



ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ

## ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Κατασκευή ηλεκτρονικού συστήματος οδήγησης ηλιοτροπίου δύο αξόνων και αρχικές συγκριτικές μετρήσεις αποδοτικότητας σε σχέση με φωτοβολταϊκή συστοιχία σταθερής γωνίας κλίσης.**



Σπουδαστής: Μιχάλης Μαυρουλίδης

Εισηγητής: Ιωάννης Φραγκιαδάκης  
Καθηγητής Γενικού Τμ. Θετικών Επιστημών

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά θα ήθελα να δώσω το μεγαλύτερο ευχαριστώ στην οικογένεια μου.

Ένα μεγάλο θερμό ευχαριστώ στον καθηγητή μου κ. Ιωάννη Φραγκιαδάκη για τις υποδείξεις του και τις συμβουλές του και γενικότερα την καθοδήγησή του. Στους καθηγητές που μου στάθηκαν σε δυσκολίες, κ. Φώτη Μαυροματάκη και κ. Ιωάννη Μηνιάδακη καθώς και στον κ. Παντελή Συλιγάρδο, εξωτερικό συνεργάτη του Φωτοβολταϊκού Πάρκου ΤΕΙ Ηρακλείου, ο οποίος ήταν πάντα στο πλευρό μου καθ' όλη την διάρκεια της πτυχιακής μου εργασίας.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους μου τους φίλους και συναδέλφους, για την υποστήριξη τους αλλά και τη βοήθειά τους στον έναν χρόνο εργασίας μου στο θέμα της πτυχιακής μου εργασίας. Ειδικά, πολλά ευχαριστώ στους: Αρτάν Μπουσάι, Γιώργο Ζακάκη, Γιώργο Κοξάρακη, Έλσον Μπάρδι, Χρήστο Λιάνγκο και σε όλους τους υπόλοιπους φίλους μου οι οποίοι ανέχτηκαν το άγχος μου. Επίσης ένα ευχαριστώ στα παιδιά από το Φωτοβολταϊκό Πάρκο που εργάστηκαν μαζί μου, οι οποίοι κέρδισαν την εκτίμηση και τη φιλία μου.

Μιχάλης Μαυρουλίδης

## Περιεχόμενα

Εισαγωγή.....	4
I. Αντικείμενο και σκοπός της εργασίας.....	4
II. Μεθοδολογία.....	4
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 Ηλιακή ακτινοβολία - Φωτοβολταϊκά.....	5
1.1 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.....	6
1.2 Ηλιακή ακτινοβολία στην επιφάνεια της γης. Παράγοντες που επηρεάζουν την πυκνότητα ισχύος της. ....	7
1.3 Ηλιακή ακτινοβολία στο επίπεδο συλλεκτικής επιφάνειας. Σημασία της γωνίας κλίσης συλλέκτη. ....	11
1.4 Φωτοβολταϊκά στοιχεία-πλαίσια-συστοιχίες-συστήματα. ....	13
1.5 Αποθήκευση ΦΒ ηλεκτρικής ενέργειας. ....	16
1.6 Ηλεκτρονικές διατάξεις στα φωτοβολταϊκά συστήματα. ....	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 Ηλιοτροπικά Συστήματα.....	20
2.1 Ηλιοτρόπια. Τύποι και χαρακτηριστικά ηλιοτροπίων.....	21
2.2 Τρόποι ελέγχου θέσης ηλιοτροπίου. Πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα. ....	22
2.3 Ηλιοτρόπιο δύο αξόνων.....	23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 Ειδικό θέμα.....	26
3.1 Κατασκευαστικές λεπτομέρειες ηλιοτροπίου δύο αξόνων.....	27
3.2 Μελέτη - Κατασκευή (σχέδια και υλοποίηση) ηλεκτρονικής διάταξης ελέγχου κίνησης ηλιοτροπίου (Microcontroller).....	28
3.2.1 Το πρόγραμμα του μικροελεγκτή και οι πλακέτες.....	29
3.2.2 Κατασκευαστικές λεπτομέρειες της πλακέτας του μικροελεγκτή.....	31
3.2.3 Τα προγράμματα στον Η/Υ.....	35
3.2.4 Επιπρόσθετες ηλεκτρονικές διατάξεις για την λειτουργία του συστήματος.....	37
3.2.5 Προτάσεις βελτίωσης των διατάξεων της κατασκευής.....	39
3.3 Το σύστημα καταγραφής πειραματικών μετρήσεων Ρεύματος – Τάσης πλαισίου.....	<b>Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.</b> 40
3.3.1 Καταγραφή καμπύλης I-V μέσω ειδικού κυκλώματος συνδεδεμένου στον Η/Υ.....	40
3.3.2 Καταγραφή ακτινοβολίας μέσω του Data Logger.....	45
3.4 Υπολογισμός ΦΒ πλαισίου και συσσωρευτή για την αυτόνομη λειτουργία του συστήματος. ....	<b>Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.</b> 6
3.5 Μετρήσεις αποδοτικότητας ΦΒ πλαισίου τοποθετημένου στο ηλιοτρόπιο αυτό και όμοιου πλαισίου σταθερής γωνίας κλίσης.....	<b>Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.</b> 8
3.6 Πειραματικά αποτελέσματα και συμπεράσματα.....	58 <b>Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.</b>



## Εισαγωγή

Είναι γνωστό ότι, οι ήπιες μορφές ενέργειας (ή ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ), ή νέες πηγές ενέργειας, ή πράσινη ενέργεια) είναι μορφές εκμεταλλεύσιμης ενέργειας που προέρχονται από διάφορες φυσικές διαδικασίες, όπως ο άνεμος, 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 αποδεσμεύουν 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.

Ένα από τα σημαντικά κομμάτια των ΑΠΕ είναι η φωτοβολταϊκή ενέργεια όπου με την χρήση των ΦΒ γεννητριών (συστοιχιών) γίνεται άμεση μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Στις περισσότερες διατάξεις οι συστοιχίες 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.

### 1. Αντικείμενο και σκοπός της εργασίας

Στην εργασία αυτή μελετάται ένας τρόπος μεγιστοποίησης της απολαβής της ισχύς από ένα φωτοβολταϊκό σύστημα. Ο τρόπος αυτός είναι η στήριξη της συστοιχίας σε ηλιοτρόπιο δύο αξόνων. Παρουσιάζεται η ανάπτυξη ηλεκτρονικών συστημάτων και συσκευών για την υλοποίηση του. Η εγκατάσταση της διάταξης αυτής εγκαθίσταται σε υπάρχων μηχανολογική κατασκευή στήριξης ηλιοτροπίου δύο αξόνων. Κεντρικός πυρήνας της κατασκευής αυτής είναι ο μικροελεγκτής (AT MEGA163) της εταιρίας Atmel, ο οποίος παίζει και πρωταρχικό ρόλο στη μείωση του συνολικού κόστους.

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, τίθεται προς μελέτη η αύξηση της ενεργειακής απολαβής. Στόχος της άσκησης είναι να αποδειχθεί ότι ένα τέτοιο φωτοβολταϊκό σύστημα είναι πιο κερδοφόρο από πλευράς ηλεκτρικής ενέργειας σε σχέση με ένα σύστημα που οι ΦΒ συστοιχίες του είναι τοποθετημένες με σταθερή γωνία κλίσης. Όπως θα αποδειχθεί στα παρακάτω κεφάλαια, στερεώνοντας τη διάταξη πάνω σε σύστημα με δύο άξονες παρακολούθησης του Ηλίου, μπορεί να συλλεχθεί μέχρι 40% περισσότερη ηλιακή ενέργεια κατά τη διάρκεια ενός μήνα, σε σύγκριση με την εγκατάσταση σταθερής κλίσης.

### 2. Μεθοδολογία

Στο **κεφάλαιο 1** γίνεται αναφορά στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και περιγραφή των χαρακτηριστικών της ηλιακής ακτινοβολίας καθώς και των παραγόντων που επηρεάζουν την πυκνότητα της ισχύος. Ακόμη ασχολείται με το πόσο μεγάλο ρόλο παίζει η γωνία κλίσης του συλλέκτη. Εν τέλει αναφέρεται στα μέρη ενός ολοκληρωμένου ΦΒ συστήματος και γενικότερα στη φωτοβολταϊκή τεχνολογία.

Στο **κεφάλαιο 2** αρχικά παρουσιάζονται τα ηλιοτρόπια που υπάρχουν και οι τεχνολογίες τους και αναλυτικότερα ο έλεγχος της θέσης τους, μαζί με τις ηλεκτρονικές συσκευές ελέγχου. Αναφέρονται τα πλεονεκτήματα της χρήσης του ηλιοτροπίου δύο αξόνων έναντι των άλλων.

Στο **κεφάλαιο 3** παρουσιάζεται η λειτουργία και οι δυνατότητες των ηλεκτρονικών διατάξεων που κατασκευάστηκαν για την υλοποίηση του αυτοματισμού της παρακολούθησης του ηλίου. Γίνεται αναφορά στις συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν για την καταγραφή πειραματικών μετρήσεων. Τέλος παρουσιάζονται όλα τα συμπεράσματα και γραφικά αποτελέσματα καθώς και οι απαραίτητοι υπολογισμοί που χρειάστηκαν να γίνουν.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1



## ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ - ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ

## 1.1 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

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. Οι ήπιες μορφές ενέργειας βασίζονται κατ' ουσία 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 μετατρέπομενες 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 στάτους κβο 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.

Αναφέρονται παρακάτω τα είδη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας:

- 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 ευρέως για ηλεκτροπαραγωγή.
- Ηλιακή ενέργεια. Χρησιμοποιείται περισσότερο για θερμικές εφαρμογές (ηλιακοί θερμοσίφωνες και φούρνοι) 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.

Τα πλεονεκτήματα είναι:

- 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.

Τα Μειονεκτήματα είναι:

- Έχουν αρκετά μικρό συντελεστή απόδοσης, της τάξης του 30% ή και χαμηλότερο. Συνεπώς απαιτείται αρκετά μεγάλο αρχικό κόστος εφαρμογής σε μεγάλη επιφάνεια γης.
- 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.

## 1.2 Ηλιακή ακτινοβολία στην επιφάνεια της Γης. Παράγοντες που επηρεάζουν την πυκνότητα ισχύος της.

Η μέση απόσταση μεταξύ γης και ήλιου είναι 1 AU και παρουσιάζει μια μεταβολή της τάξεως του 1.7%. Η **ηλιακή σταθερά** ενός πλανήτη ονομάζεται η ένταση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, που αντιστοιχεί στη μέση απόσταση πλανήτη-ήλιου, ενός ηλιακού συστήματος. Η τιμή της ηλιακής σταθεράς κυμαίνεται στην περιοχή 1363-1375 W/m<sup>2</sup>. Η μέση τιμή η οποία χρησιμοποιείται ως πρότυπη τιμή της ηλιακής σταθεράς για τη Γη είναι 1367 W/m<sup>2</sup>. Η ηλιακή σταθερά αυξάνεται καθώς αυξάνει η ηλικία του ήλιου και έχει παρατηρηθεί ελάττωση της



ακτίνας του ήλιου που έχει ως συνέπεια την αύξηση της θερμοκρασίας του. Το φάσμα του ηλιακού φωτός στα όρια της ατμόσφαιρας χαρακτηρίζεται από την έκφραση AM0 (Air Mass 0).

### **Η επίδραση της ατμόσφαιρας της Γης στη διέλευση της ηλιακής ακτινοβολίας.**

Η τελική μορφή και η ενέργεια της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια της γης, διαφέρει σημαντικά ανάλογα με τις μετεωρολογικές συνθήκες και κυρίως τη θέση του ήλιου στον ουρανό και την περιεκτικότητα της υγρασίας στην ατμόσφαιρα. Το μήκος της διαδρομής της ηλιακής ακτινοβολίας μέσα στην γήινη ατμόσφαιρα μέχρι την στάθμη της θάλασσας, που είναι άμεση συνέπεια της θέσης του ήλιου χαρακτηρίζεται από μια κλίμακα μάζας αέρα (AM) βαθμολογημένης με την τέμνουσα της ζενιθιακής απόστασης ( $z$ ), δηλαδή της γωνίας ανάμεσα στη θέση του ήλιου και στην κατακόρυφο. Γενικά ο αριθμός AM δηλώνει πόσες φορές χωράει το πάχος της γήινης ατμόσφαιρας, στο μήκος που διανύει το φως μέσα στην ατμόσφαιρα την δεδομένη χρονική στιγμή, δηλαδή εκφράζει την απόσταση που διανύει η απευθείας ηλιακή ακτινοβολία, με μονάδα μήκους το πάχος της γήινης ατμόσφαιρας.

Συγκεκριμένα, ως AM1 συμβολίζεται η συνθήκη για την θέση του ήλιου στην κατακόρυφο, στο ζενίθ, που αντιστοιχεί στο ελάχιστο μήκος της διαδρομής της ηλιακής ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα. Όμοια, ως AM1,5 συμβολίζεται η διαδρομή της ηλιακής ακτινοβολίας με τον ήλιο σε γωνία  $45^\circ$  από το ζενίθ και AM2 με τον ήλιο σε γωνία  $60^\circ$ . Το 0 της κλίμακας AM0 συμβολίζει την πλήρη απουσία ατμοσφαιρικής παρεμβολής, δηλαδή την ηλιακή ακτινοβολία στο διάστημα, σε θέση που να απέχει όση είναι η μέση απόσταση της Γης από τον ήλιο.

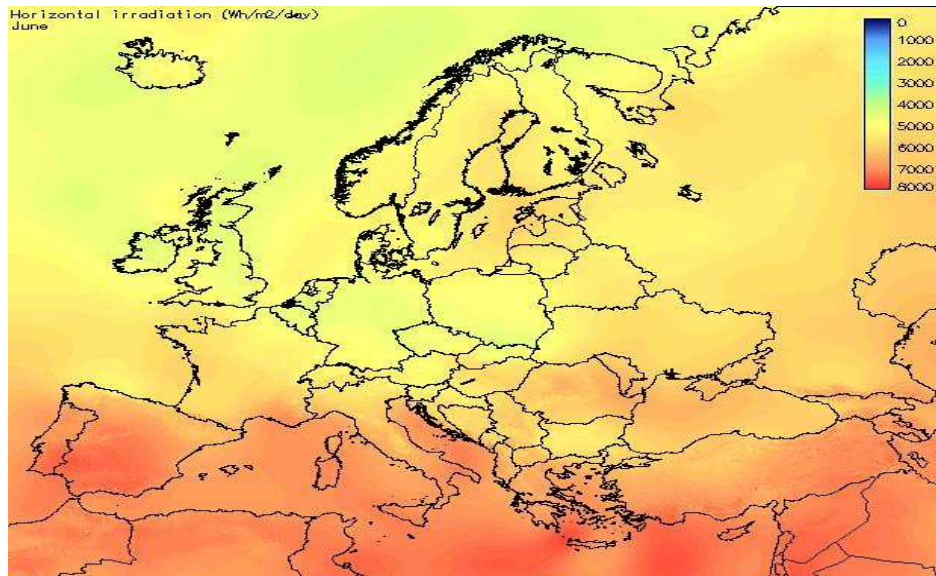
Όταν το ηλιακό φάσμα καταγράφεται στην επιφάνεια της Γης, εμφανίζει, εκτός από τις απορροφήσεις που οφείλονται στον ίδιο τον ήλιο, αφενός μια ελάττωση της έντασης του σε όλα τα μήκη κύματος, αφετέρου νέες χαρακτηριστικές περιοχές απορρόφησης, οι οποίες δεν εμφανίζονται σε φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας, εκτός ατμόσφαιρας. Αναλυτικότερα, η ελάττωση της έντασης του ηλιακού φωτός καθώς διεισδύει στην γήινη ατμόσφαιρα οφείλεται σε δυο αιτίες: στην ελαστική σκέδαση του φωτός στα ηλεκτρόνια των ατόμων ή μορίων του αερίου όπου η σκέδαση στα μόρια της ατμόσφαιρας ακολουθεί τον νόμο του Rayleigh και σε μοριακές διεγέρσεις, με χαρακτηριστικές γραμμές ή ταινίες απορρόφησης. Όπως είναι φανερό οι ιώδες και οι κυανές ακτίνες σκεδάζονται εντονότερα απ' ότι οι ερυθρές και αυτό διότι η ένταση της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας είναι αντιστρόφως ανάλογη της τέταρτης δύναμης του μήκους κύματος  $\lambda$ . Έτσι δικαιολογείται το μπλε χρώμα του ουρανού καθώς και το κόκκινο χρώμα κατά την ανατολή και τη δύση του ηλίου.

Η ηλιακή ακτινοβολία AM1,5 έχει πυκνότητα  $935 \text{ W/m}^2$  και αποτελεί μια προσέγγιση της μέσης μέγιστης ισχύος που δέχεται ένα μεγάλο μέρος από τις περισσότερες κατοικημένες περιοχές της Γης σε κάθετη επιφάνεια και σε συνθήκες αιχμής (καλοκαίρι, μεσημέρι, καθαρός ουρανός κ.λ.π). Η πυκνότητα αυτή στρογγυλοποιείται στα  $1000 \text{ W/m}^2$  και ονομάζεται ως ακτινοβολία ενός ήλιου και χρησιμοποιείται ως βάση σύγκρισης της ακτινοβολίας που δέχονται τα φωτοβολταϊκά στοιχεία. Επίσης χρησιμοποιείται για την αναφορά της ισχύος αιχμής των φωτοβολταϊκών διατάξεων, καθώς και για την πυκνότητα της ακτινοβολίας στις συγκεντρωτικές φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούν φακούς ή κάτοπτρα.

Οι συνθήκες AM0 και AM1,5 χρησιμοποιούνται ως πρότυπες για τον έλεγχο και την αξιολόγηση των ηλιακών στοιχείων που προορίζονται για διαστημικές και επίγειες εφαρμογές.

Για αντικειμενικές συγκρίσεις είναι απαραίτητο να γίνεται σαφής αναφορά των συνθηκών διεξαγωγής των μετρήσεων, διότι οι ιδιότητες των ηλιακών στοιχείων, και γενικότερα η απόδοσή τους, επηρεάζονται σημαντικά από τη μορφή της ακτινοβολίας που δέχονται π.χ. από τις δύο παραπάνω συνθήκες, η AM2 δίνει μεγαλύτερη απόδοση στα ηλιακά στοιχεία πυριτίου από ότι η AM0, διότι ένα μεγάλο μέρος από τα φωτόνια από την υπεριώδη και την υπέρυθη περιοχή της ακτινοβολίας, έχουν αφαιρεθεί από την AM2, έχουν σχετικά μικρή μόνο συμβολή

ή είναι εντελώς άχρηστα για φωτοβολταϊκή μετατροπή με πυρίτιο. Συγκεκριμένα, η ενέργεια των φωτονίων της υπεριώδους ακτινοβολίας είναι πολύ μεγαλύτερη από το ενεργειακό διάκενο το πυριτίου ενώ η ενέργεια των περισσοτέρων φωτονίων της υπέρυθρης ακτινοβολίας είναι μικρότερη από αυτό. Επομένως, ένα μικρό μέρος της ενέργειας των φωτονίων αξιοποιείται για τη δημιουργία ελεύθερων ηλεκτρονίων και οπών. Επίσης, στη δεύτερη περίπτωση, δηλαδή για το μεγαλύτερο μέρος της υπέρυθρης ακτινοβολίας, η ενέργεια των φωτονίων δεν επαρκεί για την διέγερση των ηλεκτρονίων σθένους και τη μεταφορά τους στη ζώνη αγωγιμότητας. Έτσι, η απόδοση ενός κοινού ηλιακού στοιχείου πυριτίου καλής ποιότητας, μπορεί να είναι 16% σε συνθήκες AM2, ενώ σε συνθήκες AM0 δεν ξεπερνά το 11,5%.



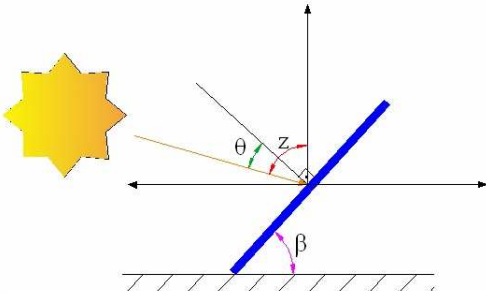
Εικ. 1.2.1 Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας στην Ευρώπη

Κατά τη διέλευση της ηλιακής ακτινοβολίας μέσα από την ατμόσφαιρα, παρατηρείται **μείωση της έντασης** γιατί τα φωτόνια της ηλιακής ακτινοβολίας σκεδάζονται από τα μόρια της ατμόσφαιρας αλλά και από σωματίδια πολύ μικρής διαμέτρου αλλά επίσης και από τα αιωρήματα της ατμόσφαιρας (όπως είναι οι υδρατμοί, η σκόνη, ο καπνός).

Ένα άλλο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας απορροφάται από ορισμένα συστατικά της ατμόσφαιρας όπως είναι το όζον τα μόρια του οποίου απορροφούν την υπεριώδη ακτινοβολία με αποτέλεσμα η ένταση αυτής της ακτινοβολίας στην επιφάνεια της Γης να είναι μικρή. Αλλά συστατικά της ατμόσφαιρας που απορροφούν την ηλιακή ακτινοβολία είναι οι υδρατμοί, τα οξείδια του αζώτου κ.α. Αποτέλεσμα όλων αυτών είναι να φθάνει στην επιφάνεια της Γης μέρος της σκεδαζόμενης ηλιακής ακτινοβολίας.

### Οι συνιστώσες της ηλιακής ακτινοβολίας

Στην επιφάνεια της Γης φθάνουν δυο συνιστώσες της ηλιακής ακτινοβολίας, η απευθείας B ή άμεση και η διάχυτη D ή σκεδαζόμενη στα μόρια του αέρα. Η ακτινοβολία που προσπίπτει πάνω σε έναν συλλέκτη αποτελείται από την απευθείας, τη διάχυτη και τη διάχυτη ανακλώμενη από το έδαφος ακτινοβολία, αυτή η ακτινοβολία ονομάζεται ολική ακτινοβολία και συμβολίζεται με το γράμμα G (Global Irradiation). Διάκριση της ηλιακής ακτινοβολίας σε:



Εικ. 1.2.2: Όπου  $\beta$  η γωνία κλίσης του πλαισίου,  $z$  η ζενίθια γωνία και  $\theta$  η γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας με την κάθετη στον συλλέκτη.

Άμεση ηλιακή ακτινοβολία: είναι αυτή που προσπίπτει σε κάθε επιφάνεια εντός της ατμόσφαιρας και προέρχεται κατευθείαν από τον ήλιο. Δηλαδή, η ακτινοβολία έχει κάποια διεύθυνση καθώς προσπίπτει στις επιφάνειες και θα πρέπει αυτές να προσανατολίζονται κατάλληλα για να δεχθούν το μεγαλύτερο μέρος της.

Διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία: είναι αυτή που προσπίπτει σε κάποια επιφάνεια εντός της ατμόσφαιρας αφού προηγουμένως έχει υποστεί αλλαγές από ανάκλαση και σκέδαση στα μόρια των αερίων της ατμόσφαιρας.

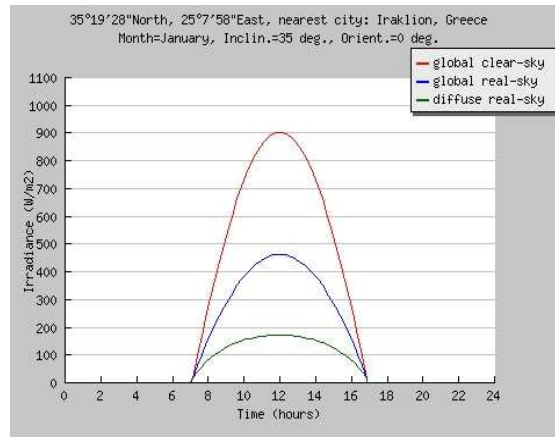
Διάχυτα ανακλώμενη ακτινοβολία: προέρχεται από το φως που ανακλάται από το έδαφος και ότι βρίσκεται στην επιφάνεια του. Η ολική ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο είναι το άθροισμα της άμεσης και της διάχυτης που προσπίπτει σε μία επιφάνεια.

Μεταξύ της ολικής οριζόντιας ακτινοβολίας,  $G$ , που προσπίπτει σε έναν συλλέκτη ή που μετριέται με αισθητήρα π.χ (πυρανόμετρο), της κάθετης απευθείας ακτινοβολίας  $B_N$ , και της διάχυτης  $D$ , ισχύει η παρακάτω σχέση:

$$G = B_N \cdot \cos z + D$$

Όπου  $z$  η ζενίθια γωνία του ηλίου ( $z=90-EL$ ,  $EL$  το ύψος του ήλιου).

Κατά την ανατολή του ηλίου, η ζενίθια γωνία είναι  $z=90^\circ$  και άρα η ολική ακτινοβολία  $G$  καθορίζεται από την διάχυτη  $S$ . Καθώς το ύψος του ηλίου αυξάνει, η απευθείας κάθετη ακτινοβολία αυξάνει μέχρι το ηλιακό μεσημέρι, μετά το οποίο ελαττώνεται μέσα σε μια αίθρια ημέρα.



Εικ. 1.2.3: Γραφική παράσταση ολικής, απευθείας και διάχυτης ακτινοβολίας.

1. Η άμεση ηλιακή ακτινοβολία εξαρτάται από:
  - i. την απόκλιση του ηλίου
  - ii. το ύψος του ηλίου
  - iii. το γεωγραφικό πλάτος του τόπου
  - iv. το υψόμετρο του τόπου
  - v. την κλίση του εδάφους
  - vi. την απορρόφηση και διάχυση της ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα
  - vii. την απόσταση Γης - ήλιου

2. Η διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία εξαρτάται από:

- i. τη κατάσταση-σύσταση της ατμόσφαιρας (υγρασία και γενικά αιωρήματα της ατμόσφαιρας)
- ii. την ημέρα κατά τη διάρκεια του έτους
- iii. τη γωνία πρόσπτωσης των ηλιακών ακτινών στη συλλεκτική επιφάνεια

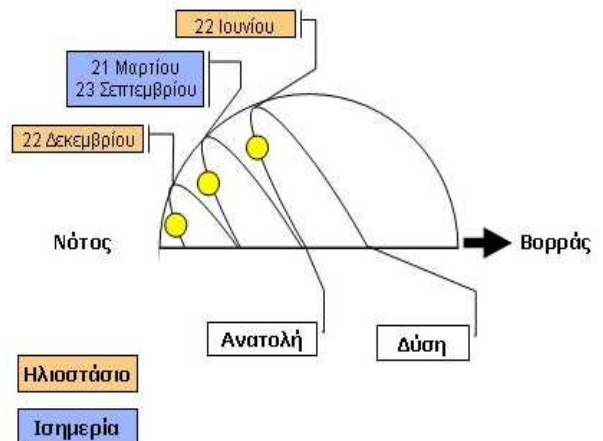
3. Η διάχυτα ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία εξαρτάται από:

- i. τη μορφολογία και το χρώμα του εδάφους
- ii. την πυκνότητα των νεφών.

### 1.3 Ηλιακή ακτινοβολία στο επίπεδο συλλεκτικής επιφάνειας. Σημασία της γωνίας κλίσης συλλέκτη.

Η τροχιά της που πραγματοποιεί η γη γύρω από τον ήλιο είναι ελλειπτική και ονομάζεται εκλειπτική. Επιπλέον πραγματοποιεί περιστροφή γύρω από τον άξονα της. Ο άξονας της γης μετατοπίζεται παράλληλα προς τον εαυτό του και σχηματίζει σταθερή γωνία με την εκλειπτική. Η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ του επιπέδου του Ισημερινού της γης με το επίπεδο της εκλειπτικής γωνίας είναι ίση με  $23,45^\circ$ .

Με την αλλαγή της θέσεως της γης κατά τη διάρκεια του έτους σε σχέση με τον ήλιο, αλλάζει το ύψος της μεσουράνησης του ήλιου σε κάθε τόπο στην επιφάνεια της γης. Έτσι όταν βρισκόμαστε στο Βόρειο ημισφαίριο η θέση της μεσουράνησης του ήλιου έχει την ελάχιστη τιμή τον χειμώνα 22 Δεκεμβρίου και τη μέγιστη τιμή το καλοκαίρι 21 Ιουνίου. Αντίστοιχα και στους τόπους του Νότιου Ημισφαιρίου. Επίσης, σε δυο θέσεις μέσα στο έτος έχουμε την λεγόμενη ισημερία δηλαδή ίση διάρκεια της ημέρας με την νύχτα, στις 21 Μαρτίου και στις 23 Σεπτεμβρίου. Η θέση του ήλιου μπορεί να καθοριστεί ως προς τον παρατηρητή με βάση δυο συντεταγμένες γωνίες, το ύψος του ήλιου, το λεγόμενο Elevation, και το Αζιμούθιο.



Εικ 1.3.1: Η θέση του Ήλιου στις ισημερίες και στα δύο ηλιοστάσια

Για την εγκατάσταση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος, απαραίτητη προϋπόθεση είναι ο προσανατολισμός του ηλιακού συλλέκτη σε σχέση με την κατεύθυνση της ηλιακής ακτινοβολίας. Η θέση του ήλιου στον ουρανό και ο προσανατολισμός ενός επιπέδου στην επιφάνεια της γης, περιγράφονται από δύο γωνίες το Elevation και το Αζιμούθιο.

Το αζιμούθιο του ήλιου (A) Ορίζεται ως η γωνία μεταξύ του κατακόρυφου επιπέδου ( που περιέχει τον ήλιο), και του μεσημβρινού, η μέτρηση του γίνεται κατά την φορά των δεικτών του ωρολογίου και με αναφορά την κατεύθυνση του βορρά και είναι από  $0-360^\circ$ . Επίσης πρέπει να σημειωθεί πως για τα φωτοβολταϊκά συστήματα η αναφορά του αζιμούθιου του ήλιου γίνεται ως προς την κατεύθυνση του Νότου, ανατολικά από  $0-180^\circ$  και δυτικά από  $0-180^\circ$ .

Το ύψος και το αζιμούθιο του ήλιου προσδιορίζονται από τις παρακάτω σχέσεις :

$$\eta_{\mu EL} = \eta_{\mu\phi} \cdot \eta_{\mu\delta} + \text{συν}\phi \cdot \text{συν}\delta \cdot \text{συν}\omega$$

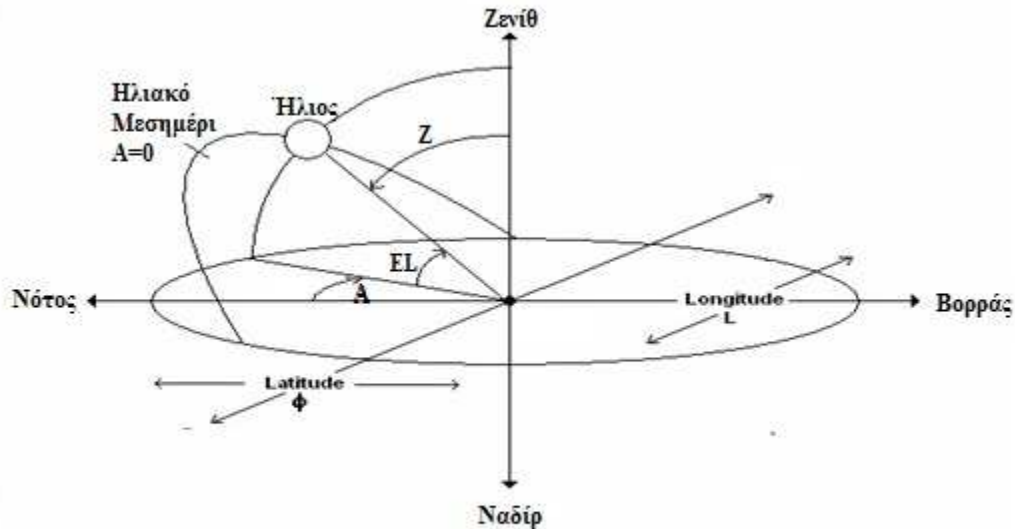
$$\eta_{\mu A} = - \frac{\text{συν}\delta \cdot \eta_{\mu\omega}}{\text{συν}EL}$$

Όπου,

$\phi$ : το γεωγραφικό πλάτος του τόπου

$\delta$ : η απόκλιση του ήλιου την δεδομένη ημέρα

$\omega$ : η ωριαία γωνία του ήλιου την στιγμή του υπολογισμού των A και EL.



Εικ 1.3.2: Το αζιμούθιο και το ύψος του Ήλιου

Κατά την ετήσια κίνηση του ο ήλιος αλλάζει συνεχώς ημερήσιο κύκλο και το ύψος μεσουράνησης του ( $ELM = (90^\circ - \phi) + \delta$ ), αυξάνει μέρα με την μέρα, από την ελάχιστη τιμή  $ELM_{\text{ελαχ.}} = (90^\circ - \phi) - 23,5^\circ$  στις 22 Δεκεμβρίου μέχρι τη μέγιστη τιμή  $ELM_{\text{μεγ.}} = (90^\circ + \phi) - 23,5^\circ$  στις 21 Ιουνίου. Για την περιοχή του Ηρακλείου το μέγιστο ύψος είναι  $78^\circ$  ενώ το ελάχιστο elevation είναι  $31^\circ$ . Όπου  $\phi$ , το γεωγραφικό πλάτος του Ηρακλείου.

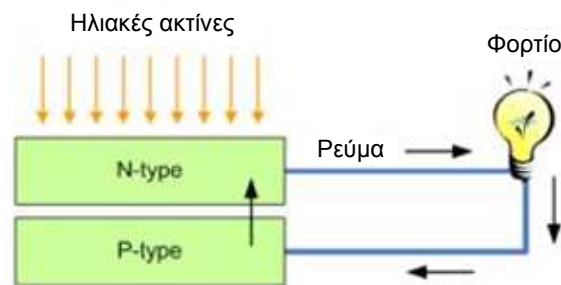
Σε ΦΒ συστήματα με συλλέκτες σε σταθερή γωνία κλίσης σημαντικό ρόλο στον προσδιορισμό της βέλτιστης γωνίας παίζουν οι επικρατούσες, στην περιοχή, μετεωρολογικές συνθήκες οι οποίες καθορίζουν τις σχέσεις μεταξύ των συνιστωσών της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας, απευθείας και διάχυτης, καθώς και το albedo του εδάφους. Για να προκύψει η βέλτιστη γωνία του συλλέκτη, επιβάλλεται καταγραφούν στοιχεία σχετικά με τους παράγοντες αυτούς και ιδιαίτερα μετρήσεις της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας, σε διάφορες γωνίες κλίσης συλλέκτη. Σε ηλιοτροπικά συστήματα η λογική στην εύρεση της κατάλληλης γωνίας διαφέρει, καθώς τα συστήματα αυτά παρακολουθούν τον ήλιο καθ' όλη την διάρκεια της μέρας.

#### 1.4 Φωτοβολταϊκά στοιχεία-πλαίσια-συστοιχίες-συστήματα.

##### Αρχή λειτουργίας φωτοβολταϊκού στοιχείου

Ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο από πυρίτιο είναι κατασκευασμένο από μία ειδική ημιαγωγική δίοδο (φωτοδίοδο), στην οποία παρατηρούμε ροή ηλεκτρικών φορέων όταν αυτή δεχθεί φως. Όταν το φως πέσει στο στοιχείο, τότε τα φωτόνια απορροφούνται από τα ηλεκτρόνια του πυριτίου. Η ενέργεια των φωτονίων διεγείρει τα ηλεκτρόνια σε μια υψηλότερη ενεργειακή στάθμη, οπότε αυτά κινούνται αφήνοντας πίσω τους μία οπή. Έτσι λοιπόν τα απορροφούμενα φωτόνια δημιουργούν ζεύγη ηλεκτρονίων – οπών. Το ηλεκτρικό πεδίο διαχωρίζει τα ηλεκτρόνια από τις οπές και η διαφορά δυναμικού που αναπτύσσεται κυμαίνεται μεταξύ 0,5-0,6 Volt. Η ύπαρξη των ηλεκτρικών φορέων και της διαφοράς δυναμικού δημιουργούν ένα ρεύμα το οποίο μπορεί να διαρρέει ένα εξωτερικό κλειστό κύκλωμα.

Το **φωτοβολταϊκό φαινόμενο** αφορά τη μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Το ΦΒ φαινόμενο ανακαλύφθηκε το 1839 από τον Ανρί Μπεκερέλ (Anri Becquerel).



Εικ. 1.4.1: Αρχή λειτουργίας ΦΒ στοιχείου.

Το φωτοβολταϊκό στοιχείο είναι το στοιχειώδες μέσο για την άμεση μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική.

Κατασκευάζεται από διάφορα υλικά, κυρίως, από πυρίτιο και διακρίνεται σε ΦΒ στοιχείο άμορφου, κρυσταλλικού ή πολυκρυσταλλικού πυριτίου. Κάθε σύστημα μετατροπής ενέργειας από μία μορφή σε μία άλλη, έχει ορισμένα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά, όπως τον βαθμό απόδοσης κ.α. Για ένα τυπικό ΦΒ στοιχείο η αναπτυσσόμενη συνεχής ηλεκτρική τάση ανοικτού κυκλώματος, είναι περίπου 0,5 V και το αντίστοιχο ηλεκτρικό ρεύμα περίπου 10 ως 40 mA/cm<sup>2</sup>.

Η αποδιδόμενη μέγιστη ισχύς είναι 1,5W για ένα στοιχείο διαστάσεων 10X10 cm, δηλαδή πάρα πολύ μικρή για οποιαδήποτε πρακτική χρήση. Για την επίτευξη πρακτικού αποτελέσματος, συνδέουμε κατάλληλα μεταξύ τους, ορισμένο πλήθος φωτοβολταϊκών στοιχείων.

### Το φωτοβολταϊκό πλαίσιο

Ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο (φωτοβολταϊκό πλαίσιο), είναι κατασκευασμένο με τη διασύνδεση φωτοβολταϊκών στοιχείων. Το φωτοβολταϊκό πλαίσιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως συστατικό ενός μεγαλύτερου φωτοβολταϊκού συστήματος για την παραγωγή και προμήθεια ηλεκτρικής ενέργειας σε εμπορικές και οικιακές εφαρμογές. Επειδή ένα πλαίσιο μόνο του μπορεί να παράγει μόνο ένα περιορισμένο ποσό ενέργειας, πληθώρα των φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων χρησιμοποιούν πάνω από ένα ΦΒ πλαίσιο.

Οι ηλιακοί συλλέκτες χρησιμοποιούν την ενέργεια του φωτός (φωτόνια) από τον ήλιο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου. Τα ΦΒ στοιχεία πρέπει να συνδέονται ηλεκτρικά μεταξύ τους αλλά και με το υπόλοιπο σύστημα. Τα στοιχεία θα πρέπει επίσης να προστατεύονται από μηχανική ζημία και την υγρασία.

Οι ηλεκτρικές συνδέσεις μεταξύ τους γίνονται σε σειρά για να επιτευχθεί μία επιθυμητή τάση εξόδου ή/και παράλληλα να παρέχει ένα επιθυμητό ρεύμα.

Το ΦΒ πλαίσιο αποτελεί την βασική δομική μονάδα κάθε μεγαλύτερης εγκατάστασης παραγωγής ΦΒ ηλεκτρικής ενέργειας, δηλαδή, της **φωτοβολταϊκής συστοιχίας** (array).

Τα χαρακτηριστικά κάθε ΦΒ στοιχείου ή πλαισίου είναι :

- Ισχύ αιχμής (peak power)

Είναι η ονομαστική ισχύς που αποδίδει το ΦΒ πλαίσιο τις πρότυπες συνθήκες ελέγχου, δηλαδή σε ακτινοβολία  $1000 \text{ W/m}^2$ , θερμοκρασία στοιχείου  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  και φάσμα ηλιακού φωτός AM 1,5

- Τάση ανοικτού κυκλώματος  $V_{OC}$  (open circuit) (voltage)

Είναι η τάση που εμφανίζεται στα άκρα του στοιχείου ή πλαισίου όταν δεν υπάρχει ηλεκτρική επαφή ή ενώνονται μέσω πολύ μεγάλης αντίστασης.

- Ρεύμα βραχυκύκλωσης  $I_{SC}$  (short circuit) (ampere)

Είναι το ρεύμα που δίνει το στοιχείο ή πλαίσιο όταν τα άκρα του είναι βραχυκυκλωμένα. Η τιμή του ρεύματος είναι ανάλογη της πυκνότητας ισχύος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που προσπίπτει στον συλλέκτη.

- Παράγοντας πλήρωσης FF (fill factor)

Είναι το πηλίκο του εμβαδού του μέγιστου εγγεγραμμένου ορθογώνιου  $I_m \cdot V_m$  προς το ιδανικό εμβαδόν  $I_{sc} \cdot V_{oc}$  και εκφράζει κατά πόσο το ΦΒ στοιχείο πλησιάζει την ιδανική συμπεριφορά του ΦΒ στοιχείου, ως πηγή σταθερού ρεύματος, δίδει το μέτρο προσέγγισης αυτής της λειτουργίας της επαφής:

$$FF = \frac{I_m \cdot V_m}{I_{sc} \cdot V_{oc}}$$

- Ενεργειακή απόδοση στοιχείου

Είναι το πηλίκο της ηλεκτρικής ισχύος που αποδίδει το ΦΒ στοιχείο στο σημείο μέγιστης ισχύος προς την προσπίπτουσα ισχύ ακτινοβολίας :

$$\eta_c = \frac{P_m}{P_{in}} = \frac{I_m \cdot V_m}{P_{in}} = \frac{FF \cdot V_{oc}}{P_{in}}$$

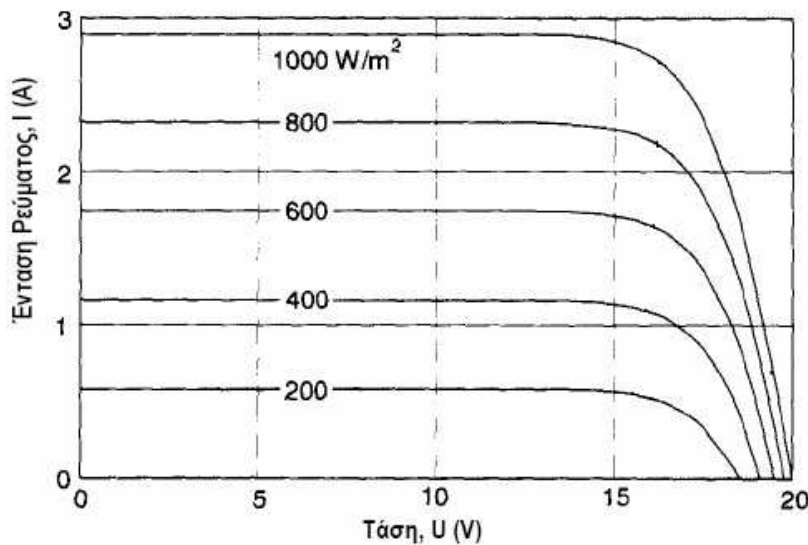
- Ενεργειακή απόδοση πλαισίου

Είναι το πηλίκο της ηλεκτρικής ισχύος που αποδίδεται στο ΦΒ πλαίσιο προς το γινόμενο της πυκνότητας ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας  $G$  επί το εμβαδόν  $S$  του πλαισίου :

$$\eta_m = \frac{P_m}{E \cdot S}$$

Κάθε ΦΒ στοιχείο ή πλαίσιο έχει μια χαρακτηριστική καμπύλη, όπου φαίνεται η ηλεκτρική συμπεριφορά του (**καμπύλη I-V**). Κάθε ηλεκτρική πηγή, η οποία παράγει ενέργεια, έχει ένα

σημείο μέγιστης λειτουργίας. Έτσι και το ΦΒ στοιχείο παρουσιάζει ένα σημείο μέγιστης ισχύος. Το σημείο αυτό παρουσιάζεται κοντά στο σημείο όπου αρχίζει η έντονη πτώση της τιμής του ρεύματος (γόνατο της καμπύλης). Το σημείο μέγιστης λειτουργίας είναι χρήσιμο για την προσαρμογή της αντίστασης του φορτίου για μέγιστη απολαβή ισχύος.



Εικ. 1.4.2: Η χαρακτηριστική καμπύλη I-V ενός ΦΒ στοιχείου για διάφορες τιμές πυκνότητας ισχύος.

Στα φωτοβολταϊκά στοιχεία δεν είναι η δυνατή η μετατροπή ολόκληρης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια. Ένα μέρος αυτής ανακλάται πάνω στην επιφάνεια του στοιχείου προς το περιβάλλον. Από την ακτινοβολία που διεισδύει στον ημιαγωγό, εκείνη η ποσότητα η οποία αποτελείται από φωτόνια, των οποίων η ενέργεια είναι μικρότερη από το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού, δεν μπορεί να απορροφηθεί. Για τα φωτόνια αυτά ο ημιαγωγός συμπεριφέρεται σαν διαφανές σώμα. Έτσι η ακτινοβολία αυτή περνά το ημιαγωγικό υλικό του στοιχείου και απορροφάται στο μεταλλικό ηλεκτρόδιο, που βρίσκεται στο πίσω μέρος της κυψέλης, με αποτέλεσμα να το θερμαίνει. Αλλά και από την ακτινοβολία που τελικά απορροφά ο ημιαγωγός, μόνο εκείνο το μέρος των φωτονίων των οποίων το ενεργειακό περιεχόμενο είναι ταυτόσημο με αυτό του διακένου. Το υπόλοιπο δεν χάνεται, αλλά μεταφέρεται με την μορφή της κινητικής ενέργειας στο ηλεκτρόνιο το οποίο ελευθερώθηκε από τον δεσμό και τελικά και αυτό μετατρέπεται σε θερμότητα. Όμως η ανάπτυξη μεγάλης θερμοκρασίας στο εσωτερικό των φωτοβολταϊκών στοιχείων, οδηγεί σε μείωση της απόδοσης τους. Έχει αποδειχτεί ότι η ροή της ακτινοβολίας στο εσωτερικό των κυψελών ακολουθεί εκθετική μορφή σε σχέση με την απόσταση που διανύει αυτή μέσα στην κυψέλη, γεγονός που συνδέεται με την επίδραση του πάχους των ημιαγωγικών τμημάτων. Όταν ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο δέχεται ακτινοβολία, παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα, το οποίο καλείται φωτόρευμα και του οποίου η τιμή είναι ανάλογη προς τα φωτόνια που απορροφά το στοιχείο. Επίσης, η απόδοση του πλαισίου είναι μικρότερη από αυτήν του στοιχείου και αυτό οφείλεται στη μη πλήρη κάλυψη της επιφάνειας του πλαισίου από στοιχεία. Όπως επίσης και από την ανομοιογένεια των στοιχείων που αποτελούν το κάθε πλαίσιο. Μεγάλο ρόλο έχει και η υγρασία, η αναπτυσσόμενη υψηλή θερμοκρασία των στοιχείων του πλαισίου καθώς και η σκόνη στην επιφάνεια του. Εν τέλει, η απόδοση ενός πλαισίου είναι μικρότερη λόγω και της ανακλαστικότητας του υαλοπίνακα που το προστατεύει.

Στην συνέχεια αναφέρονται τα **φωτοβολταϊκά συστήματα** και η δομή τους. Το φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται από ένα αριθμό μερών ή υποσυστημάτων:



- i. Τη φωτοβολταϊκή συστοιχία με τη μηχανική υποστήριξη και πιθανόν ένα σύστημα παρακολούθησης της ηλιακής τροχιάς.
- ii. Μπαταρίες (υποσύστημα αποθήκευσης).
- iii. Συσκευές μέτρησης και παρατήρησης.
- iv. Μετατροπείς τάσεις.
- v. Εφεδρική γεννήτρια.

Η επιλογή του πώς και ποια από αυτά τα στοιχεία ολοκληρώνονται μέσα στο σύστημα εξαρτάται από ποικίλες εκτιμήσεις. 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 συστοιχία, η οποία μόνη της τροφοδοτεί με ισχύ DC ένα φορτίο σε μία αίθρια ημέρα. Αυτού του τύπου το σύστημα είναι κοινό σε εφαρμογές άντλησης. Σε άλλες περιπτώσεις το σύστημα θα περιέχει συνήθως μια φροντίδα για αποθήκευση ενέργειας σε ηλεκτρικούς συσσωρευτές. Κάποια μορφή ρύθμισης της ισχύος συμπεριλαμβάνεται συχνά, όπως στην περίπτωση όταν απαιτείται ρεύμα AC στην έξοδο 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 ΦΒ συστοιχία (αλληλοεπιδρώμενο δίκτυο) . Μέσα στους ΦΒ σταθμούς όλη η παραγόμενη ισχύς τροφοδοτείται στο δίκτυο.

### 1.5 Αποθήκευση ΦΒ ηλεκτρικής ενέργειας.

Η ενότητα αυτή αναφέρεται στην ανάγκη για την αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά. Όπως γνωρίζουμε, οι ηλεκτρικοί συσσωρευτές (μπαταρίες) μετατρέπουν την ηλεκτρική ενέργεια σε χημική μορφή, για να την αποδώσει στην αρχική της μορφή ξανά όταν υπάρξει ζήτηση. Στα φωτοβολταϊκά συστήματα η αποθήκευση της ενέργειας είναι καθοριστικός παράγοντας για την λειτουργία του συστήματος διότι η ηλιοφάνεια ενός τόπου χαρακτηρίζεται από έντονες και συχνά γρήγορες μεταβολές, τόσο κατά τη διάρκεια του έτους όσο και κατά τη διάρκεια της μέρας, και οι μεταβολές αυτές θα περιόριζαν τρομερά το εύρος των δυνατών εφαρμογών της φωτοβολταϊκής ενέργειας χωρίς τη δυνατότητα της αποταμίευσης της ηλεκτρικής ενέργειας.

Οι ηλεκτρικοί συσσωρευτές είναι ουσιαστικά μετατροπείς χημικής ενέργειας σε ηλεκτρική και, συνήθως, έχουν τη δυνατότητα να εκτελούν αυτή τη μετατροπή και προς την αντίθετη κατεύθυνση παρέχοντας με άμεσο τρόπο τη δυνατότητα συσσώρευσης ηλεκτρικής ενέργειας. Η δυνατότητα που έχουν να αποταμιεύουν ενέργεια ανά πάσα στιγμή ή όχι είναι αυτή που χωρίζει τους συσσωρευτές σε δύο κατηγορίες.

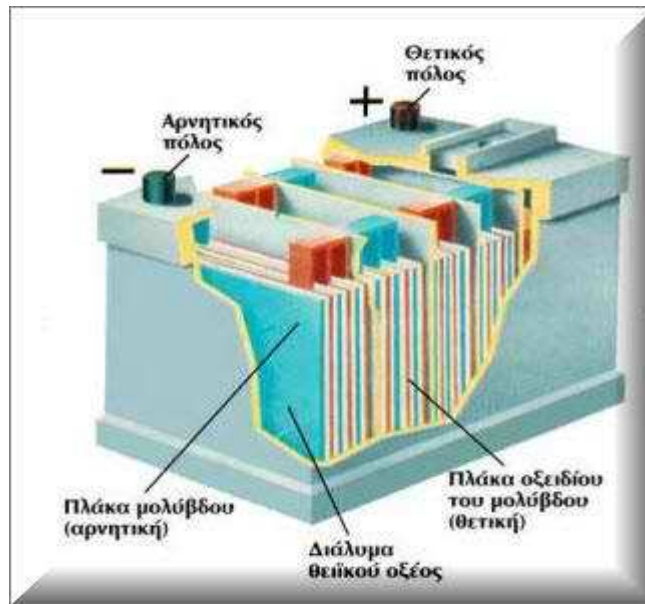
Στην κατηγορία των πρωτευόντων (primary) συσσωρευτών ανήκουν αυτοί που έχουν αποθηκευμένη χημική ενέργεια την οποία και μπορούν να την αποδώσουν ως ηλεκτρική, δεν μπορούν όμως να επαναφορτιστούν. Οι τυπικές μπαταρίες λιθίου που χρησιμοποιούνται σε ηλεκτρονικές συσκευές ευρείας κατανάλωσης ανήκουν σε αυτήν την κατηγορία και επειδή δεν μπορούν να επαναφορτιστούν δεν είναι λειτουργικές στα φωτοβολταϊκά συστήματα.

Αυτές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ΦΒ συστήματα ανήκουν στην κατηγορία των δευτερευόντων (secondary) συσσωρευτών. Η δυνατότητα τους να επαναφορτίζονται είναι αυτή που τους κάνει κατάλληλους για φωτοβολταϊκά συστήματα και ο πιο συνηθισμένος τύπος τους είναι οι μπαταρίες μολύβδου-οξειδίου.

Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του συσσωρευτή

Τα χαρακτηριστικά που προσδιορίζουν τις δυνατότητες ενός συσσωρευτή είναι η ονομαστική τάση ή αλλιώς ηλεκτρεγερτική δύναμη (HEΔ) [Volt] στα άκρα της μπαταρίας και η ονομαστική χωρητικότητά τους C [Ah].

Ένα στοιχείο ηλεκτρικού συσσωρευτή αποτελείται από δύο μεταλλικά ηλεκτρόδια, συνήθως, με την μορφή επίπεδων πλακών, τα οποία βρίσκονται μέσα σε διάλυμα ηλεκτρολύτη, ο οποίος αντιδρά επιφανειακά με τις πλάκες (Σχήμα 3.1). Κατά το στάδιο της φόρτισής του, μια ηλεκτρική πηγή συνεχούς τάσης συνδέεται στα άκρα του και δημιουργεί στο εσωτερικό του ηλεκτρικό πεδίο το οποίο κινεί ευκίνητα ιόντα του ηλεκτρολύτη προς τις αντίθετα πολωμένες πλάκες του συσσωρευτή(+/-), όπου αποδίδουν το φορτίο τους.



**Εικ.1.5.1 Κατασκευαστική δομή του ηλεκτρικού συσσωρευτή.**

Αποτέλεσμα των χημικών αντιδράσεων που συμβαίνουν στα μεταλλικά ηλεκτρόδια, είναι η αλλοίωση της δομής τους, σε βάθος μερικών μικρών, μετατρέπόμενα σε νέα, διαφορετικά μεταξύ τους σώματα. Τα αλλοιωμένα ηλεκτρόδια εμφανίζουν διαφορετικά ηλεκτροχημικά δυναμικά ως προς το διάλυμα το οποίο ισούται με την HEΔ του συσσωρευτή.

#### Τύποι συσσωρευτών

Οι πιο γνωστοί και ευρέως χρησιμοποιούμενοι τύποι συσσωρευτών μολύβδου είναι οι συσσωρευτές μολύβδου-θειικού οξέος, μολύβδου-αντιμονίου (Pb-Sb), οι συσσωρευτές μολύβδου-ασβεστίου (Pb-Ca), οι υβριδικοί συσσωρευτές μολύβδου-αντιμονίου/ μολύβδου-ασβεστίου, οι μολύβδου με δεσμευμένο καταλύτη που μπορεί να είναι gelled ή absorbed glass material (AGM).

Οι συσσωρευτές μολύβδου-θειικού οξέος είναι ίσως ο δημοφιλέστερος τύπος και ο οποίος χρησιμοποιήθηκε αρχικά σε υποβρύχια. Έχουν υψηλή μηχανική αντοχή, αυξημένη δυνατότητα για βαθιές εκφορτίσεις, με δυνατότητα μεγάλων ρευμάτων σε αντίθεση με τους κοινούς συσσωρευτές μολύβδου. Στις περισσότερες εφαρμογές φωτοβολταϊκών και γενικά στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ), χρησιμοποιούνται οι συσσωρευτές μολύβδου-αντιμονίου (Pb-Sb) και οι συσσωρευτές μολύβδου-ασβεστίου (Pb-Ca) βυθισμένες σε διάλυμα θειικού οξέος, λόγω του ότι είναι πιο φθηνά στην αρχική τους αγορά.

Για εφαρμογές φωτοβολταϊκών συστημάτων, όπου οι ανάγκες κατανάλωσης πολύ σπάνια συμβαδίζουν με τις ώρες παραγωγής και την παραγόμενη ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας, περισσότερο κατάλληλοι είναι οι συσσωρευτές που έχουν τη δυνατότητα να υποστούν βαθιά

εκφόρτιση χωρίς να αλλοιώνεται η χωρητικότητα τους και να μειώνεται η διάρκεια ζωής για μεγάλο χρονικό διάστημα. Αναλόγως του φορτίου, άλλοτε είναι απαραίτητη η δυνατότητα παροχής εντόνου ρεύματος για μικρά χρονικά διαστήματα και άλλοτε η παροχή μίας κανονικής τιμής ρεύματος για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Συχνά οι απαιτήσεις του φορτίου σε κατανάλωση δεν είναι τόσο μεγάλες όσο η ανάγκη η κατανάλωση να παρέχεται με αξιοπιστία και για μεγάλες χρονικές περιόδους και άλλες φορές ο τύπος της εγκατάστασης είναι τόσο δυσπρόσιτος που προτιμώνται συσσωρευτές με μικρές ανάγκες συντήρησης και επίβλεψης. Άρα η σωστή επιλογή του τύπου συσσωρευτών είναι πολύ σημαντικός παράγοντας για την φωτοβολταϊκή εγκατάσταση και θέλει σωστή μελέτη.

## 1.6 Ηλεκτρονικές διατάξεις στα φωτοβολταϊκά συστήματα.

Η διαχείριση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από τη ΦΒ συστοιχία, απαιτεί την παρεμβολή κατάλληλων ηλεκτρονικών διατάξεων, με σκοπό τη βελτιστοποίηση της μεταφοράς της ενέργειας κατά τον οικονομικότερο τρόπο καθώς και την προστασία του συσσωρευτή από υπερφόρτιση ή υπερεκφόρτιση. Δύο είναι τα είδη που χρησιμοποιούνται ευρέως στα ΦΒ συστήματα: Ο φορτιστής/επιτηρητής του συσσωρευτή και οι μετατροπείς τάσης. Σε περιπτώσεις που υπάρχουν ΦΒ συστοιχίες οι οποίες είναι τοποθετημένες σε ηλιοτροπικά συστήματα παρακολούθησης του ήλιου απαιτείται και ηλεκτρονική διάταξη που να οδηγεί τον κινητήρα ή τους κινητήρες.

1. Αρχικά αναφέρονται οι ρυθμιστές (regulators) που είναι ηλεκτρονικές διατάξεις οι οποίες ρυθμίζουν την ροή ενέργειας από και προς τους συσσωρευτές σε ένα ΦΒ σύστημα.

Γενικά, ο ελεγκτής (ρυθμιστής) φόρτισης – εκφόρτισης ενός συσσωρευτή, παρακολουθεί την διαδικασία φόρτισης και εκφόρτισης ώστε να αποκόπτεi το σύστημα αποθήκευσης, αφενός από το σύστημα παραγωγής της ενέργειας, στην περίπτωση της υπερφόρτισης, και αφετέρου από το σύστημα κατανάλωσης στην περίπτωση της υπερεκφόρτισης. Και στις δύο περιπτώσεις, η διακοπή αυτή πραγματοποιείται όταν η τάση στα άκρα του συσσωρευτή ξεπεράσει, προς τα άνω ή προς τα κάτω, ορισμένα όρια τάσης, όπου στην συνέχεια ενεργοποιούνται οι ηλεκτρονικοί διακόπτες.

Μια μονάδα ελέγχου φόρτισης-εκφόρτισης, περιλαμβάνει, γενικά, σύνολο ολοκληρωμένων συστημάτων είτε μικροελεγκτές, που ελέγχουν ηλεκτρικούς διακόπτες, είτε ηλεκτρομηχανικούς (ρελέ), είτε ηλεκτρονικά ισχύος (thyristor, MOSFETs κ.λπ.). σε κάθε περίπτωση, στο κύκλωμα παρεμβάλλεται μια δίοδος, για την προστασία του συστήματος από εκφόρτιση.

### 2. Μετατροπείς τάσης

Είναι ηλεκτρονικές διατάξεις, μετατροπής:

- i. συνεχούς ρεύματος σε συνεχές (DC-DC converter), οποιασδήποτε τάσης
- ii. συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο (DC-AC converter), οποιουδήποτε πλάτους και
- iii. εναλλασσόμενης τάσης σε συνεχή (AC-DC converter)

- DC-DC μετατροπέας

Η μετατροπή μιας συνεχούς τάσης σε συνεχή βασίζεται στην χρήση υψίσυχων διακοπτικών στοιχείων με τα οποία είναι δυνατή η διαχείριση μεγάλης ισχύς, με ελάχιστες απώλειες. Η

διάταξη μετατρέπει συνεχή τάση, μεγαλύτερης ή μικρότερης τιμής, ανάλογα με τις απαιτήσεις, συμβάλλοντας στη μείωση των καταναλώσεων στη γραμμή μεταφοράς από το χώρο παραγωγής στο χώρο αποθήκευσης.

Ο μετατροπέας αυτός χρησιμοποιείται σε πολλά ΦΒ συστήματα για την σταθεροποίηση της τάσης από τον επιτηρητή φόρτισης του συσσωρευτή προς όλες υπόλοιπες τις ηλεκτρονικές διατάξεις για την τροφοδοσία τους. Πολλές φορές είναι και ενδιάμεσο στοιχείο στην τροφοδοσία φορτίων συνεχούς ρεύματος (DC Load).

- DC-AC μετατροπέας

Η χρησιμοποίηση του εναλλασσόμενου ρεύματος σε ΦΒ εφαρμογές επιβάλλεται στις περισσότερες των περιπτώσεων, εξαιτίας της επικράτησής του, κατά γενικό τρόπο, σε κάθε είδους οικιακές χρήσεις και εφαρμογές καθώς και στη βιομηχανία. Ο τρόπος που χρησιμοποιείται κατά κόρον στις ΦΒ εγκαταστάσεις είναι αυτός με τη χρήση του καθαρά ηλεκτρονικού μετατροπέα (inverter).

Ο inverter είναι ένα ηλεκτρονικό σύστημα ισχύος που μετατρέπει συνεχή τάση σε εναλλασσόμενη (μονοφασική ή τριφασική). Είναι μία γέφυρα τεσσάρων παλμών και αποτελείται από ηλεκτρονικούς διακόπτες (π.χ. διπολικά transistors, thyristor, MOSFETs κ.λπ.).

- AC-DC μετατροπέας

Στην διάταξη αυτή γίνεται ο συνδυασμός μετασχηματισμού της τάσης της πηγής (δηλαδή εναλλασσόμενης), ανόρθωσης της παρεχόμενης τάσης από τον μετασχηματιστή και μετασχηματισμού αυτής σε συνεχή. Πιθανή είναι και η μη χρησιμοποίησης μετασχηματιστή και αντί αυτού έναν μετατροπέα DC-DC μετά την ανόρθωση.

Τέτοιες διατάξεις χρησιμοποιούνται κυρίως στα τροφοδοτικά συσκευών συνεχούς ρεύματος για να αποφευχθεί η επιβάρυνση τις μπαταρίας του συστήματος από επιπλέον φορτία.

### 3. Ηλεκτρονικές διατάξεις οδήγησης κινητήρων

Σε ηλιοτροπικά ΦΒ συστήματα παρακολούθησης του ήλιου δημιουργείται η ανάγκη της χρήσης ηλεκτρικών κινητήρων για την κίνηση των αξόνων. Σε ένα ηλιοτρόπιο πολικού άξονα απαιτείται μόνο ένας κινητήρας, ενώ σε ηλιοτρόπιο δύο αξόνων χρειάζονται δύο κινητήρες. Για την οδήγηση αυτών των κινητήρων χρησιμοποιούμε διατάξεις ηλεκτρονικών ισχύος. Μια τέτοια διάταξη (παρόμοια με αυτή του μετατροπέα εναλλασσόμενη σε συνεχή τάση) είναι μία γέφυρα τεσσάρων παλμών με τη διαφορά ότι οι παλμοί που οδηγούν τους ηλεκτρονικούς διακόπτες ελέγχονται αυτόματα με την χρήση μικροελεγκτή ή PLC και όχι από την εναλλαγή της τάσης σε συγκεκριμένη συχνότητα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2



## ΗΛΙΟΤΡΟΠΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

## 2.1 Ηλιοτρόπια. Τύποι και χαρακτηριστικά ηλιοτροπίων

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 ήλιου.

Στις περισσότερες διατάξεις οι βασικές μονάδες στερεώνονται σ' ένα σταθερό κεκλιμένο επίπεδο με την πρόσοψη προς τον ισημερινό. Αυτό είναι μια απλή εφαρμογή, δηλαδή κανένα κινούμενο τμήμα και με χαμηλό κόστος. Διακρίνουμε τρεις τρόπους στήριξης συλλεκτών. Σταθερής στήριξης, εποχιακά ρυθμιζόμενης και συνεχούς παρακολούθησης της θέσης του Ήλιου (ηλιοτρόπια).

Αρχικά αναφέρονται ονομαστικά τα ηλιοτροπικά συστήματα:

- i. Ηλιοτρόπιο ενός άξονα
- ii. Ηλιοτρόπιο δύο αξόνων

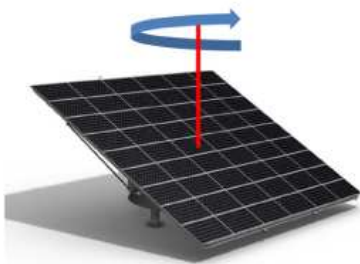
### 1. Ηλιοτρόπιο ενός άξονα.

Τα ηλιοτρόπια ενός άξονα είναι το αζιμουθιακό, το πολικό και το ηλιοτρόπιο σταθερής ή μεταβλητής γωνίας κλίσης της συστοιχίας.



Εικ. 2.1.1 Ηλιοτρόπιο πολικού άξονα

Στο **αζιμουθιακό ηλιοτρόπιο** η συστοιχία περιστρέφεται με κατάλληλο μηχανισμό, γύρω από έναν άξονα. Η περιστροφή γίνεται προς τον κατακόρυφο άξονα. Ο ήλιος βρίσκεται συνεχώς στο επίπεδο που είναι στο κάθετο του συλλέκτη και περιέχει τον κατακόρυφο άξονα.



Εικ. 2.1.2 Αζιμουθιακό ηλιοτρόπιο.

Στο **πολικό ηλιοτρόπιο** η συστοιχία περιστρέφεται με κατάλληλο μηχανισμό, γύρω από έναν άξονα. Η περιστροφή γίνεται προς τον πολικό άξονα. Ο ήλιος βρίσκεται συνεχώς στο επίπεδο που είναι στο κάθετο του συλλέκτη και περιέχει τον πολικό άξονα.

Το πρωί με την ανατολή του ήλιου η συστοιχία στρέφεται έτσι ώστε ο ήλιος να αποδίδει το μέγιστο της διαθέσιμης ενέργειας.

Στα ηλιοτρόπια **σταθερής** είτε **μεταβλητής γωνίας κλίσης** της συστοιχίας, βασικό χαρακτηριστικό είναι η απουσία κινητών μερών κατά την στήριξη της συστοιχίας, καθώς ιδιαίτερα μάλιστα αν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σε περιοχές όπου επικρατούν ισχυροί άνεμοι. Κατά κανόνα επιλέγεται νότιος αζιμουθιακός προσανατολισμός για τη συστοιχία και γωνία κλίσης κοντά στο γεωγραφικό πλάτος του τόπου. Όταν η γωνία κλίσης ισούται ακριβώς με το  $\varphi$  του τόπου, οι ακτίνες του ήλιου πέφτουν κάθετα στο συλλέκτη δύο φορές το χρόνο (το μεσημέρι των ισημεριών). Επίσης όσον αφορά την εποχική ρύθμιση οι τυπικές θέσεις είναι μία για το θερινό εξάμηνο (21 Μαρτίου), με κλίση  $\beta_{\theta} = \varphi - 15^{\circ}$  και μία για το χειμερινό εξάμηνο (22 Σεπτεμβρίου) με κλίση  $\beta_{\theta} = \varphi + 15^{\circ}$ .

### 2. Ηλιοτρόπιο δύο αξόνων.

Η παρακολούθηση του Ήλιου με περιστροφή γύρω από δύο άξονες, επιτυγχάνεται μέσω δύο, διαδοχικών κινήσεων του συλλέκτη κατά το ύψος (elevation) και κατά το αζιμούθιο του ηλίου. Η διάταξη που πραγματοποιεί αυτές τις κινήσεις ονομάζεται ηλιοτρόπιο δύο αξόνων και χαρακτηρίζεται από το ότι ο συλλέκτης προσανατολίζεται συνεχώς ως προς τον ήλιο έτσι ώστε οι ακτίνες της απευθείας ακτινοβολίας να προσπίπτουν κάθετα στην επιφάνειά του. Η διάταξη με τη δύση του ήλιου όπως θα αναφερθεί αναλυτικά και πιο κάτω γυρνάει σε μια θέση αναφοράς για την προστασία του από πιθανούς ισχυρούς ανέμους μέχρι την ανατολή του ήλιου, όπου τότε ξεκινάει την παρακολούθηση.

## 2.2 Τρόποι ελέγχου θέσης ηλιοτροπίου. Πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα

Για την κίνηση που χρειάζεται να γίνει στα ηλιοτροπικά συστήματα χρησιμοποιούνται ηλεκτρικοί κινητήρες, είτε βηματικοί είτε κινητήρες συνεχούς περιστροφής, μειωτήρες αλλά και ηλεκτρονικές συσκευές για τον έλεγχο των στροφών και τον προσανατολισμό του επιπέδου του συλλέκτη. Δύο τρόποι έλεγχου θέσης για τα ηλιοτρόπια με την χρήση ηλεκτρικών κινητήρων είναι:

- Οπτικό σύστημα ανίχνευσης της θέσης (οπτικοί αισθητήρες)
  - Καταμέτρηση σπών με την χρήση ειδικών διατάξεων encoders
- i) Το οπτικό σύστημα στην πιο απλή του μορφή αποτελείται από δύο αισθητήρες φωτός (φωτοδίοδους) δεξιά και αριστερά ενός λεπτού πετάσματος. Η διαφορά φωτισμού των διόδων παρέχει το κριτήριο της στροφής της διάταξης. Όμως κατά τη διάρκεια της μιας μερικά συννεφιασμένης μέρας, οι ανακλάσεις των ηλιακών ακτίνων, στις συστάδες των σύννεφων, δημιουργούν πρόβλημα αναγνώρισης του πραγματικού ηλίου το οπτικό σύστημα θεωρεί ισοδύναμες όλες τις θέσεις ανάκλασης και προσπαθεί να προσανατολιστεί, μη αποκλειόμενη της πλήρως περιστροφής του συστήματος. Απαιτούνται, άρα πρόσθετα ηλεκτρονικά συστήματα ελέγχου, με αποτέλεσμα, το αρχικό πλεονέκτημα της απλότητας να εκμηδενίζεται και η διάταξη να μετατρέπεται σε πολύπλοκη και δυσλειτουργική.

Συνοπτικά τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα μιας τέτοιας διάταξης:

Πλεονεκτήματα:

- Εύκολη εγκατάσταση των οπτικών αισθητήρων στη διάταξη της συστοιχίας
- Χαμηλό κόστος των αισθητήρων

Μειονεκτήματα:

- Πολύπλοκο καθώς δημιουργείται ανάγκη προσαρμογής ηλεκτρονικών διατάξεων για το χειρισμό του
- Αύξηση του κόστους με την πρόσθεση ηλεκτρονικών διατάξεων
- Πρόβλημα παρακολούθησης του ηλίου σε μη αίθριες ημέρες

- ii) Σε συστήματα παρακολούθησης του ήλιου, όταν απαιτείται ακρίβεια, ο προσδιορισμός των κατάλληλων γωνιών στροφής γίνεται με ειδικές διατάξεις (encoders), η λειτουργία των οποίων βασίζεται, είτε στην καταμέτρηση οπών, είτε σε ηλεκτρικό ροοστάτη περιστροφικής λειτουργίας. Μία συσκευή encoder είναι αυτή που έχει την αρχή λειτουργίας ενός οπτοζεύκτη (optocoupler). Απαρτίζεται από ένα φωτοτρανζίστορ και μία φωτοδίοδο. Το φωτοτρανζίστορ εκπέμπει φως προς την φωτοδίοδο κάθε φορά που ο encoder συναντά μία οπή. Η πολυπλοκότητα της διάταξης αυξάνεται, καθώς η κατασκευή ενός δίσκου οπών, που προσκολλείται επάνω στον άξονα του κινητήρα, απαιτεί εξειδικευμένη μελέτη. Σε κάθε περίπτωση όπως και προηγουμένως απαιτείται η εγκατάσταση πρόσθετων ηλεκτρονικών διατάξεων για τον έλεγχο της περιστροφής του συστήματος.

Συνοπτικά τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα μιας διάταξης (encoder):

Πλεονεκτήματα:

- Μέγιστη απόκριση στην στροφή της διάταξης ώστε οι ακτίνες του ήλιου να προσπίπτουν κάθετα στη συστοιχία, σε όλες τις καιρικές συνθήκες
- Χαμηλό κόστος των συσκευών (encoders)

Μειονεκτήματα:

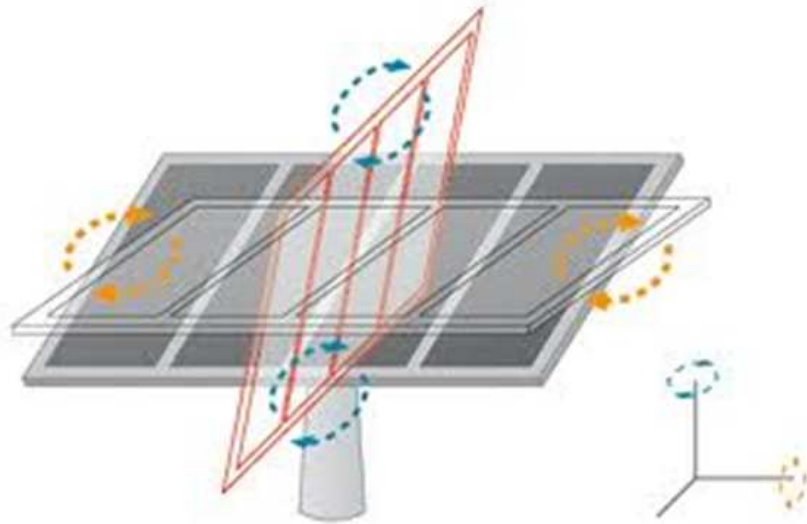
- Πολύπλοκο καθώς δημιουργείται ανάγκη προσαρμογής ηλεκτρονικών διατάξεων για το χειρισμό του
- Αύξηση του κόστους με την πρόσθεση ηλεκτρονικών διατάξεων
- Κατασκευή μηχανολογικού εξαρτήματος για το «διάβασμα» των οπών.

### 2.3 Ηλιοτρόπιο δύο αξόνων

Στερεώνοντας τη διάταξη πάνω σε σύστημα με δύο άξονες παρακολούθησης του ήλιου, μπορεί να συλλεχθεί μέχρι 40% 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.

Η παρακολούθηση του ήλιου με περιστροφή γύρω από δύο άξονες, επιτυγχάνεται μέσω δύο διαδοχικών κινήσεων του συλλέκτη με ηλεκτρικούς είτε βηματικούς κινητήρες, με μειωτήρες και έλεγχο στροφών, για τον προσανατολισμό του επιπέδου, κάθετα στην απευθείας ηλιακή ακτινοβολία. Η διάταξη αυτή ονομάζεται Ηλιοτρόπιο (tracker) δύο αξόνων από το ότι ο συλλέκτης προσανατολίζεται συνεχώς προς τον ήλιο, έτσι ώστε οι ακτίνες της απευθείας ακτινοβολίας του ήλιου να προσπίπτουν κάθετα (ή σχεδόν κάθετα) στην επιφάνειά του. Η διάταξη με τη δύση του ήλιου, επιστρέφει σε θέση αναφοράς, που χαρακτηρίζεται από νότιο προσανατολισμό και μικρή γωνία κλίσης, προκειμένου να προφυλαχθεί από πιθανό ισχυρό άνεμο, μέχρι την ανατολή. Λίγο πριν την ανατολή του ήλιου, ο μηχανισμός στρέφει τον συλλέκτη, έτσι ώστε οι ηλιακές ακτίνες τότε, να προσπέσουν κάθετα σ' αυτόν. Από τη χρονική στιγμή αυτή, αρχίζει η παρακολούθηση του ήλιου.



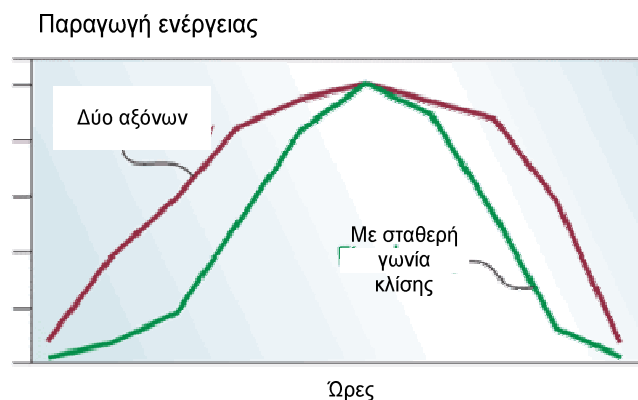


Εικ. 2.3.1 Ηλιοτρόπιο δύο αξόνων.

Η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια κίνησης της διάταξης προέρχεται από την παραγόμενη από τη συστοιχία, ΦΒ ηλεκτρική ενέργεια.

Το κλειδί για την κατανόηση των πλεονεκτημάτων της παρακολούθησης με ηλιοτρόπιο δύο αξόνων είναι η σημασία της γωνίας πρόσπτωσης, η γωνία στην οποία οι ακτίνες του ήλιου προσπίπτουν στη ΦΒ συστοιχία. Για να επισημανθεί πώς η γωνία πρόσπτωσης επηρεάζει την πυκνότητα ισχύος της απευθείας ηλιακής ακτινοβολίας και ενδεχομένως την παραγωγή ενέργειας, χρησιμοποιείται ο τύπος  $E = E_0 \cdot \sin\theta$ , όπου  $\theta$  είναι η γωνία πρόσπτωσης ως προς την κάθετη στην επιφάνεια της επιφάνειας του συλλέκτη. Έτσι, η ένταση είναι μέγιστη όταν  $\theta = 0$ . Αυτό συμβαίνει όταν οι ακτίνες του ήλιου χτυπούν ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο κάθετα. Όσο μεγαλύτερη είναι η γωνία πρόσπτωσης, τόσο μικρότερη είναι η ποσότητα της ενέργειας που παράγει. Όσο μικρότερη η περίοδος ενεργοποίησης του μηχανισμού στροφής, τόσο καλύτερα προσεγγίζεται η κατάσταση συνεχούς κάθετης πρόσπτωσης των ηλιακών ακτίνων.

Η Εικ.2.3.2 αποτελεί μια αντιπροσωπευτική καμπύλη της ισχύος που παράγεται από σύστημα συστοιχίας δύο αξόνων προεξέχοντας πάνω από την καμπύλη της ισχύος που παράγεται από ένα σύστημα σταθερής συστοιχίας. Κάτι που θα εξεταστεί και στο επόμενο κεφάλαιο από το πείραμα σύγκρισης, η περιοχή μεταξύ των καμπυλών αντιπροσωπεύει την πρόσθετη παραγόμενη ισχύ από το σύστημα δύο αξόνων.



Εικ. 2.3.2 Καμπύλη της ισχύος

Όσον αφορά τώρα τη **σκίαση**, την **απόσταση** και το λόγο διαστάσεων των ΦΒ πλαισίων πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψιν στα συστήματα παρακολούθησης. Στις πρώτες πρωινές ώρες και αργά το απόγευμα όταν ο ήλιος είναι χαμηλά στον ουρανό, τα πλαίσια στη συστοιχία θα πρέπει να στέκονται κάθετα (ή σχεδόν κάθετα) ώστε να κοιτάει απευθείας τον ήλιο. Δεδομένου ότι το πλαίσιο της συστοιχίας περιστρέφονται επάνω από την οριζόντια, αποκτούν όλο και μεγαλύτερο ύψος. Αυτό το ύψος στο πλαίσιο οδηγεί τελικά σε σκίαση του πλαισίου που βρίσκεται πίσω από αυτό. Όσο πιο κοντά είναι μεταξύ τους οι συστοιχίες των πλαισίων, τόσο πιο γρήγορα θα συμβεί το φαινόμενο της σκίασης. Ενώ οι συστοιχίες των πλαισίων θα μπορούσαν να εξαπλωθούν στο χώρο και να έχουν απόσταση μεταξύ τους, πάντα θα υπάρχει σκίαση όταν ο ήλιος πλησιάζει στον ορίζοντα.

Βασικό μειονέκτημα είναι οι οικονομικές επιπτώσεις του ηλιοτρόπιου διπλού άξονα. Επειδή το σύστημα δύο αξόνων παράγει περίπου 30% περισσότερη ισχύ από κάθε πλαίσιο, μπορεί να επιτευχθεί η ίδια ισχύς με 19% λιγότερα πλαίσια, το οποίο μειώνει το αρχικό κόστος της κατασκευής σε σχέση με τα σταθερής θέσης πλαίσια. Από την άλλη πλευρά, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο ίδιος αριθμός πλαισίων, όπως είχε αρχικά προγραμματιστεί και να παραχθεί 30% περισσότερη ισχύ και να υπάρξει αύξηση των εσόδων. Βέβαια αυτό μειώνει το χρόνο αποπληρωμής του έργου λίγο περισσότερο από το μισό του αρχικού χρόνου και επίσης αυξάνει την συνολική απόδοση της επένδυσης, ανάλογα με τις οικονομικές λεπτομέρειες του έργου. Επιπρόσθετα υπάρχει και η οικονομική επιβάρυνση για την κατασκευή των μηχανολογικών και ηλεκτρονικών διατάξεων τμημάτων καθώς και η έκθεση της συστοιχίας στον κίνδυνο καταστροφής, εξαιτίας ισχυρού ανέμου.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3



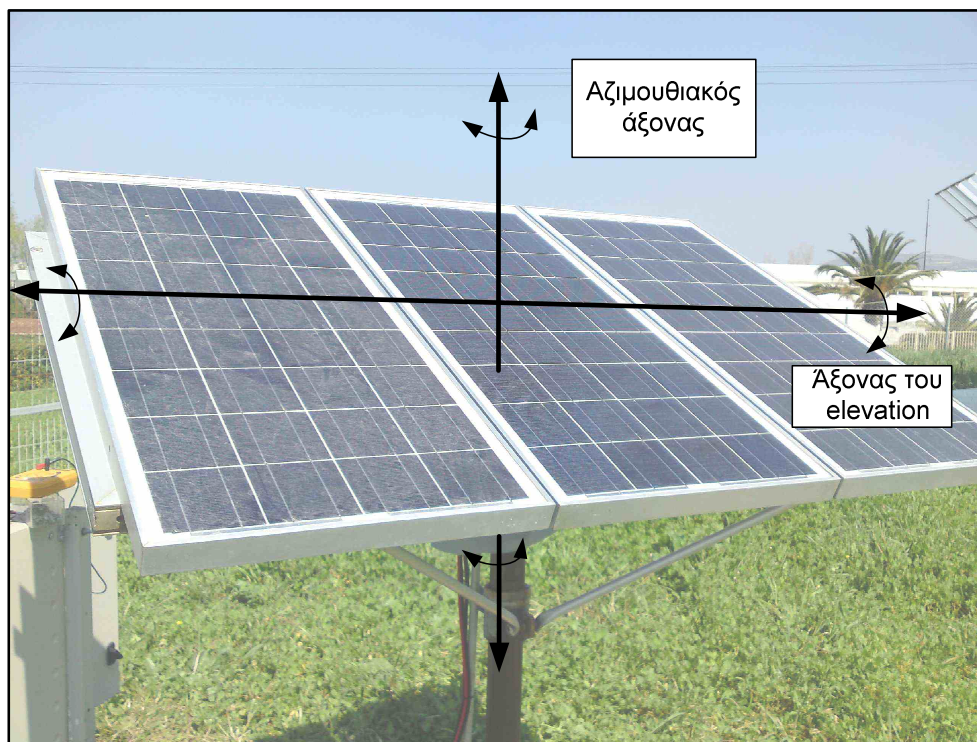
ΕΙΔΙΚΟ ΘΕΜΑ

### 3.1. Κατασκευαστικές λεπτομέρειες ηλιοτροπίου δύο αξόνων.

Η βασική ιδέα της κατασκευής αυτής είναι η χρήση ηλεκτρονικών, ηλεκτρικών και μηχανολογικών εξαρτημάτων ώστε με το συνδυασμό τους να συμβάλουν στην αυτονομία του συστήματος. Η δυνατότητα επέμβασης και γενικότερα του χειρισμού του από απόσταση μέσω του Η/Υ, αλλά κυρίως η αυτονομία του συστήματος. Τα μέρη της κατασκευής αυτής ονομάζονται υποσυστήματα (ελέγχου, μηχανολογικό, προστασίας κλπ.).

Στο σημείο αυτό αναλύονται οι **μηχανολογικές λεπτομέρειες** του ήδη εγκατεστημένου συστήματος που βρίσκεται στο Φωτοβολταϊκό Πάρκο του Τ.Ε.Ι. Κρήτης.

Όπως επισημάνθηκε και στα προηγούμενα κεφάλαια, για την κίνηση του ηλιοτροπικού συστήματος δύο αξόνων, χρησιμοποιούνται δύο ηλεκτρικοί κινητήρες. Ο ένας για τον αζιμουθιακό άξονα και ο άλλος για τον άξονα του ύψους (*elevation*) βλ. *Εικ.3.1.1*.



*Εικ. 3.1.1 Άξονες της κατασκευής ηλιοτροπίου*

Ο κινητήρας του αζιμούθιου σε συνδυασμό με έναν μειωτήρα και ο κινητήρας του ύψους κινούν αντίστοιχα, τον άξονα του αζιμούθιου και τον άξονα του ύψους. Τα ΦΒ πλαίσια, τα οποία εγκαταστάθηκαν αργότερα, είναι τοποθετημένα επάνω σε μία βάση, κατασκευασμένη από αλουμίνιο, της οποίας η κλίση καθορίζεται από τους βραχίονες στήριξης της βάσης. Με τη σειρά τους οι βραχίονες παίρνουν το ανάλογο ύψος που τους το καθορίζει ο κινητήρας του ύψους. Παρόμοιος είναι και τρόπος στροφής της διάταξης ως προς τον αζιμουθιακό άξονα, καθώς ο κινητήρας αζιμούθιου με έναν μάντα μεταφέρει τις στροφές του στον άξονα και τον περιστρέφει.

Επίσης ένα από τα σημαντικότερα τμήματα της διάταξης και άξια προσοχής είναι οι ειδικά διαμορφωμένοι δίσκοι οπών οπού είναι προσκολλημένοι στους άξονες του κινητήρων. Οι δίσκοι που περιλαμβάνονται στους encoders έχουν σοβαρό ρόλο στην επικοινωνία με τις ηλεκτρονικές διατάξεις που προστέθηκαν αργότερα.

Για την προστασία των κινητήρων υπάρχουν, στο σύστημα, τερματικοί διακόπτες στις ακραίες θέσεις των δύο αξόνων. Οι τερματικοί είναι συνδεδεμένοι σε σειρά με τον κάθε κινητήρα ώστε όταν φτάσει στην ακραία θέση από πιθανό σφάλμα του χρήστη ή αστοχία του συστήματος οδήγησης, να διακόπτεται η τροφοδοσία τους.

Στη συνέχεια αναφέρονται **οι εργασίες συντήρησης** που έγιναν στην κατασκευή.

Αρχικά σημειώνεται ότι έγινε καθαρισμός και επάλειψη με γράσο και με ειδικό αντισκουριακό υγρό σε όλα τα σημεία που υπάρχει τριβή μεταξύ των μηχανολογικών μερών το οποίο θεωρήθηκε αναγκαίο λόγω του μεγάλου χρονικού διαστήματος ακινησίας της διάταξης.

Επίσης σημαντικό είναι να αναφέρουμε ότι οι εγκατεστημένες ειδικές διατάξεις (*optocouplers*), χρειάστηκαν αλλαγή καθώς είχαν καταστραφεί λόγω υγρασίας ή/και τριβή με το δίσκο οπών. Στη θέση τους εγκαταστάθηκαν καινούριες και βελτιωμένες διατάξεις *optocouplers* με την προσθήκη φίλτρου για την αποκοπή του θορύβου των παλμών που παράγουν(0 - 5V).

Αλλαγές έγιναν επίσης και στις συγκολλήσεις των επαφών των τερματικών με τα καλώδια τους καθώς και αντικατάσταση σε κλέμες και κουτιά διακλαδώσεων.

### **3.2. Μελέτη - Κατασκευή (σχέδια και υλοποίηση) ηλεκτρονικής διάταξης ελέγχου κίνησης ηλιοτροπίου (Microcontroller)**

Η διάταξη πριν αρκετό χρονικό διάστημα (2007) ήταν σε λειτουργία για δύο συνεχή έτη. Υπήρχε έτοιμη ηλεκτρονική διάταξη με κεντρικό πυρήνα έναν μικροελεγκτή (*microcontroller*). Ύστερα από έκθεση της διάταξης του μικροελεγκτή σε βροχή, καταστράφηκε και το μόνο που παρέμεινε ανέπαφο ήταν ο μικροελεγκτής μαζί με το πρόγραμμα που οδηγούσε το σύστημα ηλιοτροπίου δύο αξόνων, όπου βρισκόταν στο εσωτερικό του.

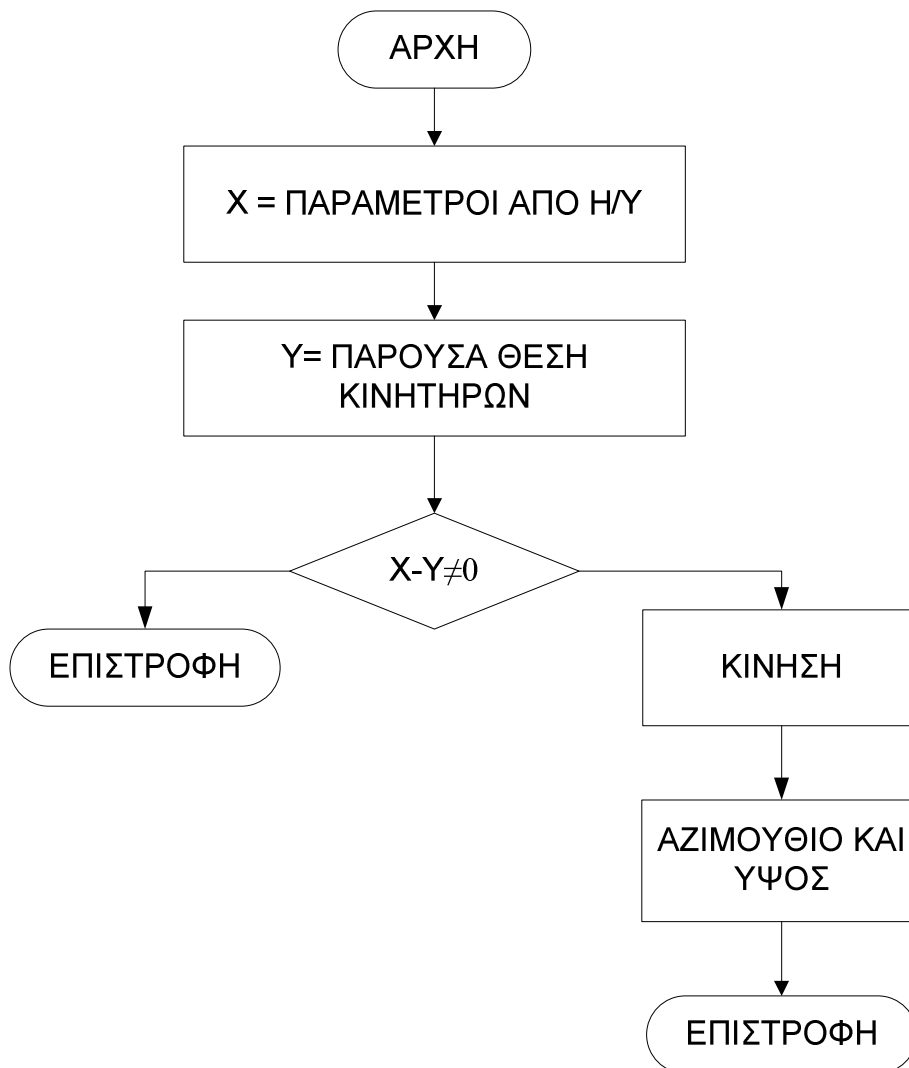
Είναι πολύ σημαντικό να διευκρινιστεί, ότι το πρόγραμμα, που ήταν εγκατεστημένο στο μικροελεγκτή δεν υπήρχε διαθέσιμο, εκτός του μικροελεγκτή, και η ανάκτησή του ήταν αδύνατη, με σκοπό τη μελέτη του προγράμματος αλλά και τον επαναπρογραμματισμό νέου μικροελεγκτή. Η παλιά πλακέτα του μικροελεγκτή ήταν πρόχειρα τυπωμένη καθώς δεν περιείχε κανένα στοιχείο προστασίας των κυκλωμάτων της από θορύβους. Τα ηλεκτρονικά στοιχεία που οδηγούσαν τους κινητήρες ήταν στον ίδιο χώρο με τα υπόλοιπα στοιχεία και αυτό δυσκόλευε την παρέμβαση συντήρησής της. Επίσης η πλακέτα δεν είχε προστασία από υγρασία και αυτό την έκανε ευάλωτη στον χρόνο.

Δημιουργήθηκε η ανάγκη επανακατασκευής της πλακέτας στη λογισμική φιλοσοφία του παλιού μικροελεγκτή. Μετά από μελέτη των σχεδίων της προηγούμενης πλακέτας προσδιορίστηκαν όλες οι λειτουργίες του μικροελεγκτή που χρησιμοποιούνται από το πρόγραμμα.

### 3.2.1. Το πρόγραμμα του μικροελεγκτή και οι πλακέτες

Στη συνέχεια, παρουσιάζεται το **διάγραμμα ροής του προγράμματος του μικροελεγκτή** το οποίο προσδιορίστηκε πλήρως μετά από εμπειρική χρήση του στο πείραμα.

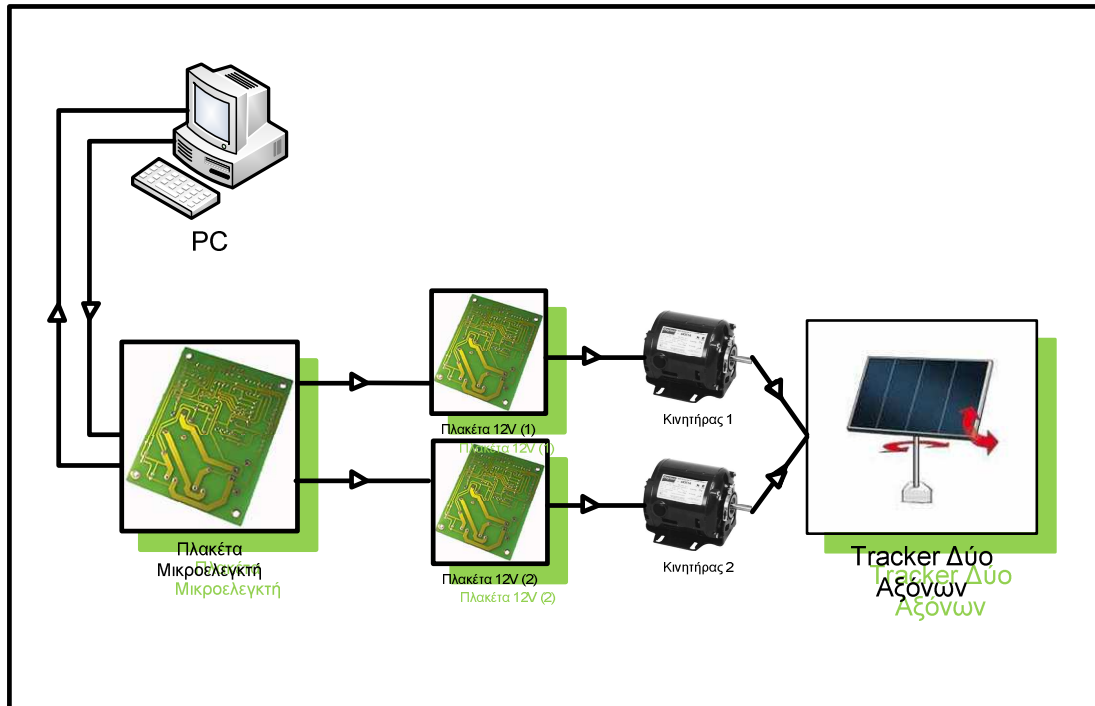
Η βασική λειτουργία της κίνησης του συλλέκτη γίνεται μέσω της πλακέτας του μικροελεγκτή, η οποία παίρνει τα δεδομένα των συντεταγμένων κίνησης του ήλιο από τον Η/Υ<sup>1</sup>. Τα δεδομένα αυτά δίνουν εντολή εκκίνησης στον ανάλογο κινητήρα ώστε, να στρέψει τον συλλέκτη προς την ανάλογη θέση.



Εικ. 3.2.1.1 Διάγραμμα ροής του προγράμματος στο εσωτερικό του μικροελεγκτή

<sup>1</sup> Λεπτομέρειες του χειρισμού και γενικότερες οδηγίες χρήσης δίνονται στο παράρτημα Α στο τέλος της εργασίας.

Αρχικά για την κατανόηση της διάταξης δίνεται ένα γενικό διάγραμμα ροής πληροφοριών και επικοινωνίας του συστήματος.



Εικ. 3.2.2.1 Διάγραμμα ροής της διάταξης πλακετών

Η επικοινωνία μεταξύ της πλακέτας και του ηλεκτρονικού υπολογιστή είναι αμφίδρομη, καθώς ο Η/Υ δέχεται αλλά και αποστέλλει δεδομένα. Οι πληροφορίες που δέχεται ο Η/Υ από την πλακέτα του μικροελεγκτή είναι στην ουσία **παλμοί**. Οι παλμοί αυτοί παράγονται από τους οπτοζεύκτες (*encoders*) οι οποίοι «διαβάζουν» τη θέση των κινητήρων με ακρίβεια ( μία στροφή αντιστοιχεί με δέκα παλμούς). Επίσης και το πρόγραμμα στον Η/Υ στέλνει πληροφορίες (παλμούς) στη πλακέτα για να δώσει εντολή στον μικροελεγκτή. Η συχνότητα αποστολής εντολών καθορίζεται από το χρήστη.

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται ο ηλεκτρικός πίνακας που περιέχει όλες τις ηλεκτρονικές διατάξεις και συσκευές της κατασκευής.



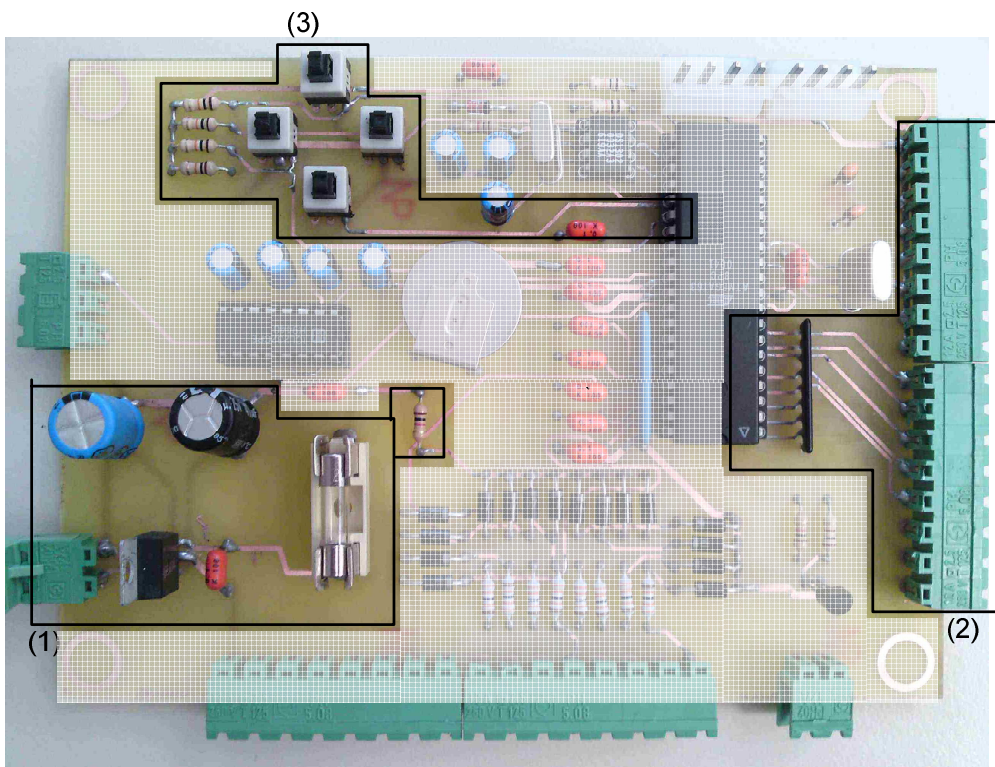
Εικ. 3.2.2.2 Ο ηλεκτρικός πίνακας



### 3.2.2. Κατασκευαστικές λεπτομέρειες της πλακέτας του μικροελεγκτή

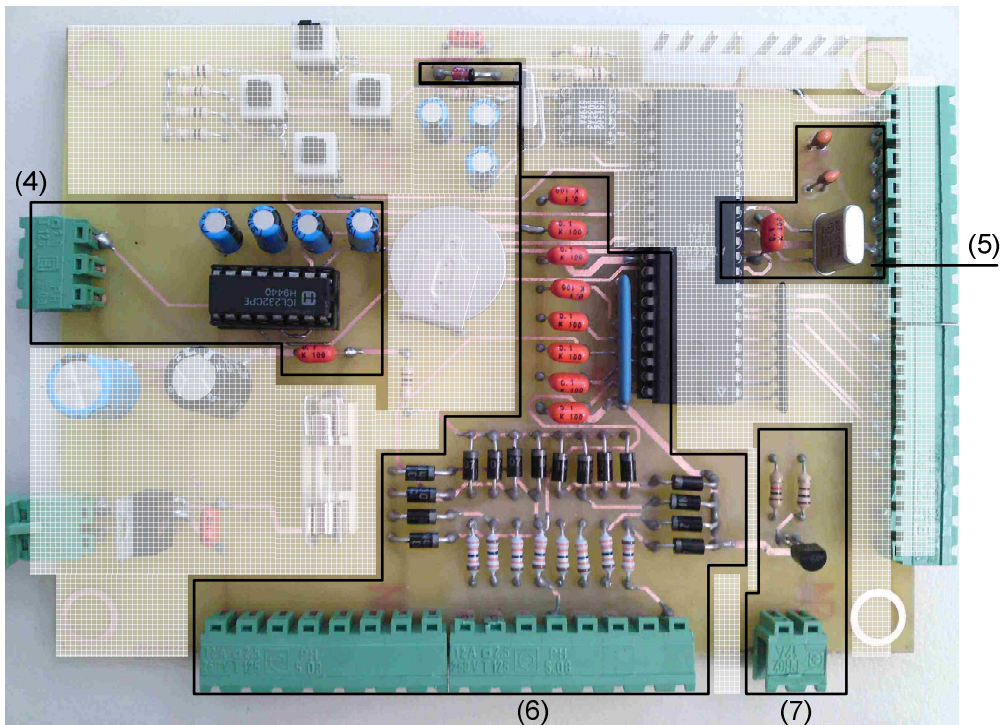
Στην ενότητα αυτή περιγράφεται αναλυτικά η πλακέτα του μικροελεγκτή. Η νέα αυτή διάταξη (πλακέτα) χωρίζεται σε τρεις επιμέρους διατάξεις, από τις οποίες η μία είναι αυτή του ελέγχου της κίνησης και οι άλλες δύο για τον κάθε κινητήρα και επικοινωνούν μεταξύ τους με καλωδιωταινίες. Παρακάτω παρουσιάζονται τα κυκλώματα όπως είναι ακριβώς τυπωμένα επάνω στις πλακέτες.

Παρακάτω αναλύονται τα κυκλώματα που βρίσκονται τυπωμένα επάνω στην **πλακέτα του μικροελεγκτή**.



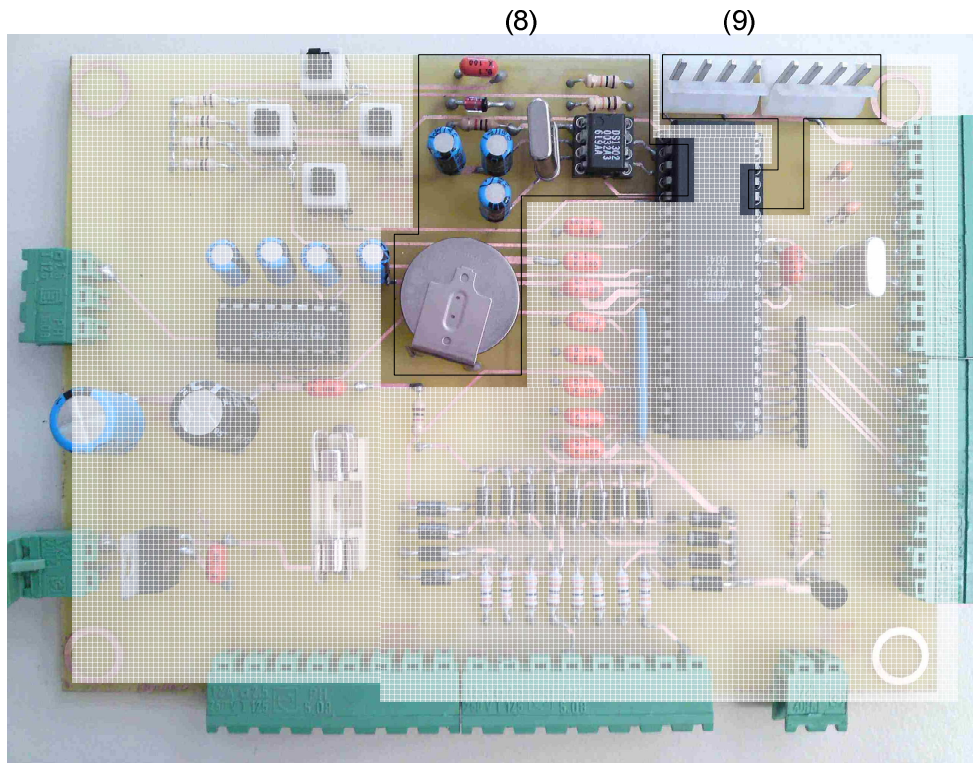
Εικ. 3.2.2.2 Ανάλυση πλακέτας μικροελεγκτή (α)

- (1) Κύκλωμα τάσης εισόδου: Στην κλέμα συνδέεται συνεχής τάση 12V DC και στην συνέχεια με τη βοήθεια του (Volt Regulator), η τάση μετατρέπεται σε 5V DC για να τροφοδοτήσει τα υπόλοιπα κυκλώματα της πλακέτας τα οποία λειτουργούν με αυτή την τάση. Επίσης το κύκλωμα της πλακέτας προστατεύεται από μία ασφάλεια του 0,5A.
- (2) Κύκλωμα εισόδου των αισθητήριων στο μικροελεγκτή: Με την βοήθεια των pull-up αντιστάσεων συνδέονται στις κλέμες, απ' τις οποίες η μία είναι για τα θετικά <+> και η άλλη για την επιστροφή (GND), οι αισθητήρες και τυχόν τερματικοί. Συγκεκριμένα συνδέονται με σειρά: ο encoder του αζιμούθιου, ο encoder του elevation, ο τερματικός στην ελάχιστη θέση του αζιμούθιου, ο τερματικός στη μέγιστη θέση του αζιμούθιου, ο τερματικός στην ελάχιστη θέση του elevation, ο τερματικός στη μέγιστη θέση του elevation, ο τερματικός στη μεσαία θέση του αζιμούθιου, και ο τερματικός στη μεσαία θέση του elevation.
- (3) Κύκλωμα των μπουτόν: Τα τέσσερα μπουτόν καθορίζουν την φορά περιστροφής των δύο κινητήρων. Χρησιμοποιούνται για χειροκίνητο έλεγχο της θέσης του συλλέκτη.



Εικ. 3.2.2.3 Ανάλυση πλακέτας μικροελεγκτή (β)

- (4) Κύκλωμα σύνδεσης με τον Η/Υ: Στην κλέμα συνδέεται καλώδιο RS232 το οποίο συνδέεται στην αντίστοιχη θύρα του Η/Υ. Την επικοινωνία με τον μικροελεγκτή (ATMEGA163), έχει αναλάβει το ολοκληρωμένο DS232CJ.
- (5) Κύκλωμα χρονισμού του μικροελεγκτή: Στον μικροελεγκτή μπαίνει εξωτερικός κρύσταλλος χρονισμού στα 8MHz.
- (6) Κύκλωμα αναλογικών εισόδων μικροελεγκτή: Στις κλέμες συνδέονται τα φωτοβολταϊκά πλαίσια με σκοπό τις πειραματικές μετρήσεις. Οι δίοδοι υπάρχουν για να κρατάνε την τάση σταθερή και οι αντιστάσεις εν σειρά και παράλληλες αντιστάσεις δημιουργούν ένα διαιρέτη τάσης για να έχουμε την τάση που χρειάζεται το φωτοβολταϊκό πλαίσιο.
- (7) Κύκλωμα επανεκκίνησης του μικροελεγκτή: Χρησιμοποιείται σε ορισμένες περιπτώσεις.

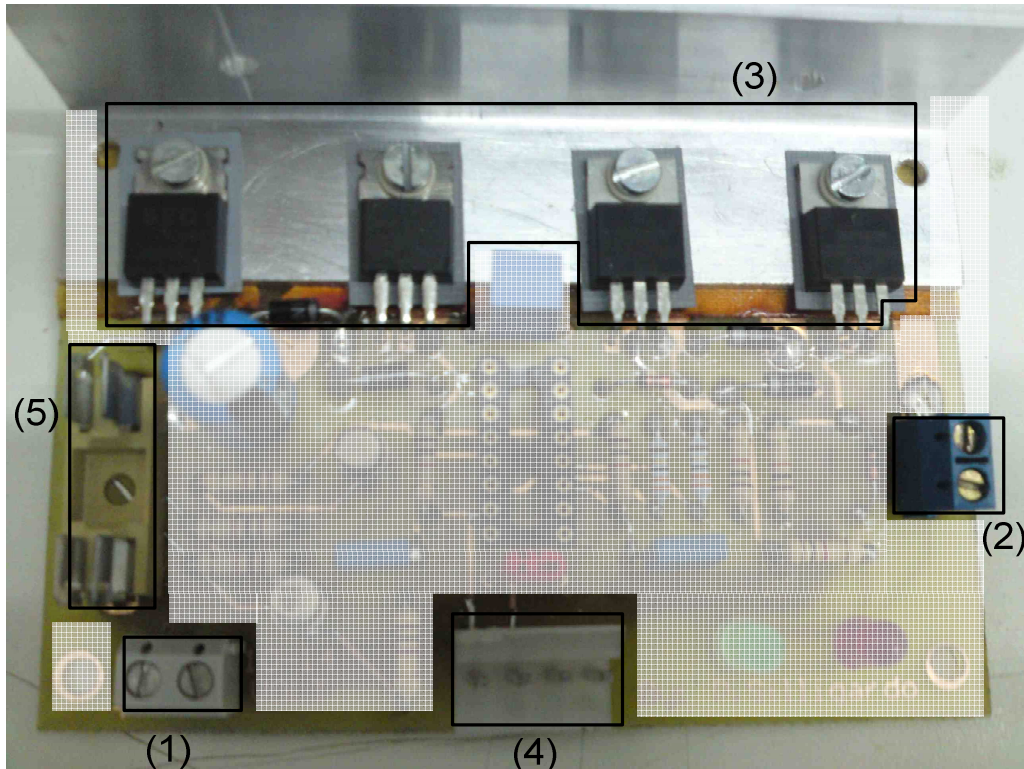


Εικ. 3.2.2.4 Ανάλυση πλακέτας μικροελεγκτή (γ)

- (8) Κύκλωμα ρολογιού του μικροελεγκτή: Το ολοκληρωμένο DS1302, το οποίο παίρνει τάση από τη μπαταρία των 3V, έχει το δικό του εξωτερικό κρύσταλλο χρονισμού στα 8MHz. Συνδέεται με τον μικροελεγκτή (ATMEGA163) ο οποίος χρησιμοποιεί δεδομένα του.
- (9) Κύκλωμα επέκτασης προς τις άλλες πλακέτες: Στην ουσία είναι η προέκταση γραμμών του ATMEGA163 προς τις γέφυρες MOSFET για τον έλεγχο των κινητήρων. Οι πλακέτες επικοινωνούν μεταξύ τους με καλωδιοταινίες.

Στη συνέχεια αναλύεται η **πλακέτα των κινητήρων** η οποία είναι ίδια και για τους δύο κινητήρες. Η πλακέτα περιέχει τέσσερα MOSFET που απαρτίζουν μία γέφυρα η οποία ελέγχει την συμπεριφορά του κινητήρα. Επάνω στην άσπρη κλέμα συνδέεται η τροφοδοσία από την μπαταρία 12V DC και στην μπλε κλέμα συνδέεται ο κινητήρας.

Πιο αναλυτικά:



Εικ. 3.2.2.5 Ανάλυση πλακέτας των κινητήρων

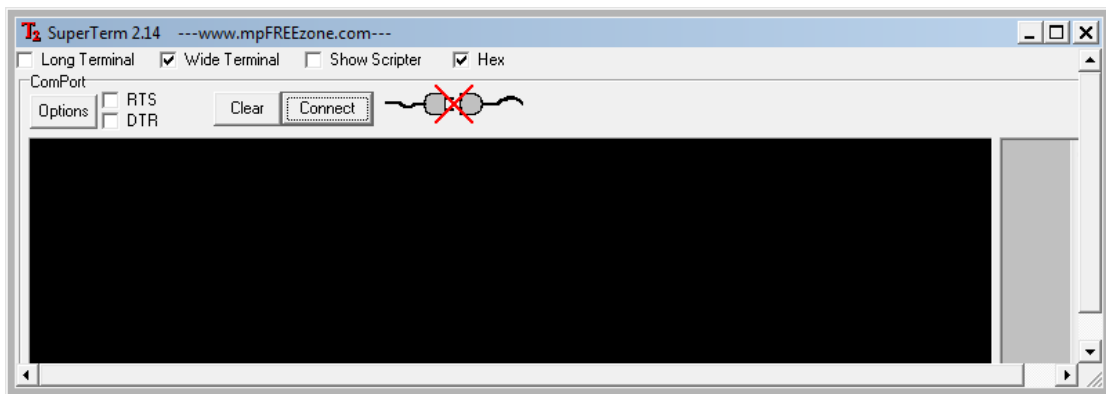
- (1) Κλέμα τάσης εισόδου: Στην κλέμα συνδέεται συνεχής τάση 12V DC για να τροφοδοτήσει τα υπόλοιπα κυκλώματα της πλακέτας τα οποία λειτουργούν με αυτή την τάση.
- (2) Κλέμα σύνδεσης φορτίου (κινητήρα): Στην κλέμα συνδέεται ο κινητήρας (είτε του azimuth είτε του elevation). Για να είναι σωστή η πολικότητα πρέπει να γίνει έλεγχος στην κατασκευή του tracker δύο αξόνων όπου βρίσκεται στο ΦΒ πάρκο του ΤΕΙ σε σχέση με το πρόγραμμα στον Η/Υ.
- (3) Η γέφυρα MOSFET: Στην γέφυρα, τα τέσσερα MOSFET δουλεύουν ανά ζευγάρια για την κάθε φορά (αριστερή και δεξιά) του κινητήρα. Στην ουσία η γέφυρα δουλεύει σαν διακόπτης εναλλαγής της φοράς του κινητήρα.
- (4) Κλέμα επικοινωνίας μεταξύ πλακετών: Στην κλέμα αυτή συνδέεται η καλωδιοταινία. Η καλωδιοταινία συνδέει την πλακέτα αυτή με την πλακέτα του μικροελεγκτή η οποία μεταφέρει το σήμα εκκίνησης και φοράς περιστροφής του κινητήρα.
- (5) Ασφάλεια προστασίας: Σε σειρά με την κλέμα εισόδου συνδέεται η ασφάλεια προστασίας. Η ασφάλεια διαφέρει στη κάθε πλακέτα των κινητήρων διότι ο κινητήρας του αξιμούθιου απαιτεί ασφάλεια 3A ενώ ο κινητήρας του ύψους 5A.

### 3.2.3. Τα προγράμματα στον Η/Υ

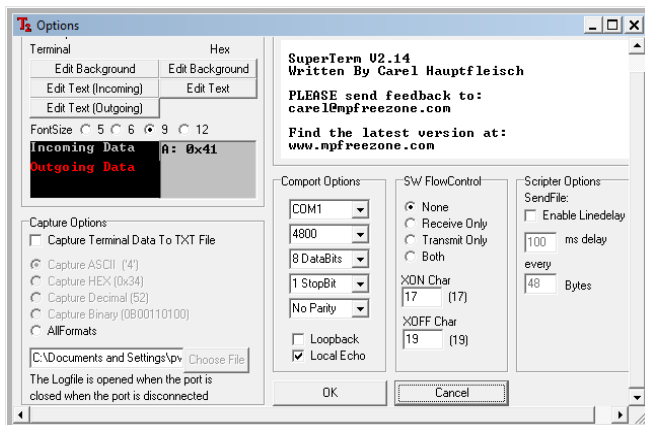
Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα πρόγραμμα τα οποία χρησιμοποιούνται στο σύστημα οδήγησης του ηλιοτροπίου δύο αξόνων. Στον φάκελο όπου βρίσκεται το πρόγραμμα, υπάρχουν τα αρχεία “suntracker.exe”, “suntracker.ini”, “terminalv2.14.exe”, “TerminalLog.txt” και “terminalv2.14.ini”. Από αυτά, χρησιμοποιούνται μόνο τα εκτελέσιμα αρχεία με την κατάληξη “.exe”.

- **Terminal και RS232**

Το terminal είναι ένα πρόγραμμα επικοινωνίας της πλακέτας με τον Η/Υ μέσω της θύρας RS232. Μέσω του ολοκληρωμένου MAX232 της πλακέτας του μικροελεγκτή γίνεται αυτή η επικοινωνία. Στις παρακάτω φωτογραφίες περιγράφεται η χρήση του terminal.



Εικ. 3.2.3.1 Terminal v2.14



Εικ.3.2.3.2 Ρυθμίσεις του terminal

- **Κυρίως πρόγραμμα (SunTracker.exe)**

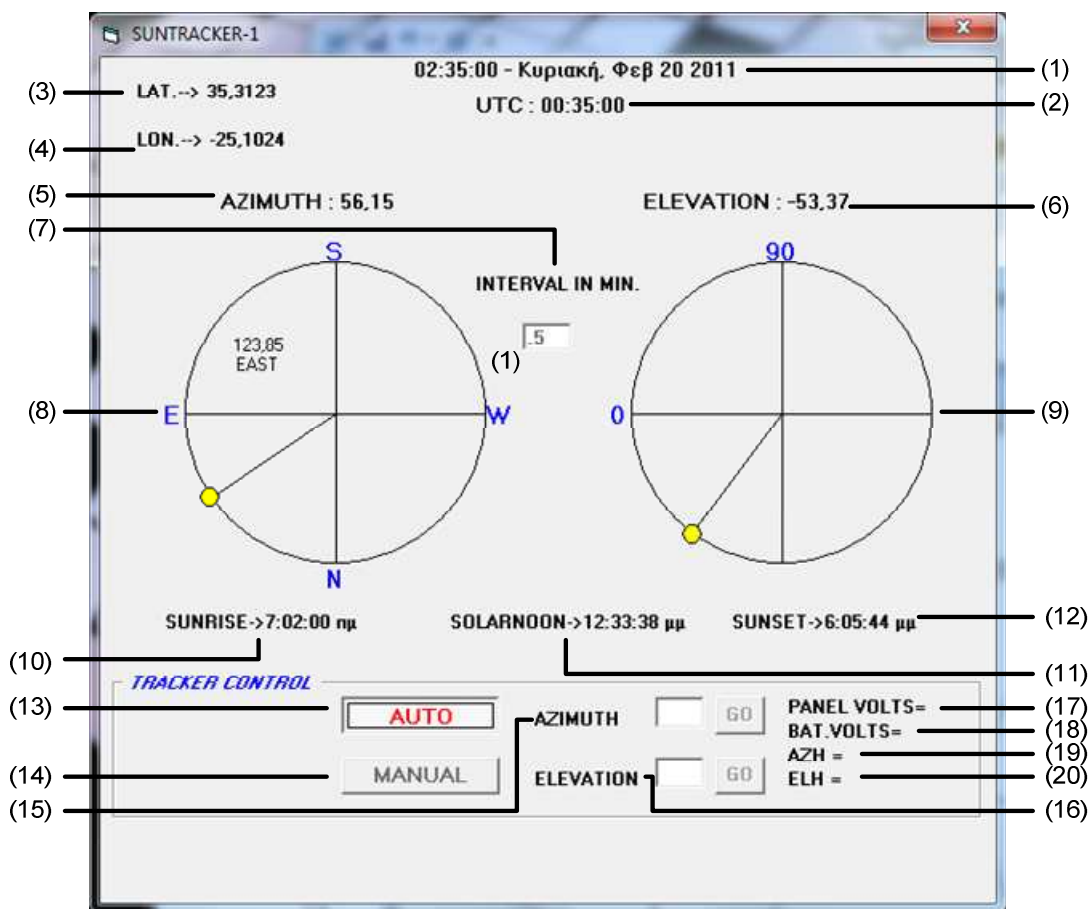
Στο πρόγραμμα αυτό έχουν εισαχθεί διάφορες πληροφορίες για την εφαρμογή της κατασκευής tracker δύο αξόνων. Αυτές οι πληροφορίες έχουν να κάνουν με δεδομένα όπως είναι η παγκόσμια ώρα, το γεωγραφικό πλάτος και μήκος της περιοχής. Το πρόγραμμα περιέχει αλγόριθμο ο οποίος υπολογίζει την ώρα της ανατολής και της δύσης του ήλιου καθώς την ώρα του ηλιακού μεσημεριού τα οποία μεταβάλλονται καθημερινά. Το πιο βασικό στοιχείο του προγράμματος είναι η παρακολούθηση της θέσης των αξόνων αλλά και η απεικόνισή τους σχηματικά. Συγκεκριμένα εμφανίζονται με γραφήματα η παρούσα θέση του

Αρχικά πρέπει να γίνουν οι απαραίτητες ρυθμίσεις.

Θύρα	COM1
Baud rate	4800
Flow Control	None

Έπειτα για να βεβαιωθούμε ότι η πλακέτα δεν έχει κανένα πρόβλημα αρχικά την συνδέουμε στον Η/Υ μέσω της θύρας RS232. Στην συνέχεια πατάμε “Connect”. Έπειτα δίνουμε ρεύμα στην πλακέτα και περιμένουμε να μας βγάλει κάποια ένδειξη. Έτσι καταλαβαίνουμε ότι η πλακέτα επικοινωνεί ορθά με τον Η/Υ.

αζιμούθιου και του ύψους του tracker. Επιπρόσθετα έχει δείκτες της τάσης της μπαταρίας, του αζιμούθιου, του ύψους αλλά και της τάσης του ΦΒ πλαισίου. Όλες αυτές οι πληροφορίες όπως και οι ενδείξεις μετρήσεων παρουσιάζονται εδώ:



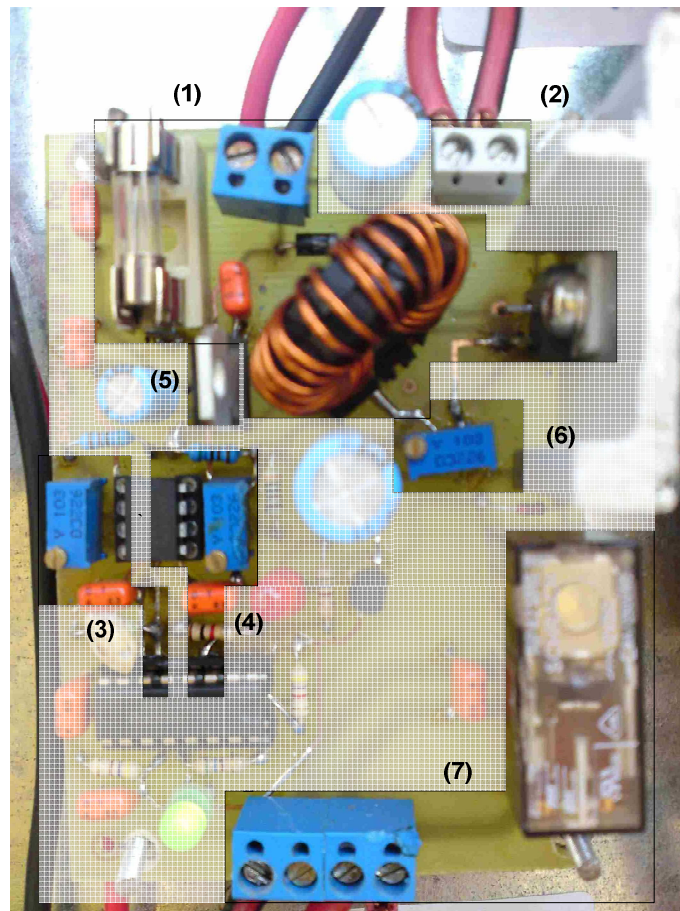
Εικόνα 3.2.3.3 Το πρόγραμμα suntracker.exe

- (1) Ημερομηνία και ώρα
- (2) Συγχρονισμένος Παγκόσμιος Χρόνος
- (3) Γεωγραφικό πλάτος
- (4) Γεωγραφικό μήκος
- (5) Αζιμούθιο
- (6) Ανύψωση
- (7) Κάθε πόσα λεπτά να στέλνει δεδομένα στην πλακέτα
- (8) Γράφημα προσανατολισμού (αζιμούθιο)
- (9) Γράφημα ύψους (ανύψωση)
- (10) Η ακριβείς ώρα της ανατολής του ήλιου
- (11) Η ακριβείς ώρα του ηλιακού μεσημεριού
- (12) Η ακριβείς ώρα της δύσης του ήλιου
- (13) Εντολή για αυτόματο χειρισμό της πλακέτας
- (14) Εντολή για χειροκίνητο χειρισμό της πλακέτας
- (15) Καταχώρηση επιθυμητής τιμής μεταβολής του αζιμούθιου για χειροκίνητο έλεγχο
- (16) Καταχώρηση επιθυμητής τιμής μεταβολής του ύψους για χειροκίνητο έλεγχο
- (17) Η ένδειξη της τάσης του ΦΒ πλαισίου σε περίπτωση που έχουμε συνδέσει κάποιο πλαίσιο.
- (18) Η ένδειξη της τάσης της μπαταρίας
- (19) Η ένδειξη της τιμής του αζιμούθιου
- (20) Η ένδειξη της τιμής του ύψους

### 3.2.4. Επιπρόσθετες ηλεκτρονικές διατάξεις για την λειτουργία του συστήματος

Οι πλακέτες αλλά και οι συσκευές χρησιμοποιούν τον επιτηρητή-φορτιστή του συσσωρευτή (μπαταρίας) για την τροφοδοσία τους. Ο επιτηρητής-φορτιστής πληροί όλες τις απαιτήσεις του συσσωρευτή αλλά και των φορτίων. Δηλαδή προστατεύει τον συσσωρευτή από υπερφορτίσεις και υπερεκφορτίσεις και τροφοδοτεί τα φορτία με σταθερή τάση. Η πλακέτα του επιτηρητή περιέχει ένα μεταγωγέα (ρελέ) δύο καταστάσεων, τις οποίες καθορίζει ο συγκριτής (τελεστικός). Όταν ο τελεστικός κρίνει ότι η τάση της μπαταρίας είναι ικανή να τροφοδοτήσει τα φορτία, συνδέει την τάση της μπαταρίας με τα φορτία και σε άλλη περίπτωση τα αποκόπτει. Η τάση που προέρχεται από τη ΦΒ συστοιχία συνδέεται επάνω στους ακροδέκτες του συσσωρευτή, μετά από ρύθμισή της στα 13,8 V.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται η διάταξη του επιτηρητή-φορτιστή του συσσωρευτή και γίνεται ανάλυση των επιμέρους κυκλωμάτων.



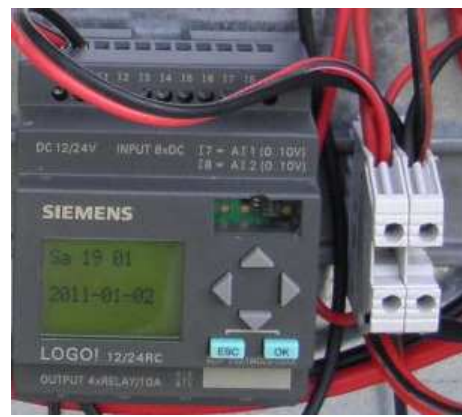
Εικόνα 3.2.4.1 Η πλακέτα του επιτηρητή-φορτιστή

- (1) Κύκλωμα τάσης εισόδου: Στην κλέμα συνδέεται συνεχής τάση έως 21V DC από τα ΦΒ πλαίσια και στην συνέχεια με τη βοήθεια του διακοπτικού ρυθμιστή τάσης σε σειρά με το πηνίο, η τάση μετατρέπεται σε 13,8V DC. Προτού γίνει αυτό, το ρεύμα που θα διαρρεύσει από την πλακέτα περνάει από μία ασφάλεια του 1A.
- (2) Στην κλέμα αυτή συνδέονται οι ακροδέκτες του συσσωρευτή. Κατά τη διάρκεια της ημέρας, παρέχεται στον συσσωρευτή σταθερή τάση (13,8V), μέσω της κλέμας αυτής, για την φόρτισή της.

- (3) Στο κύκλωμα αυτό γίνεται η σύγκριση της τάσης του συσσωρευτή με μία τάση που του έχει τεθεί η οποία είναι και το όριο της υπερεκφόρτισης του συσσωρευτή.
- (4) Στο κύκλωμα αυτό γίνεται η σύγκριση της τάσης του συσσωρευτή με μία τάση που του έχει τεθεί η οποία είναι και το όριο φόρτισης του συσσωρευτή.
- (5) Είναι ένας επιπλέον ρυθμιστής τάσης ο οποίος μετατρέπει τα 13,8V σε 5V με σκοπό την τροφοδοσία των ολοκληρωμένων.
- (6) Είναι ένα πολύστροφο ποτενσιόμετρο το οποίο καθορίζει την τάση εξόδου που καταλήγει στους ακροδέκτες του συσσωρευτή.
- (7) Το κύκλωμα αυτό παρέχει την τάση εξόδου στα φορτία. Ο μεταγωγικός διακόπτης (ρελέ) έχει δύο καταστάσεις. Όταν ο συγκριτής κρίνει ότι η τάση της μπαταρίας είναι ικανή να τροφοδοτήσει τα φορτία, συνδέει την τάση της μπαταρίας με τα φορτία μέσω του ρελέ, διαφορετικά τα αποκόπτει.

Στην διάταξη του συστήματος έχει προστεθεί ένα **PLC** με σκοπό την **επανεκκίνηση του προγράμματος** στο εσωτερικό του μικροελεγκτή και η προσθήκη του έχει προσωρινό χαρακτήρα. Αυτό γίνεται διότι όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως το πρόγραμμα που τρέχει στη μνήμη του μικροελεγκτή δεν είναι διαθέσιμο για επεξεργασία, ώστε να είναι δυνατή η επανεκκίνησή του από τον ίδιο τον μικροελεγκτή.

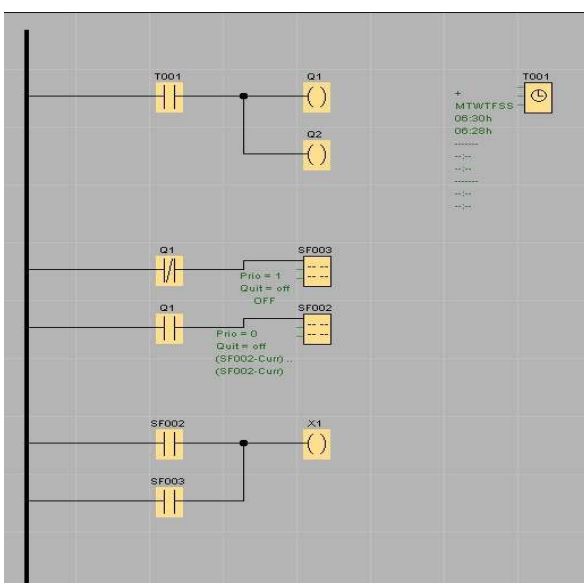
Συγκεκριμένα η λειτουργία του είναι να αποκόπτει την τροφοδοσία της πλακέτας του μικροελεγκτή για συνολικά δύο λεπτά στις 06:28πμ, δηλαδή λίγο πριν την ανατολή του ηλίου και να την επανατροφοδοτεί στις 06:30πμ.



Εικ. 3.2.4.2 LOGO PLC της Siemens

Ταυτόχρονα επανεκκινείται και το κυρίως πρόγραμμα στον H/Y (sun tracker.exe) προγραμματισμένο από το χρήστη με τη χρήση των εργαλείων του λειτουργικού συστήματος.

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται το πρόγραμμα σε γλώσσα προγραμματισμού Ladder για το LOGO PLC της Siemens.



Εικ. 3.2.4.3 το πρόγραμμα του PLC



### 3.2.5 Προτάσεις βελτίωσης της τελικής διάταξης της κατασκευής

A) Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα το PLC το οποίο προστέθηκε στη κατασκευή έχει προσωρινό χαρακτήρα. Αυτό συνέβη, διότι το πρόγραμμα στον Η/Υ (suntracker.exe) και το πρόγραμμα του μικροελεγκτή, τα οποία είναι και ο πυρήνας γύρω από τον οποίο κατασκευάστηκαν όλες οι διατάξεις, δεν είναι διαθέσιμα προς επεξεργασία. Προτείνεται η αφαίρεση του PLC μετά από επανακατασκευή των προγραμμάτων οδήγησης και εκ νέου προγραμματισμό του μικροελεγκτή. Τα προγράμματα αυτά θα έχουν την ικανότητα να επανεκκινούν τη λειτουργία των διατάξεων στην αρχή της κάθε ημέρας,

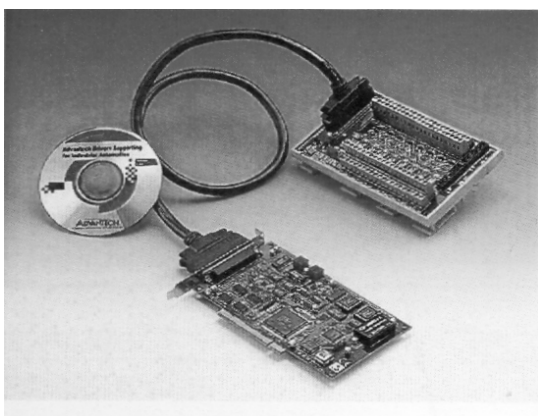
B) Για την καλύτερη λειτουργία του συστήματος και την αξιοπιστία του, μελλοντικά, είναι απαραίτητη η προσθήκη ειδικής διάταξης ελέγχου θέσης του αληθιού νότου στη μηχανολογική κατασκευή, κάθε φορά που η συστοιχία περνάει από το νότο. Αυτή η διάταξη «ενημερώνει» τα προγράμματα έτσι ώστε από τυχόν σφάλμα του χρήστη ή αποτυχία του συστήματος οδήγησης, να διορθώνει το σφάλμα αυτό με νέες εντολές.

Μια τέτοια διάταξη είναι ένας ειδικά διαμορφωμένος encoder του οποίου ο δίσκος περιλαμβάνει μία οπή. Η οπή αυτή «διαβάζεται από τον optocoupler κάθε φορά όπου αζιμουθιακή γωνία της συστοιχίας μηδενίζεται. Δηλαδή κάθε φορά όπου η διάταξη στέφεται προς το νότο.

### 3.3 Το σύστημα καταγραφής πειραματικών μετρήσεων Ρεύματος – Τάσης πλαισίου.

Η καταγραφή των μετρήσεων έγινε συστηματικά, όπως ήταν προγραμματισμένη από το πρόγραμμα. Συγκεκριμένα γινόταν λήψη μετρήσεων κάθε πέντε λεπτά, ταυτόχρονα και της καμπύλης I-V και της ακτινοβολίας του ήλιου από τον Data Logger CR10X. Για καταγραφή της τάσης της μπαταρίας δεν χρειάστηκε να προστεθεί κάποια επιπρόσθετη συσκευή καθώς το αναλάμβανε και αυτό ο Logger.

#### 3.3.1 Καταγραφή καμπύλης I-V μέσω ειδικού κυκλώματος συνδεδεμένου στον Η/Υ.

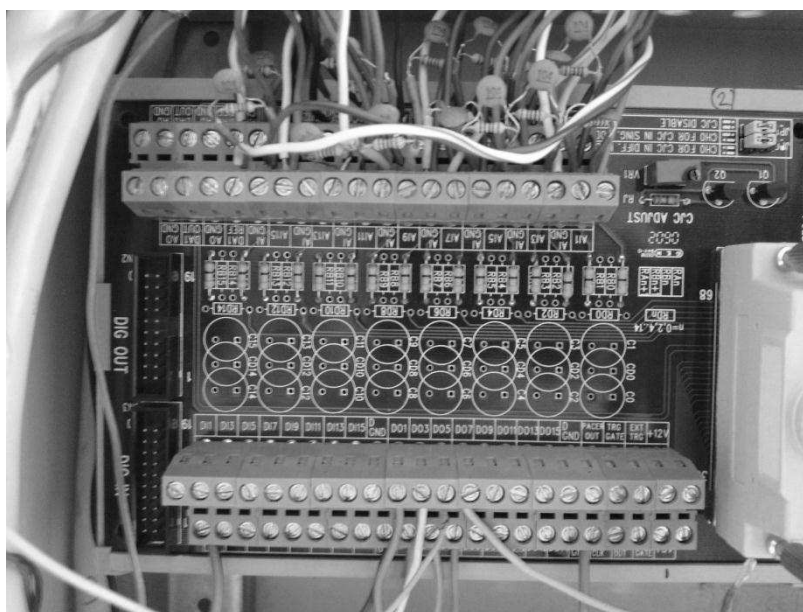


Εικ. 3.3.1.1 Η κάρτα Advantech PCI1710

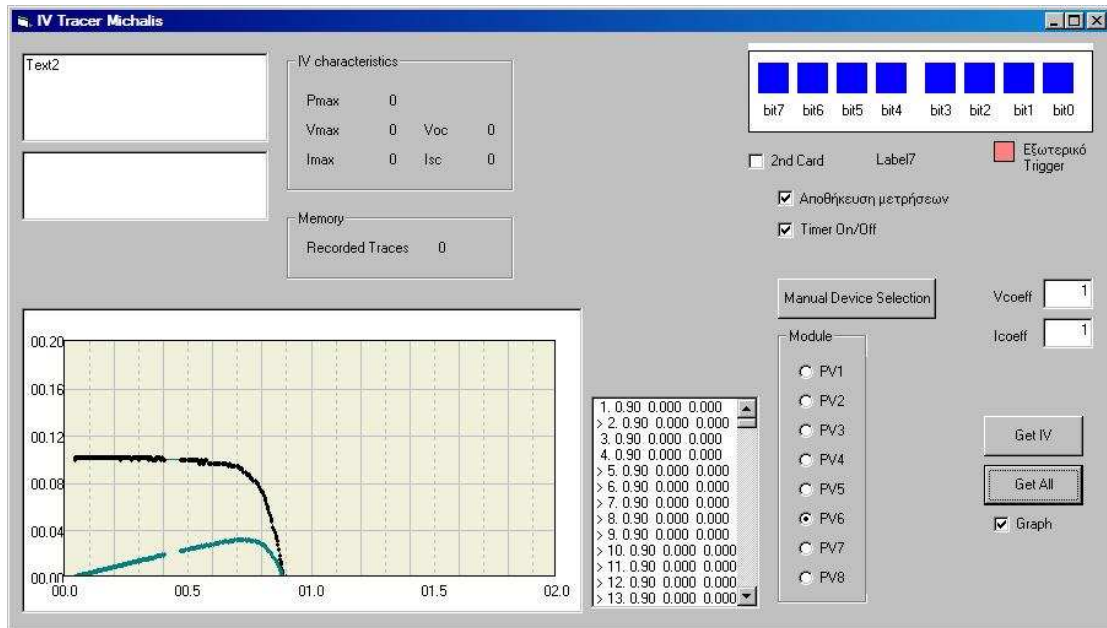
Το σύστημα με τον ηλεκτρονικό υπολογιστή συνδέεται με σύστημα δύο ολοκληρωμένων καρτών (μοντέλου Advantech P-CI1710hg device version b) και είναι εφοδιασμένος με το κατάλληλο λογισμικό για την καταγραφή των μετρήσεων. Οι κάρτες αυτές δέχονται σήματα από τους I-V tracers, κατασκευές του εργαστηρίου του Φωτοβολταϊκού Πάρκου, ένας εκ των οποίων, χρησιμοποιείται στην παρούσα διάταξη για τη μέτρηση της I-V χαρακτηριστικής του ΦΒ πλαισίου. Οι διατάξεις αυτές επιτρέπουν στον Η/Υ να

καταγράφει σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα λιγότερου του ενός δευτερολέπτου, τριακόσιες τιμές έντασης και τάσης περιλαμβανομένου

του ρεύματος βραχυκύκλωσης και το ρεύμα ανοικτού κυκλώματος. Από τις τιμές αυτές σχηματίζεται η καμπύλη ρεύματος (I)-τάσης(V) και υπολογίζεται η μέγιστη ισχύς για εκείνη τη χρονική στιγμή.



Εικ. 3.3.1.2 Η κάρτα για την είσοδο των σημάτων, μέρος του συστήματος καταγραφής της χαρακτηριστικής καμπύλης ρεύματος-τάσης



Εικ. 3.3.1.3 Το λογισμικό που διαθέτει ο Η/Υ, ο οποίος καταγράφει τις τιμές έντασης-τάσης του πλαισίου, τη στιγμή μέτρησης.

### Βαθμονόμηση του συστήματος καταγραφής της καμπύλης I-V

Για την αξιοποίηση αυτών των μετρήσεων χρειάστηκε να γίνει βαθμονόμηση του οργάνου. Αυτό έγινε με την βοήθεια μίας συσκευής μεγάλης ακρίβειας, το μοντέλο αυτής ήταν RVP2540C. Έτσι έγινε μία σειρά από μετρήσεις της χαρακτηριστικής καμπύλης I-V του πλαισίου, με όσο δυνατόν μικρή χρονική διαφορά μεταξύ τους. Από αυτά τα αποτελέσματα με σύγκριση προέκυψε ότι οι μετρήσεις του συστήματος με τον Η/Υ απαιτούνταν δύο πολλαπλασιαστικές σταθερές, που για μεν τις τιμές της τάσης (V) ήταν 20,0053080564669, για δε τις τιμές του ρεύματος (I), 5,2704322801205. Αφού έγινε αυτή η βαθμονόμηση οι τιμές του βαθμονομημένου οργάνου σύγκρισης συνέπιπταν με τις τιμές του Η/Υ.



Εικ. 3.3.1.4 Η κάρτα καταγραφής (I-V tracer).

## Πρόγραμμα επεξεργασίας δεδομένων σε C++

Το πρόγραμμα αυτό αναλαμβάνει να χωρίσει τις τιμές (τάση – ρεύμα – ισχύ) σε σχέση με την στιγμή (ώρα) μέτρησης.

```
#include<iostream>
#include<sstream>
#include<fstream>
#include<vector>
#include<string>
#include<ctime>
#include<iomanip>
#include<cstdlib>
#include<windows.h>
#include<stdio.h>
#include<dir.h>
#include<cstddef>
#include<cstdio>
void diaxorismos1(int ari8mosFile,char* file[]);
using namespace std;

int main()
{
int ari8mosFile=1; //posa arxeia 8a diabasei
char* file[ari8mosFile];
file[1]="PVdata_090511.txt"; //onama

diaxorismos1(ari8mosFile,file);
std::cout<<"ok";
return 0;
}

void diaxorismos1(int ari8mosFile,char* file[])
{
system("rm -r TL");
CreateDirectory("TL",NULL);
CreateDirectory("TL/1",NULL);
CreateDirectory("TL/2",NULL);
CreateDirectory("TL/3",NULL);
CreateDirectory("TL/4",NULL);
CreateDirectory("TL/5",NULL);
CreateDirectory("TL/6",NULL);
std::stringstream
inputTXT,output1TXT,output2TXT,output3TXT,output4TXT,output5TXT,output6TXT,date
All;

for(int i=1 ; i<=ari8mosFile ; i++)
{
cout<<"to arxeio einai : "<<file[i]<<endl;
inputTXT.str("");
output1TXT.str("");
output2TXT.str("");
output3TXT.str("");
```

```

output4TXT.str("");
output5TXT.str("");
output6TXT.str("");
dateAll.str("");

inputTXT<<file[i];
output1TXT<<"TL/1/"<<"out1_"<<file[i];
output2TXT<<"TL/2/"<<"out2_"<<file[i];
output3TXT<<"TL/3/"<<"out3_"<<file[i];
output4TXT<<"TL/4/"<<"out4_"<<file[i];
output5TXT<<"TL/5/"<<"out5_"<<file[i];
output6TXT<<"TL/6/"<<"out6_"<<file[i];
        std::ifstream imeasure(inputTXT.str().c_str()); //eisodos
std::ofstream omeasure1(output1TXT.str().c_str()); //na anoikseis kai ta 4
        std::ofstream omeasure2(output2TXT.str().c_str());
        std::ofstream omeasure3(output3TXT.str().c_str());
        std::ofstream omeasure4(output4TXT.str().c_str());
        std::ofstream omeasure5(output5TXT.str().c_str());
        std::ofstream omeasure6(output6TXT.str().c_str());

//arxeio me oles ths metrhseis i-v
int count=1;

std::string xa1,xa2,xa3;
std::string xb1,xb2,xb3;
std::string xc1,xc2,xc3;
std::string xd1,xd2,xd3;
std::string xe1,xe2,xe3;
std::string xf1,xf2,xf3;
std::string temp,xg1,xg2,xg3;
std::string metrhshI,metrhshV;
string hmerominia,hmera,mhnas;
while(imeasure>>xa1)
{

    if(xa1.find("/")<20)
    {

        imeasure>>xa2;
        imeasure>>xb1>>xb2;//xb2 einai to module
        imeasure>>xc1>>xc2;
        imeasure>>xd1>>xd2;
        imeasure>>xe1>>xe2;
        imeasure>>xf1>>xf2>>xf3;
        imeasure>>xg1>>xg2>>xg3;
        //prepei na elengxo an ola ok auta pou diastikan
        if(xe2!="=" && xd2!="=" && xe1=="V(Pmax)" && xd1=="I(Pmax)" &&
xc1=="Pmax" && xg1=="Voc" && xf1=="Isc")
        {

            if(xb2=="1")
            {
                omeasure1<<xa2<<" "<<xc2<<" "<<xg3<<" "<<xf3<<endl;
            }

            if(xb2=="2")

```

```
{
    omeasure2<<xa2<<" "<<xc2<<" "<<xg3<<" "<<xf3<<endl;
}

if(xb2=="3")
{
    omeasure3<<xa2<<" "<<xc2<<" "<<xg3<<" "<<xf3<<endl;
}

if(xb2=="4")
{
    omeasure4<<xa2<<" "<<xc2<<" "<<xg3<<" "<<xf3<<endl;
}
if(xb2=="5")
{
    omeasure5<<xa2<<" "<<xc2<<" "<<xg3<<" "<<xf3<<endl;
}
if(xb2=="6")
{
    omeasure6<<xa2<<" "<<xc2<<" "<<xg3<<" "<<xf3<<endl;
}

}

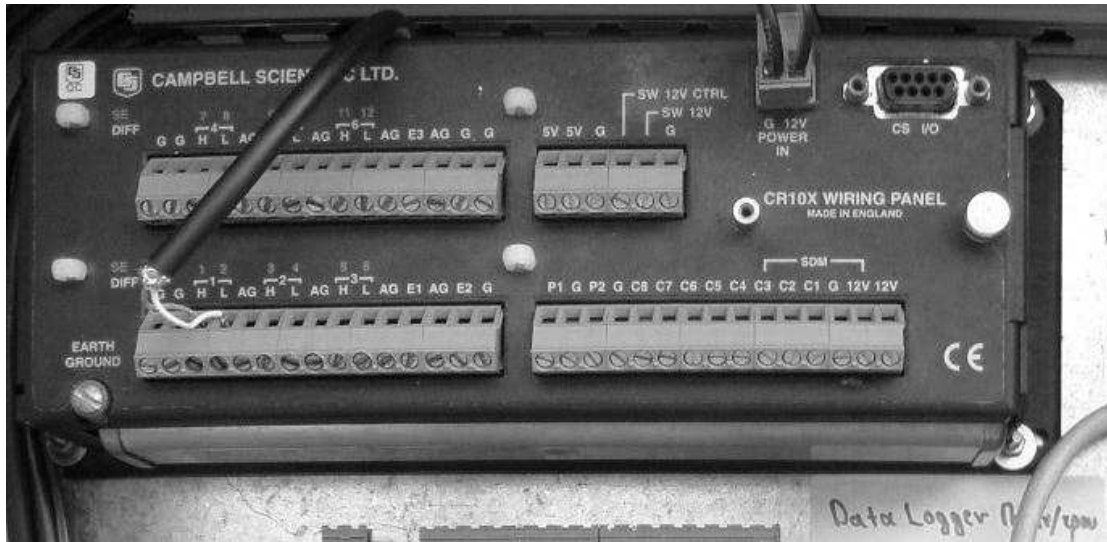
}
inputTXT.clear();
    inputTXT.seekg(0);

    output1TXT.clear();
    output1TXT.seekg(0);
    output2TXT.clear();
    output2TXT.seekg(0);
    output3TXT.clear();
    output3TXT.seekg(0);
    output4TXT.clear();
    output4TXT.seekg(0);
    output5TXT.clear();
    output5TXT.seekg(0);
    output6TXT.clear();
    output6TXT.seekg(0);

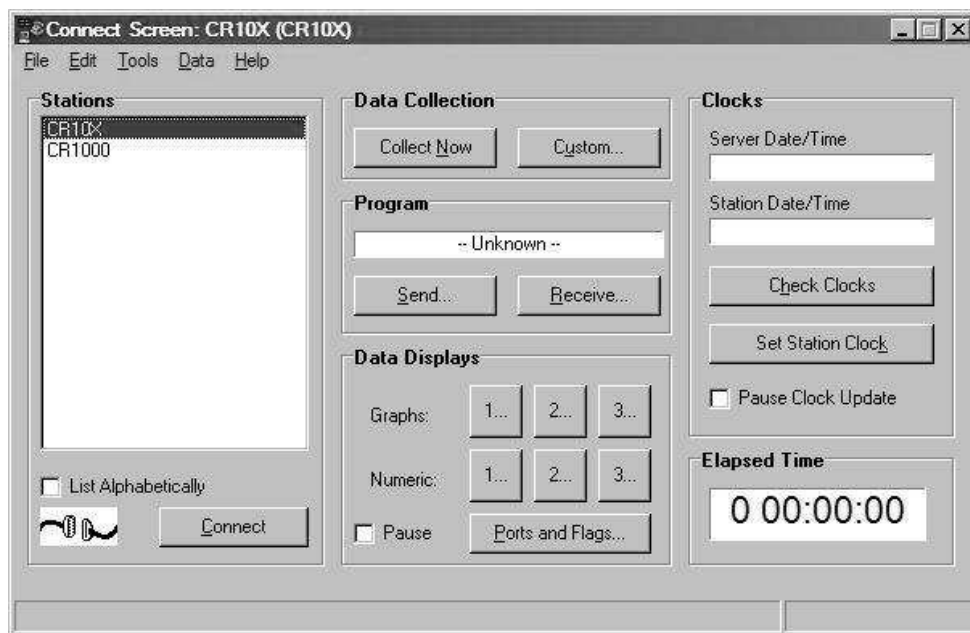
}
}
```

### 3.3.2 Καταγραφή ακτινοβολίας μέσω του Data Logger

Από την άλλη πλευρά ο Data Logger CR10X της εταιρίας Campbellsci είναι μια σύσκευή με πολλές δυνατότητες. Συνήθως χρησιμοποιείται για συστηματική καταγραφή μετρήσεων, όπως δηλαδή συμβαίνει και στην παρούσα εργασία. Έγινε χρήση μιας από τις εισόδους του Logger για την σύνδεση ενός πυρανομέτρου. Διαθέτει το λογισμικό LoggerNet με το οποίο έγινε και ο προσδιορισμός του. Προγραμματίστηκε ώστε να καταγράφει την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας και την τάση του συσσωρευτή. Η συχνότητα λήψης μετρήσεων είναι, όπως και με τον I-V tracer, πέντε λεπτά. Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας μετρήθηκε με ένα πυρανόμετρο ευαισθησίας  $5,2 \cdot 10^{-6} \text{V/W} \cdot \text{m}^2$ .



Εικ. 3.3.2.1 Ο Data Logger CR10X της εταιρίας Campbellsci



Εικ. 3.3.2.2 Πρόγραμμα LoggerNet. Παράθυρο επικοινωνίας μεταξύ του Logger και του H/Y.

### 3.4 Υπολογισμός ΦΒ πλαισίου και συσσωρευτή για την αυτόνομη λειτουργία του συστήματος

Πρωταρχικός παράγοντας στον υπολογισμό του ΦΒ πλαισίου αλλά και του συσσωρευτή είναι ο προσδιορισμός των ισχύων των φορτίων που υπάρχουν στο σύστημα.

- Ισχύς έκαστου κινητήρα:

$$P_{motor} = I_m \cdot V_m = 4,6A \cdot 12V \approx 56W$$

- Ισχύς πλακέτας μικροελεγκτή:

$$P = I \cdot V = 0,2A \cdot 12V \approx 2,4W$$

- Ισχύς Logger:

$$P = I \cdot V = 0,2A \cdot 12V \approx 2,4W$$

Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται τα φορτία και οι λειτουργίες τους. Επίσης γίνονται και οι υπολογισμοί της καταναλισκόμενης ενέργειας των φορτίων για τις αντίστοιχες ώρες λειτουργίας με τον τύπο:

$$E = P \cdot h = \text{Ενέργεια(Wh)}$$

Ο χρόνος λειτουργίας για κάθε κινητήρα είναι 4 min κατά τη διάρκεια της μέρας, Επίσης η πλακέτα του μικροελεγκτή και ο Logger τροφοδοτούνται όλο το 24ωρο.

Φορτίο	Ισχύς (W)	Ώρες λειτουργίας (h)		Καταναλισκόμενη ενέργεια (Wh)		
		Ημέρα	Νύχτα	Ημερήσια	Νυχτερινή	Συνολική
Κινητήρας Αζιμούθιου	56	0,0666	-	3,733	-	3,733
Κινητήρας Ανύψωσης	56	0,0666	-	3,733	-	3,733
Πλακέτα μικροελεγκτή	2,4	13	11	31,2	26,4	57,6
Logger	2,4	13	11	31,2	26,4	57,6
Σύνολα	116,8			69,9	52,8	122,7

Συνολική κατανάλωση:  $E_L = 0,1227 \text{ kWh}$

Συνολική ισχύς φορτίων:  $P_L = 0,1168 \text{ kW}$

Συντελεστής περιθωρίου υπολογισμού ηλεκτρικών φορτίων:  $m=1,1$

Στην συνέχεια υπολογίζεται η ισχύς αιχμής για την επιλογή φωτοβολταϊκού πλαισίου και του συσσωρευτή, αφού πρώτα προσδιοριστούν τα παρακάτω δεδομένα.



Ενεργειακές Καταναλώσεις	Παράγοντες καθορισμού της απόδοσης του ΦΒ συστήματος	
$E_{L,\alpha} = 0,0699 \text{ kWh}$	$\eta_{\alpha} = 0,92$	$PR_{\sigma} = 0,72$
$E_{L,\varepsilon} = 0,0528 \text{ kWh}$	$\eta_{\alpha} = 0,76$	$\eta_{\text{εκφ}} = 0,91$
$E_L = 0,1227 \text{ kWh/day}$		$\eta_{\gamma,B} = 0,8$
$m = 1,1$		$\beta_{\text{εκφ}} = 0,9$

Όπου,

- $E_{L,\alpha}$  = η άμεση ημερήσια καταναλισκόμενη ενέργεια
- $E_{L,\varepsilon}$  = η άμεση νυχτερινή καταναλισκόμενη ενέργεια
- $E_L$  = η συνολική καταναλισκόμενη ενέργεια
- $\eta_{\alpha}$  = ο συντελεστής μεταφοράς άμεσης ενέργειας
- $\eta_{\alpha}$  = ο συντελεστής μεταφοράς έμμεσης ενέργειας
- $\eta_{\text{εκφ}}$  = ο συντελεστής εκφόρτισης του συσσωρευτή
- $\eta_{\gamma,B}$  = ο συντελεστής γήρανσης του συσσωρευτή
- $\beta_{\text{εκφ}}$  = το βάθος εκφόρτισης του συσσωρευτή και
- $PR_{\sigma}$  = ο λόγος επίδοσης της ΦΒ συστοιχίας.

Υπολογισμός της ισχύος αιχμής:

$$P_{p,\sigma} = \frac{1}{PR_{\sigma}} \cdot \frac{G_{STC}}{H_c} \cdot m \cdot \left( \frac{E_{L,\alpha}}{\eta_{\alpha}} + \frac{E_{L,\varepsilon}}{\eta_{\varepsilon}} \right) = \frac{1}{0,787} \cdot \frac{1}{6,58} \cdot 1,1 \cdot \left( \frac{0,0528}{0,92} + \frac{0,0699}{0,76} \right) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow P_{p,\sigma} \simeq 31,7W$$

Όπου,

- $G_{STC} = 1 \text{ kW/m}^2$ , ηλιακή ακτινοβολία σε πρότυπες συνθήκες και
- $H_c = 6,58 \text{ kWh/m}^2d$ , τυπική τιμή της ημερήσιας ενεργειακής απολαβής τον μήνα Μάιο.

Υπολογισμός χωρητικότητας συσσωρευτή:

Αρχικά ορίζεται η τάση του συσσωρευτή που τοποθετείται στο σύστημα, η οποία είναι 12V. Για  $n = 1$ , μία συννεφιασμένη ημέρα. Το ποσοστό των φορτίων έμμεσης τροφοδοσίας υπολογίζεται με τον τύπο:

$$b = \frac{E_{L,\varepsilon}}{E_L} = \frac{0,0699}{0,1227} = 0,56968 = 56,97\%$$

Οπότε δεδομένου ότι είναι γνωστά όλα τα απαραίτητα δεδομένα, υπολογίζεται η χωρητικότητα του συσσωρευτή:

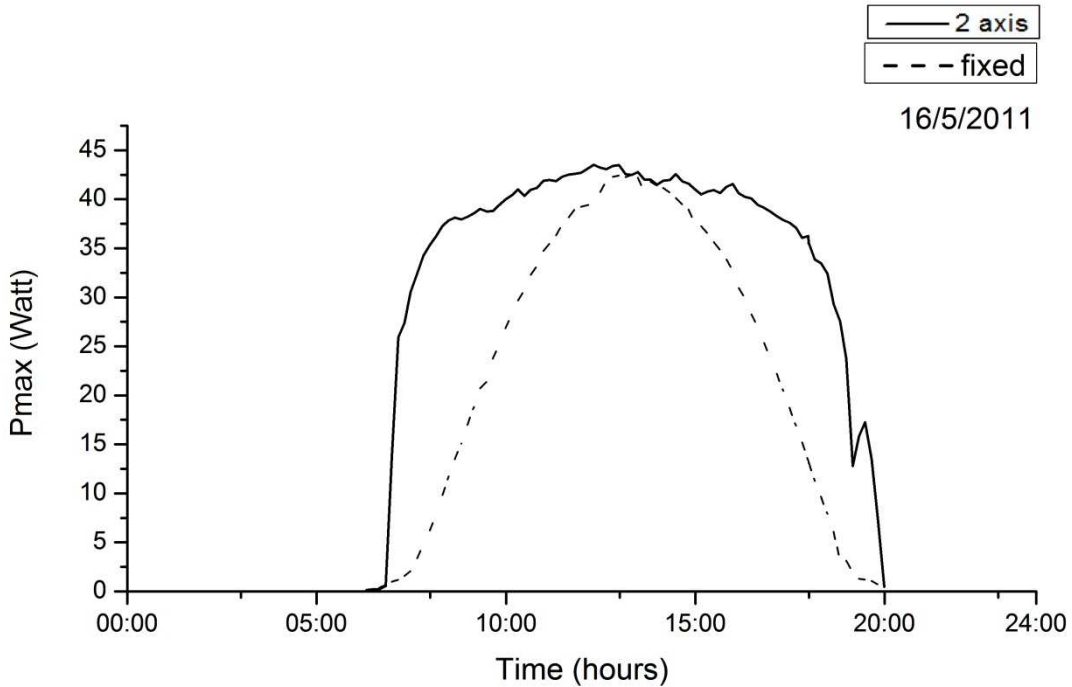
$$C = \frac{(n + b) \cdot m \cdot E_L}{\eta_{\gamma,B} \cdot \eta_{\text{εκφ}} \cdot \beta_{\text{εκφ}} \cdot V_B} = \frac{(1 + 0,56968) \cdot 1,1 \cdot 122,7}{0,91 \cdot 0,9 \cdot 0,8 \cdot 12} = 26,95Ah \simeq 27Ah$$

Εν κατακλείδι, θα επιλεγεί συνδυασμός δύο ΦΒ πλαισίων ισχύος  $50W_p/2,9A$  σε παράλληλη συνδεσμολογία, έτσι ώστε να είναι ικανά να φορτίζουν τον συσσωρευτή αλλά ταυτόχρονα να τροφοδοτούν και τα φορτία. Επιπρόσθετα θα επιλεγεί συσσωρευτής  $12V/30Ah$ .

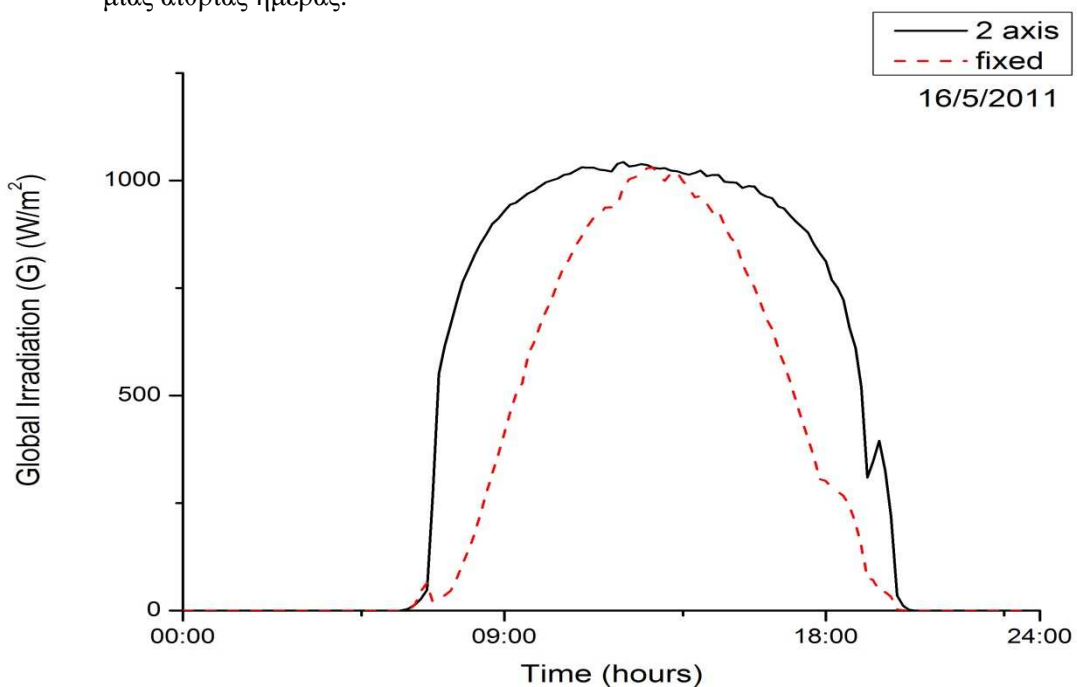
### 3.5 Μετρήσεις αποδοτικότητας ΦΒ πλαισίου τοποθετημένου στο ηλιοτρόπιο αυτό και όμοιου πλαισίου σταθερής γωνίας κλίσης.

A) Παρακάτω παρουσιάζονται οι μετρήσεις για μια **αίθρια ημέρα** (16/5/2011).

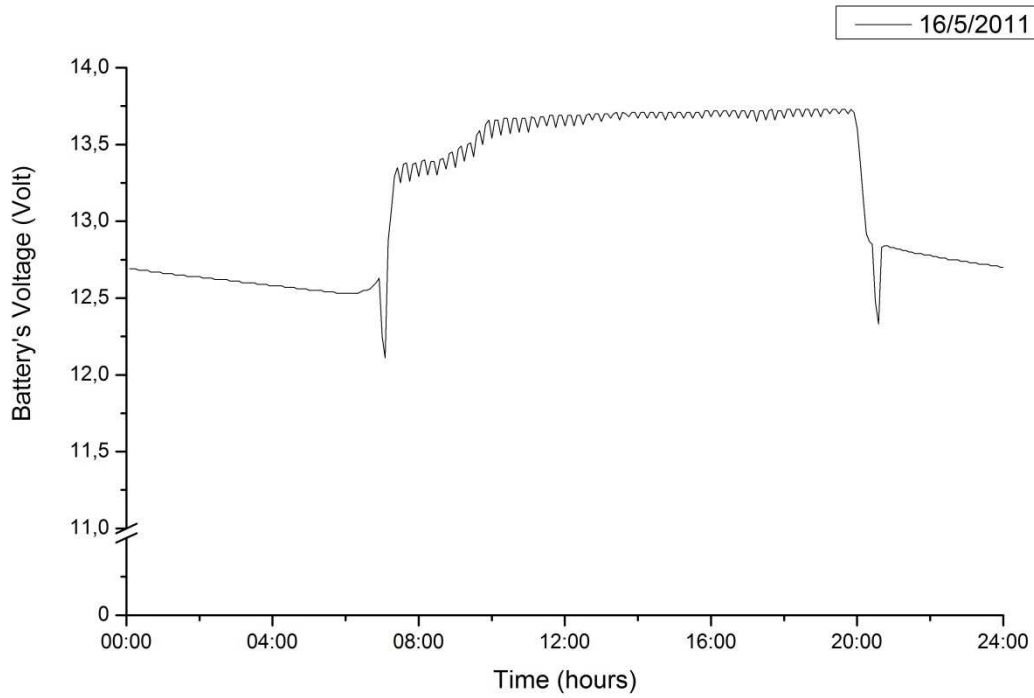
- Χαρακτηριστική της **μέγιστης ισχύος ( $P_{max}$ )** κατά τη διάρκεια μιας αίθριας ημέρας.



- Οι μετρήσεις της χαρακτηριστικής της **ολικής ακτινοβολίας (G)** κατά τη διάρκεια μιας αίθριας ημέρας.

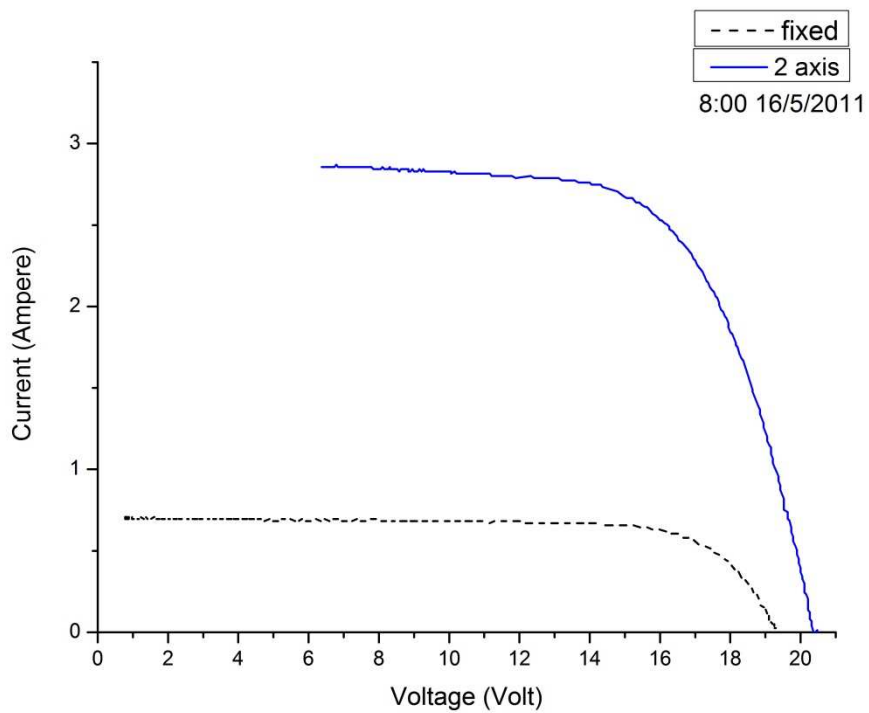


- Οι μετρήσεις της χαρακτηριστικής **τάσης(V)** του **συσσωρευτή** για μία αίθρια ημέρα.

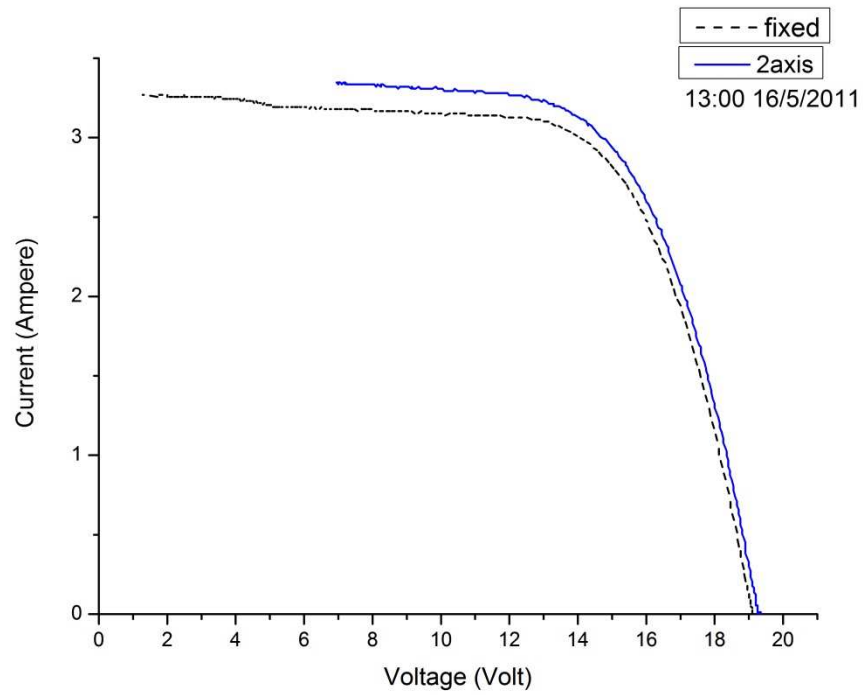


- Οι μετρήσεις της χαρακτηριστικής **ρεύματος(I)-τάσης(V)** για μία αίθρια ημέρα.

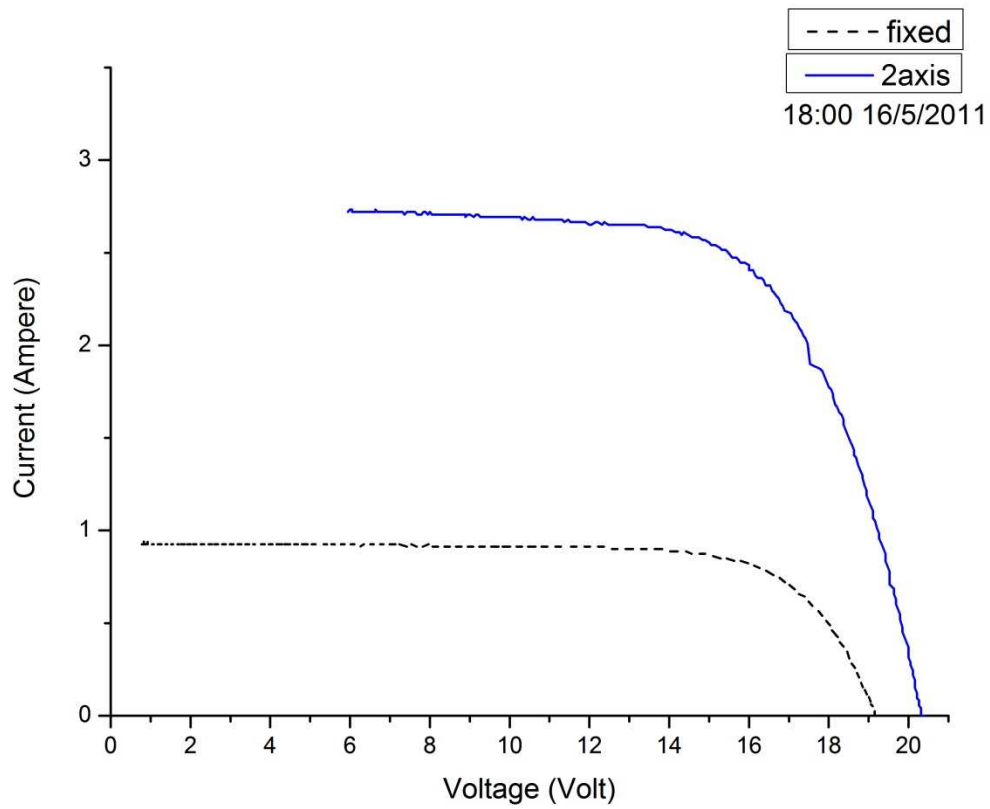
1) Πρωί: 8:00



2) Μεσημέρι: 13:00

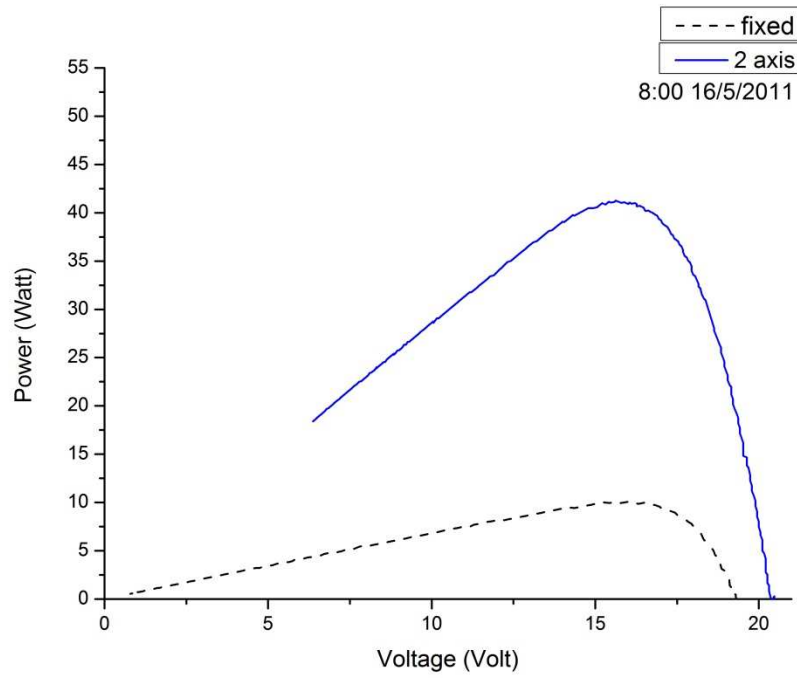


3) Απόγευμα: 18:00

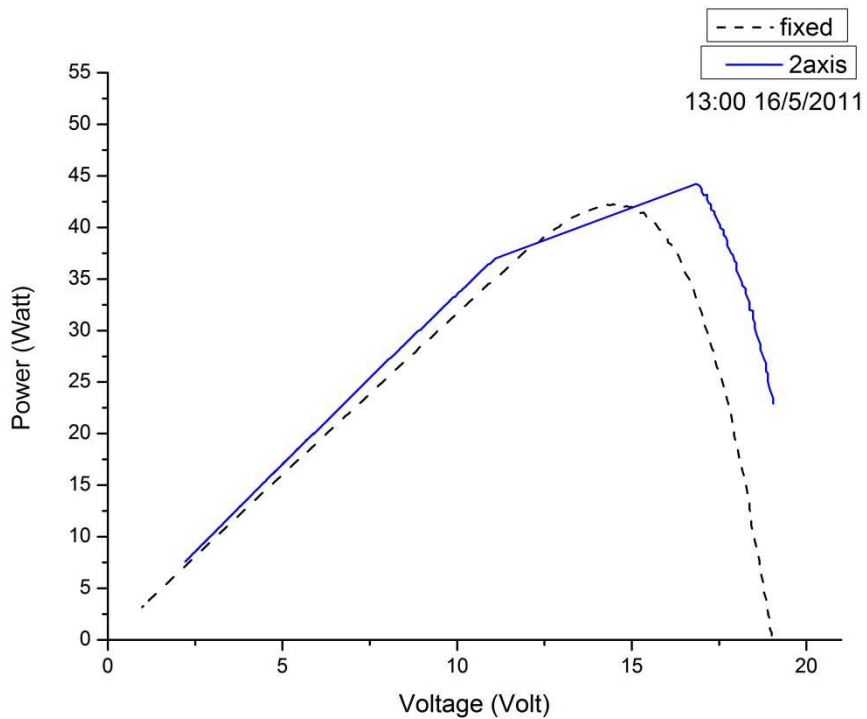


- Οι μετρήσεις της χαρακτηριστικής της ισχύος (P) – τάσης (V) στη διάρκεια μιας αίθριας ημέρας.

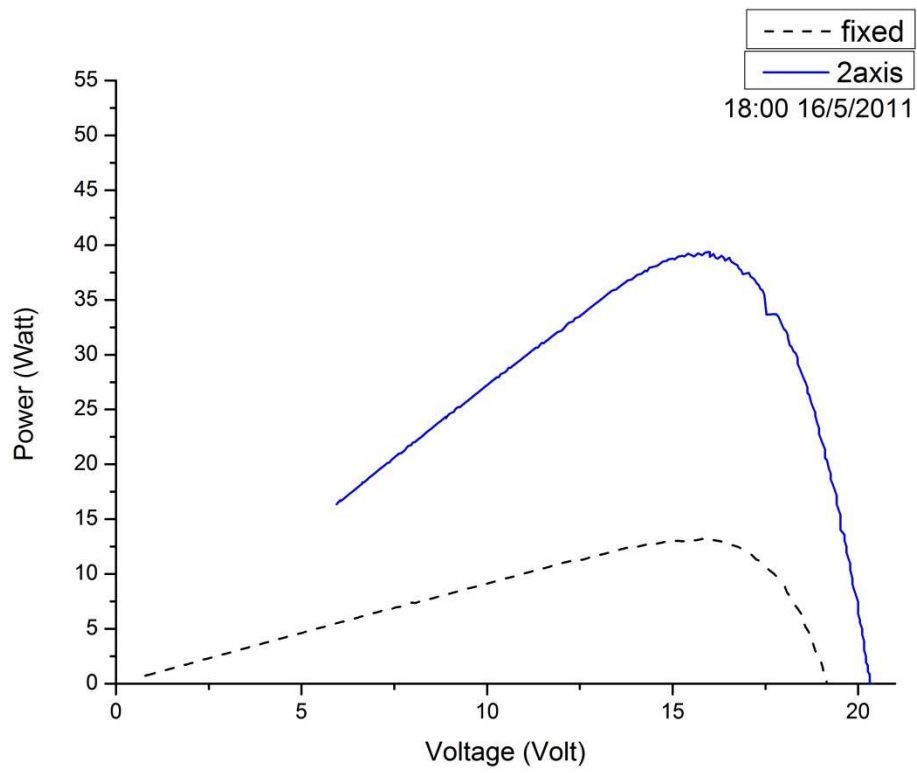
1) Πρωί: 8:00



2) Μεσημέρι: 13:00

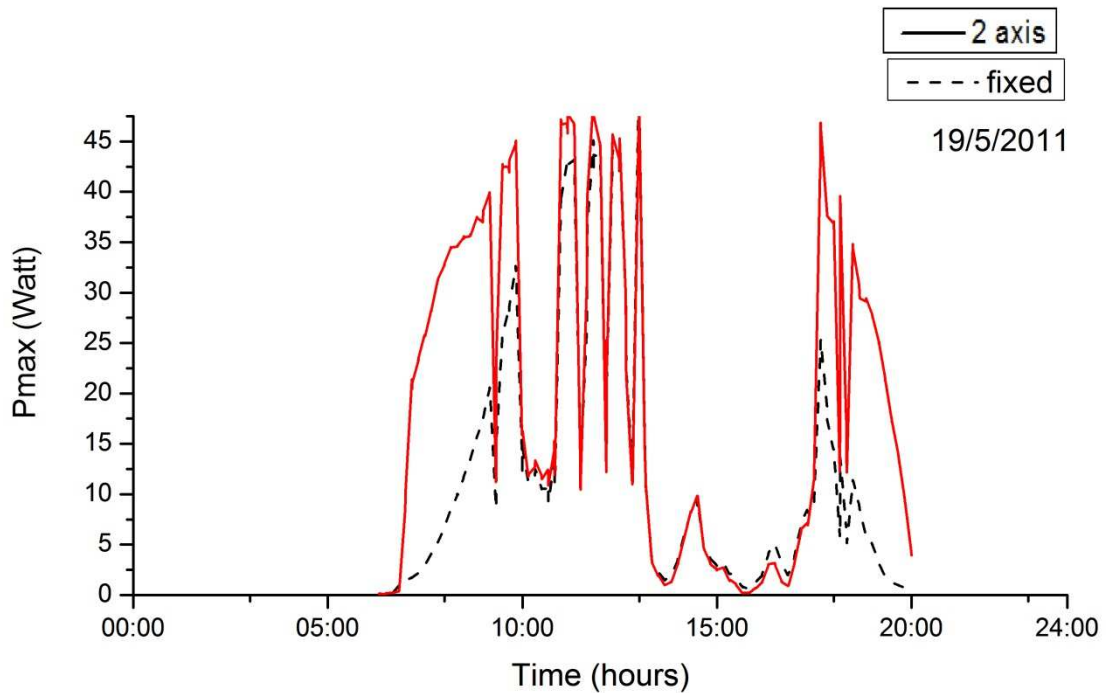


3) Απόγευμα: 18:00

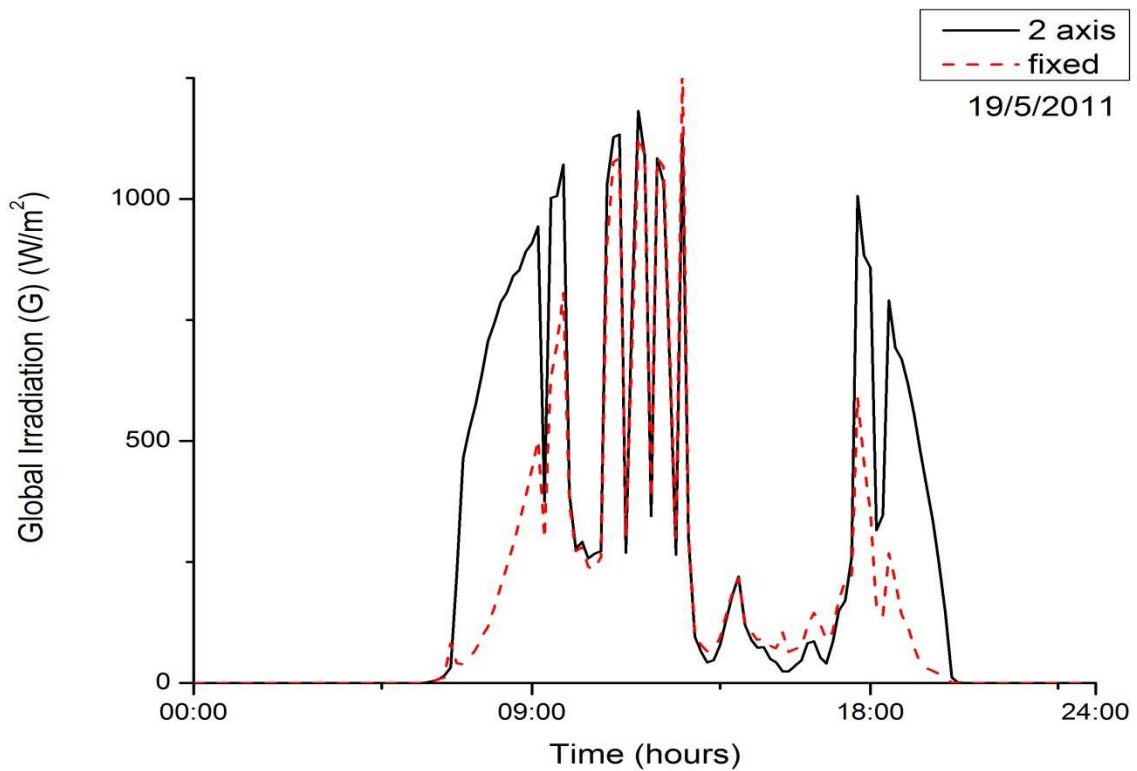


B) Παρακάτω παρουσιάζονται οι μετρήσεις για μια **μη αίθρια ημέρα** (19/5/2011).

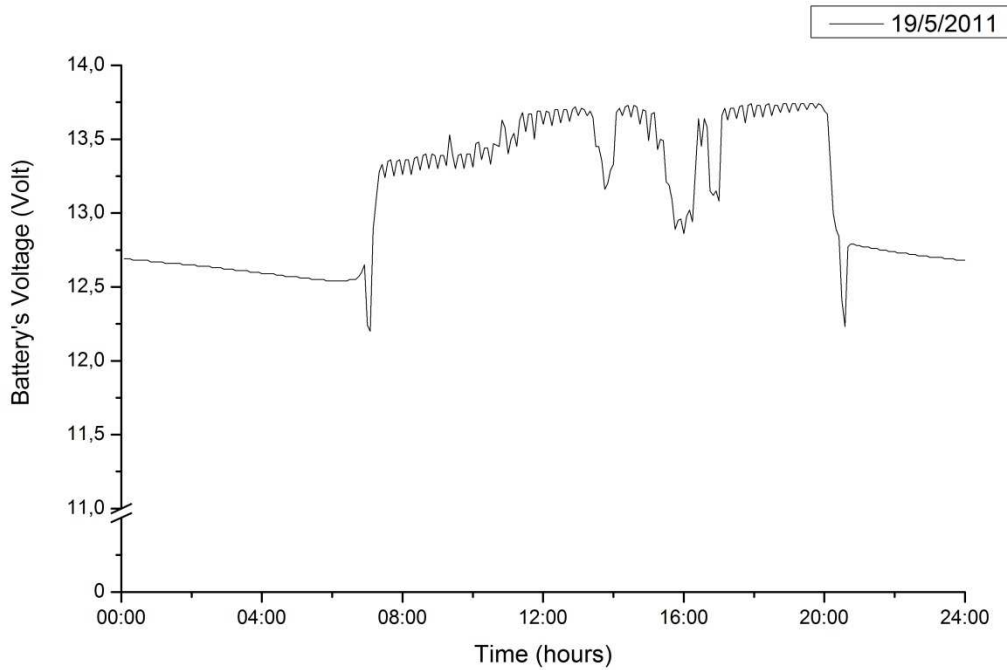
- Οι μετρήσεις της χαρακτηριστικής της **μέγιστης ισχύος** ( $P_{max}$ ) στη διάρκεια μιας μη αίθριας ημέρας.



- Οι μετρήσεις της χαρακτηριστικής της **ολικής ακτινοβολίας** ( $G$ ) κατά τη διάρκεια μιας μη αίθριας ημέρας.

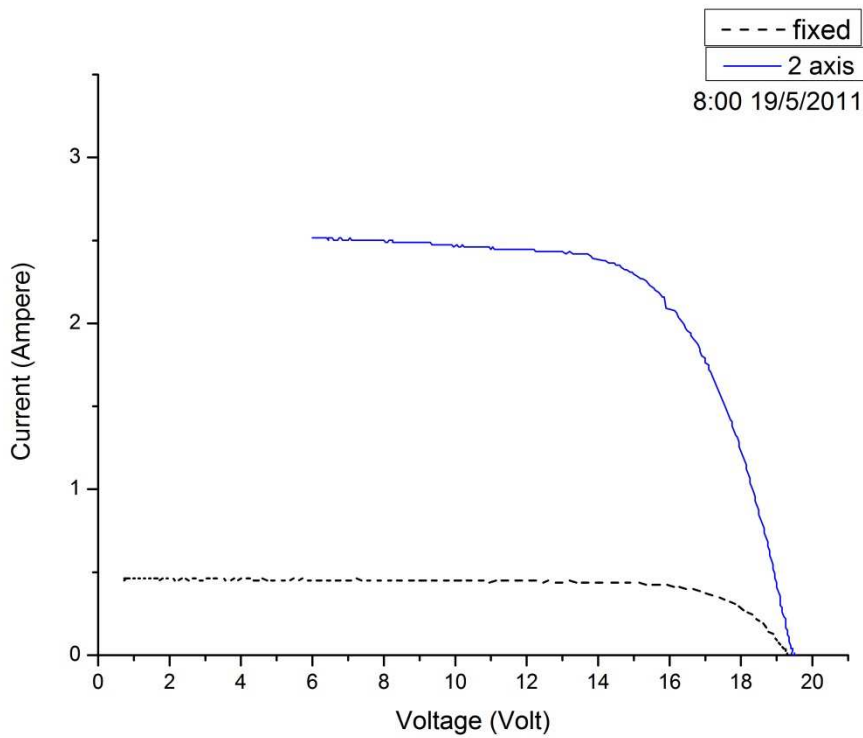


- Οι μετρήσεις της χαρακτηριστικής **τάσης(V)** του **συσσωρευτή** για μία μη αίθρια ημέρα.



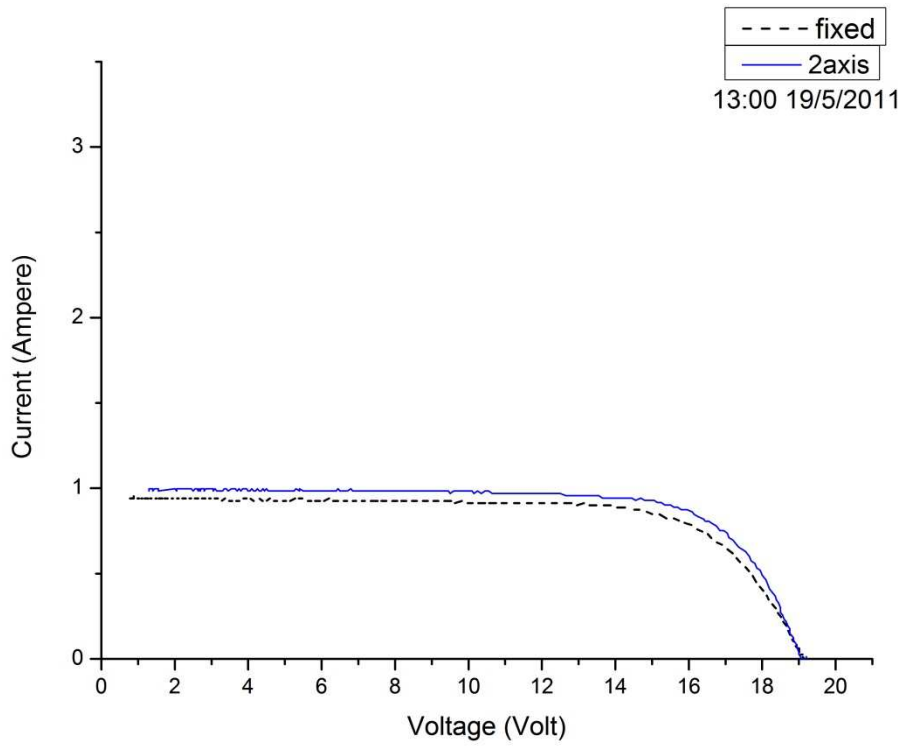
- Οι μετρήσεις της χαρακτηριστικής **ρεύματος(I)-τάσης(V)** για μία μη αίθρια ημέρα.

1) Πρωί: 8:00

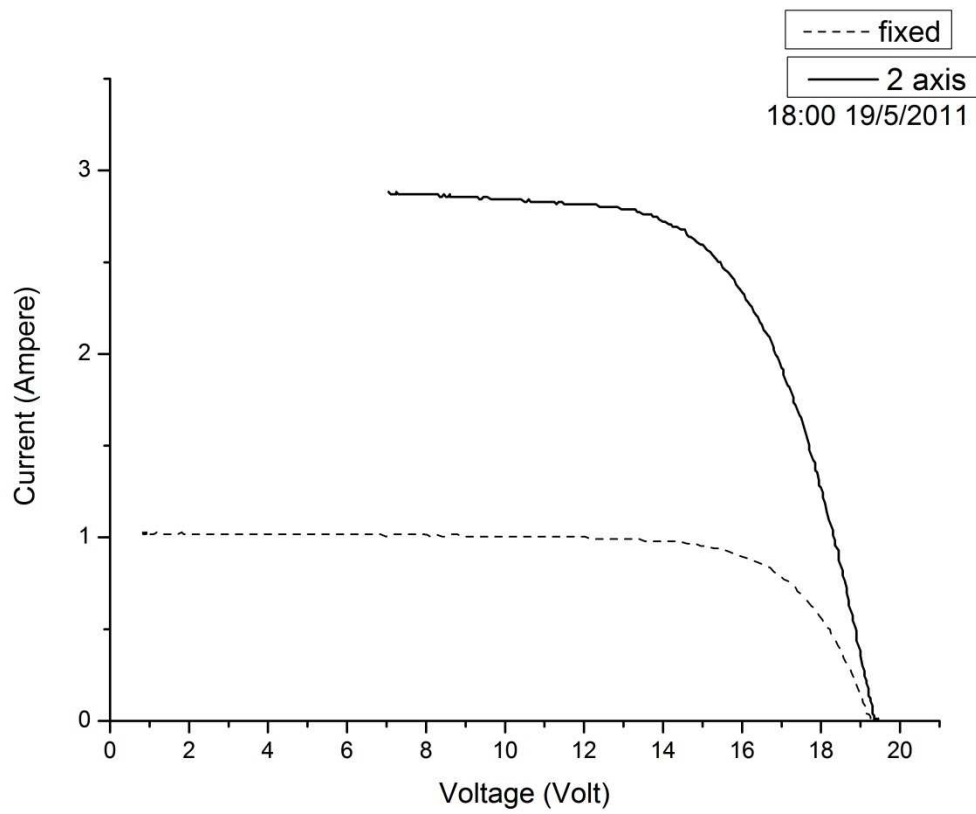




2) Μεσημέρι: 13:00

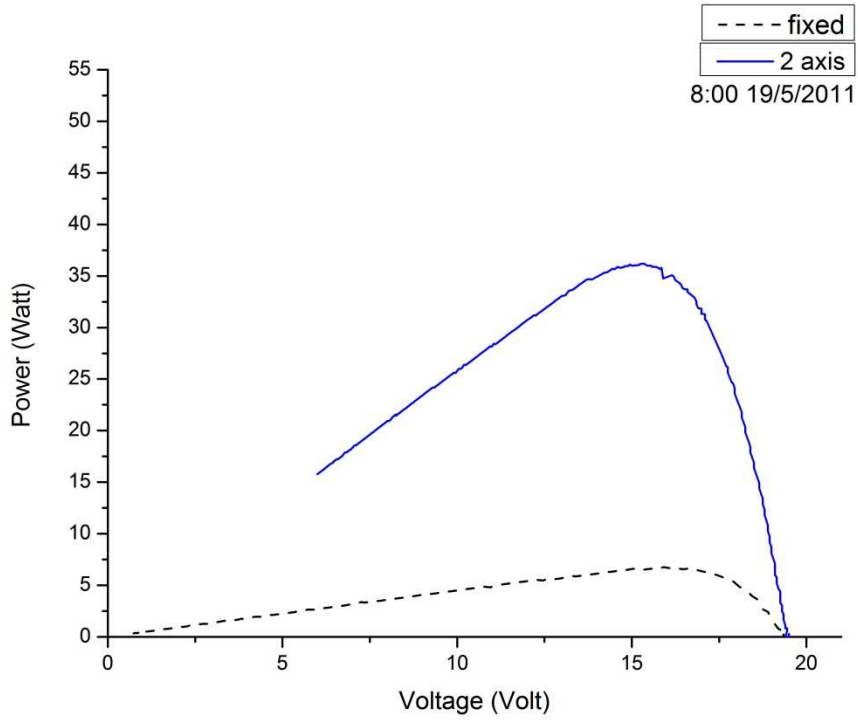


3) Απόγευμα: 18:00

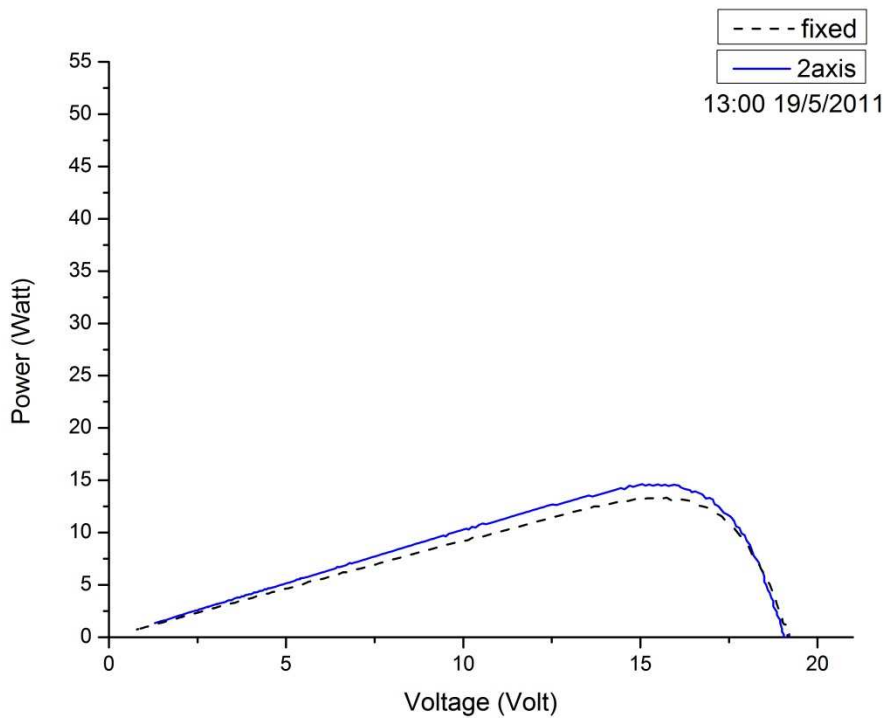


- Οι μετρήσεις της χαρακτηριστικής της ισχύος (**P**) – τάσης (**V**) στη διάρκεια μιας μη αίθριας ημέρας.

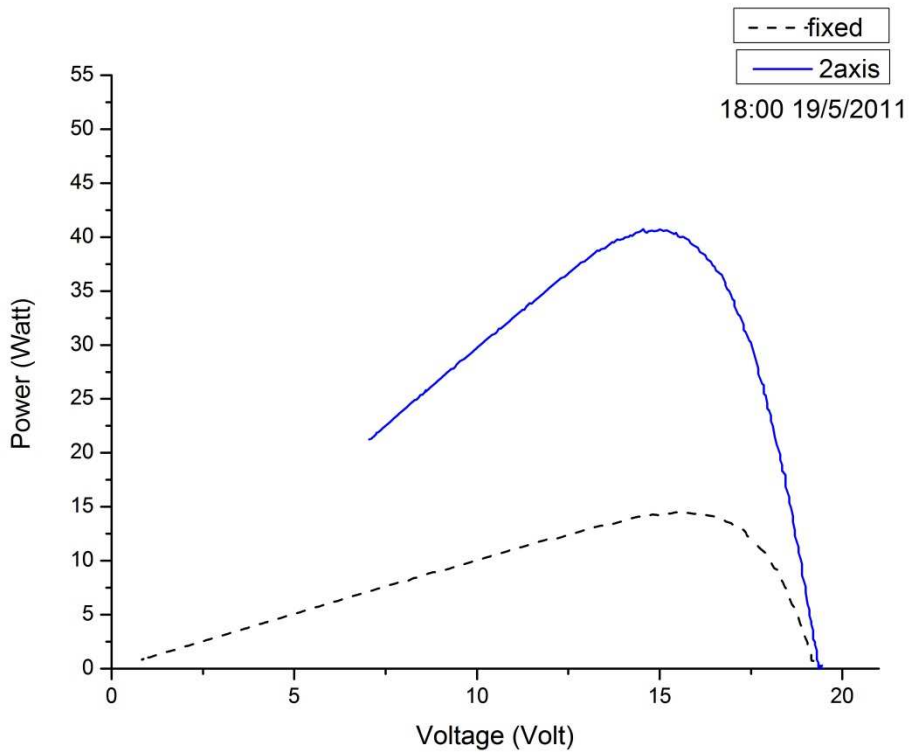
1) Πρωί: 8:00



2) Μεσημέρι: 13:00



3) Απόγευμα: 18:00



### 3.6 Πειραματικά αποτελέσματα και συμπεράσματα.

Ύστερα από συγκέντρωση και μελέτη των πειραματικών μετρήσεων για τον πρώτο μήνα λειτουργίας της κατασκευής, βγήκαν συμπεράσματα που αποδεικνύουν ότι το ηλιοτρόπιο δύο αξόνων είναι αποδοτικότερο σε σχέση με το ηλιοτρόπιο σταθερής γωνίας κλίσης ( $30^\circ$ ).

Χρησιμοποιήθηκαν Φ/Β πλαίσια όμοια μεταξύ τους, ίδιων χαρακτηριστικών. Με όμως σκοπό τη σύγκριση των πειραματικών μετρήσεων μεταξύ των δύο ηλιοτροπικών συστημάτων χρειάστηκε να πολλαπλασιαστούν οι τιμές των μετρήσεων του ενός συστήματος με ένα συντελεστή. Ο συντελεστής αυτός βρέθηκε υπολογίζοντας τη διαφορά των τιμών ακτινοβολίας του ήλιου, όταν και δύο συστοιχίες βρίσκονται στην ίδια γωνία κλίσης και με ίδιο προσανατολισμό. Ο συντελεστής αυτός είναι 1,07125362143342.

- 1) Αρχικά εξετάζεται η **στιγμιαία ισχύς**  $P_{max}[W]$  μεταξύ των συστημάτων για διάφορες ώρες κατά τη διάρκεια μιας ημέρας.

Όπως φάνηκε και στην καμπύλη  $P_{max} = f(hours)$  στην προηγούμενη ενότητα, ενεργειακής ημερήσιας απολαβής, τα σημεία όπου το κέρδος είναι μεγαλύτερο είναι στις πρωινές και απογευματινές ώρες. Μετά την ανατολή του ήλιου, αλλά και πριν τη δύση του ήλιου η τιμή της ισχύς αιχμής του συστήματος δύο αξόνων είναι πολλαπλάσια διπλάσια από αυτή του σταθερού. Διαφορετικά, το μεσημέρι, την ώρα του ηλιακού μεσημεριού (στις 13:10) η διαφορά των ισχύων αιχμής είναι η μικρότερη μέσα στη μέρα, συγκεκριμένα μόνο 0,066%. Η διαφορά αυτή φαίνεται και στα γραφήματα των χαρακτηριστικών ρεύματος (I) – τάσεως (V).

Όσον αφορά τη μη αίθρια ημέρα που αρχικά εξετάστηκε δεν είναι πλήρως νεφελώδης, δηλαδή έχει ορισμένα τμήματα με «καθαρό» ήλιο. Αυτό είναι φανερό καθώς οι τιμές είναι διαφορετικές σε σχέση με την αίθρια μέρα. Από την στιγμή της ανατολής του ήλιου μέχρι τη χρονική στιγμή του ηλιακού μεσημεριού (13:10) το κέρδος της ισχύς ελαττώνεται σταδιακά μέχρι τον (σχεδόν) μηδενισμό του και αυξάνεται πάλι μέχρι τη δύση του ήλιου. Για μια μη αίθρια ημέρα σαν αυτή, δεν ισχύει κάτι τέτοιο. Διότι όπως θα δούμε και παρακάτω σε μη αίθριες ημέρες, πλήρως νεφελώδη, το κέρδος της ενεργειακής απολαβής είναι πολύ μικρό καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας.

- 2) Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα σύγκρισης των πειραματικών μετρήσεων της **ημερήσιας ενεργειακής απολαβής**  $E [Wh/day]$  για μια αίθρια και για μία μη αίθρια ημέρα. Επίσης και σε αυτήν την περίπτωση θα αναλυθεί το κέρδος της ενεργειακής απολαβής του συστήματος δύο αξόνων έναντι του συστήματος με σταθερή γωνία κλίσης.

Για εικοσιτετράωρη μέτρηση και συχνότητα δειγματοληψίας 10 min, ο τύπος που χρησιμοποιείται για να υπολογιστεί η ημερήσια ενεργειακή απολαβή είναι:

$$E(Wh/day) = \int_{24:00}^{00:00} P_{max} dt \Rightarrow$$

$$\Rightarrow E(Wh/day) = \sum_i P_{mi} \cdot \Delta_t$$

όπου

$$\Delta_t = \left(\frac{10}{60}\right) hours$$

Για το ποσοστό του κέρδους της ενεργειακής απολαβής του συστήματος δύο αξόνων έναντι του συστήματος σταθερής γωνίας κλίσης χρησιμοποιείται ο τύπος:

$$\Delta E(\%) = 100 \cdot \frac{E_{2axis} - E_{fixed}}{E_{2axis}}$$

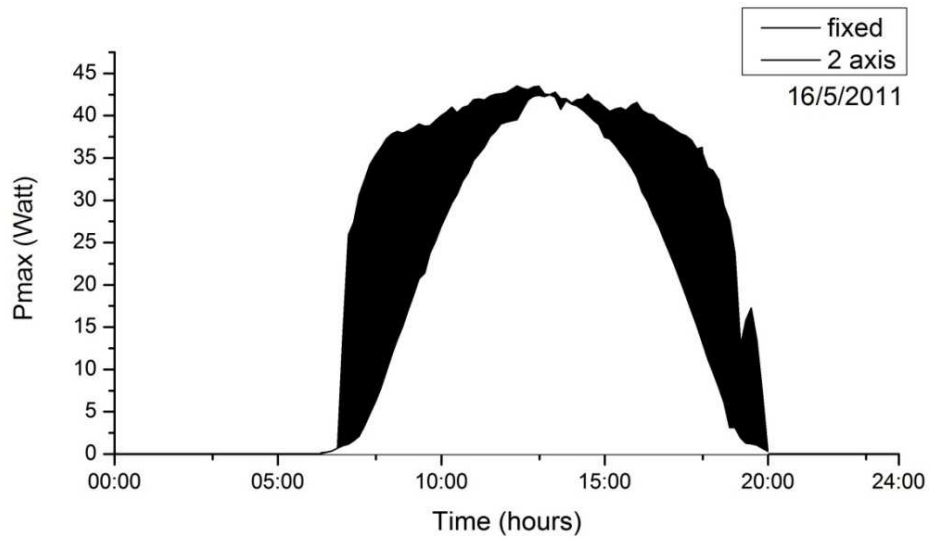
Σύμφωνα με τους παραπάνω τύπους:

	Ημερήσια ενεργειακή απολαβή E (Wh/day)		Κέρδος ΔΕ (%)
	fixed	2 axis	
Αίθρια ημέρα	318,8801	490,4899	34,98744123
Μη αίθρια ημέρα	155,7165	266,4132	41,55075883

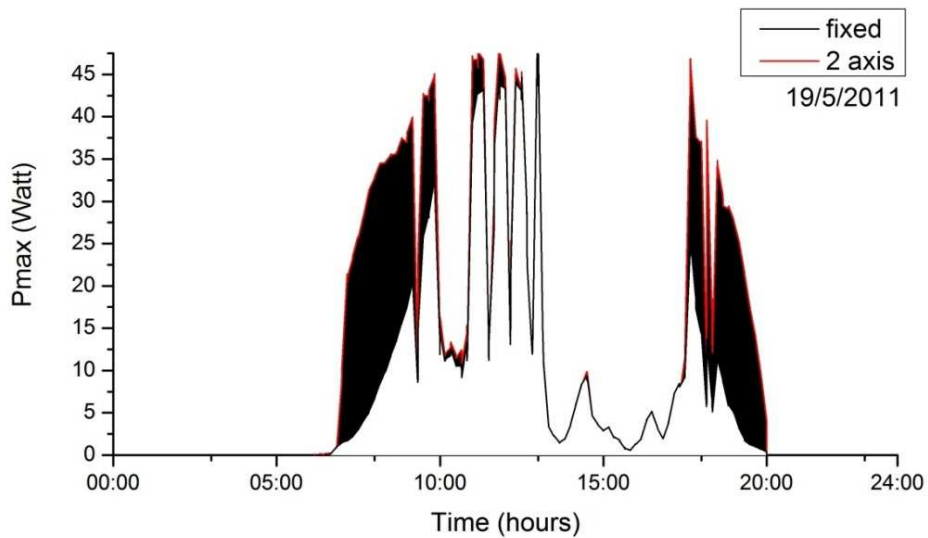
Όπως παρατηρείται από τον παραπάνω πίνακα, και για τις δύο περιπτώσεις μετρήσεων η παραγόμενη ενέργεια του συστήματος δύο αξόνων είναι μεγαλύτερη από το σύστημα σταθερής γωνίας κλίσης. Αξιοσημείωτο όμως είναι ότι στη μη αίθρια ημέρα το ποσοστό κέρδους της ενεργειακής απολαβής είναι μεγαλύτερο από αυτό της αίθριας ημέρας και ξεπερνάει το 40%. Αυτό οφείλεται, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, στο ότι ο καιρός δεν είναι νεφελώδης σε όλη τη διάρκεια της συγκεκριμένης μη αίθριας ημέρας.

Στις ώρες όπου η καμπύλη της ημερήσιας παραγόμενης ισχύς της αίθριας ημέρας παρουσιάζει τα μέγιστα του κέρδους, στη μη αίθρια ημέρα οι συστοιχίες λαμβάνουν τη μέγιστη δυνατή ακτινοβολία του ήλιου χωρίς σύννεφα.

Στη καμπύλη της αίθριας ημέρας γύρω από τη στιγμή του ηλιακού μεσημεριού το κέρδος ελαττώνεται, ενώ στη καμπύλη της μη αίθριας ημέρας ο συνεφιασμένος ουρανός (σχεδόν) μηδενίζει το κέρδος. Κατά διαστήματα υπάρχουν και «αιχμές» ηλιοφάνειας, στις οποίες η ισχύς είναι μέγιστη και μάλιστα ξεπερνούν τις τιμές της ισχύς της αίθριας ημέρας. Αυτό οφείλεται στη χαμηλή θερμοκρασία της ΦΒ συστοιχίας εκείνη τη χρονική στιγμή, καθώς η έλλειψη ηλιοφάνειας κατά τη διάρκεια της ημέρας διατήρησε τη θερμοκρασία σε χαμηλά επίπεδα. Είναι γνωστό ότι η θερμοκρασία παίζει σημαντικό παράγοντα στην παραγόμενη ενέργεια από ΦΒ συστοιχίες. Όλο αυτό συνεπάγεται μεγαλύτερο κέρδος της ενεργειακής απολαβής του ηλιοτροπίου δύο αξόνων έναντι του ηλιοτροπίου σταθερής γωνίας κλίσης στην μη αίθρια ημέρα από ότι στην αίθρια.



(α) Ημερήσια ενεργειακή απολαβή για μία αίθρια ημέρα

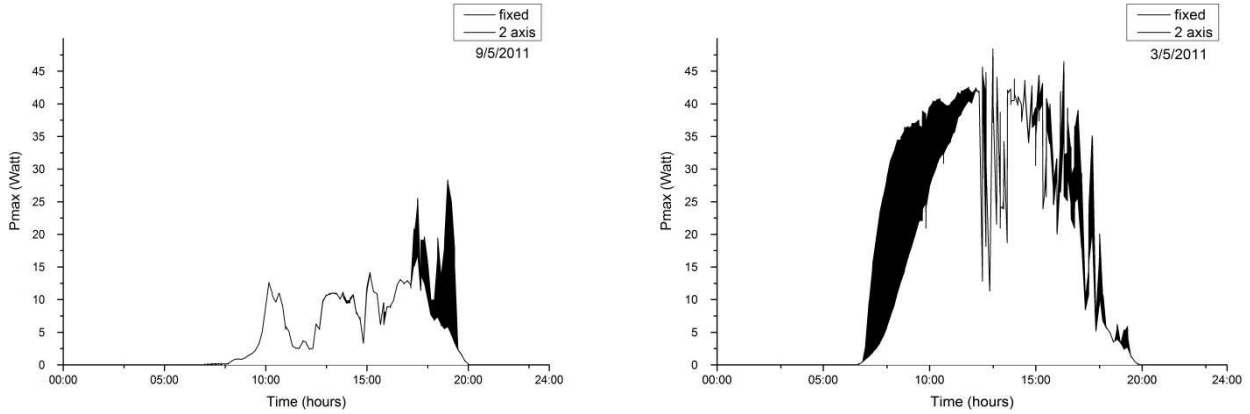


(β) Ημερήσια ενεργειακή απολαβή για μία μη αίθρια ημέρα

Στα παραπάνω γραφήματα, η μαυρισμένη περιοχή μεταξύ των καμπυλών αντιπροσωπεύει την πρόσθετη παραγόμενη ισχύ από το σύστημα δύο αξόνων. Το εμβαδό αυτό είναι η διαφορά της ημερήσιας ενεργειακής απολαβής του συστήματος δύο αξόνων από αυτή του συστήματος με σταθερή γωνία κλίσης.

- 3) Στη συνέχεια εξετάζονται οι ημέρες όπου επικρατεί συνεφιά σχεδόν καθ' όλη την διάρκεια της μέρας, δηλαδή με **πλήρως νεφελώδη** καιρικές συνθήκες.

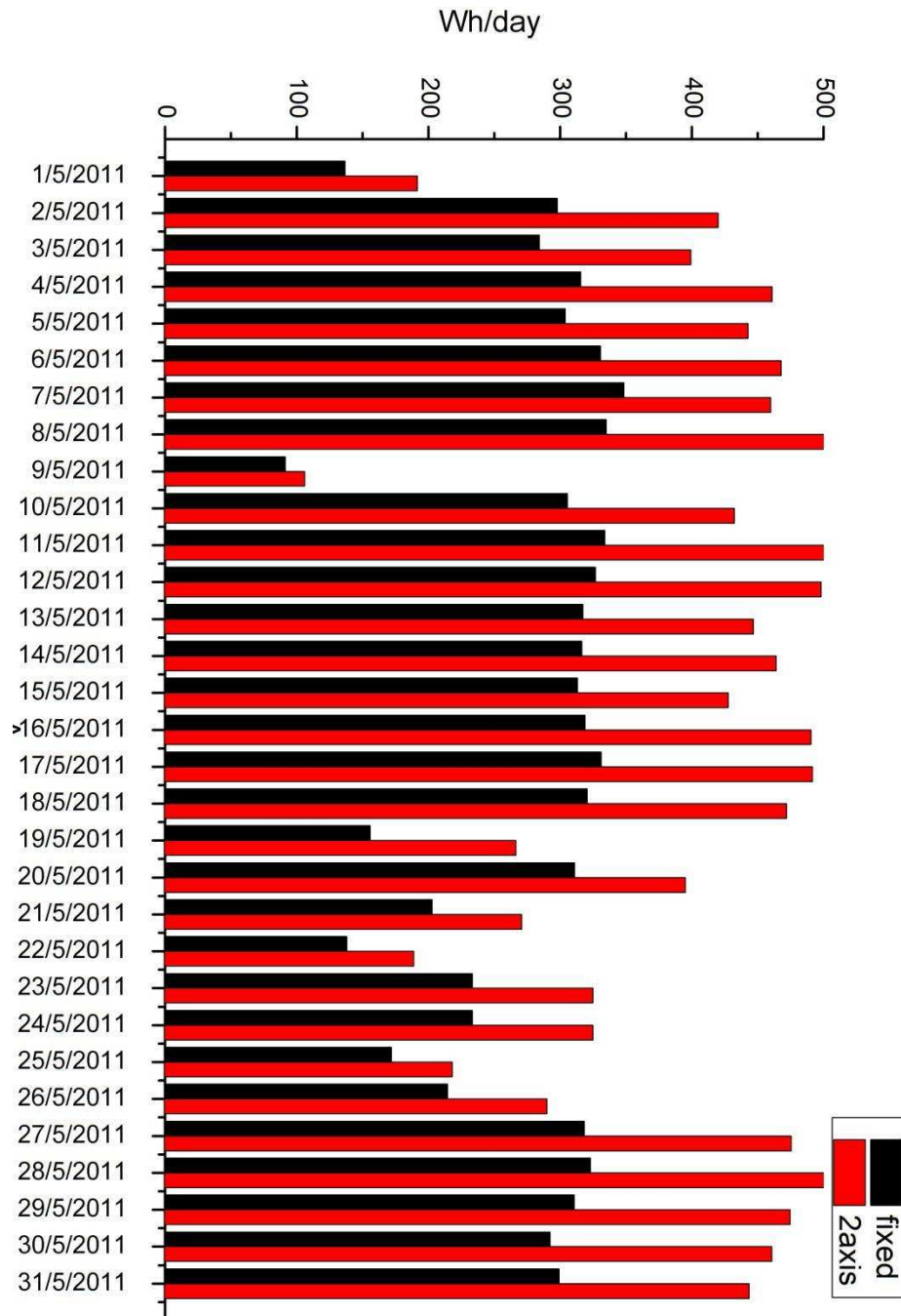
Παρακάτω παρουσιάζονται τα γραφήματα των χαρακτηριστικής της παραγόμενης ισχύς για τα δύο ηλιοτροπικά συστήματα (για τις 3 και 9/5/2011).



ημέρες	Ημερήσια ενεργειακή απολαβή E (Wh/day)		Κέρδος ΔΕ (%)
	fixed	2 axis	
3/5/2011	284,0448	399,2342	28,85259645
9/5/2011	91,2228	106,1263	14,04315186

Παρατηρείται μικρότερο ποσοστό κέρδους της αποδιδόμενης ισχύς του ηλιοτροπίου δύο αξόνων έναντι του ηλιοτροπίου σταθερής γωνίας κλίσης. Βέβαια το ποσοστό αυτό είναι σημαντικό καθώς αποδεικνύει ότι το σύστημα δύο αξόνων είναι αποδοτικότερο σε όλες τις καιρικές συνθήκες.

- 4) Εν τέλει εξετάζονται τα **μηνιαία αποτελέσματα της παραγόμενης ισχύς** των δύο ηλιοτροπίων για τον μήνα Μάιο.



Το παραπάνω γράφημα απεικονίζει τη ημερησία ενεργειακή απολαβή κατά τη διάρκεια ενός μήνα (Μάιος). Είναι εμφανής η διαφορά μεταξύ των δύο ηλιοτροπικών συστημάτων, καθώς το ηλιοτρόπιο δύο αξόνων συνεχίζει να είναι αποδοτικότερο καθ' όλη τη διάρκεια του μήνα.



Αναλυτικότερα στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της παραγόμενης ενέργειας των δύο ΦΒ ηλιοτροπικών συστημάτων.

Ημέρες	Ημερήσια ενεργειακή απολαβή E (Wh/day)		Κέρδος ΔΕ (%)
	fixed	2axis	
1/5/2011	136,595	191,649	28,73
2/5/2011	297,939	419,922	29,05
3/5/2011	284,045	399,234	28,85
4/5/2011	315,517	460,849	31,54
5/5/2011	303,782	442,707	31,38
6/5/2011	330,628	467,823	29,33
7/5/2011	348,412	459,864	24,24
8/5/2011	334,985	504,312	33,58
9/5/2011	91,223	106,126	14,04
10/5/2011	305,536	432,201	29,31
11/5/2011	333,913	517,062	35,42
12/5/2011	326,727	498,076	34,40
13/5/2011	317,199	446,769	29,00
14/5/2011	316,520	464,042	31,79
15/5/2011	313,031	427,536	26,78
16/5/2011	318,880	490,490	34,99
17/5/2011	331,282	491,649	32,62
18/5/2011	320,563	471,726	32,04
19/5/2011	155,716	266,413	41,55
20/5/2011	310,939	395,095	21,30
21/5/2011	202,644	270,693	25,14
22/5/2011	137,972	188,691	26,88
23/5/2011	233,445	324,746	28,11
24/5/2011	233,445	324,746	28,11
25/5/2011	171,898	218,129	21,19
26/5/2011	214,456	289,909	26,03
27/5/2011	318,183	475,400	33,07
28/5/2011	322,973	500,999	35,53
29/5/2011	310,615	474,675	34,56
30/5/2011	292,366	460,698	36,54
31/5/2011	299,201	443,408	32,52

Σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο έχουμε τη μηνιαία αποδιδόμενη ενέργεια:

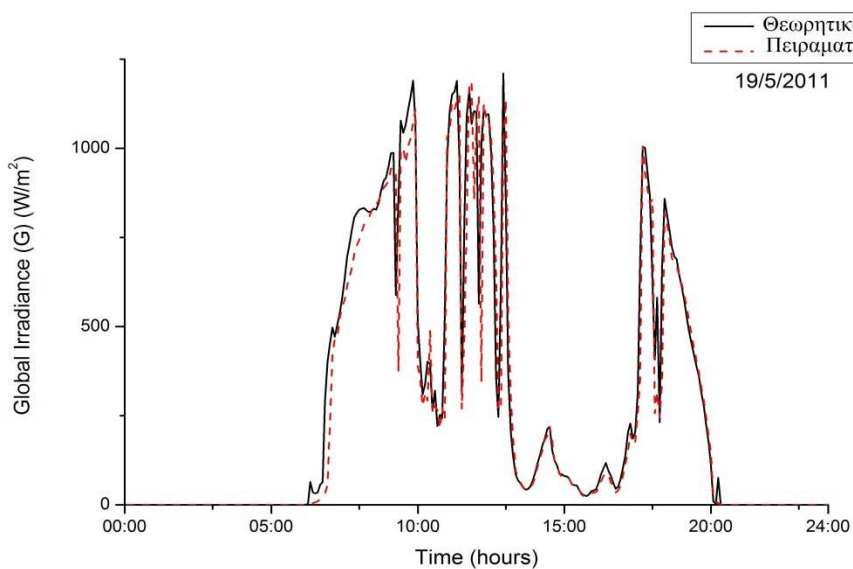
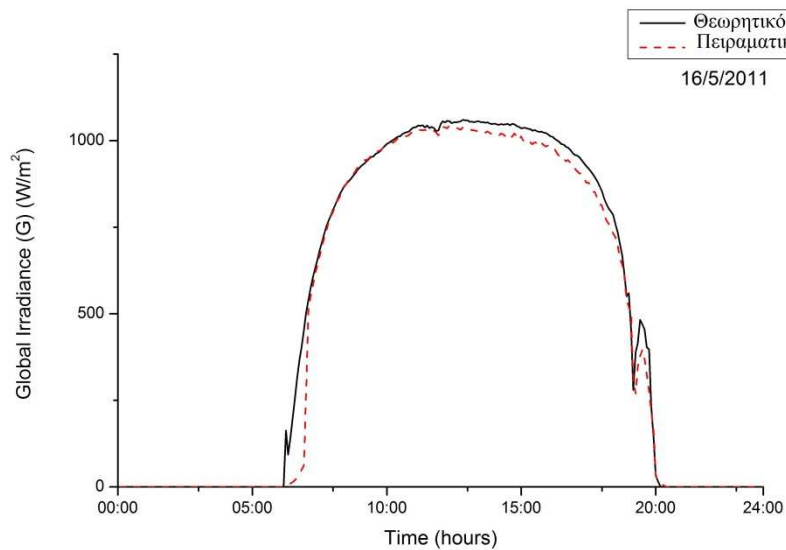
$$E \text{ (Wh/m)} = \sum_i (E \text{ (Wh/day)})$$

Για τον μήνα Μάιο το ποσοστό του κέρδους της μηνιαία ενεργειακής απολαβής είναι:

Μηνιαία ενεργειακή απολαβή E (Wh/m)		Κέρδος ΔΕ (%)
fixed	2axis	
8530,630	12325,638	30,79

### 5) Απόκλιση των μετρήσεων

Με βάση τις μετρήσεις της διάχυτης και της ολικής ακτινοβολίας όπου έγιναν σε οριζόντιο επίπεδο, εφαρμόστηκε το μοντέλο αναγωγής της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας ( $\text{kW/m}^2$ ), από οριζόντιο σε κεκλιμένο επίπεδο (δύο αξόνων) (Hay and Davies algorithm).



Η διαφορά των πειραματικών μετρήσεων σε σχέση με τις θεωρητικές τιμές κυμαίνεται από **2% έως 6%**. Συγκεκριμένα για την αίθρια ημέρα 2% και για την μη αίθρια ημέρα 6%. Αυτή η διαφορά οφείλεται σε μηχανολογικές απώλειες κατά την παρακολούθηση του συστήματος.

## 6) Συμπεράσματα

Σκοπός των ηλεκτρονικών διατάξεων του **ηλιοτροπίου δύο αξόνων** που κατασκευάστηκαν στα πλαίσια της παρούσας εργασίας είναι να εκμεταλλευεται μέγιστη δυνατή παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια ενός ΦΒ πλαισίου. Ο σχεδιασμός και η επανακασκευή της διάταξης αυτής έγινε με σκοπό την βελτίωση του παλιού συστήματος οδήγησης ώστε να είναι πιο ευέλικτο, με μεγαλύτερη προστασία από περιβαλλοντικούς παράγοντες κ.α.

Στη διάταξη που αναπτύχθηκε χρησιμοποιείται ο **μικροελεγκτής ATmega163** για την υλοποίηση του αλγόριθμου παρακολούθησης του ήλιου σε συνδυασμό με πρόγραμμα χειρισμού σε Η/Υ το οποίο και περιέχει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για την οδήγηση του συστήματος. Η υλοποίηση αυτή αυξάνει σημαντικά την ευχρηστία και την ευελιξία του συστήματος, καθότι παρέχεται η δυνατότητα της άμεσης αλλαγής ή και επέκτασης της συνολικής λειτουργίας του προγράμματος του χρήστη.

Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για τη διάταξη ενσωματώνει επίσης πλήρη λειτουργικότητα και για την επιτήρηση της κατάστασης του συστήματος (τάση συσσωρευτή, τάση ΦΒ πλαισίου κλπ).

Η ορθή λειτουργία των διατάξεων ελέγχθηκε και πιστοποιήθηκε μέσω μιας σειράς από μετρήσεις, οι οποίες πραγματοποιήθηκαν σε διάφορες συνθήκες ηλιακής ακτινοβολίας. Έπειτα από διαχωρισμό των μετρήσεων και μελέτη των αποτελεσμάτων καταλήγουμε στο ότι στερεώνοντας τη διάταξη πάνω σε σύστημα με δύο άξονες παρακολούθησης του ήλιου, μπορεί να συλλεχθεί μέχρι σχεδόν **31% περισσότερη ηλιακή ενέργεια** κατά τη διάρκεια ενός μήνα, σε σύγκριση με την εγκατάσταση σταθερής κλίσης.

Κάτι τέτοιο όμως αυξάνει την πολυπλοκότητα και έχει ως αποτέλεσμα μια υψηλότερου κόστους συντήρηση. Η μονού άξονα παρακολούθηση είναι λιγότερο σύνθετη αλλά παρουσιάζει μικρότερο κέρδος.

Αξίζει να σημειωθεί επίσης ότι το συνολικό κόστος των υλικών των ηλεκτρονικών διατάξεων της κατασκευής είναι αρκετά χαμηλό (δεν υπερβαίνει τα 35 Ευρώ), γεγονός που καθιστά οικονομικά συμφέρουσα και ρεαλιστική την προοπτική χρήσης του συστήματος σε πρακτικές εφαρμογές για την αύξηση της παραγόμενης ΦΒ ηλεκτρικής ενέργειας.

Τέλος, σχετικά με ενδεχόμενες βελτιώσεις του συστήματος, σε ότι αφορά το προγραμματιστικό κομμάτι της διάταξης, θα μπορούσε ενδεχομένως να γίνει απόλυτα αυτοματοποιημένο. Επίσης θα μπορούσε να γίνει η προσθήκη μιας διάταξης MPPT (Maximum Power Point Tracking). Κάτι τέτοιο θα παρείχε τη δυνατότητα πλήρους εκμετάλλευσης της ισχύος του ΦΒ πλαισίου, καλύπτοντας και την περίπτωση συνθηκών πολύ χαμηλής ηλιοφάνειας, όπου η τάση του πάνελ θα βρίσκονταν σε επίπεδα χαμηλότερα από αυτό του συσσωρευτή.

## Βιβλιογραφία – Πηγές

- «ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ» - Ι.Ε.ΦΡΑΓΚΙΑΔΑΚΗΣ - Εκδόσεις ΖΗΤΗ - Θεσσαλονίκη 2011.
- Σημειώσεις Εργαστηρίου Ηλεκτρονικών Ισχύος - Δρ. – Μηχ. Νικόλαος Π. Πολύζος – ΤΕΙ Κρήτης – Τμήμα Ηλεκτρολογίας - Ηράκλειο 2008.
- [www.atmel.com](http://www.atmel.com). η κατασκευάστρια εταιρία του μικροελεγκτή.
- [http://www.solar-wind.co.uk/pv\\_solar\\_panels.html](http://www.solar-wind.co.uk/pv_solar_panels.html) .Απόδοση ΦΒ πλαισίων.
- Άρθρο «Ο κλάδος των φωτοβολταϊκών: Ανασκόπηση» - Καραμπούζης Δ. Αθανάσιος
- <http://www.photovoltaic-energy.gr> , Ηλιακή Ακτινοβολία.
- <http://www.electroiq.com/index/photovoltaics.html> , Dual-Axis Tracking Generates More Power.
- <http://jcwinnie.biz/wordpress/?p=5941> , Dual Axis Solar Tracking.
- <http://www.eco-smart.com> , Solar Dual Axis Tracker.
- Azimuth-Altitude Dual Axis Solar Tracker. A master qualifying project by Professor Alexander Emanuel of WORCESTER POLYTECHNIC INSTITUTE.
- <http://el.wikipedia.org> , Φωτοβολταϊκό σύστημα.
- <http://www.photovoltaic-energy.gr>
- Πτυχιακή Εργασία: Υλοποίηση Ανιχνευτή Σημείου Μέγιστης Ισχύος (Maximum Power Point Tracking – MPPT - Έλσον Μπάρδι - Ηράκλειο 2011.
- Πτυχιακή Εργασία: Μέτρηση Ηλιακής Ακτινοβολίας με τη Χρήση φωτοβολταϊκού πλαισίου αντί πυρανομέτρου - Μαρίνα Χατζιανδρέου - Ηράκλειο 2007.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: Οδηγίες Χρήσης – Συνδεσμολογία

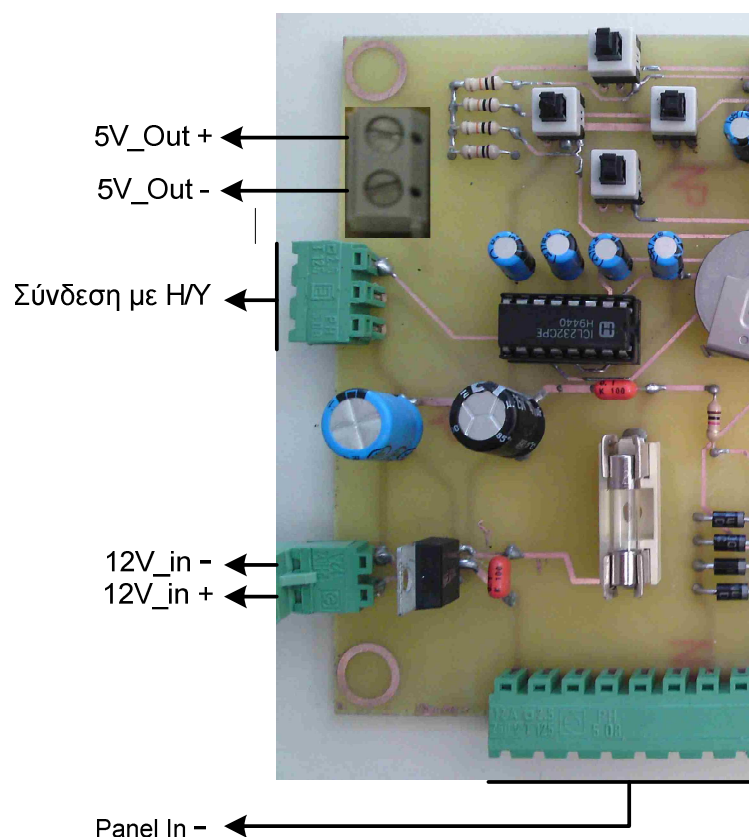
### Οδηγίες Χρήσης:

Κατά την πρώτη εκκίνηση του συστήματος αλλά και κάθε φορά που γίνεται η επανεκκίνησή του, το πρόγραμμα έχει ως δεδομένο ότι η ΦΒ συστοιχία βρίσκεται στη θέση αναφοράς η οποία χαρακτηρίζεται με νότιο προσανατολισμό και με μικρή γωνιά κλίσης.

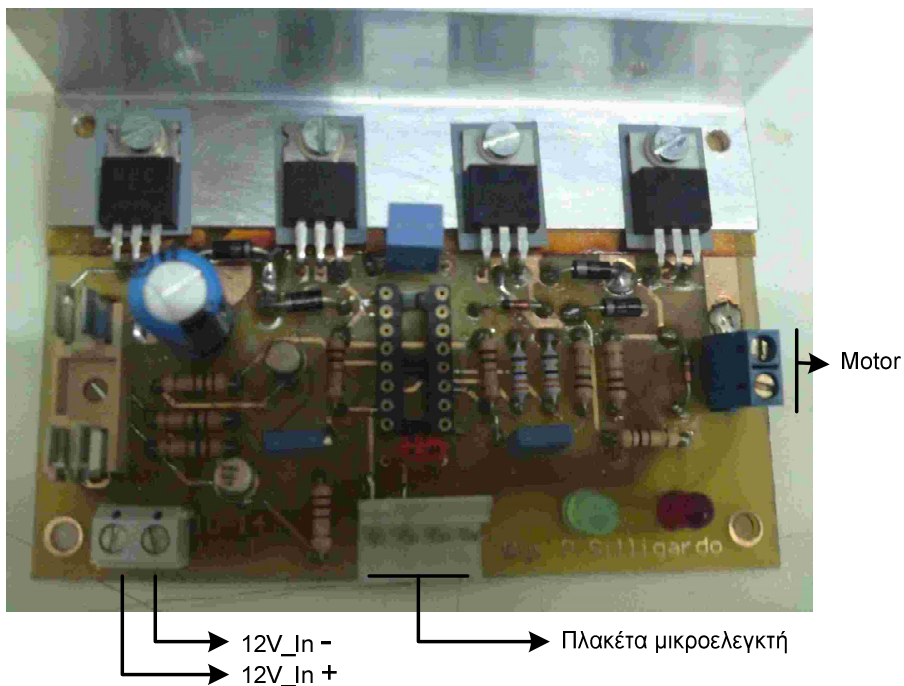
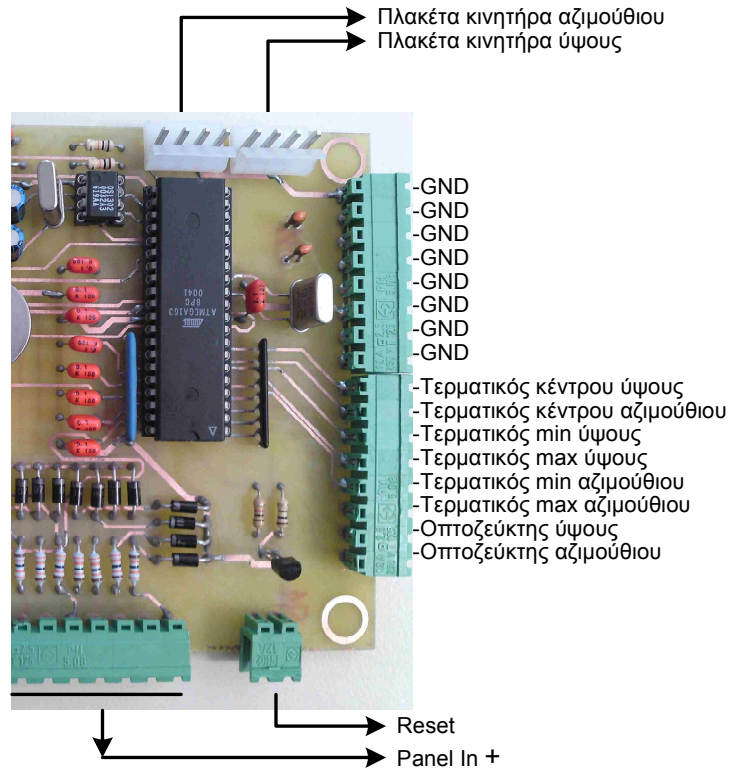
- Συνδέουμε την πλακέτα του μικροελεγκτή με τον Η/Υ με καλώδιο RS232.
- Έχοντας εκτός τροφοδοσίας την πλακέτα ανοίγουμε το πρόγραμμα.
- Τροφοδοτούμε την πλακέτα.
- Πατάμε κλικ στο “Auto”.

Από το σημείο αυτό και έπειτα ξεκινάει η διαδικασία παρακολούθησης του ήλιου.

### Συνδεσμολογία:

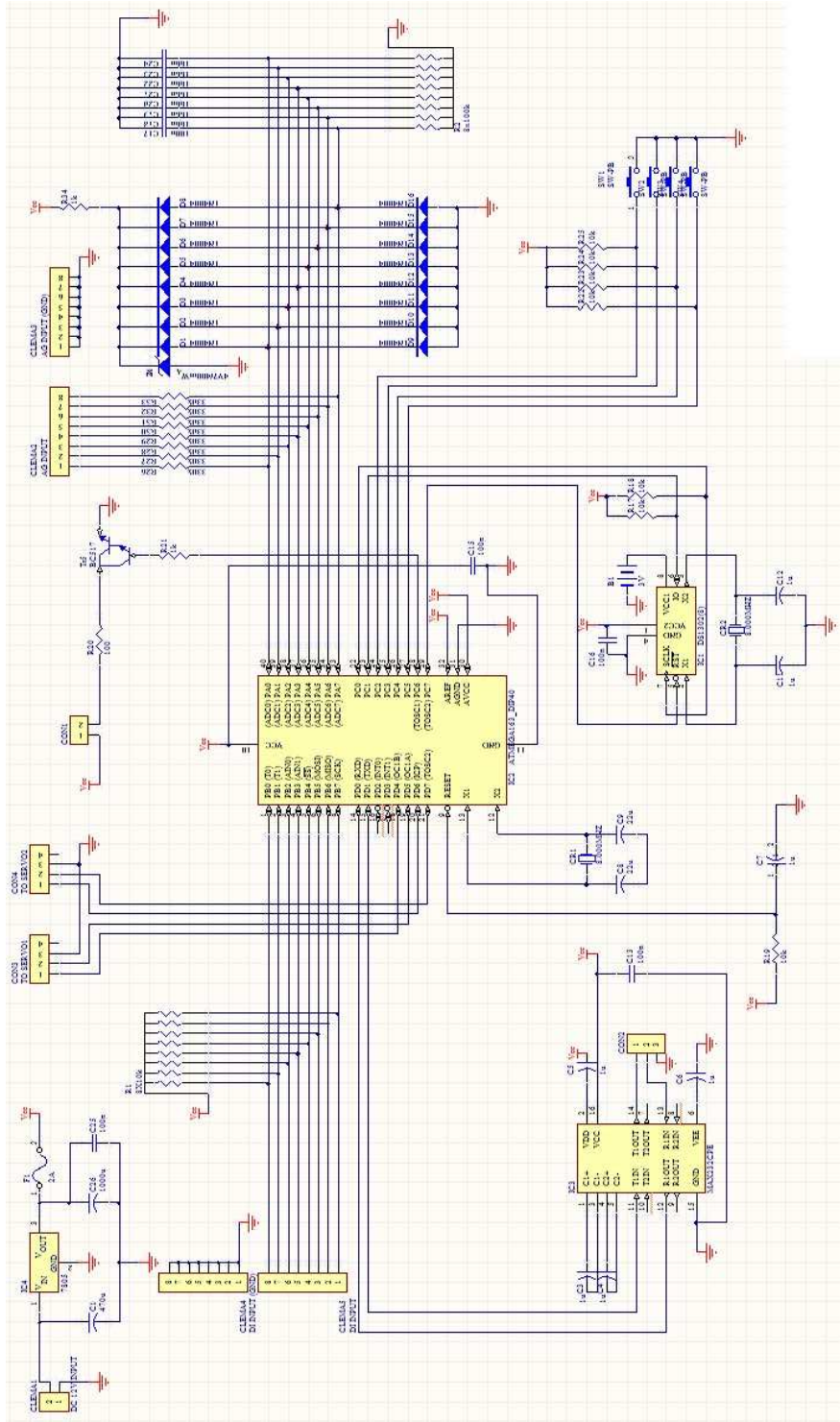


- Τα 5V\_Out έχουν σκοπό να τροφοδοτήσουν τους οπτοζεύκτες της διάταξης.
- Τα 12V\_in λαμβάνονται από την μπαταρία.
- Η Σύνδεση με τον Η/Υ γίνεται με καλώδιο RS232.

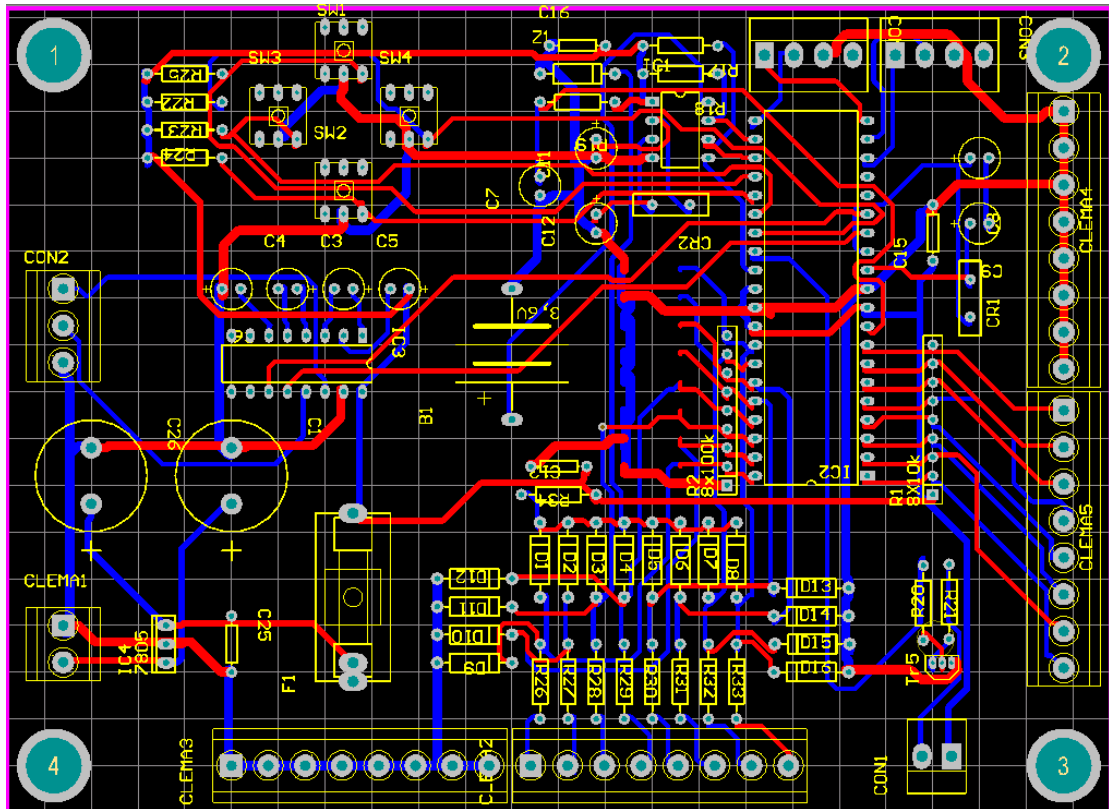


## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: Σχηματικά και PCB των ηλεκτρονικών διατάξεων

Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζεται το Schematic και το PCB της πλακέτας του μικροελεγκτή τα οποία είναι εγγραμμένα και σε οπτικό δίσκο (*data CD*) που συνοδεύεται με την εργασία.



*Schematic* πλακέτας μικροελεγκτή

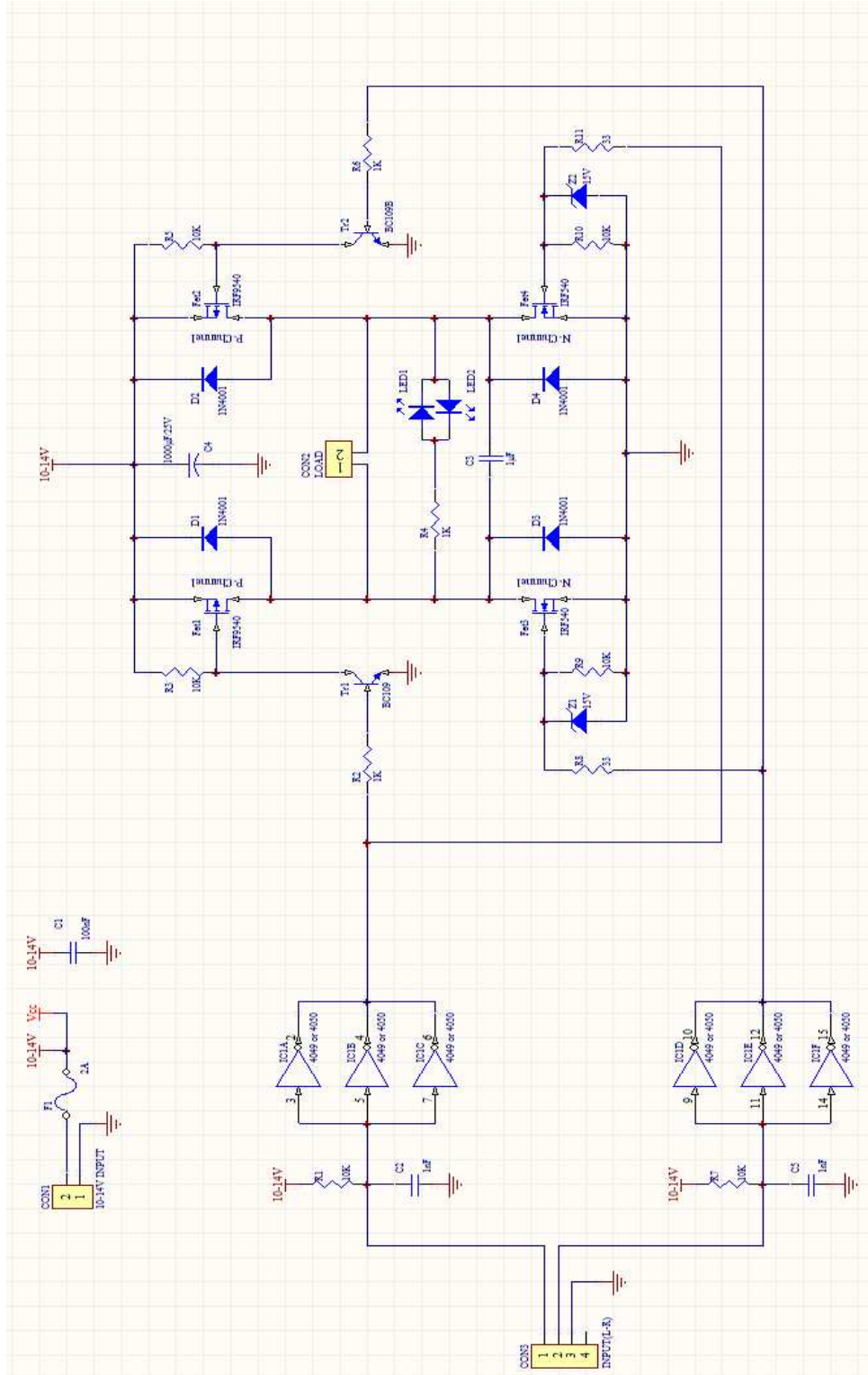


PCB Πλακέτας μικροελεγκτή

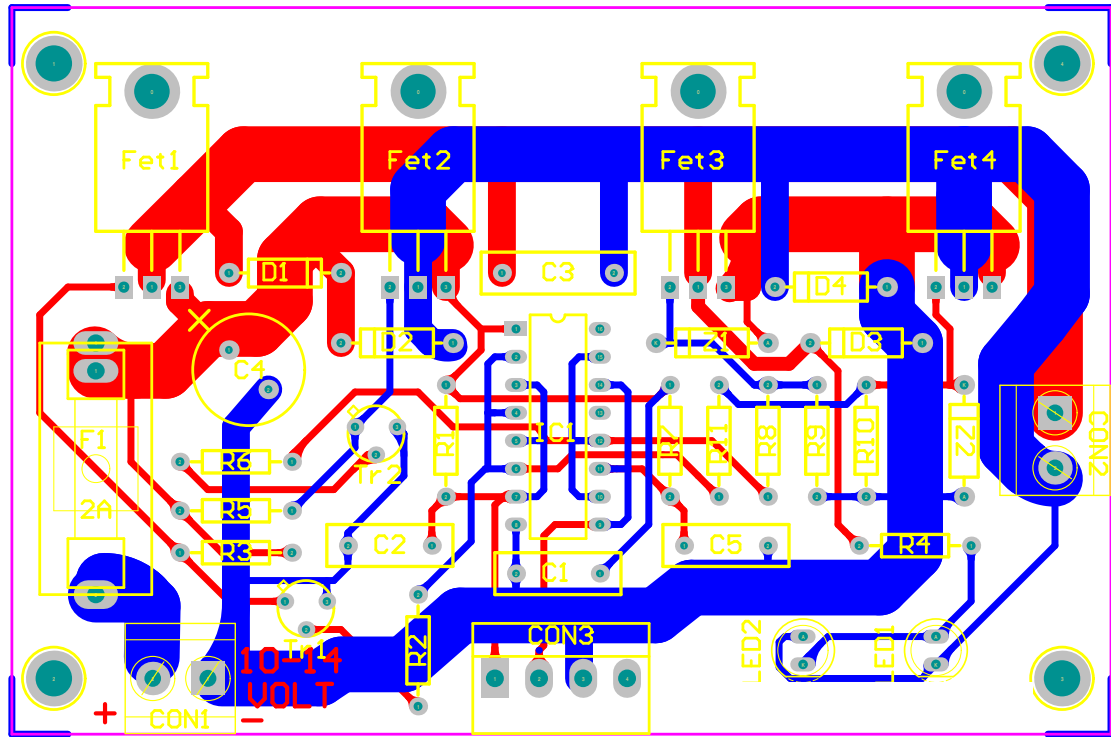


## Schematic και PCB της πλακέτας του κινητήρα

Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζεται το Schematic και το PCB της πλακέτας του κινητήρα τα οποία είναι εγγραμμένα και σε οπτικό δίσκο (*data CD*) που συνοδεύεται με την εργασία.

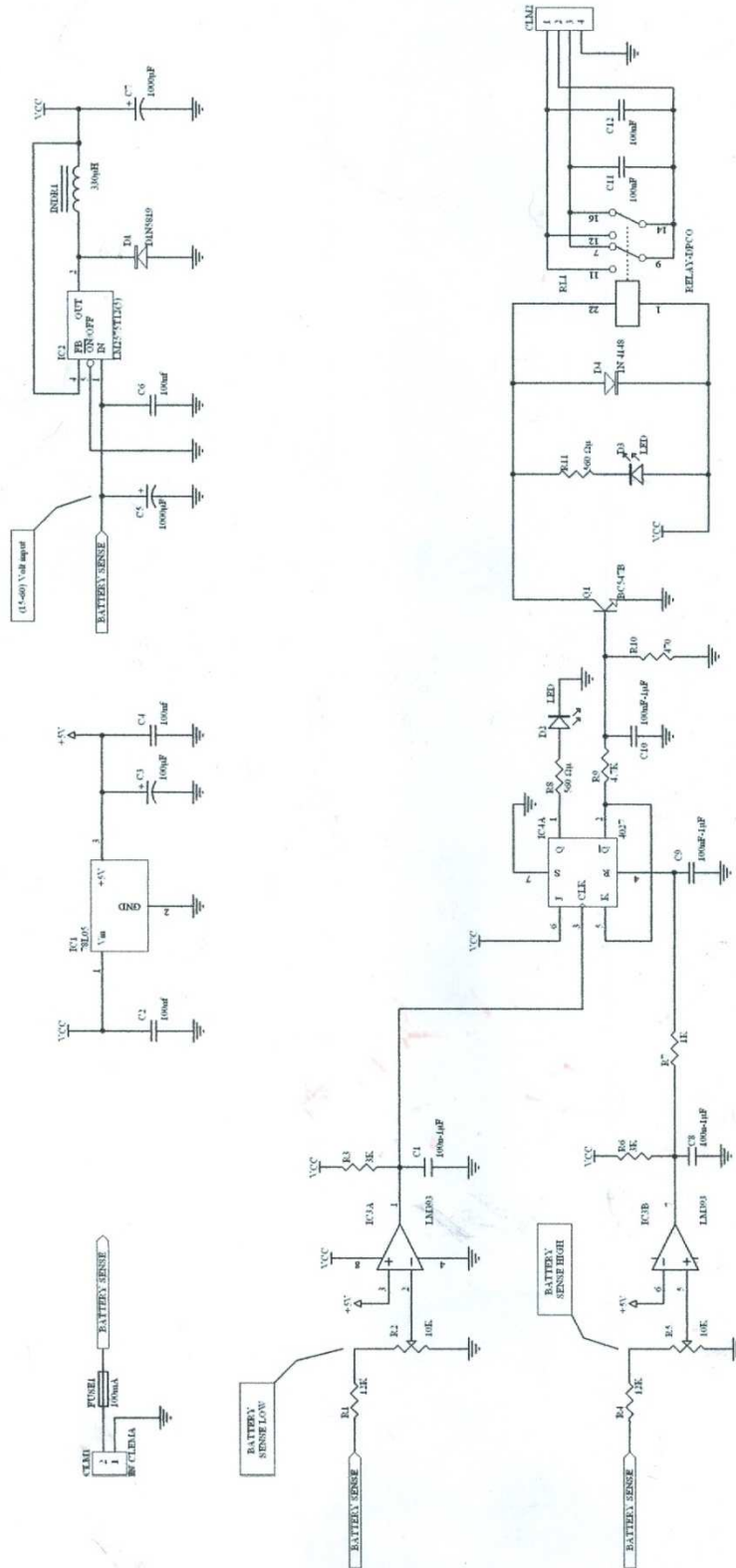


Schematic πλακέτας κινητήρα

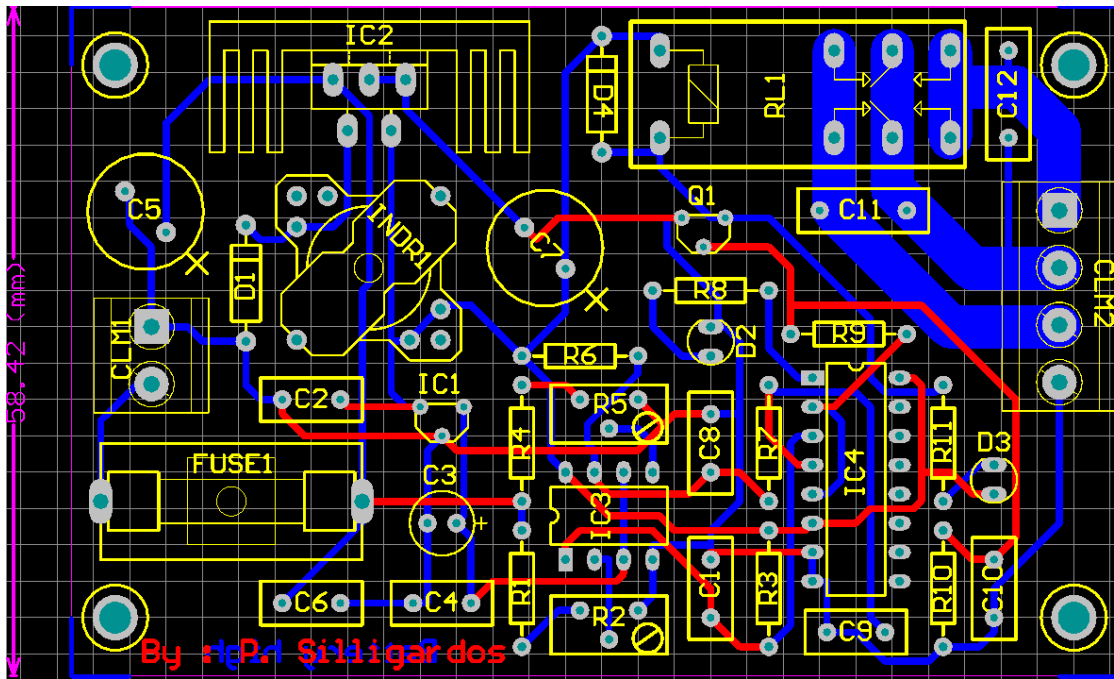


*PCB Πλακέτας κινητήρα*

Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζεται το Schematic και το PCB της πλακέτας του επιτηρητή-φορτιστή τα οποία είναι εγγραμμένα και σε οπτικό δίσκο (*data CD*) που συνοδεύεται με την εργασία.



*Schematic της πλακέτας του επιτηρητή-φορτιστή του συσσωρευτή*



PCB πλακέτας επιτηρητή-φορτιστή του συσσωρευτή