξόδου. Ο καταχωρητής LATA είναι και αυτός memory mapped, έχει την δυνατότητα της ανάγνωσης και της εγγραφής και μπορεί να διαβάσει και να γράψει την έξοδο μόνο για τον καταχωρητή PORTA.

Ακολουθεί ένα παράδειγμα αρχικοποίησης για τον καταχωρητή TRISA :

CLRF	PORTA	; Initialize PORTA by clearing output data latches
CLRF	LATA	; Alternate method to clear output data latches
MOVLW	0Fh	; Configure A/D
MOVWF	ADCON1	; for digital inputs
MOVLW	07h	; Configure comparators
MOVWF	CMCON	; for digital input
MOVLW	0CFh	; Value used to initialize data direction
MOVWF	TRISA	; Set RA<3:0> as inputs RA<5:4> as outputs

Pin	Function	TRIS Setting	I/O	I/O Type	Description
RA0/AN0	RA0	0	OUT	DIG	LATA<0> data output; not affected by analog input.
		1	IN	TTL	PORTA<0> data input; disabled when analog input enabled.
	AN0	1	IN	ANA	A/D input channel 0 and Comparator C1- input. Default configuration on POR; does not affect digital output.
RA1/AN1	RA1	0	OUT	DIG	LATA<1> data output; not affected by analog input.
		1	IN	TTL	PORTA<1> data input; reads '0' on POR.
	AN1	1	IN	ANA	A/D input channel 1 and Comparator C2- input. Default configuration on POR; does not affect digital output.
RA2/AN2/ VREF-/CVREF	RA2	0	OUT	DIG	LATA<2> data output; not affected by analog input. Disabled when CVREF output enabled.
		1	IN	TTL	PORTA<2> data input. Disabled when analog functions enabled; disabled when CVREF output enabled.
	AN2	1	IN	ANA	A/D input channel 2 and Comparator C2+ input. Default configuration on POR; not affected by analog output.
	VREF-	1	IN	ANA	A/D and comparator voltage reference low input.
	CVREF	x	OUT	ANA	Comparator voltage reference output. Enabling this feature disables digital I/O.
RA3/AN3/ VREF+	RA3	0	OUT	DIG	LATA<3> data output; not affected by analog input.
		1	IN	TTL	PORTA<3> data input; disabled when analog input enabled.
	AN3	1	IN	ANA	A/D input channel 3 and Comparator C1+ input. Default configuration on POR.
	VREF+	1	IN	ANA	A/D and comparator voltage reference high input.
RA4/T0CKI/ C1OUT/RCV	RA4	0	OUT	DIG	LATA<4> data output; not affected by analog input.
		1	IN	ST	PORTA<4> data input; disabled when analog input enabled.
	T0CKI	1	IN	ST	Timer0 clock input.
	C1OUT	0	OUT	DIG	Comparator 1 output; takes priority over port data.
	RCV	x	IN	TTL	External USB transceiver RCV input.
RA5/AN4/SS/ HLVDIN/C2OUT	RA5	0	OUT	DIG	LATA<5> data output; not affected by analog input.
		1	IN	TTL	PORTA<5> data input; disabled when analog input enabled.
	AN4	1	IN	ANA	A/D input channel 4. Default configuration on POR.
	SS	1	IN	TTL	Slave select input for SSP (MSSP module).
	HLVDIN	1	IN	ANA	High/Low-Voltage Detect external trip point input.
	C2OUT	0	OUT	DIG	Comparator 2 output; takes priority over port data.
OSC2/CLKO/ RA6	OSC2	x	OUT	ANA	Main oscillator feedback output connection (all XT and HS modes).
	CLKO	x	OUT	DIG	System cycle clock output (Fosc/4); available in EC, ECPLL and INTCKO modes.
	RA6	0	OUT	DIG	LATA<6> data output. Available only in ECIO, ECPIO and INTIO modes; otherwise, reads as '0'.
		1	IN	TTL	PORTA<6> data input. Available only in ECIO, ECPIO and INTIO modes; otherwise, reads as '0'.

OUT = Output, IN = Input, ANA = Analog Signal, DIG = Digital Output, ST = Schmitt Buffer Input, TTL = TTL Buffer Input, x = Don't care (TRIS bit does not affect port direction or is overridden for this option)

Σχήμα 3.18 : Ο καταχωρητής PORTA

Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
PORTA	—	RA6 ⁽¹⁾	RA5	RA4	RA3	RA2	RA1	RA0
LATA	—	LATA6 ⁽¹⁾	LATA5	LATA4	LATA3	LATA2	LATA1	LATA0
TRISA	—	TRISA6 ⁽¹⁾	TRISA5	TRISA4	TRISA3	TRISA2	TRISA1	TRISA0
ADCON1	—	—	VCFG1	VCFG0	PCFG3	PCFG2	PCFG1	PCFG0
CMCON	C2OUT	C1OUT	C2INV	C1INV	CIS	CM2	CM1	CM0
CVRCON	CVREN	CVROE	CVRR	CVRSS	CVR3	CVR2	CVR1	CVR0
UCON	—	PPBRST	SE0	PKTDIS	USBEN	RESUME	SUSPND	—

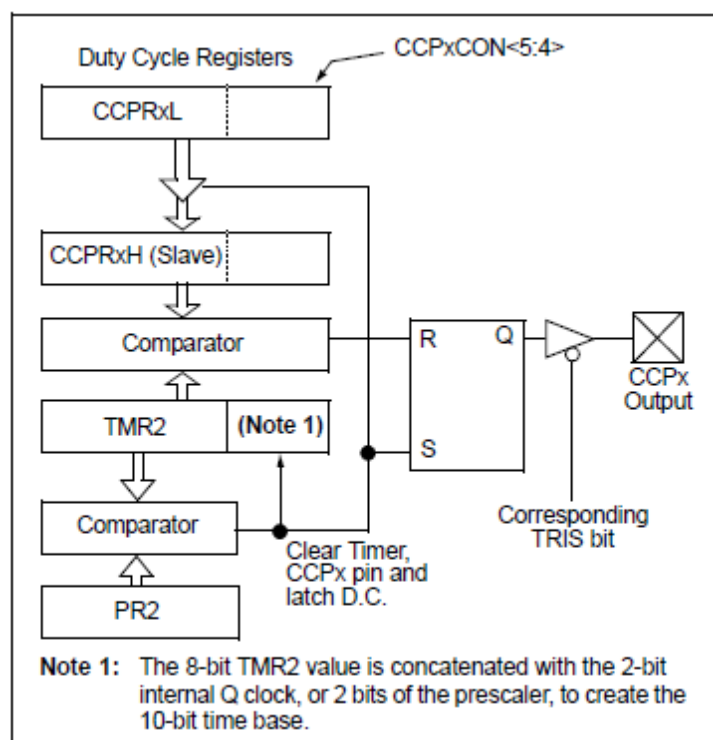
Σχήμα 3.19 : Σύνολο καταχωρητών που σχετίζονται με PORTA

3.7.7 Παλμοί με Εύρος Διαμόρφωσης (Pulse-Width-Modulation /PWM)

Στους παλμούς με εύρος διαμόρφωσης τα pins CCP1, CCP2 βγάζουν μέχρι και 10-bit έξοδο PMW. Εφόσον το CCP2 είναι πολυπλεγμένο με τους καταχωρητές PORTB ή PORTC , ο καταχωρητής TRIS πρέπει να γίνει '0' για να μετατραπεί το CCP2 σε σήμα εξόδου.

CCP/ECCP Mode	Timer Resource
Capture	Timer1 or Timer3
Compare	Timer1 or Timer3
PWM	Timer2

Σχήμα 3.18 : Αντιστοιχία CCP - Timers



Σχήμα 3.20 : Block Diagram PWM

Η περίοδος καθορίζεται γράφοντας στον καταχωρητή PR2 και υπολογίζεται μέσω του τύπου :

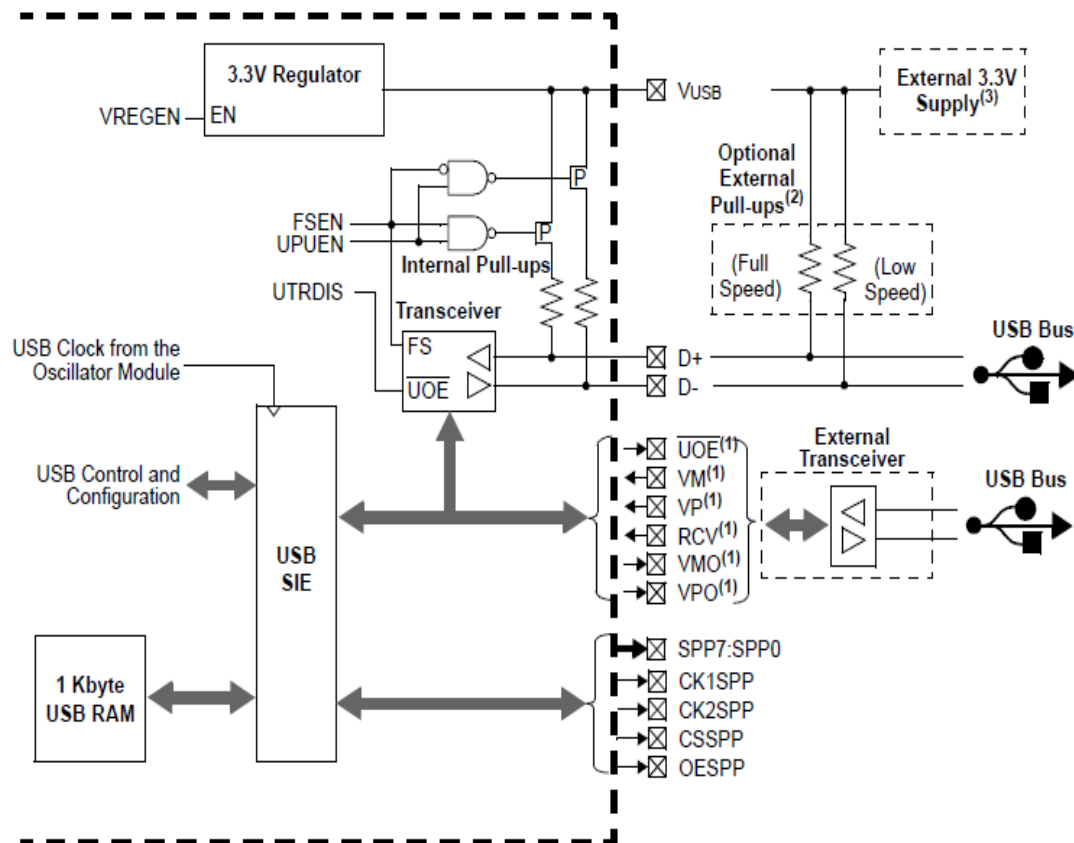
$$PWM \text{ Period} = [(PR2) + 1] \cdot 4 \cdot TOSC \cdot (TMR2 \text{ Prescale Value})$$

Το Duty Cycle καθορίζεται γράφοντας στον καταχωρητή CCPRxL και στον CCPxCON στα 4-5 bit. Η μέγιστη έξοδος είναι 10 bits, τα 8 MSBits περιέχονται στον CCPRxL και τα υπόλοιπα 2 LSBits στο CCPxCON. Με βάση αυτά ο τύπος που υπολογίζει το duty cycle είναι ο εξής :

$$PWM \text{ Duty Cycle} = (CCPRXL:CCPXCON<5:4>) \cdot TOSC \cdot (TMR2 \text{ Prescale Value})$$

3.7.8 Universal Serial Bus (USB)

Ο controller μας διαθέτει full-speed και low-speed Serial Interface Engine (SIE) το οποίο του παρέχει πλήρη συμβατότητα με οποιαδήποτε συσκευή που φέρει USB.



Σχήμα 3.21 : Εσωτερική δομή ενός USB

Ο έλεγχος του USB γίνεται από ένα σύνολο 22 καταχωρητών και είναι οι εξής :

- USB Control register (UCON)
- USB Configuration register (UCFG)
- USB Transfer Status register (USTAT)
- USB Device Address register (UADDR)
- Frame Number registers (UFRMH:UFRML)
- Endpoint Enable registers 0 through 15 (UEPn)

Πιο συγκεκριμένα, ο καταχωρητής UCON περιέχει bits τα οποία χρειάζονται για την σωστή λειτουργία κατά την διάρκεια της μεταφοράς των δεδομένων. Τα bits αυτά ελέγχουν τα παρακάτω :

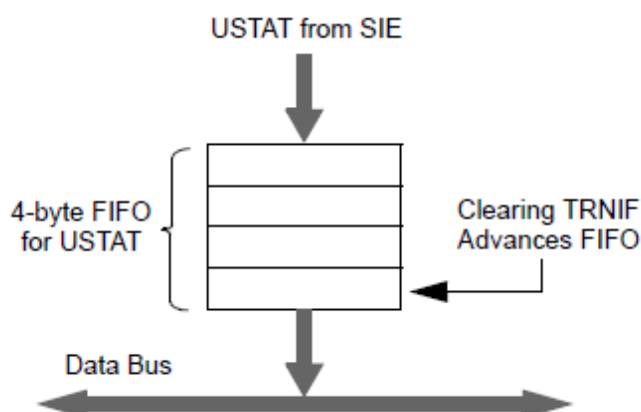
- Main USB Peripheral Enable
- Ping-Pong Buffer Pointer Reset
- Control of the Suspend mode
- Packet Transfer Disable

Ο καταχωρητής UCFG είναι υπεύθυνος για την σωστή διασύνδεση του hardware του pic με το εξωτερικό hardware δηλαδή με αυτό της συσκευής που θα ενωθεί ο pic. Τα bits του καταχωρητή αυτού ελέγχουν τα παρακάτω :

- Bus Speed (full speed versus low speed)
- On-Chip Pull-up Resistor Enable
- On-Chip Transceiver Enable
- Ping-Pong Buffer Usage

Ο καταχωρητής USTAT σχετίζεται με το SIE, δηλαδή δίνει την δυνατότητα στον pic να εκτελέσει μια νέα λειτουργία την ίδια στιγμή που το SIE θα κάνει άλλες λειτουργίες. Όταν το SIE ολοκληρώσει την λειτουργία του, τότε αμέσως κάνει update τον USTAT. Αν εκτελείται κάποια άλλη λειτουργία πριν ολοκληρώσει το SIE την δικιά του τότε αποθηκεύει στην στοίβα FIFO την κατάσταση της νέας λειτουργίας. Ο καταχωρητής ελέγχει τα παρακάτω :

- Transfer endpoint number
- Direction of transfer
- Ping-Pong Buffer Pointer value (if used)



Σχήμα 3.22 : USTAT FIFO

Ο καταχωρητής UADDR περιέχει την μοναδική διεύθυνση USB που το περιφερειακό θα αποκωδικοποιήσει όταν αυτό ενεργοποιηθεί. Ο καταχωρητής έχει την τιμή 00h όταν έρχεται ένα USB Reset ή όταν έρχεται ένα Reset από τον pic.

Οι καταχωρητές UFRMH και UFRML χρησιμοποιούνται κυρίως για ισόχρονες ανταλλαγές δεδομένων. Τα low-order byte περιέχονται στον καταχωρητή UFRML ενώ τα τρία high-order bits στον UFRMH.

Οι 16 καταχωρητές UEPn έχουν το δικό τους ανεξάρτητο καταχωρητή ελέγχου. Κάθε καταχωρητής έχει πανομοιότυπα bits ελέγχου.

Κεφάλαιο 4

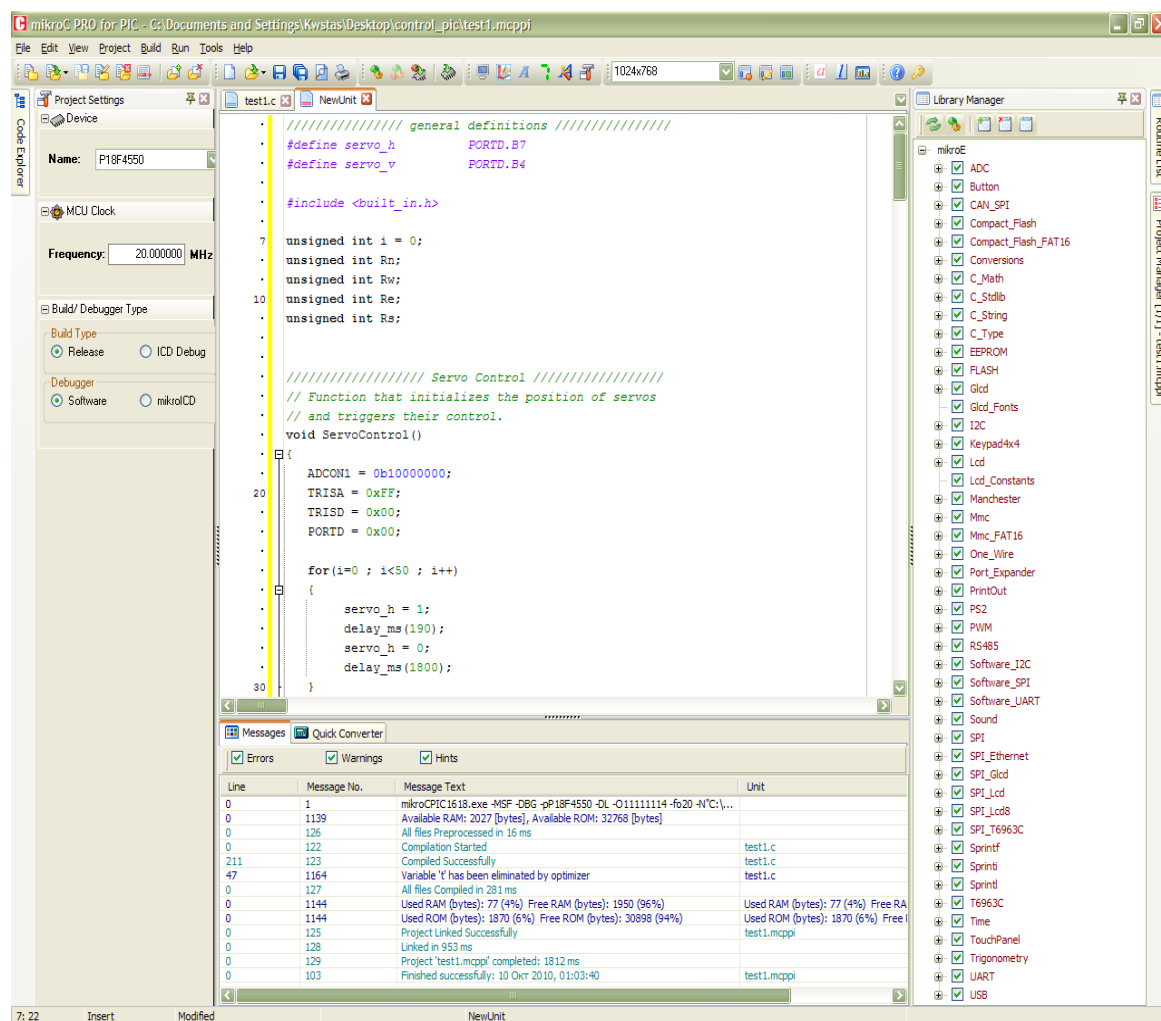
4.1 Micro C PRO for PIC

Ο προγραμματισμός είναι το πιο σημαντικό κομμάτι στην διπλωματική αυτή εργασία αλλά και γενικότερα σε κάθε project που περιλαμβάνει controllers. Η γλώσσα που επιλέχθηκε για τον έλεγχο της κίνησης των servo – κινητήρων είναι η Micro C PRO for PIC καθώς μοιάζει πάρα πολύ στην γλώσσα C και είναι πιο εύκολη η συντήρηση του κώδικα από το να τον γράφαμε σε γλώσσα assembly. Η Micro C PRO for PIC είναι ένα ισχυρό, με πολλά χαρακτηριστικά εργαλείο ανάπτυξης για μικροελεγκτές PIC και είναι σχεδιασμένη για να παρέχει στον προγραμματιστή την πιο εύκολη πιθανή λύση στην ανάπτυξη εφαρμογών για ενσωματωμένα συστήματα.

Μερικά από τα πλεονεκτήματα της γλώσσας αυτής είναι ότι μπορείς να:

- ✓ Γράφεις πηγαίο κώδικα σε C χρησιμοποιώντας το ενσωματωμένο Code Editor (περιλαμβάνει Code and Parameter Assistants, Code Folding, Syntax Highlighting, Auto Correct, Code Templates κ.α.)
- ✓ Χρησιμοποιήσεις τις έτοιμες βιβλιοθήκες που έχει για να αυξήσεις την ταχύτητα της ανταλλαγής δεδομένων, της μνήμης κ.α.
- ✓ Παρακολουθήσεις την δομή του προγράμματος, τις μεταβλητές και τις συναρτήσεις στο Code Explorer που σου παρέχει.
- ✓ Μετατρέψεις τον κώδικα σου αυτόματα σε γλώσσα assembly και να δημιουργηθεί HEX αρχείο συμβατό με όλες τις συσκευές προγραμματισμού για controllers.
- ✓ Χρησιμοποιήσεις το microICD (In-circuit Debugger) για real time debugging (απασφαλμάτωση σε πραγματικό χρόνο).
- ✓ Έχεις αναφορά και γραφήματα για την κατάσταση της RAM κατά την διάρκεια εκτέλεσης του προγράμματος, στατιστικά για τον κώδικα κ.α.
- ✓ Δεις πολλά παραδείγματα που διαθέτει και να βοηθήσουν στην εξέλιξη της δικής σου εργασίας.

Η διαδικασία για να γράψουμε τον κώδικα είναι απλή. Ξεκινάμε πρώτα να κάνουμε έναν νέο φάκελο για το project μας πηγαίνοντας στο Menu for Project>Project Wizard, ύστερα επιλέγουμε τον τύπο του controller μας και εν συνεχεία την συχνότητα στην οποία δουλεύει αυτός. Στο Σχήμα 4.1 φαίνονται οι επιλογές που έχουν γίνει για την κίνηση των servo κινητήρων.



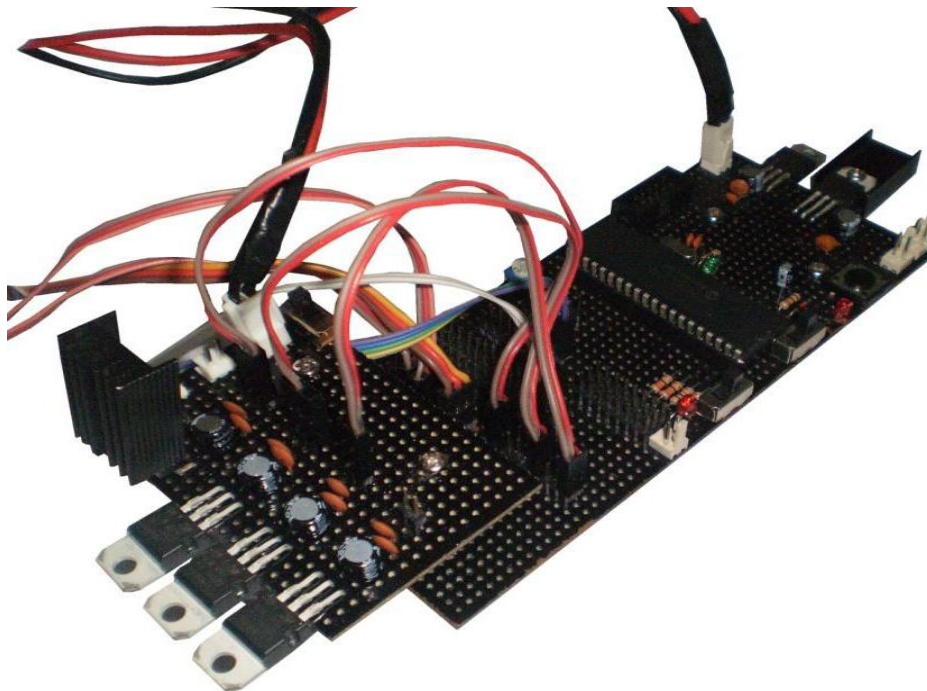
Σχήμα 4.1 : Micro C PRO for PIC

Ο κώδικας αυτός δεν χρησιμοποιήθηκε στην πλακέτα που έχουμε αναφερθεί στα παραπάνω κεφάλαια αλλά σε άλλη πλακέτα αυτόνομη που φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα 4.2 για να δοκιμαστεί και να επιβεβαιωθεί τελικά η ορθότητα της κίνησης των servo κινητήρων. Η πλακέτα αυτή φέρει τον controller PIC 18F452 ο οποίος είναι ίδιος σχεδόν με το controller που έχει χρησιμοποιηθεί στην δικιά μας πλακέτα. Οι διαφορές που παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.1 δεν επηρεάζουν καθόλου τον κώδικα που έχει υλοποιηθεί για την κίνηση των servos.

	PIC 18F452	PIC 18F4550
CPU Speed (MIPS)	10	12
RAM Bytes	1536	2048
Capture/Compare/PWM	2 CCP	1 CCP, 1 ECCP

Peripherals		
ADC	8 channels, 10-bit	13 channels, 10-bit
USB (ch, speed, compliance)	-	1, Full Speed, USB 2.0

Πίνακας 4.1 : Διαφορές PIC 18F4550 / PIC 18F452

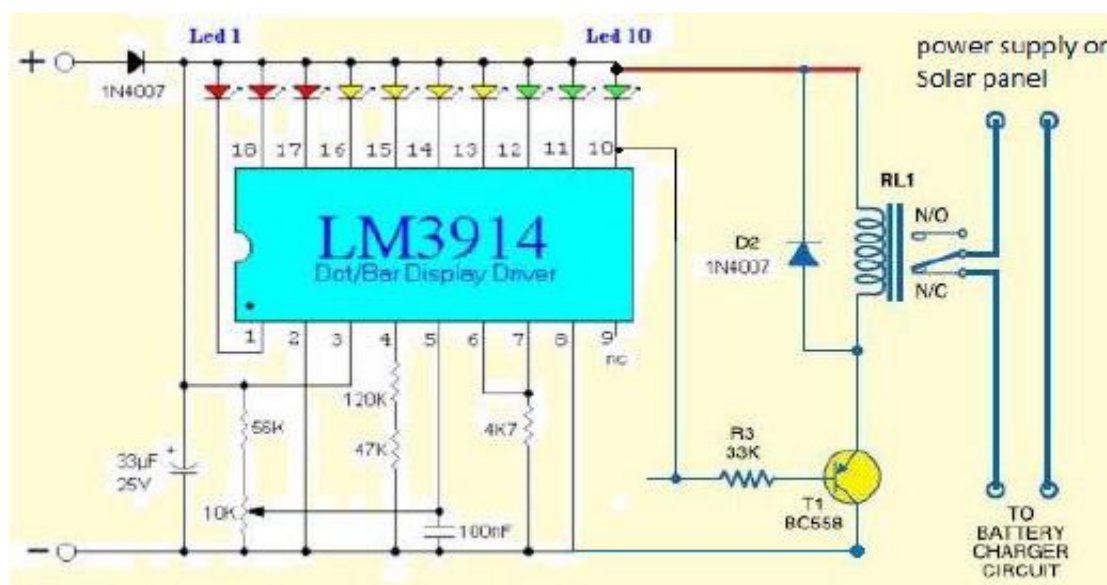


Σχήμα 4.2 : Πλακέτα ελέγχου servo-κινητήρων

Η παραπάνω πλακέτα είναι αυτόνομη σε σχέση με τον υπολογιστή, παίρνει ρεύμα δηλαδή από εξωτερικό τροφοδοτικό το οποίο φέρει πάνω του Led's τα οποία δείχνουν πόση ενέργεια έχει απομείνει στην μπαταρία. Τα πράσινα Led's (θέσεις 6-10) δείχνουν ότι η χωρητικότητα της μπαταρίας είναι πάνω από το 50%, ενώ τα κόκκινα Led's (θέσεις 1-5) δείχνουν ότι η χωρητικότητα είναι κάτω από 50 %. Στο Σχήμα 4.3 φαίνεται η δομή της μπαταρίας και στο Σχήμα 4.4 φαίνεται η κυκλωματική της διάταξη.



Σχήμα 4.3 : Δομή μπαταρίας με LED's εναπομείνας ενέργειας



Σχήμα 4.4 : Κυκλωματική διάταξη μπαταρίας

4.2 Firmware USB

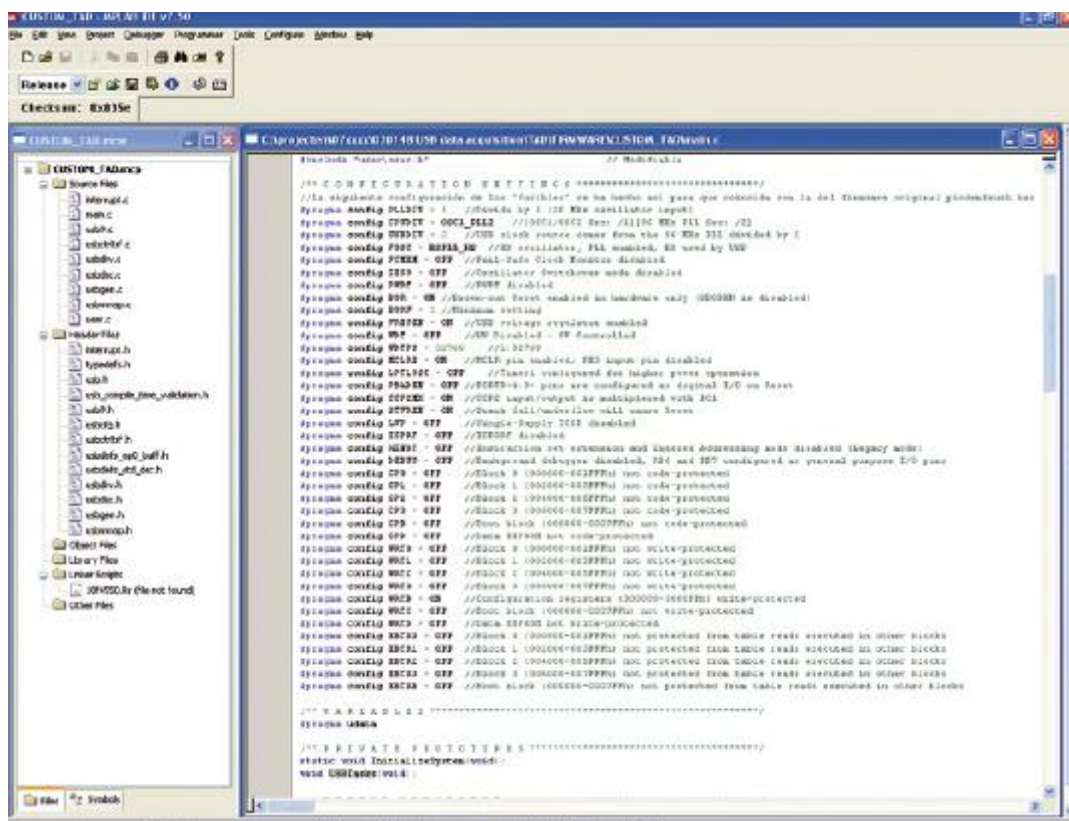
Ένας άγραφτος κανόνας των μικροεπεξεργαστών λέει πως όταν το υλικό μέρος μιας κατασκευής είναι απλό, τότε το ενσωματωμένο λογισμικό είναι πολύπλοκο. Αυτό ακριβώς ισχύει και με την πλακέτα που έχουμε φτιάξει και θέλουμε να επικοινωνήσει με τον Η/Υ μέσω της θύρας USB όχι μόνο για να πάρει ρεύμα αλλά και να μπορεί να ανταλλάξει δεδομένα σε κάποια φάση. Τα προγράμματα για το USB έχουν γραφτεί με την βοήθεια των πακέτων ανάπτυξης :

- i. MPLAB της Microchip
- ii. C18 Student Edition V3.02

(Ο δικτυακός τόπος της Microchip φιλοξενεί πολλές οδηγίες για το πώς μπορούμε να τα εγκαταστήσουμε και να τα χρησιμοποιήσουμε)

Όλοι οι κανόνες που αφορούν στην υλοποίηση του πρωτοκόλλου USB, μέσω των οποίων καθίσταται δυνατή η επικοινωνία μεταξύ της κατασκευής και του υπολογιστή έχουν κωδικοποιηθεί στα εκτελέσιμα αρχεία. Το σύνολο του λογισμικού έχει χωριστεί στα παρακάτω δομικά τμήματα :

- BUS POWER MODE
- CUSTOM CLASS
- FULL SPEED (12 MBit/Sec)
- INTERRUPT TRANSFER



Σχήμα 4.5: MPLAB IDE για ψηφία-ασφάλειες του pic

Το λογισμικό αυτό όταν το φορτώσουμε στον controller μας PIC18F4550 (στην επόμενη ενότητα 4.3 γίνεται αναφορά για την διαδικασία φόρτωσης) και τον βάλουμε στην πλακέτα τότε, αφού πρώτα έχουμε συνδέσει με το απαραίτητο καλώδιο πλακέτα-H/Y, παρατηρούμε ότι το Led D3 ανάβει αμέσως. Την ίδια στιγμή εμφανίζεται στην οθόνη του H/Y ένα ‘συννεφάκι’ το οποίο μας ενημερώνει ότι εντοπίστηκε μια καινούρια συσκευή USB. Λίγα δευτερόλεπτα αργότερα όταν εγκαταστήσουμε το απαραίτητο αρχείο mchpusb.inf και ολοκληρωθεί η εγκατάσταση θα διαπιστώσουμε πως θα αναβοσβήνουν εναλλάξ τα Led D1, D2 δίνοντας μας έτσι μια σαφή ένδειξη για την διαρκή ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ πλακέτας-H/Y. Η πλακέτα είναι έτοιμη για οποιαδήποτε χρήση.

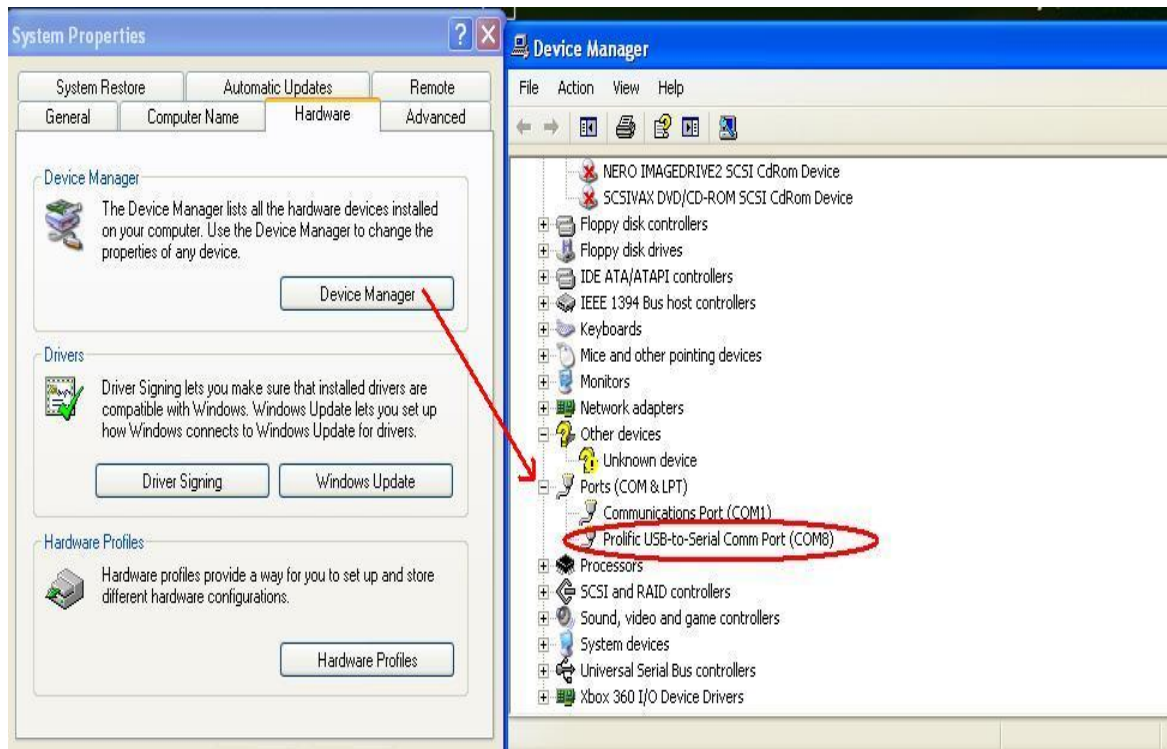
4.3 Programmer Kit

Οι controllers δεν μπορούν να δεχτούν στην flash memory τους κώδικα μέσω υπολογιστή. Αυτό γίνεται με την χρήση ειδικών εργαλείων, εμείς επιλέξαμε έναν οικονομικό τον USB Pic Programmer που φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα 4.6 λόγω της ερασιτεχνικής μας κατασκευής που θέλαμε να φέρουμε εις πέρας.



Σχήμα 4.6 : USB Pic Programmer

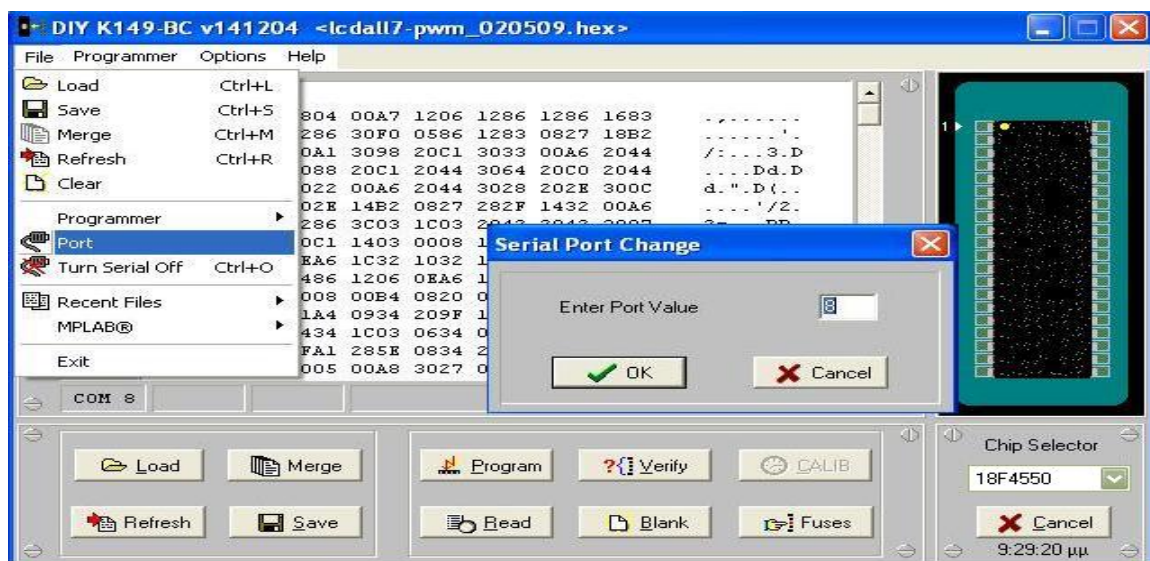
Μερικά λόγια πριν την πρώτη χρήση του programmer αυτού. Μετά την εγκατάσταση των drivers κάνοντας δεξί κλικ στο εικονίδιο της επιφάνειας εργασίας «Ο υπολογιστής μου – My computer» -> «Ιδιότητες - Properties» -> «Υλικό - Hardware» -> «Διαχείριση συσκευών – Device Manager» και επιλέγοντας τα Ports (COM&LPT) θα μπορέσουμε να δούμε τον programmer και τον αριθμό του Port που του έχει δώσει ο υπολογιστής, Σχήμα 4.7. (Ο αριθμός πρέπει να είναι από 1-9, αλλιώς συνδέουμε με άλλη θύρα τον programmer)



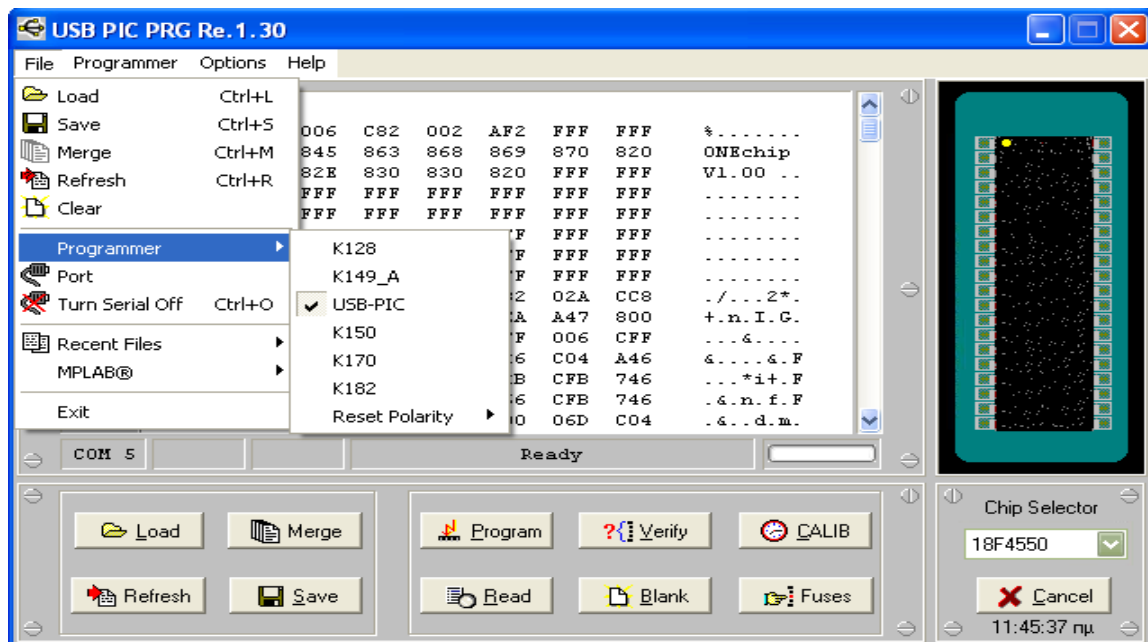
Σχήμα 4.7 : Δήλωση port στον υπολογιστή

Τους 40-pin pic18f4550 / pic18f452 τους τοποθετούμε στον programmer με το πρώτο pin να βρίσκεται δίπλα από τον μοχλό.

Ανοίγοντας τώρα το MicroPro πρόγραμμα δηλώνουμε το COM port όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.8, το οποίο πρέπει να είναι ίδιο με αυτό που έχει δεσμεύσει ο υπολογιστής αλλιώς δεν θα γίνει σωστά η εισαγωγή του hex αρχείου στους controllers όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.9:



Σχήμα 4.8 : Δήλωση port στον programmer



Σχήμα 4.9 : Διαδικασία φόρτωσης κώδικα στον controller

4.4 Μελλοντικές προεκτάσεις

Μια ιδέα για μελλοντική προέκταση είναι η συνένωση των δυο προγραμμάτων, για την αναγνώριση του USB και την κίνηση των servo, και η φόρτωση του κώδικα αυτού στον controller PIC18F4550 κατά προτίμηση για τον λόγο ότι αυτός χρησιμοποιείται από την πλακέτα που επικοινωνεί με τον υπολογιστή συνεπώς μπορούμε να κρατάμε στον υπολογιστή ένα αρχείο με τις τιμές για παράδειγμα των φωτοαντιστάσεων για διάφορες στιγμές της μέρας και έτσι να γνωρίζουμε τα καθημερινά επίπεδα ηλιοφάνειας και την απόδοση που είχε το κινούμενο σε δυο άξονες φωτοβολταϊκό πλαίσιο. Το σημείο που πρέπει να προσεχθεί στην ένωση των προγραμμάτων είναι στους καταχωρητές TRIS, PORT και ADCON1 καθώς πρέπει να ενσωματωθούν στο USB χωρίς να αντικρούουν οι timers για να έχουμε επιτυχή τελικό κώδικα.

Επίσης το παραπάνω μπορεί να γίνει και ασύρματα τοποθετώντας στην πλακέτα έναν πομπό, ο οποίος θα συνδεθεί με τα κατάλληλα pins του controller, και στον υπολογιστή έναν δέκτη.

Βιβλιογραφία

- [1] Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία. Κ.Καγκαράκης, Εκδόσεις Συμμετρία 1992.
- [2] Φωτοβολταϊκά Συστήματα. Ι.Ε.Φραγκιαδάκης, Εκδόσεις ΖΗΤΗ 2007.
- [3] Τεχνολογία Φωτοβολταϊκών. Ε.Κυμάκης.
- [4] Solar Electricity. Engineering of Photovoltaic Systems, E.Lorenzo, 1994 Progenesa.
- [5] Photoelectric sensors and Controls, Scott M.Juds.
- [6] The effect of using sun-tracking systems on the voltage current characteristics and power generation of flat plate photovoltaics. Energy Conversion and Management, Salah Abdallah.
- [7] Two axes sun tracking system with PLC control. Energy Conversion and Management, Salah Abdallah, Salem Nijmeh.
- [8] Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques, Trisham Esmar, Student Member, IEEE and Patrick L. Chapman, Senior Member, IEEE.
- [9] Determing seasonal optimum tilt angles, solar radiations on variously oriented, single and double axis tracking surfaces at Dhaka, H.R. Ghosh, N.C. Bhowmik, M.Hussain, Elsevier 2009.
- [10] Φωτοβολταϊκά, Ένας πρακτικός οδηγός, Σύνδεσμος εταιριών φωτοβολταϊκών Απρίλιος 2008.
- [11] Αποτίμηση του κοινωνικού οφέλους από την ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών, ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΕΤΑΙΡΙΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ Μάρτιος 2010.
- [12] Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, Μ.Π.Παπαδόπουλος, Σημειώσεις Μαθήματος, ΕΜΠ 1997
- [13] Suntracking System with PLC control, J.Jordan April 2002
- [14] Programmable logic devices and logic controllers, 1st ed. England:Prentice-Hall 1996
- [15] Solar engineering of thermal process, J.Duffie, W.Beckman, 2nd ed:USA John Wiley & Sons 1991

- [16]** Evaluation of power output for fixed and step tracking Photovoltaic Arrays, P.Baltas, M.Torteli, P.E.Russell
- [17]** Availability of direct, total and diffuse solar radiation to fixed and tracking collectors in the USA, E.C.Boes, H.E.Anderson,I.J.Hall, R.R.Prairie, R.T.Stromberg
- [18]** Efficiency improvements of photo-voltaic panels using a sun tracking system, Ali Al-Mohamad
- [19]** PIC18F2455/2550/4455/4550 Data sheet,
<http://www.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39632e.pdf>
- [20]** <http://www.retscreen.net>