

**ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ
ΣΤΕΦ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

PHOTOVOLTAIC SYSTEMS

Σπουδαστής: Μανωλόπουλος Νικηφόρος

Student: Manolopoulos Nikiforos

Καθηγητής: Κος Μαλατέστας Παντελής

Professor: Mr. Malatestas Pantelis

ΤΡΙΠΟΛΗ, 2013

ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

1.0 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο ΗΛΙΟΣ	σελ. 5
-ΙΣΤΟΡΙΚΑ	σελ. 5
-ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΚΑ	σελ. 6

2.0 ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

-Η ΑΝΑΓΚΗ ΥΙΟΘΕΤΗΣΗΣ ΤΟΥΣ	σελ. 8
-ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	σελ. 11
-ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ	σελ. 19
ΤΥΠΟΙ ΠΛΑΙΣΙΩΝ	σελ. 19
ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ Φ/Β/ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ	σελ. 21
ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ	σελ. 23
-ΤΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ	σελ. 24
ΓΕΝΙΚΑ	σελ. 24
ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΦΩΤΟΡΕΥΜΑΤΟΣ	σελ. 26
ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ	σελ. 26
ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ Φ/Β ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ	σελ. 28
Ο ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΠΛΗΡΩΣΗΣ	σελ. 30
Η ΑΠΟΔΟΤΙΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ Φ/Β ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ (ΣΤΑΘΕΡΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ)	σελ. 34
ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΗΜΙΑΓΩΓΩΝ ΓΙΑ ΗΛΙΑΚΕΣ Φ/Β ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ	σελ. 35
Η ΑΠΟΔΟΤΙΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ Φ/Β ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ (ΜΕΤΑΒΑΛΛΟΜΕΝΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ)	σελ. 36
ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ Φ/Β ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ (ΠΥΡΙΤΙΟΥ, ΘΕΙΟΥΧΟΥ ΚΑΔΜΙΟΥ, ΑΡΣΕΝΙΚΟΥ ΓΑΛΛΙΟΥ, ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ)	σελ. 37
-ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ	σελ. 42
ΓΕΝΙΚΑ	σελ. 42
Η ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ	σελ. 43
Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ	σελ. 44

Η ΙΣΧΥΣ ΑΙΧΜΗΣ ΤΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ	σελ. 45
ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	σελ. 46
ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΠΑΝΕΛ ΚΑΙ ΣΥΣΤΟΙΧΙΕΣ	σελ. 47
ΟΙ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΣΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	σελ. 49
ΑΥΤΟΝΟΜΑ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	σελ. 50
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΚΑΙ ΧΩΡΟΤΑΞΙΚΑ ΘΕΜΑΤΑ	σελ. 58
ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΤΩΝ ΒΗΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΕΝΟΣ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	σελ. 59
ΕΠΟΠΤΕΙΑ ΚΑΙ ΑΥΤΟΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ Φ/Β ΥΒΡΙΔΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ	σελ. 61
ΚΑΤΑΓΡΑΦΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΓΙΑ Φ/Β ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ (PVMS)	σελ. 62
ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΔΙΑΧΕΙΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΗΣ ΙΣΧΥΟΣ	σελ. 66
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΙΣΧΥΟΣ	σελ. 67
ΡΥΘΜΙΣΤΕΣ, ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ ΚΑΙ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΙΣ	σελ. 69
ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑ ΓΕΦΥΡΑΣ	σελ. 78
ΡΥΘΜΙΣΤΗΣ ΤΑΣΗΣ ΣΕ ΕΝΑΝ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑ	σελ. 79
ΜΕΙΩΣΗ ΤΩΝ ΑΡΜΟΝΙΚΩΝ ΤΗΣ ΤΑΣΗΣ ΕΞΟΔΟΥ	σελ. 81
ΧΡΗΣΗ ΥΨΙΣΥΧΝΩΝ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΩΝ ΤΑΣΗΣ	σελ. 82
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	σελ. 88
ΑΥΤΟΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ Η ΣΥΓΚΡΟΤΗΣΗ ΤΟΥ	σελ. 89
3.0 ΣΥΝΘΕΣΗ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	
ΣΤΑΘΕΡΕΣ ΣΥΣΤΟΙΧΙΕΣ	σελ. 90
ΣΥΣΤΟΙΧΙΕΣ ΜΕ ΑΝΑΚΛΑΣΤΗΡΕΣ	σελ. 91
ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΙΚΕΣ ΣΥΣΤΟΙΧΙΕΣ	σελ. 93
ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ	σελ. 95
ΦΑΣΜΑΤΙΚΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ	σελ. 96
4.0 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΑΠΑΡΑΙΤΗΤΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ	
ΜΕΤΡΗΣΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ	σελ. 100

ΜΕΤΡΗΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΤΟΥ	
ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΥ ΑΕΡΑ	σελ. 100
ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΑΝΕΜΟΥ	σελ. 101
ΜΕΤΡΗΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΠΛΑΙΣΙΟΥ	σελ. 101
ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ	σελ. 102
ΜΕΤΡΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	σελ. 102
ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΥ	σελ. 103
ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ	σελ. 103
ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ HEADER ΜΕ ΠΟΛΛΑΠΛΕΣ	
ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ	σελ. 104
ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ	σελ. 105
ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΜΟΝΗΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ	σελ. 106
ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ	σελ. 106
ΣΥΝΑΚΟΛΟΥΘΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	σελ. 107
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ	σελ. 108
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΙΣΧΥΟΣ	σελ. 109
ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ BOS	σελ. 110
ΣΥΣΤΗΜΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΤΑΛΟΓΩΝ	σελ. 111
ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΕΝΕΣ ΑΠΟΔΟΣΕΙΣ	σελ. 111
ΣΥΝΗΘΙΣΜΕΝΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ	σελ. 113
ΜΗΝΙΑΙΕΣ Ή ΕΤΗΣΙΕΣ ΑΠΟΔΟΣΕΙΣ, ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΚΑΙ	
ΕΠΑΡΚΕΙΕΣ	σελ. 113
5.0 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ	
ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	σελ. 114
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΙΣΧΥΟΣ	σελ. 115
ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΤΗΣΙΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ Ε.Π.Ε.	σελ. 116
ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ	σελ. 118
ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ Φ/Β ΠΑΝΕΛ ΣΕ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ	σελ. 126
6.0 ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΑΠΟ ΠΡΟΣΩΠΙΚΗ ΜΟΥ ΕΡΓΑΣΙΑ	
ΣΕ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ Φ/Β ΣΕ ΣΤΕΓΗ ΣΠΙΤΙΟΥ	σελ. 132
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	σελ. 140

1.0 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο ΗΛΙΟΣ

Ιστορικά

Ο ήλιος από τις πολύ πρώιμες περιόδους της ιστορίας λατρευόταν σαν θεϊκή οντότητα. Αναγνωρίστηκε γρήγορα σαν τον γεννήτορα της ζωής, την κινητήρια δύναμη γύρω από όλα τα φαινόμενά της, το σύνδεσμο μεταξύ Ανθρώπου και του μακρόκοσμου που οι πρόγονοί μας άρχισαν να αντιλαμβάνονται την ύπαρξή του πέρα από τον περιορισμένο κόσμο στον οποίο είχαν άμεση πρόσβαση και αντίληψη. Έτσι, αργότερα πήρε θέση στη συνείδηση των ανθρώπων σαν την εξωτερική εκπροσώπηση της Πρώτης Αιτίας, όπου προσωποποιήθηκε από τις διάφορες θρησκείες σύμφωνα με τη φύση κάθε κουλτούρας στις διάφορες εποχές και περιοχές του κόσμου.

Για παράδειγμα ταυτίστηκε με τον Απόλλωνα στους Έλληνες, τον Μπράχμα στους Ινδουιστές, τον Μίθρα στους Πέρσες, τον Άτον και Αμμόν-ρα στους Αιγυπτίους, τον Μπελ στους Χαλδαίους, τον Αντονάι στους Φοίνικες, τον Γιόντ στους Εβραίους κλπ.

Αστρονομικά

Ο ήλιος είναι το γνωστό αυτόφωτο ουράνιο σώμα που γύρω του κινείται η Γη και οι άλλοι πλανήτες. Η ακτίνα του είναι 695.426χλμ., δηλαδή 109 φορές μεγαλύτερη από τη γήινη, ο όγκος του είναι 333.432 φορές μεγαλύτερη από τη μάζα της Γης. Η μέση απόστασή του από τη Γη είναι 149.488.000χλμ., η δε βαρύτητά του είναι 28πλάσια από την αντίστοιχη επί της επιφάνειας της Γης. Ο Ήλιος είναι μια σφαίρα αερίων που συγκρούονται με την ίδια του την έλξη. Δεν περιέχει ούτε στερεή ούτε ρευστή ύλη. Το αέριο τελείως σε ατομική μορφή αν και μερικά μόρια παρουσιάζονται στα εξωτερικά στρώματα.

Η ενέργεια που παράγει ο Ήλιος οφείλεται σε πυρηνικές αντιδράσεις, που καταλήγουν στη μετατροπή υδρογόνου σε ήλιον σε θερμοκρασία περίπου $20.000.000^{\circ}$ και με συνεχή απώλεια μάζας που φτάνει τους 4.000.000 τόνους το δευτερόλεπτο. Η ενέργεια αυτή περνάει σιγά - σιγά στην εξωτερική του επιφάνεια και σκορπίζεται στο διάστημα σε μορφή θερμότητας και φωτός. Η λεγόμενη επιφάνεια του Ήλιου που βλέπουμε είναι γνωστή σαν φωτόσφαιρα και έχει θερμοκρασία περίπου 6.000° . Πάνω από τη φωτόσφαιρα υπάρχει ένα στρώμα αερίων, η χρωμόσφαιρα, που μπορεί να θεωρηθεί σαν την ατμόσφαιρα του Ήλιου και που βρίσκεται και αυτή σε συνεχή αναταραχή. Παρατηρήθηκε για πρώτη φορά κατά τη διάρκεια εκλείψεων και το κόκκινο χρώμα της, της έδωσε το όνομα. Έχει πάχος πολλών χιλιάδων χιλιομέτρων. Πάνω από τη χρωμόσφαιρα εκτείνεται μακριά

προς το στέμμα ή στεφάνι, που το φως του προέρχεται από πολύ διεγερμένα αραιά αέρια και περιέχει και ηλιακό φως που διαθλάται από μόρια σκόνης και ηλεκτρόνια. Τα σκοτεινά σημεία που παρουσιάζει ο Ήλιος είναι οι λεγόμενες κηλίδες, έκτασης μέχρι διαμέτρου 30.000χλμ. που είναι παροδικά φαινόμενα.

Στη φασματοσκοπική εξέταση παρουσιάζονται προεξοχές, που είναι πελώριοι όγκοι αερίου πολύ πάνω από τη φωτόσφαιρα. Παρουσιάζονται σαν σκοτεινές γραμμές ή λεκέδες πάνω στην επιφάνεια του ηλιακού δίσκου ή σαν φωτεινά σύννεφα πάνω από αυτόν. Η φασματοσκοπική εξέταση δείχνει ένα άλλο πρόσκαιρο φαινόμενο, τις εκρήξεις. Κατά διαστήματα με κόκκινο φως υδρογόνου μπορεί να παρουσιαστεί μέσα σε λίγα λεπτά ένα εξαιρετικά έντονο φωτεινό σημάδι και κατόπιν να σβήσει. Τέτοια σημάδια συνδέονται με ομάδες κηλίδων σε ενέργεια. Πρόκειται για γιγάντιες εκρήξεις που γίνονται πάνω στον Ήλιο. Όταν σημειώνονται ταυτόχρονα με την ορατή ακτινοβολία, εκπέμπεται και ισχυρή υπεριώδης ακτινοβολία. Αυτό το υπεριώδες φως επηρεάζει το στρώμα D (ένα στρώμα αερίων της άνω ατμόσφαιρας της γης) και προκαλεί ραδιοφωνικές διαλείψεις. Μια δυο μέρες αργότερα σημειώνονται νέες ραδιοφωνικές διαταραχές, μαγνητικές καταιγίδες κλπ.

Εκτός από τις υπεριώδεις ακτίνες, το ορατό φως και τις υπέρυθρες ακτίνες, ο Ήλιος εκπέμπει ακτίνες X (πολύ βραχύ μήκος κύματος) και ραδιοκύματα (μεγάλο μήκος). Οι ακτίνες X που απορροφώνται από την άνω ατμόσφαιρα γίνονται ισχυρότερες όταν γίνονται εκρήξεις και σχετίζονται περισσότερο με το εσωτερικό στρέμμα παρά με τον ίδιο τον ήλιο.

Οι αστρονόμοι κατατάσσουν τον Ήλιο στους λεγόμενους αστέρες νάνους και υπόψιν ότι με ολόκληρο το πλανητικό σύστημα κινείται με ταχύτητα 200χλμ. το δευτερόλεπτο.

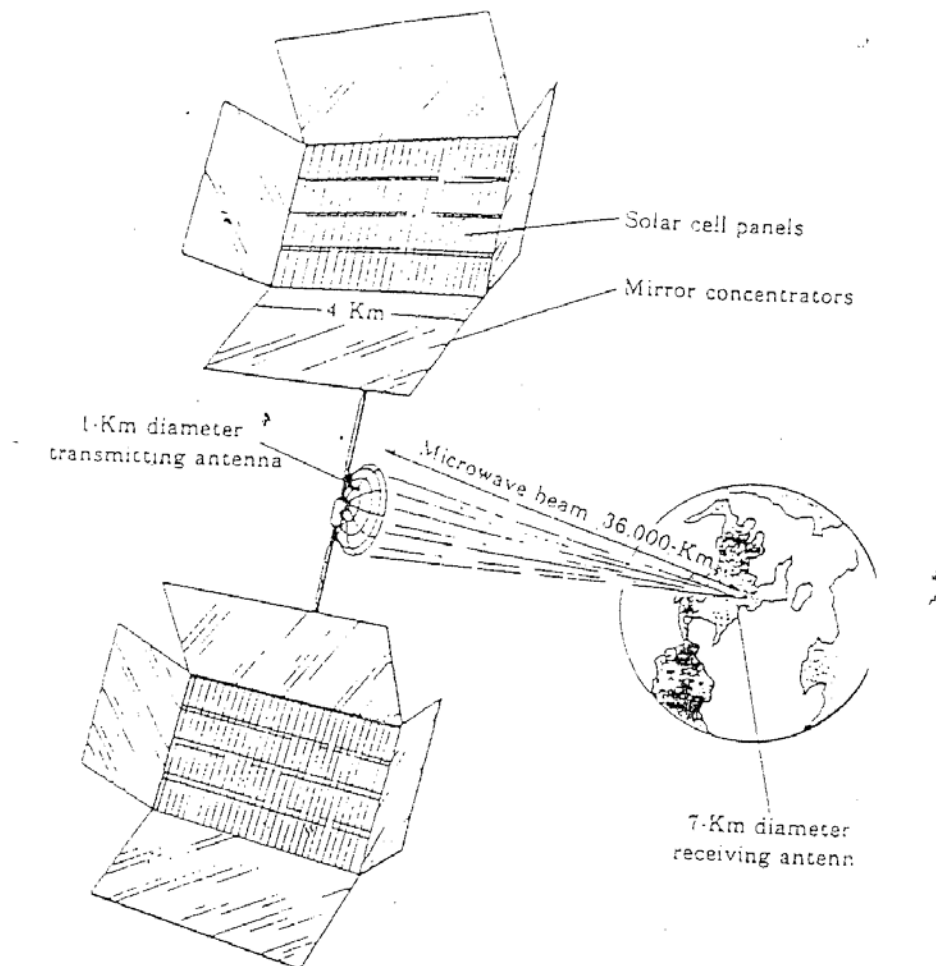
2.0 ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα, δηλαδή η μετατροπή της ηλιακής ενέργειας μέσω των ηλιακών κυττάρων απ' ευθείας σε ηλεκτρικό ρεύμα, έγιναν αρχικά γνωστά στο ευρύτερο κοινό μαζί με την πρόοδο του διαστημικού προγράμματος των Η.Π.Α.

Η ίδια η λέξη προέρχεται από την ελληνική λέξη φως και το όνομα του Ιταλού επιστήμονα Βόλτα. Τα τελευταία χρόνια πολλές εφαρμογές έχουν αναπτυχθεί για τα Φ/Β σε μια μεγάλη ποικιλία εμπορικών προϊόντων, από ρολόγια χειρός και ηλεκτρονικούς υπολογιστές τσέπης έως δορυφόρους και διαστημικές εφαρμογές.

Η ανάγκη υιοθέτησής τους

Ο Ήλιος είναι μια τεράστια πηγή ενέργειας και όλη η ζωή του πλανήτη μας εξαρτάται από αυτόν. Η ενέργεια που φτάνει στην επιφάνεια της Γης είναι ένα μικρό κλάσμα της ολικής ενέργειας που παράγεται από αυτόν. Παρ' όλα αυτά, η ενέργεια που φθάνει στη Γη είναι 20.000 φορές περισσότερη από την ενέργεια που καταναλώνεται σήμερα σε ολόκληρο τον κόσμο σε οποιαδήποτε μορφή.



Τα φωτοβολταϊκά σε δορυφόρους

Τα μεγάλα προβλήματα που έχουν δημιουργηθεί στο περιβάλλον, ιδιαίτερα το φαινόμενο του θερμοκηπίου και η μείωση του όζοντος στην ατμόσφαιρα, είναι πολύ γνωστές σε όλους. Οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, που χρησιμοποιούν ως πρώτη ύλη συμβατικά καύσιμα όπως πετρέλαιο, άνθρακας, λιγνίτης κλπ, ευθύνονται κατά

μεγάλο μέρος για τη μόλυνση του περιβάλλοντος επειδή διασπέρνουν στην ατμόσφαιρα εκατομμύρια τόνους ρυπαντών ουσιών.

Εκτός αυτών, τα αποθέματα των πρώτων υλών (καύσιμα) του πλανήτη μας δεν είναι ανεξάντλητα. Με τον σημερινό ρυθμό κατανάλωσής τους υπολογίζεται ότι θα επαρκέσουν ακόμα για 60 με 200 χρόνια. Από την άλλη πλευρά ο ήλιος πρόκειται να λάμπει για περίπου 5.000.000.000 χρόνια.

Όλα αυτά τα προβλήματα οδήγησαν την τεχνολογία να στραφεί στην ανάπτυξη και εκμετάλλευση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) που είναι αφενός ανεξάντλητες, αφ' ετέρου φιλικές προς το περιβάλλον.

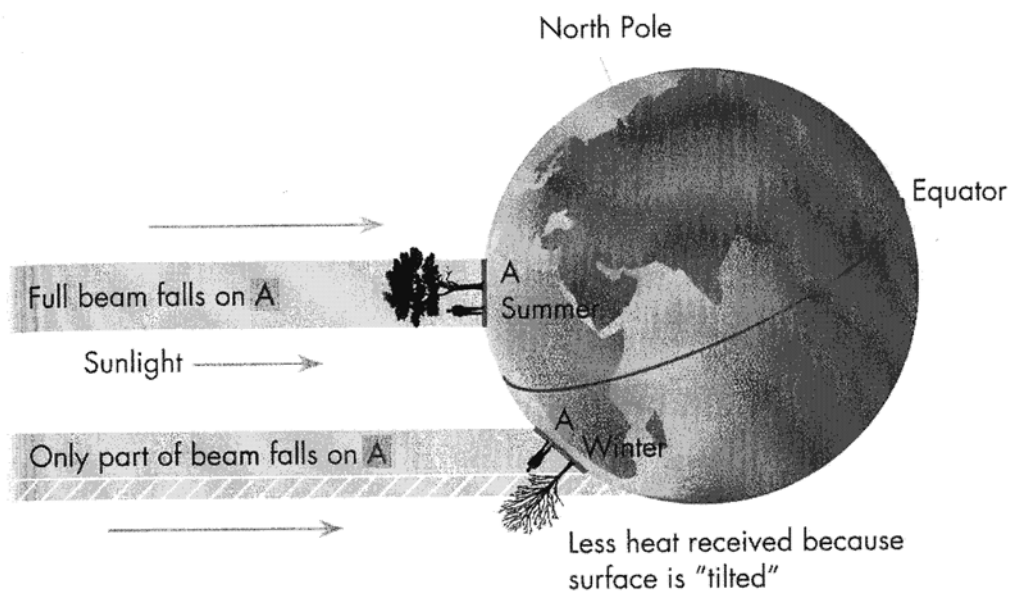
Η σπουδαιότερη από τις ΑΠΕ είναι η ηλιακή ενέργεια η οποία μπορεί να μετατραπεί κατευθείαν σε ηλιακή ενέργεια χάρη στα φωτοβολταϊκά συστήματα. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα μετατρέπουν κατ' ευθείαν το ηλιακό φως σε ηλεκτρικό ρεύμα, μέσω αρχής του φωτοβολταϊκού φαινομένου.

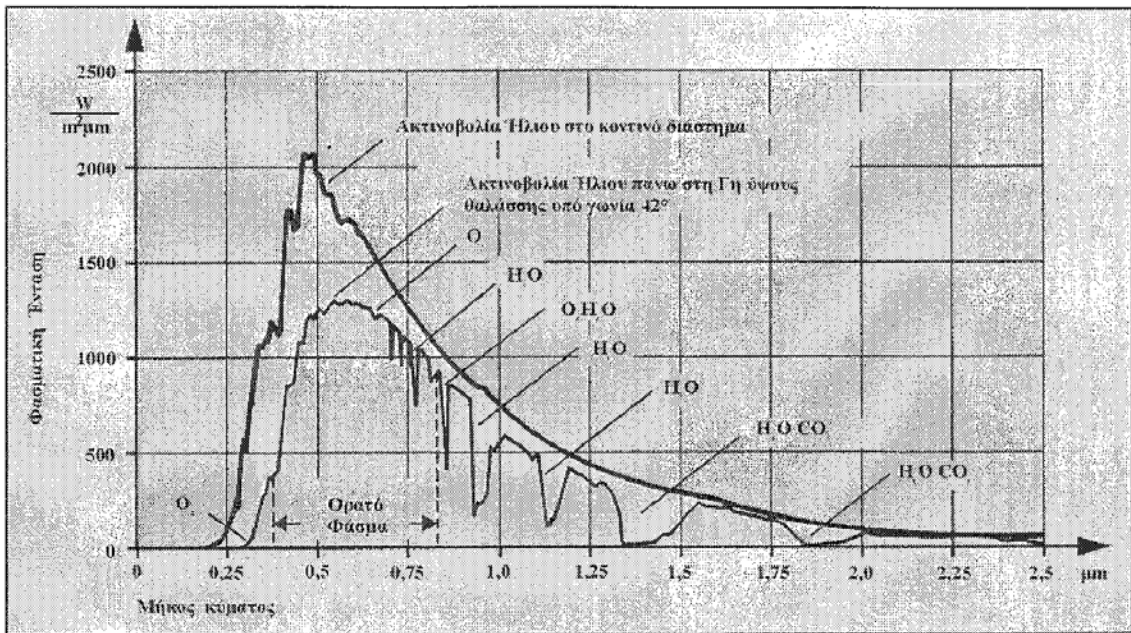
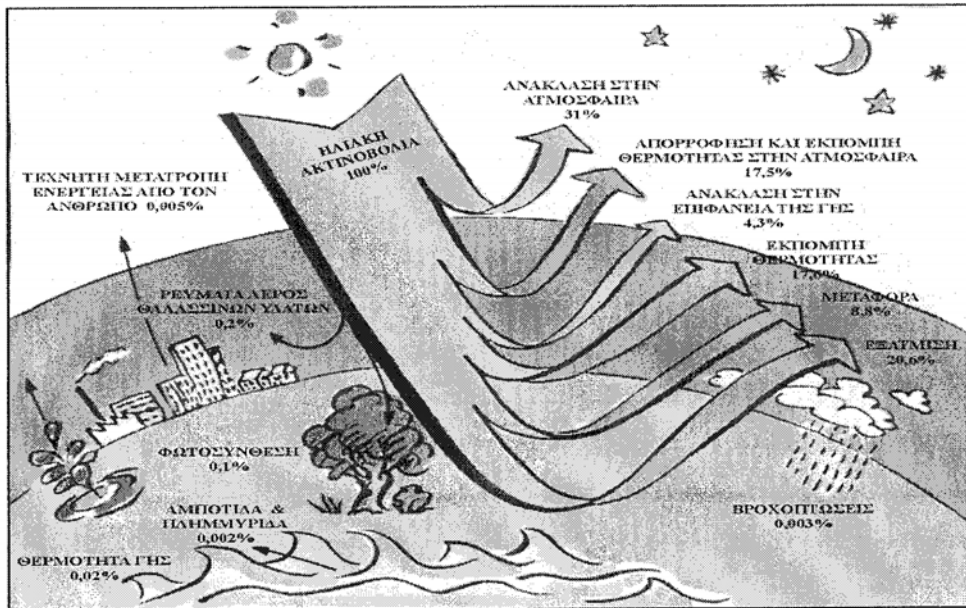
Με τα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορεί να καλυφθεί ένα σοβαρό κομμάτι της ζήτησης σε ηλεκτρική ενέργεια και ταυτόχρονα να προστατεύεται το περιβάλλον. Για κάθε ηλεκτρική κιλοβατόρα που παράγεται από τον ήλιο ή από άλλες ΑΠΕ σημαίνει ότι αποφεύγεται η έκλυση ενός περίπου κιλού διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα. Η στροφή και η εκμετάλλευση των φιλικών προς το περιβάλλον ενεργειακών τεχνολογιών, αποτελεί σήμερα επιτακτική ανάγκη και αποτελεί τη μόνη διέξοδο για την αποτροπή μεγάλων και επικίνδυνων κλιματικών αλλαγών στον πλανήτη.

Ηλιακή Ενέργεια

Από την ενέργεια η οποία φτάνει στα όρια της ατμόσφαιρας:

- το ~31% ανακλάται στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας της γης,
- το ~47% φθάνει μέχρι την επιφάνεια της γης.





- Η φασματική κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας εξαρτάται από την θερμοκρασία του ήλιου που είναι περίπου 5.900°K.
- Το 99% της ηλιακής ενέργειας εμφανίζεται σε μήκος κύματος από 0.25 έως 4.0μm.
- Σύμφωνα με την κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας:
 - Ορατό [λ : 0.39-0.77μm] περιέχει το 46.41% της ενέργειας,

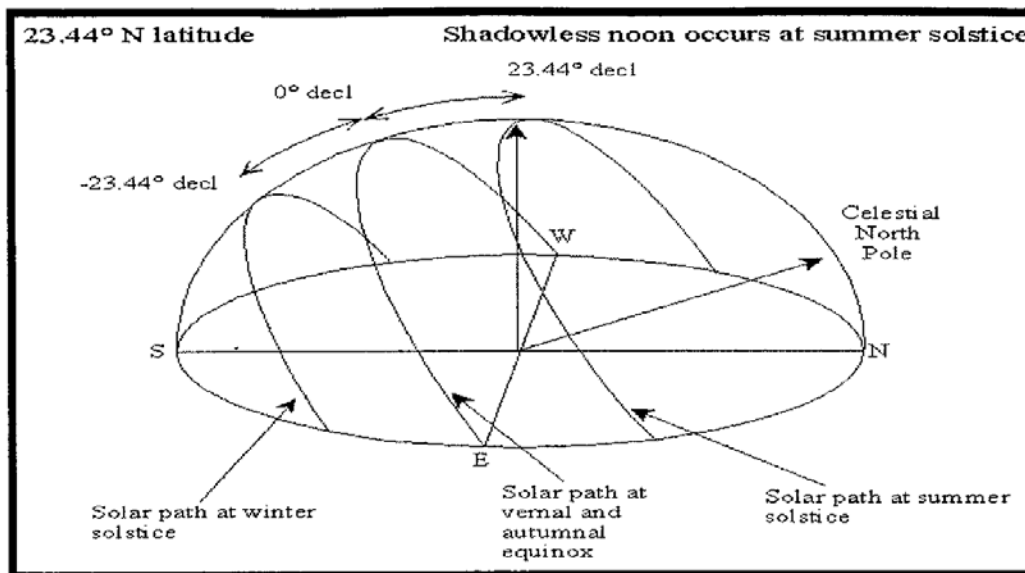
- Υπεριώδες [$\lambda < 0.4 \mu\text{m}$] περιέχει το 8.03% της ενέργειας
- Υπόλοιπο [$\lambda > 0.77 \mu\text{m}$] περιέχει το 46.4% της ενέργειας.

Ως ηλιακή σταθερά ορίζεται η ροή της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε μία μοναδιαία επιφάνεια κάθετη στις ακτίνες του ήλιου στο όριο της ατμόσφαιρας:

$$I_{sc,0} = 1367 \text{ W/m}^2$$

Οι τιμές στη βιβλιογραφία κυμαίνονται από 1353 έως 1395 W/m². Λόγω της μεταβολής της απόστασης ήλιου – γης κατά τη διάρκεια του έτους χρησιμοποιείται η ακόλουθη σχέση για τον υπολογισμό της διαχρονικής μεταβολής της ηλιακής σταθεράς:

$$I_{sc} = I_{sc,0} \cdot \left(1 + 0.333 \cdot \cos\left(\frac{360 \cdot dn}{365}\right) \right)$$



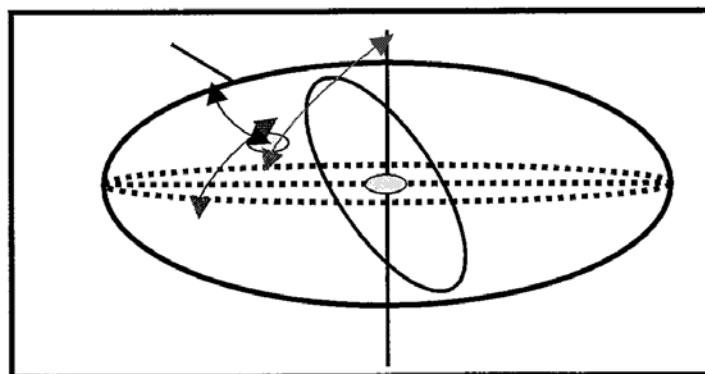
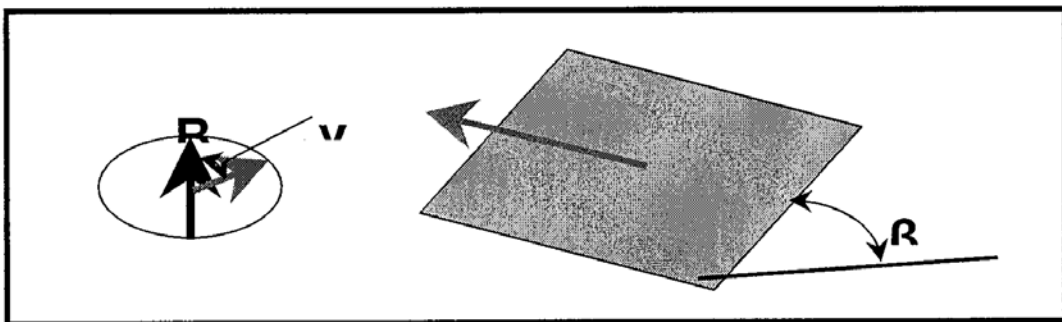
Κίνηση του Ήλιου

Συχνά είναι αναγκαία η γνώση της κίνησης του ήλιου για τους υπολογισμούς που σχετίζονται με την εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας.

Απόκλιση δ του ήλιου ορίζεται η γωνία ανάμεσα στην ευθεία ήλιου – γης και την προβολή της στο επίπεδο του ισημερινού.

Η μέγιστη τιμή της, κατά το θερινό ηλιοστάσιο, είναι: 23.45° .

Η ελάχιστη τιμή της, κατά το χειμερινό ηλιοστάσιο, είναι: $-23,45^\circ$.



Για μια δεδομένη περιοχή γεωγραφικού πλάτους φ , η ζενίθια γωνία θ_z για οριζόντια επιφάνεια υπολογίζεται:

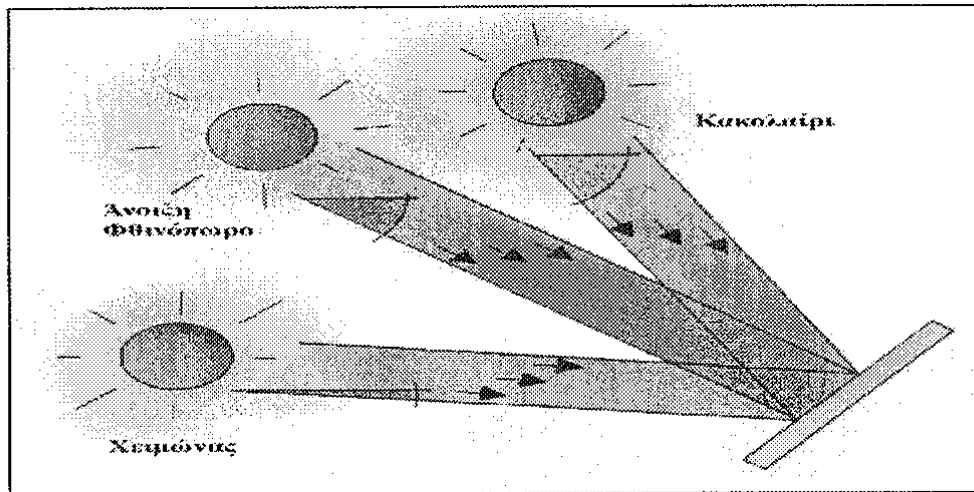
$$\cos\theta_z = \sin\delta \cdot \sin\varphi + \cos\delta \cdot \cos\varphi \cdot \cos\omega = \sin\alpha$$

Η ωριαία γωνία δύσης ω_s είναι:

$$\omega_s = \cos^{-1} (-\tan\phi \cdot \tan\delta)$$

Η διάρκεια της ημέρας (σε ώρες) είναι:

$$N_d = \frac{2}{15} \cdot \cos^{-1} (-\tan\phi \cdot \tan\delta)$$



Για την περίπτωση επιφάνειας η οποία έχει κλίση β και αξιμούθιο μηδέν (νότιος προσανατολισμός) η ζενίθια θ_z γωνία είναι:

$$\cos\theta_o = \sin\delta \cdot \sin(\varphi-\beta) + \cos(\varphi-\beta) \cdot \cos(\varphi-\beta) \cdot \cos\omega = \sin\alpha$$

Η ωριαία γωνία δύσης ω_s είναι:

$$\omega_s' = \cos^{-1} (-\tan(\varphi-\beta) \cdot \tan\delta)$$

Ηλιακή Ακτινοβολία

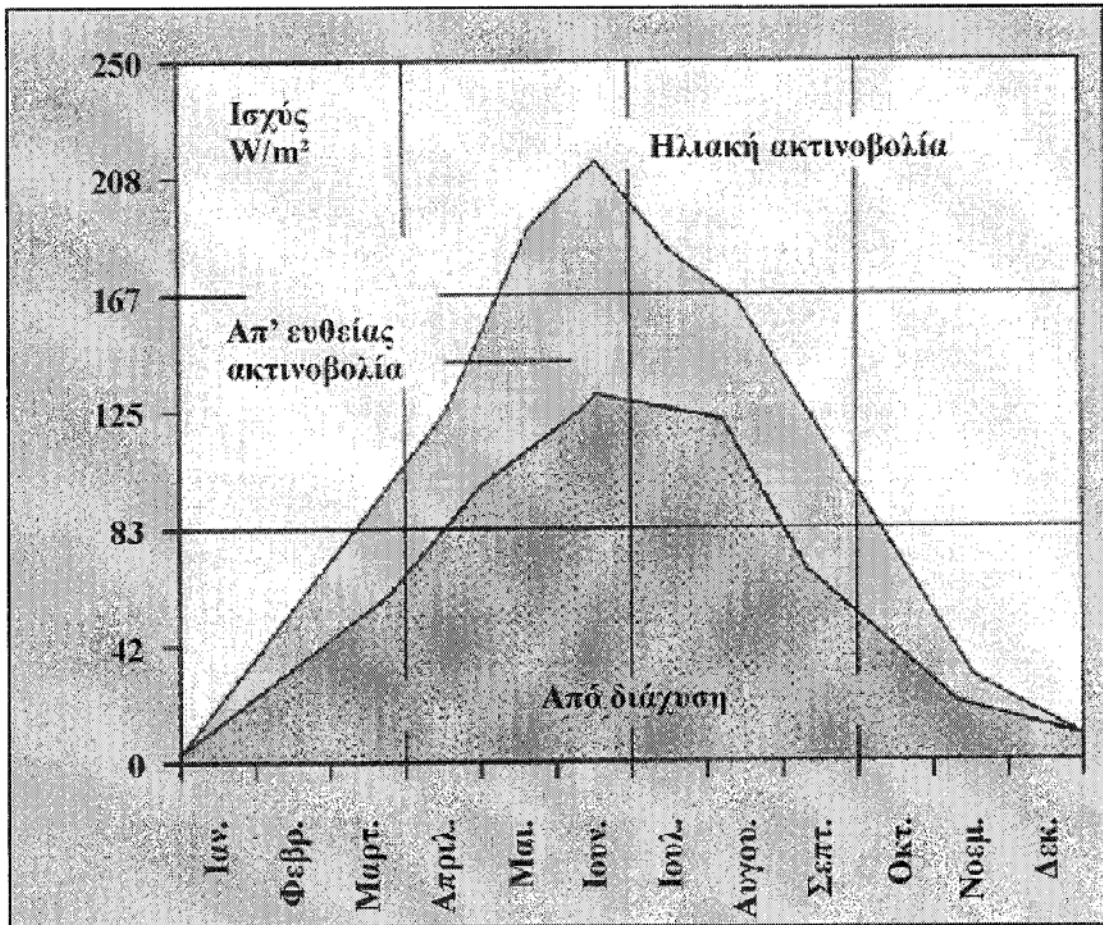
Άμεση ηλιακή ακτινοβολία: είναι η ηλιακή ακτινοβολία που λαμβάνεται χωρίς να έχει υποστεί σκέδαση στην ατμόσφαιρα.

Διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία: είναι η ηλιακή ακτινοβολία που έχει υποστεί σκέδαση στην ατμόσφαιρα.

Ολική ηλιακή ακτινοβολία: είναι το άθροισμα της άμεσης και της διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας που λαμβάνεται σε μια επιφάνεια.

Πυκνότητα ισχύος ακτινοβολίας (irradiance, W/m^2): είναι ο ρυθμός με τον οποίο η ενέργεια που ακτινοβολείται πέφτει σε μία επιφάνεια, ανά μονάδα επιφάνειας.

Πυκνότητα ενέργειας ακτινοβολίας (irradiation, J/m^2): είναι η προσπίπτουσα σε μία επιφάνεια ενέργεια ανά μονάδα επιφάνειας και υπολογίζεται με την ολοκλήρωση της πυκνότητας ισχύος σε κάποιο χρονικό διάστημα (1 ώρα, 1 ημέρα).



Η γήινη ατμόσφαιρα αποτελείται από (κατ' όγκο):

78% άζωτο,

20.9% οξυγόνο

0.9% αργό

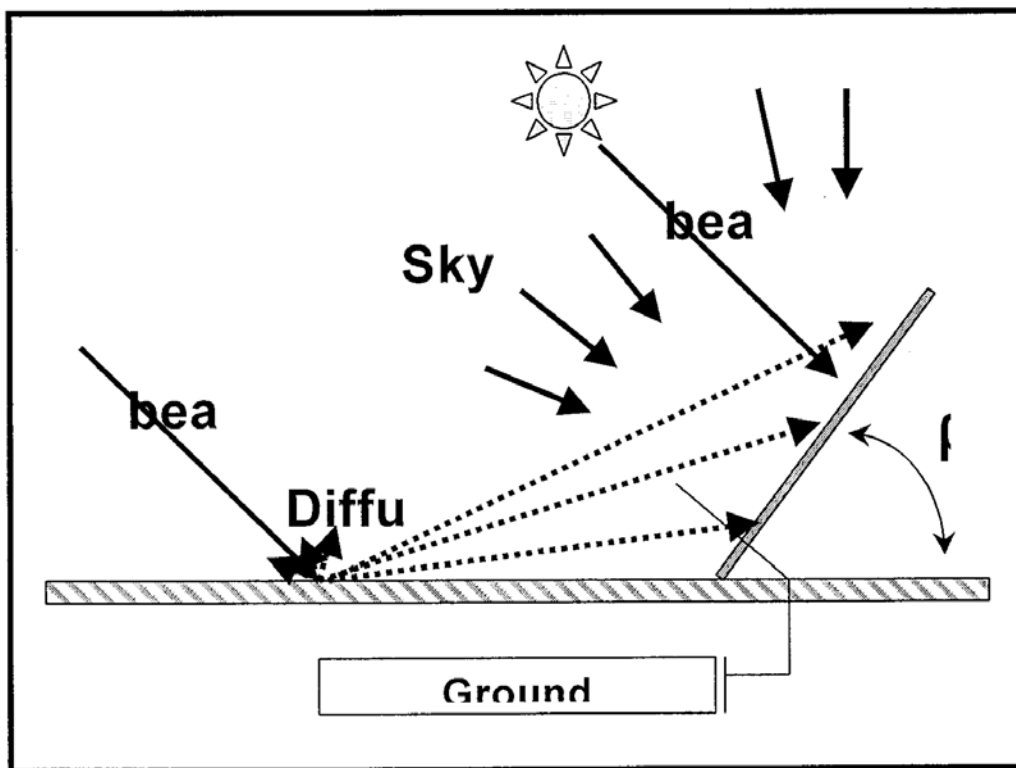
0.33% διοξείδιο του άνθρακα

Υδρατμούς και σωματία

Η ηλιακή ακτινοβολία κατά την είσοδό της στην ατμόσφαιρα υπόκειται σε απορρόφηση και σκέδαση (κυριότεροι απορροφητές: νέφη, υδρατμοί, O_3 , SO_2).

Η ακτινοβολία που σκεδάζεται είναι διάχυτη και ένα μέρος της επιστρέφει στο διάστημα.

Η ακτινοβολία που φτάνει στο έδαφος χωρίς σκέδαση και μόνο με απορρόφηση είναι η άμεση ηλιακή ακτινοβολία.



Πρακτικοί κανόνες για τη συλλογή της μέγιστης ηλιακής ακτινοβολίας

- Η βέλτιστη γωνία κλίσης (β) θα πρέπει να είναι περίπου ίση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου (φ).

- Κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου: Η βέλτιστη γωνία κλίσης (β) πρέπει να είναι περίπου 10° - 15° μικρότερη από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου (φ).
- Κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου: Η βέλτιστη γωνία κλίσης (β) πρέπει να είναι περίπου 10° - 15° μεγαλύτερη από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου (φ). Αν στο έδαφος υπάρχει επιφάνεια με μεγάλο συντελεστή ανάκλασης (π.χ. χιόνι) απαιτείται μεγαλύτερη κλίση.
- Ο βέλτιστος προσανατολισμός (αζιμούθιο γ) είναι νότιος ($\gamma=0$), ενώ απόκλιση κατά 20° - 30° από νότο έχει μικρή επίδραση στην ετήσια συλλεγόμενη ενέργεια.

Η τοποθέτηση των ατόμων μέσα στο υλικό χαρακτηρίζουν τον ημιαγωγό σαν:

1. **Μονοκρυσταλλικό:** Τα άτομα που σχηματίζουν το υλικό επαναλαμβάνονται σε κανονικά περιοδικά διαστήματα. Δηλαδή έχουν μια βασική τοποθέτηση, η οποία επαναλαμβάνεται σε ολόκληρο το σώμα του ημιαγωγού, έτσι ώστε το υλικό να εμφανίζεται ακριβώς το ίδιο σε οποιοδήποτε σημείο του.

2. **Πολυκρυσταλλικό:** Αποτελείται από μονοκρυστάλλους ενωμένους μεταξύ τους.

3. **Άμορφο:** Τα άτομα που σχηματίζουν το υλικό δεν έχουν καμία περιοδική τοποθέτηση αλλά είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους με τυχαία διάταξη.

Τα φ/β στοιχεία που έχουν μπει σε εφαρμογή έχουν μια απόδοση που κυμαίνεται μεταξύ 10% και 15%. Εργαστηριακά έχουν επίσης κατασκευαστεί φωτοκύτταρα μονοκρυσταλλικού πυριτίου με υψηλότερη απόδοση της τάξης 23%, αλλά το κόστος κατασκευής του είναι αρκετά υψηλό. Οι σημερινές τάσεις τείνουν προς την κατασκευή φτηνών φ/β

στοιχείων από πολυκρυσταλλικά και όμορφα υλικά χρησιμοποιώντας ιδιαίτερα την τεχνική των «λεπτών στρώσεων». Οι κατασκευές αυτές δίνουν μεγαλύτερη δυνατότητα μαζικής παραγωγής και επομένως μείωση του κόστους.

Τα κρυσταλλικά φ/β στοιχεία πυριτίου καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος της αγοράς από τα οποία το πολυκρυσταλλικό χρησιμοποιείται πολύ περισσότερο από ότι το μονοκρυσταλλικό λόγω της υψηλότερης απόδοσης και της μακράς ζωής που έχουν. Τα φ/β στοιχεία με άμορφα υλικά χρησιμοποιούνται κυρίως σε εμπορικά προϊόντα όπως ηλιακά ρολόγια χειρός, ηλιακούς υπολογιστές τσέπης κ.ά. και είναι πολύ προσιτά στον καταναλωτή λόγω του χαμηλού κόστους. Μετά από έρευνες που έχουν γίνει στον τομέα της αναζήτησης υλικών για φ/β στοιχεία υψηλής απόδοσης, έχει επιτευχθεί μια αύξηση της παραγόμενης ισχύος των στοιχείων με την υποκατάσταση του πυριτίου. Υλικά που έχουν δοκιμαστεί επιτυχάνοντας ελπιδοφόρα αποτελέσματα είναι το αρσενιούχο γάλιο, το τελλουριούχο κάδμιο και το φωσφορούχο ίνδιο. Αυτοί οι ημιαγωγοί έχουν μετρηθεί να έχουν ενεργειακό διάκενο της τάξης του 1.35-1.5eV που ενισχύει την απορρόφηση των φωτονίων και έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της απόδοσης ενός φ/β στοιχείου πυριτίου με ενεργειακό διάκενο 1.1eV. Το κόστος αυτών των υλικών είναι πολύ υψηλό και έχουν παρουσιάσει τεχνικά προβλήματα στις εφαρμογές τους, εκτός από το GaAs, που για αρκετά χρόνια χρησιμοποιείται στον τομέα της παροχής ενέργειας σε δορυφορικά συστήματα.

**Πίνακας 1: Συγκριτικός πίνακας με ανάλυση κόστους παραγωγής
πλαισίων από πυρίτιο**

Πλαίσια	Si Μονοκρυσταλλικό	Si Πολυκρυσταλλικό	Άμορφο Πυρίτιο
Πρώτη ύλη σε δίσκους	30%	35%	-
Επεξεργασία του δίσκου	40%	30%	42%
Κατασκευή πλαισίου	30%	35%	40%

Τα πλεονεκτήματα των Φ/Β συστημάτων

- ✓ **Υψηλή αξιοπιστία – μεγάλη διάρκεια ζωής:** Η αρχική τους κατασκευή προοριζόταν για χρήση στο διάστημα, όπου οι επισκευές είναι δαπανηρές έως ακατόρθωτες. Οι φωτοβολταϊκοί συλλέκτες σήμερα τροφοδοτούν με ρεύμα σχεδόν όλους τους δορυφόρους.
- ✓ **Μηδενικό κόστος λειτουργίας:** Χρησιμοποιούν το φως του ήλιου για να παράγουν ηλεκτρισμό. Δεν καταναλώνουν πρώτες ύλες.
- ✓ **Δεν απαιτείται συντήρηση:** Τα φωτοβολταϊκά συστήματα δεν έχουν κινούμενα μέρη, έτσι δεν χρειάζονται καθόλου συντήρηση κατά τη λειτουργία τους.
- ✓ **Δεν μολύνουν το περιβάλλον:** Δεν παράγουν υποπροϊόντα ούτε χρειάζονται καύσιμα για να λειτουργήσουν. Επίσης δεν προκαλούν

ηχορύπανση αφού η λειτουργία τους είναι εντελώς αθόρυβη. Επίσης κατασκευάζονται από ανακυκλώσιμα υλικά (γυαλί, αλουμίνιο, πυρίτιο), συνεπώς είναι περιβαλλοντικά καθαρά.

- ✓ **Ευελιξία:** Τα φωτοβολταϊκά συστήματα τοποθετούνται ανάλογα με τις απαιτήσεις σε ενέργεια. Σε περίπτωση που οι ανάγκες αυξηθούν, πολύ εύκολα το σύστημα αναβαθμίζεται για να καλύψει ενεργειακά τη νέα ζήτηση.
- ✓ **Αυτονομία:** Παρέχουν πλήρη ενεργειακή αυτονομία. Έτσι μπορούν να τοποθετηθούν σε δύσβατες περιοχές, σε πλωτές εξέδρες και γενικά όπου το δίκτυο της ΔΕΗ είναι οικονομικά ασύμφορο να φτάσει.

Κατηγορίες Φ/Β συστημάτων

- **Διασυνδεδεμένα με το δίκτυο Φ/Β συστήματα:** η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά τροφοδοτεί τα ηλεκτρικά φορτία και η περίσσεια ηλεκτρικής ενέργειας, εφ' όσον υπάρχει, διαβιβάζεται και πωλείται στο δίκτυο.
- **Αυτόνομα Φ/Β συστήματα:** μικρά Φ/Β συστήματα σε κεραιές τηλεπικοινωνιακών σταθμών, εξοχικά σπίτια, αντλίες άντλησης νερού, χιονοδρομικά κέντρα, τροχόσπιτα, φάρους, μετεωρολογικούς σταθμούς, υπαίθρια φωτιστικά σώματα, σκάφη και άλλα τα οποία καθίστανται ενεργειακά αυτόνομα.
- **Υβριδικά Φ/Β συστήματα:** Όταν τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα συνδυασθούν και με άλλη ανανεώσιμη ή συμβατική πηγή ηλεκτρικής ενέργειας (ανεμογεννήτρια, ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος κλπ).

Εφαρμογές Φ/Β συστημάτων

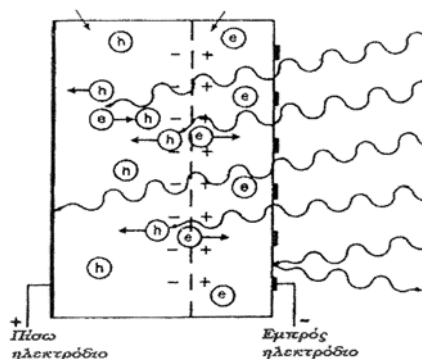
α) Καταναλωτικά προϊόντα (0.001-100Wp) σε περιοχές που δεν είναι συνδεδεμένες με το δίκτυο ή σε τροχόσπιτα, σκάφη αναψυχής κλπ για την εξυπηρέτηση αναγκών φωτισμού και ψύξης και για προϊόντα όπως ηλεκτρονικοί υπολογιστές.

β) Αυτόνομα ή απομονωμένα συστήματα (100Wp-200KWp)

- αφαλάτωση / άντληση / καθαρισμό νερού,
- φωτισμό (δρόμων, πάρκων, αεροδρομίων),
- συστήματα τηλεπικοινωνιών, τηλεμετρήσεων και συναγερμού),
- συστήματα σηματοδότησης (οδικής κυκλοφορίας, ναυτιλίας, αεροναυτιλίας),
- ψύξη (αγροτικών προϊόντων, φαρμάκων κλπ).

γ) Συστήματα συνδεδεμένα με το δίκτυο (200KWp-αρκετά MWp)

- Φ/Β συστήματα μεγέθους έως μερικών εκατοντάδων kWp που τροφοδοτούν κατοικίες ή άλλα κτίρια και όπου η τυχόν πλεονάζουσα ενέργεια τροφοδοτείται προς το δίκτυο.
- Φ/Β σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας



Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο

Γενικά

- Τα ηλιακά στοιχεία είναι δίοδοι ημιαγωγού με τη μορφή ενός δίσκου (δηλαδή η ένωση p-n εκτείνεται σε όλο το πλάτος του δίσκου) που δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία.
- Κάθε φωτόνιο της ακτινοβολίας με ενέργεια ίση ή μεγαλύτερη από το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού, έχει τη δυνατότητα να απορροφηθεί σε ένα χημικό δεσμό και να ελευθερώσει ένα ηλεκτρόνιο.
- Δημιουργείται έτσι μια περίσσεια από ζεύγη φορέων (ελεύθερα ηλεκτρόνια και οπές).
- Οι φορείς αυτοί, καθώς κυκλοφορούν στο στερεό, μπορεί να βρεθούν στην περιοχή της ένωσης p-n, οπότε θα δεχθούν την επίδραση του ενσωματωμένου ηλεκτροστατικού πεδίου.
- Τα ελεύθερα ηλεκτρόνια εκτρέπονται προς το τμήμα τύπου Ω και οι οπές εκτρέπονται προς το τμήμα τύπου p, με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί μια διαφορά δυναμικού ανάμεσα στους ακροδέκτες των δύο τμημάτων της διόδου.
- Η εκδήλωση της διαφοράς δυναμικού ανάμεσα στις δυο όψεις του φωτιζόμενου δίσκου, η οποία αντιστοιχεί σε ορθή πόλωση της διόδου, ονομάζεται **φωτοβολταϊκό φαινόμενο**.
- Η ενέργεια ενός φωτονίου E:

$$E = h \cdot \nu = \frac{hc}{\lambda}$$

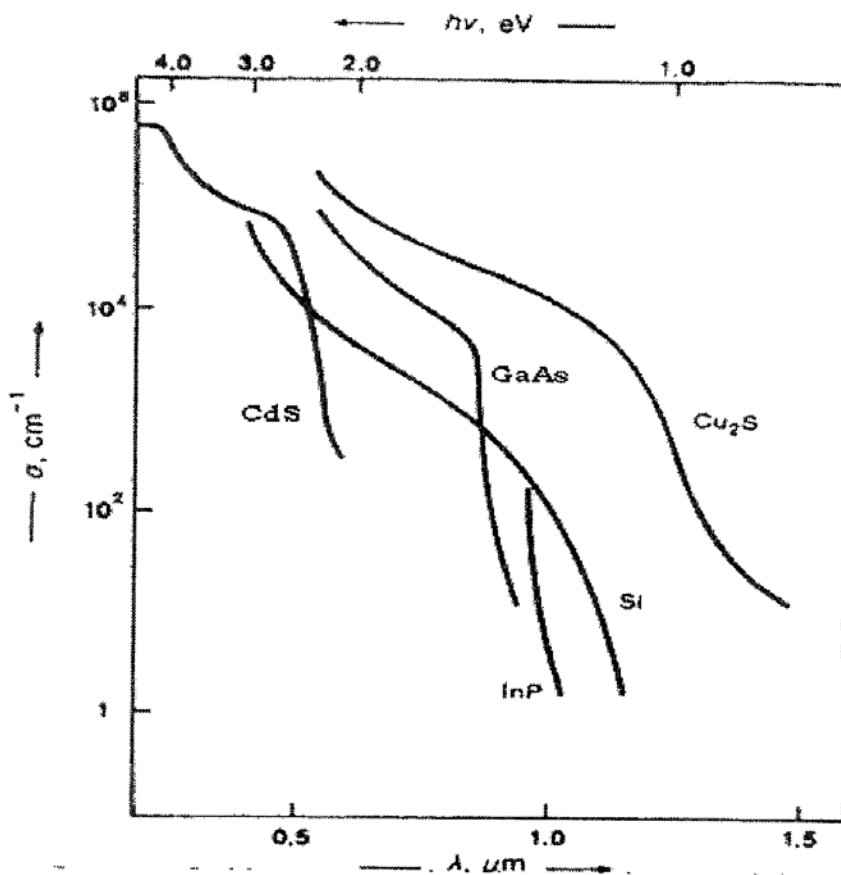
όπου h: η σταθερά του Planck ($h=6.3 \cdot 10^{-34}$ Js) και c: η ταχύτητα του φωτός ($c=3 \cdot 10^8$ m/s).

- Αν το ενεργειακό διάκενο είναι σε μονάδες ηλεκτρονιοβόλτ (eV) και το μήκος κύματος σε μικρόμετρα (μm), τότε το μέγιστο χρησιμοποιήσιμο μήκος κύματος ακτινοβολίας σε έναν ημιαγωγό ενεργειακού διακένου E_g θα είναι:

$$\lambda_g = \frac{1.238}{E_g}$$

- Η ροή των φωτονίων (Φ), δηλαδή το πλήθος των φωτονίων ανά μονάδα επιφανείας και χρόνου, θα είναι:

$$\Phi = \frac{H}{h\nu} = \frac{H\lambda}{hc}$$



Η δημιουργία φωτορεύματος

- Όταν ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο δέχεται μια κατάλληλη ακτινοβολία, διεγείρεται παράγοντας ηλεκτρικό ρεύμα, το φωτόρευμα I_{ϕ} , που η τιμή του θα είναι ανάλογη προς τα φωτόνια που απορροφά το στοιχείο.
- Για την πυκνότητα του φωτορεύματος ισχύει ικανοποιητικά η σχέση:

$$I_{\phi} = e \cdot g(L_n + L_p)$$

όπου:

e : το στοιχειώδες ηλεκτρικό φορτίο,

g : ο ρυθμός δημιουργίας ζευγών φορέων

L_n, L_p : τα μέσα μήκη διάχυσης των ηλεκτρονίων και των οπών αντίστοιχα.

Η φασματική απόκριση

- Ορίζεται ως το πλήθος των φορέων που συλλέγονται στα ηλεκτρόδια του φωτοβολταϊκού στοιχείου, σε σχέση με τη φωτονική ροή Φ , δηλαδή με το πλήθος των φωτονίων της ακτινοβολίας που δέχεται το στοιχείο ανά μονάδα επιφάνειας και χρόνου.
- Για ακτινοβολία μήκους κύματος λ , η φασματική απόκριση $S(\lambda)$ θα είναι:

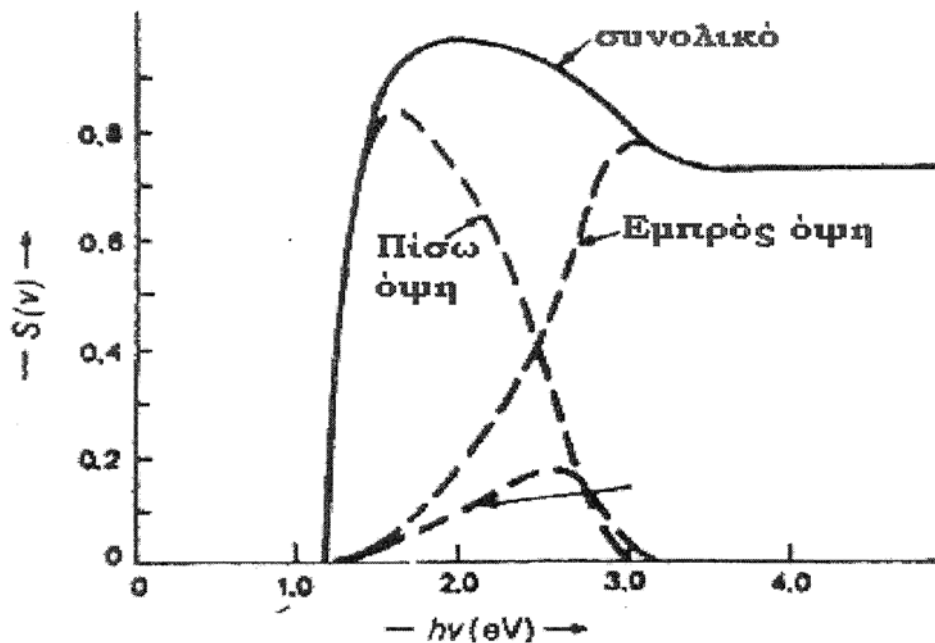
$$S(\lambda) = \frac{I_{\phi}(\lambda)}{e \cdot \Phi(\lambda)}$$

όπου:

$\Phi(\lambda)$: το πλήθος των φωτονίων με ενέργεια που αντιστοιχεί σε μήκος κύματος από λ μέχρι $\lambda+d\lambda$.

- Επομένως το συνολικό φωτόρευμα του στοιχείου, όταν δέχεται πολυχρωματική ακτινοβολία, θα είναι:

$$I_{\Phi} = e \int_0^{\lambda_g} S(\lambda)\Phi(\lambda)d\lambda$$



- Η τιμή της φασματικής απόκρισης εξαρτάται από πολλούς κατασκευαστικούς παράγοντες, όπως ο συντελεστής ανάκλισης στην επιφάνεια του στοιχείου, ο συντελεστής απορρόφησης και το πάχος του ημιαγωγού, το πλήθος των επανασυνδέσεων των φορέων κλπ.
- Στο ανωτέρω σχήμα φαίνεται η μεταβολή της φασματικής απόκρισης ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου του εμπορίου σε

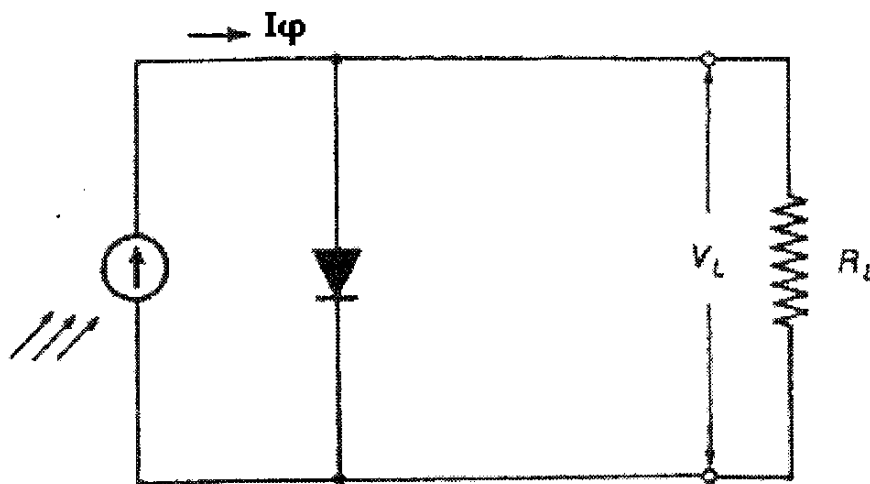
συνάρτηση με την ενέργεια των φωτονίων της ακτινοβολίας που δέχεται.

- Όταν το ποσοστό της επιφάνειας του στοιχείου δεν είναι αμελητέο, γράφεται:

$$I_{\Phi} = e \int_0^{\lambda_g} S(\lambda)[1 - R(\lambda)]\Phi(\lambda)d\lambda$$

όπου:

$R(\lambda)$: ο δείκτης ανάκλασης για την ακτινοβολία μήκους κύματος λ .



Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά Φ/Β στοιχείων – 1^η προσέγγιση

- Μπορούμε να θεωρήσουμε ότι το Φ/Β αποτελεί μια πηγή ρεύματος που ελέγχεται από μια δίοδο, βλ. ανωτέρω σχήμα.
- Σε συνθήκες ανοικτού κυκλώματος, θα αποκατασταθεί μια ισορροπία όταν η τάση, που θα αναπτυχθεί ανάμεσα στις δυο όψεις του στοιχείου, θα προκαλεί ένα αντίθετο ρεύμα που θα αντισταθμίζει το φωτόρευμα.

$$I_{\Phi} = I_0 \left[\exp\left(\frac{eV}{\gamma k T}\right) - 1 \right]$$

- Η τιμή ανοιχτοκυκλωμένης τάσης του στοιχείου V_{oc} :

$$V_{oc} = \left(\frac{\gamma k T}{e}\right) \ln \left[\left(\frac{I_{\Phi}}{I_0}\right) - 1 \right]$$

- Κατά τη λειτουργία των Φ/Β, $I_{\Phi} > I_0$ και η παραπάνω σχέση:

$$V_{oc} = \left(\frac{\gamma k T}{e}\right) \ln \left(\frac{I_{\Phi}}{I_0}\right)$$

- Σε συνθήκες βραχυκύκλωσης ανάμεσα στις δυο όψεις του στοιχείου το ρεύμα I_{sc} (short-circuit current) θα ισούται με το παραγόμενο φωτόρευμα:

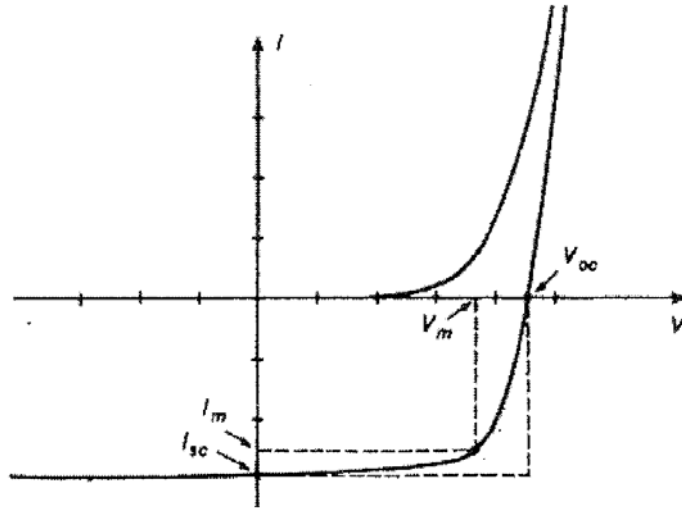
$$I_{sc} = I_{\Phi}$$

- Όταν το κύκλωμα κλείσει διαμέσου μιας εξωτερικής αντίστασης R_L , το ρεύμα θα πάρει μια μικρότερη τιμή I_L που βρίσκεται με τη λύση της εξίσωσης:

$$I_L = I_{\Phi} - I_0 \left[\exp\left(\frac{eI_L R_L}{\gamma k T}\right) - 1 \right]$$

- Στις συνθήκες αυτές, θα αντιστοιχεί μια βέλτιστη τάση V_m , που δίνεται από τη λύση της εξίσωσης:

$$\left(\frac{I_{\Phi}}{I_0}\right) + 1 = \left[1 + \left(\frac{eV_m}{\gamma k T}\right) \right] \exp\left(\frac{eV_m}{\gamma k T}\right)$$



Ο συντελεστής πλήρωσης

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

- Ο FF δίνεται από τον λόγο του εμβαδού του μέγιστου ορθογωνίου που μπορεί να εγγραφεί στη χαρακτηριστική καμπύλη I-V του στοιχείου, σε συνθήκες ακτινοβολίας, προς το εμβαδόν που ορίζεται από τις τιμές I_{sc} και V_{oc} .
- Συντελεστής απόδοσης στοιχείων (η):

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

όπου:

η : η ένταση της ακτινοβολίας που δέχεται η επιφάνεια του Φ/B εμβαδού A .

- Ισχύει και η σχέση:

$$\eta = \frac{\Phi(E_g) V_m}{\Phi E_\mu}$$

όπου:

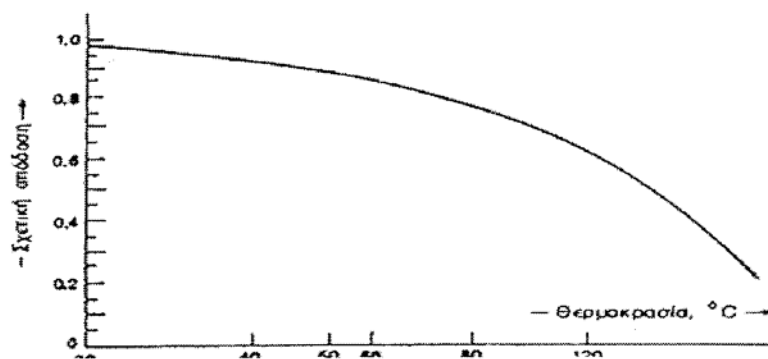
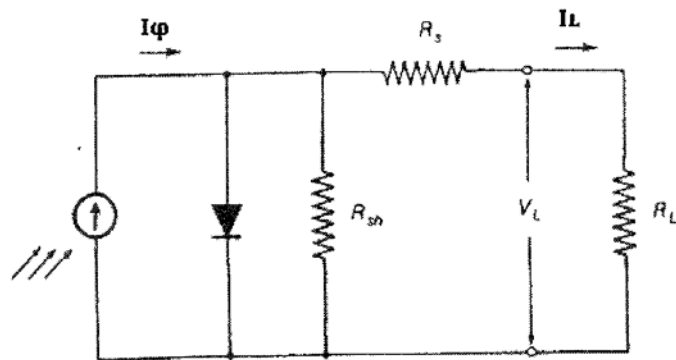
$\Phi(E_g)$: η ροή των φωτονίων με ενέργεια μεγαλύτερη από το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού,

Φ : η συνολική φωτονική ροή στην ακτινοβολία που δέχεται το φωτοβολταϊκό στοιχείο και

E_μ : η μέση ενέργεια των φωτονίων της ακτινοβολίας.

- Στην ηλιακή ακτινοβολία, τα 2/3 των φωτονίων έχουν ενέργεια μεγαλύτερη από το ενεργειακό διάκενο του πυριτίου (1,1eV). Επίσης, η V_m των φωτοβολταϊκών στοιχείων πυριτίου είναι περίπου ίση με το 1/3 της E_μ της ηλιακής ακτινοβολίας. Επομένως, βρίσκουμε ότι η θεωρητική απόδοση των ηλιακών Φ/Β πυριτίου είναι περίπου:

$$\eta = \frac{2}{3} \frac{1}{3} = 22\%$$



Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά Φ/Β στοιχείων – 2^η προσέγγιση

- Το ανωτέρω κύκλωμα παρουσιάζει τις μη ιδανικές συνθήκες, αφού περιλαμβάνει τις αναπόφευκτες αντιστάσεις R_s (series resistance) και την παράλληλη αντίσταση R_{sh} (shunt resistance).
- Στην περίπτωση αυτή ισχύει η σχέση:

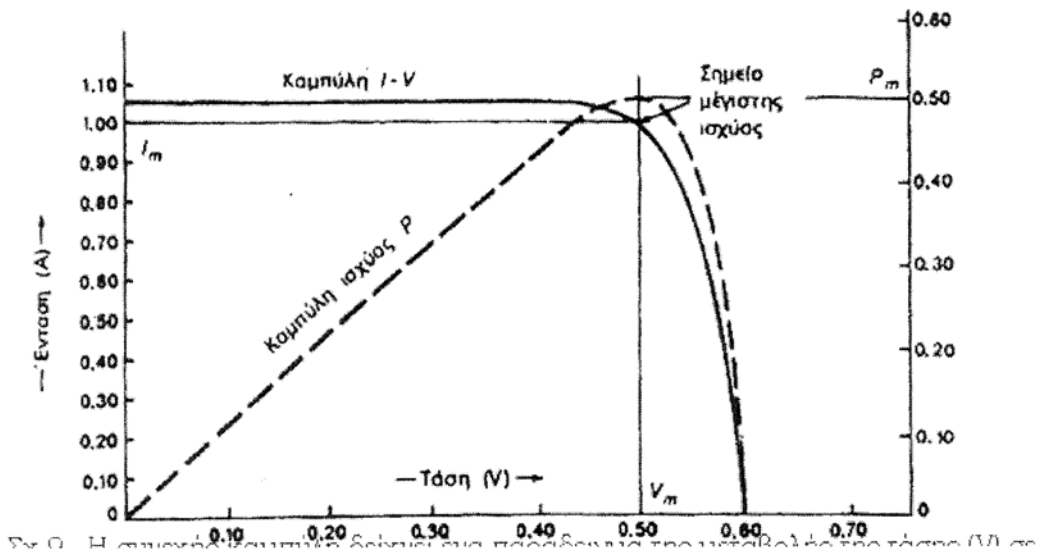
$$I_L \left[1 + \left(\frac{R_s}{R_{sh}} \right) \right] = I_\Phi - I_0 \left\{ \exp \left[e \left(\frac{V_L - I_L R_s}{\gamma k T} \right) \right] - 1 \right\} - \frac{V_L}{R_{sh}}$$

- Ένας άλλος παράγοντας που επιδρά αρνητικά στην απόδοση των φωτοβολταϊκών στοιχείων είναι η θερμοκρασία τους. Με την αύξηση της θερμοκρασίας εκδηλώνεται ισχυρό ρεύμα διαρροής διαμέσου της διόδου, που συνεπάγεται μείωση της V_{oc} και του FF. Παράλληλα μειώνεται και η απόδοση του φωτοβολταϊκού στοιχείου.

- Αν ο συντελεστής απόδοσης ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου σε μια συμβατική θερμοκρασία (π.χ. $20^{\circ}C$) είναι (η), η τιμή του σε μια διαφορετική θερμοκρασία (θ) θα είναι: $\eta_{\theta} = \eta \cdot \sigma_{\theta}$

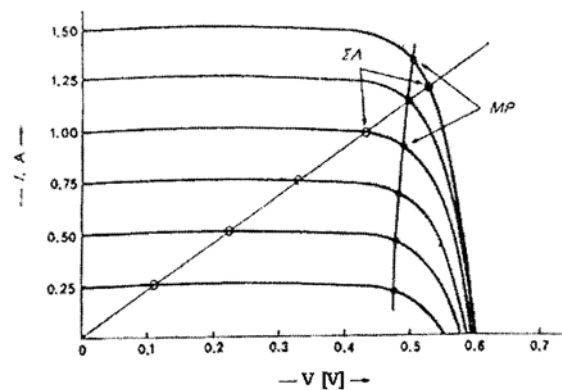
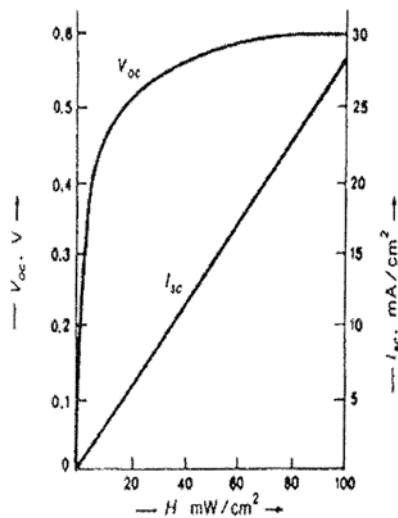
όπου:

σ_{θ} : ένας αδιάστατος συντελεστής της θερμοκρασίας διόρθωσης της απόδοσης. Στη συμβατική θερμοκρασία ο $\sigma_{\theta} = 1$ και μειώνεται κατά περίπου 0,005 ανά βαθμό αύξησης θερμοκρασίας.

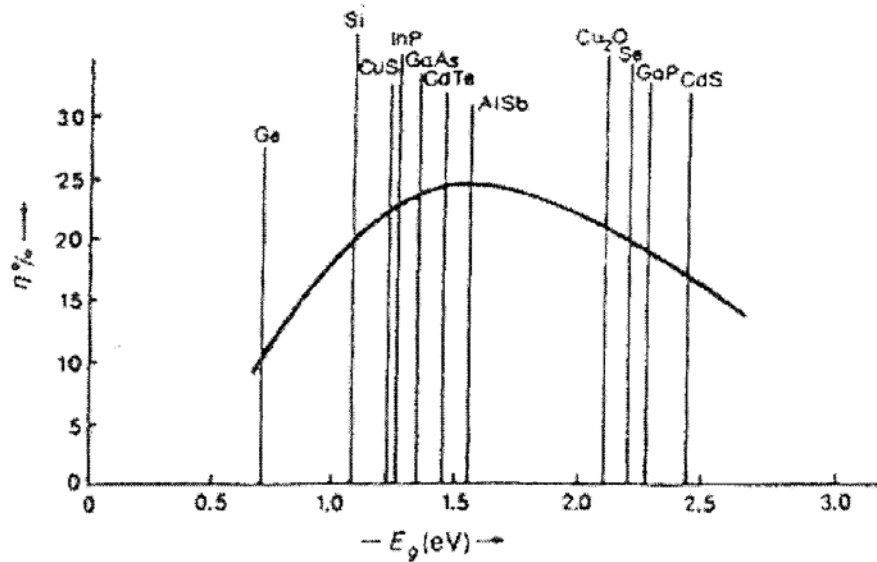


Η αποδοτική λειτουργία των Φ/Β στοιχείων σε σταθερές συνθήκες

- Η τάση των Φ/Β μεταβάλλεται ριζικά (και μη γραμμικά) σε συνάρτηση με την ένταση του ρεύματος που δίνουν στο κύκλωμα, έστω και αν η ακτινοβολία που δέχονται παραμένει σταθερή.
- Για σταθερές συνθήκες ακτινοβολίας αλλά μεταβαλλόμενες τιμές της αντίστασης του κυκλώματος, η τάση και η ένταση του ρεύματος παίρνουν ενδιάμεσες τιμές. Παράλληλα, μεταβάλλεται ομαλά και η ισχύς που παράγει το στοιχείο, με μέγιστη P_m σε ένα ορισμένο ζεύγος τιμών τάσης V_m και έντασης I_m , που καθορίζει, σε σχέση με το ζεύγος τιμών V_{oc} και I_{sc} , το συντελεστή απόδοσης του στοιχείου (η).



Αξιολόγηση των ημιαγωγών για ηλιακές Φ/Β εφαρμογές



ΥΛΙΚΟ	ΤΥΠΟΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ	Μέγιστη απόδοση σε ακτινοβ. AM1
n-Ga_{0,3}Al_{0,7}As/p-GaAs	Ομοένωση-ετεροδομή	24%
GaAs	Ομοένωση	22%
n-AlAs/p-GaAs	Ετεροένωση	18,5%
Si (μονοκρυσταλλικό)	Ομοένωση	18%
Si (πολυκρυσταλλικό)	Ομοένωση	16%
Au/Si₃N₄/p-Si	Σότκυ	10%
p-Cu₃S/n-CdS	Ετεροένωση	10%

Αποδοτική λειτουργία των Φ/Β στοιχείων – μεταβαλλόμενες συνθήκες

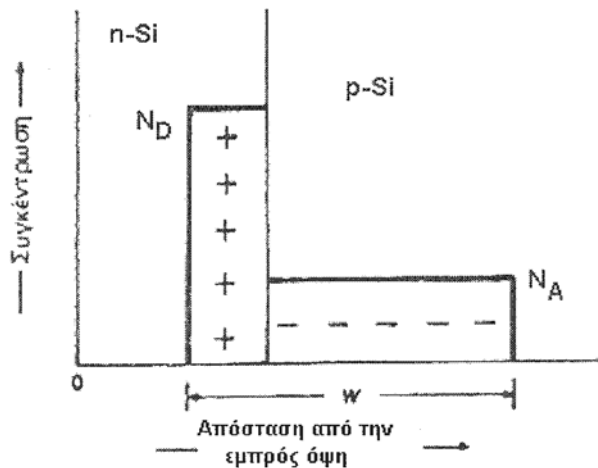
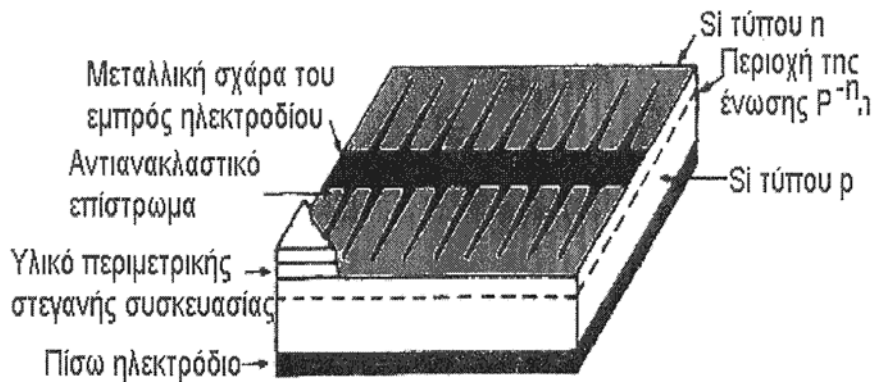
- Η μεταβολή της πυκνότητας της ισχύος της ακτινοβολίας συνεπάγεται αντίστοιχη μεταβολή της ανοιχτοκυκλωμένης τάσης και της βραχυκυκλωμένης έντασης του ρεύματος από το μηδέν (για το σκοτάδι) μέχρι τις μέγιστες τιμές τους, για τη μέγιστη ένταση της ακτινοβολίας. Επίσης, με την αύξηση της θερμοκρασίας παρατηρείται αισθητή μείωση ανοιχτοκυκλωμένης τάσης των Φ/Β.
- Στο δεύτερο σχήμα βλέπουμε ότι για διαφορετικές πυκνότητες της ακτινοβολίας Η σχηματίζεται μια οικογένεια μετατοπισμένων καμπυλών έντασης – τάσης.
- Σε κάθε περίπτωση, λόγω της πολύ μικρής τιμής του ανάστροφου ρεύματος κόρου I_0 , η ένταση του ρεύματος που παρέχει στο κύκλωμα το φωτοβολταϊκό στοιχείο είναι πρακτικά ανάλογη προς την ποσότητα της ακτινοβολίας που δέχεται, δηλαδή προς το γινόμενο της έντασης (της πυκνότητας της ισχύος) της ακτινοβολίας επί το εμβαδόν τις επιφάνειάς του.
- Επίσης, από τις διάφορες καμπύλες I-V βλέπουμε ότι με τη μεταβολή της αντίστασης του κυκλώματος η ένταση του ρεύματος παραμένει περίπου σταθερή για το μεγαλύτερο τμήμα του διαγράμματος, ενώ μεταβάλλεται ουσιαστικά η τάση. Δηλαδή, το φωτοβολταϊκό στοιχείο συμπεριφέρεται, σε μεγάλο βαθμό, σαν πηγή περίπου σταθερού ρεύματος με την προϋπόθεση ότι παραμένει σταθερή η πυκνότητα της ακτινοβολίας.

- Το τελικό συμπέρασμα είναι ότι η λειτουργία ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου και η ποσότητα της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας εξαρτώνται από 3 μεταβλητούς παράγοντες: α) την ένταση της ακτινοβολίας, β) τη θερμοκρασία του στοιχείου και γ) την αντίσταση του κυκλώματος.

ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ Φ/Β ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ

Ηλιακά στοιχεία πυριτίου

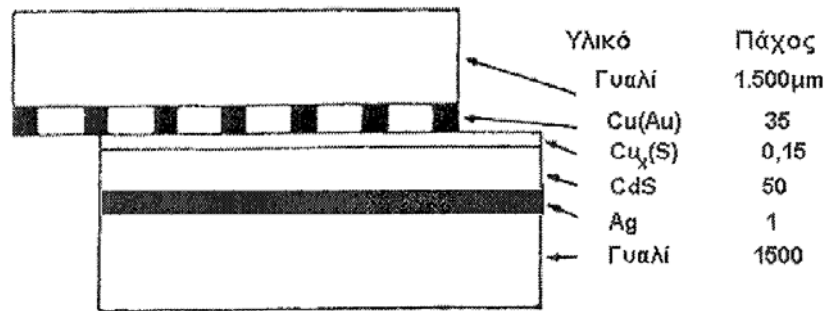
- Το πυρίτιο είναι ένας ημιαγωγός με άμεσο ενεργειακό διάκενο 1,1eV.
- Η θεωρητική απόδοση των ηλιακών στοιχείων πυριτίου μπορεί να φθάσει μέχρι 23,92% για συνθήκες AM1.
- Πειραματικά η μεγαλύτερη απόδοση ηλιακού στοιχείου πυριτίου σε συνθήκες AM1 μετρήθηκε εργαστηριακά 19%, με απώλειες ανάκλασης 3% και συντελεστή πλήρωσης 0,77.
- Στις πρακτικές εφαρμογές τα ηλιακά στοιχεία μονοκρυσταλλικού ή πολυκρυσταλλικού πυριτίου μεγάλης επιφάνειας έχουν απόδοση περίπου 10-12% ή λίγο μεγαλύτερη.



Φωτοβολταϊκά στοιχεία θειούχου καδμίου

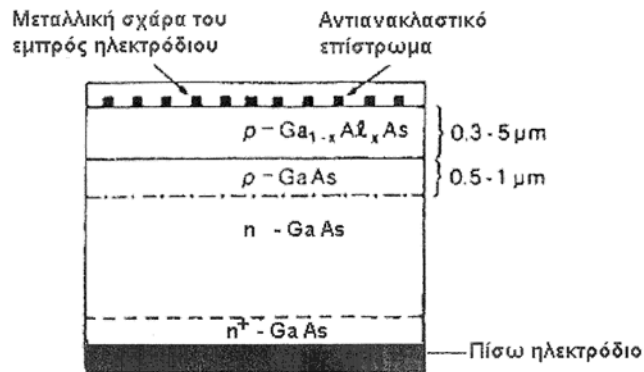
- Το θειούχο κάδμιο (CdS) είναι ένας ημιαγωγός με άμεσο και σχετικά μεγάλο διάκενο ($E_g=2,45\text{eV}$) που έχει χρησιμοποιηθεί με επιτυχία σε πολλές οπτοηλεκτρονικές εφαρμογές, όπως για την κατασκευή φωτοκυττάρων, ενισχυτών φωτός, φωσφοριτών ανιχνευτών ακτινοβολίας κλπ.
- Το CdS συμπεριφέρεται συνήθως σαν ημιαγωγός τύπου n. Δηλαδή οι φορείς πλειονότητας είναι τα ελεύθερα ηλεκτρόνια, χωρίς να απαιτείται η προσθήκη ξένων ατόμων – δοτών.

- Η λειτουργία των Φ/Β στοιχείων από CdS οφείλεται στην ετεροένωση μεταξύ του στρώματος θειούχου χαλκού, που σχηματίζεται με την επίδραση του CdS στον Cu (χαλκός), από τον οποίο είναι κατασκευασμένο το εμπρός ηλεκτρόδιο. Το Cu_xS είναι επίσης ημιαγωγός, με έμμεσο ενεργειακό διάκενο 1,2eV και έχει χαρακτήρα τύπου p.
- Η πυκνότητα του παραγόμενου φωτορεύματος στα ηλιακά στοιχεία Cu_xS/CdS είναι μικρή, η μισή περίπου σε σύγκριση με τα ηλιακά στοιχεία πυριτίου.
- Τα ηλιακά στοιχεία Cu_xS/CdS έχουν αρκετά ικανοποιητική απόδοση, περίπου 10%.
- Δεν εξασφαλίζουν πολύ μεγάλη διάρκεια ζωής (πάνω από 20 χρόνια) που αναμένεται για τα ηλιακά στοιχεία πυριτίου.



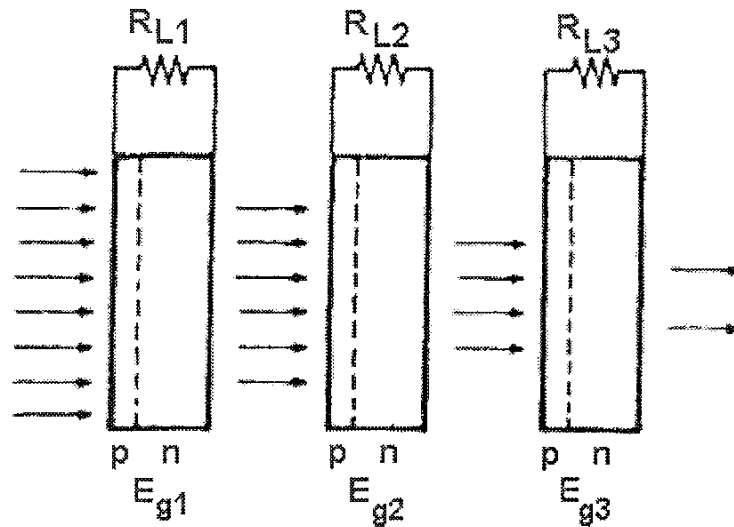
Ηλιακά στοιχεία αρσενικού γαλλίου

- Το αρσενικούχο γάλλιο (GaAs) είναι ένας ημιαγωγός με ενεργειακό διάκενο 1,43eV και με θεωρητική απόδοση περίπου 25%.
- Το σχετικά μεγάλο ενεργειακό διάκενο του GaAs έχει σαν αποτέλεσμα την καλή του συμπεριφορά στις κάπως υψηλές θερμοκρασίες.
- Τις μεγαλύτερες αποδόσεις από τα ηλιακά στοιχεία GaAs έχουν δώσει τα στοιχεία ετεροενώσεων με τα ημιαγωγίμα κράματα του συστήματος Ga 1-x AlxAs' όπου το x παίρνει τιμές από 0 μέχρι 1.
- Σε πειραματικά φωτοβολταϊκά στοιχεία της μορφής αυτής μετρήθηκαν αποδόσεις περίπου 24% που είναι πολύ κοντά στο θεωρητικό τους μέγιστο (26-27%).



Συνδυασμένες διατάξεις ηλιακών στοιχείων

- Η τοποθέτηση των ηλιακών στοιχείων σε κινητά πλαίσια που περιστρέφονται και παρακολουθούν συνεχώς την πορεία του ήλιου ώστε να δέχονται κάθετα τη δέσμη της ηλιακής ακτινοβολίας.
- Η συγκέντρωση της ηλιακής ακτινοβολίας με φακούς ή κάτοπτρα και η εστίασή της πάνω στα ηλιακά στοιχεία.
- Η υποδοχή της ακτινοβολίας και στις δύο όψεις του ηλιακού στοιχείου έχοντας διαμορφώσει και τα δύο ηλεκτρόδια σε σχήμα σχάρας.
- Η τοποθέτηση πολλών φωτοβολταϊκών στοιχείων στη σειρά, το ένα πίσω από το άλλο, με βαθμιαία μειούμενο ενεργειακό διάκενο.



ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

Γενικά

- Η τάση που εκδηλώνει ένα συνηθισμένο Φ/Β στοιχείο πυριτίου, σε κανονική ηλιακή ακτινοβολία, είναι 0,5V περίπου και η ηλεκτρική ισχύς που παράγει είναι μόλις 0,4W περίπου.
- Για αυτό, τα Φ/Β στοιχεία που προορίζονται για τη συγκρότηση Φ/Β γεννητριών τοποθετούνται ανά 10 έως 50 περίπου, σε ένα πλαίσιο, με κοινή ηλεκτρική έξοδο.
- Στο πλαίσιο τα στοιχεία συνδέονται στη σειρά σε ομάδες κατάλληλου πλήθους για την απόκτηση μιας επιθυμητής τάσης.

- Διαμορφώνεται έτσι το Φ/Β πλαίσιο, που είναι η δομική μονάδα που κατασκευάζεται βιομηχανικά και κυκλοφορεί στο εμπόριο για να χρησιμοποιεί ως συλλέκτης στη συγκρότηση των Φ/Β γεννητριών.
- Σε συμβατικές συνθήκες αιχμής έχουν συνήθως, ανάλογα με τον τύπο και τον κατασκευαστή, τάση εξόδου από 4 V μέχρι 22 V και ένταση ρεύματος περίπου 0,5 A μέχρι 2,5 A.

Η απόδοση του φωτοβολταϊκού πλαισίου

- Ο συντελεστής απόδοσης του Φ/Β πλαισίου (η_{π}) εκφράζει τον λόγο της μέγιστης ηλεκτρικής ισχύος που παράγει το Φ/Β πλαίσιο (P_{π}) προς την ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται στην επιφάνεια του S.

$$\eta_{\pi} = \frac{P_{\pi}}{H \cdot S} \left[\frac{W}{\left(\frac{W}{m^2}\right) \cdot m^2} \right] \quad \eta_{\pi} = \left[\frac{E}{\left(\frac{kW}{m^2}\right) \cdot m^2} \right]$$

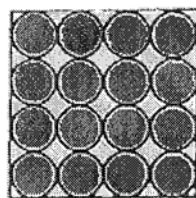
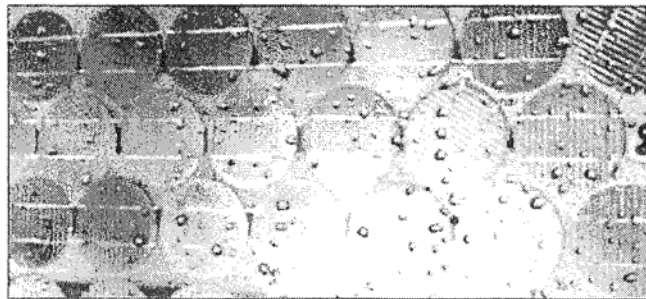
όπου:

π : η πυκνότητα της ηλιακής ενέργειας που πέφτει στην επιφάνεια του Φ/Β πλαισίου.

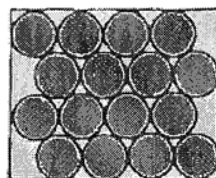
- Η τιμή του η_{π} εξαρτάται και από τον συντελεστή κάλυψης του πλαισίου (σ_{κ}) που ορίζεται ως ο λόγος της συνολικής ενεργού επιφάνειας των ηλιακών στοιχείων, δηλαδή της επιφάνειας του ημιαγωγού όπου γίνεται η απορρόφηση και μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας, προς τη συνολική επιφάνεια του Φ/Β πλαισίου. Θα ισχύει η σχέση:

$$\eta_{\pi} = \eta \cdot \sigma_{\kappa}$$

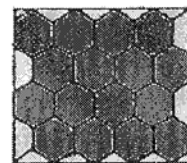
- Η τιμή του σ_k εξαρτάται κυρίως από το σχήμα και την πυκνότητα της τοποθέτησης των ηλιακών στοιχείων πάνω στο Φ/B πλαίσιο. Συνήθως κυμαίνεται από περίπου 0,78, για κυκλικά στοιχεία σε παράλληλες στοιχισμένες σειρές και φτάνει μέχρι σχεδόν 1,00 για τα μεγαλύτερου κόστους τετραγωνικά ή εξαγωνικά ηλιακά στοιχεία.



(α)



(β)



(γ)

Η επίδραση της θερμοκρασίας και της ρύπανσης.

- Για θερμοκρασίες διαφορετικές από τη συμβατική, ως συντελεστή απόδοσης των Φ/B πλαισίων παίρνουμε το γινόμενο $\eta_\pi \cdot \sigma_\theta$.

- Σε συμβατική θερμοκρασία ο $\sigma_{\theta}=1$ και για τα συνηθισμένα ηλιακά στοιχεία πυριτίου του εμπορίου μειώνεται κατά περίπου 0,005 ανά βαθμό αύξησης της θερμοκρασίας πάνω από αυτή.
- Ένας άλλος παράγοντας που μπορεί να μειώσει την ηλεκτροπαραγωγή των Φ/Β πλαισίων, ιδίως όταν έχουν μικρή κλίση, είναι η ρύπανση της επιφάνειάς του από την επικάθιση σκόνης, φύλλων, χιονιού, αλατιού από τη θάλασσα κ.ά.
- Ο αδιάστατος συντελεστής καθαρότητας (σ_{ρ}), ο οποίος ορίζεται ως ο λόγος της ηλεκτρικής ισχύος που παράγει το ρυπασμένο Φ/Β πλαίσιο προς την ηλεκτρική ισχύ που, όταν η επιφάνειά του είναι τελείως καθαρή, η τιμή του σ_{ρ} είναι τόσο μικρότερη από τη μονάδα όσο εντονότερη είναι η ρύπανση του περιβάλλοντος, όσο μικρότερη είναι η κλίση του Φ/Β πλαισίου, όσο σπανιότερες είναι οι βροχές στην περιοχή κλπ.

$$E = \Pi \cdot S \cdot \eta_{\pi} \cdot \sigma_{\theta} \cdot \sigma_{\rho}$$

Η ισχύς αιχμής του φωτοβολταϊκού πλαισίου

- Η ισχύς αιχμής (P_{α}) αντιστοιχεί στην παραγόμενη μέγιστη ηλεκτρική ισχύ όταν το Φ/Β πλαίσιο δεχτεί ηλιακή ακτινοβολία με πυκνότητα ισχύος 1 ήλιου, δηλαδή 1 kW/m^2 .

$$P_{\alpha} (\text{kWp}) = 1 \left(\frac{\text{kW}}{\text{m}^2} \right) \cdot S (\text{m}^2) \cdot \eta_{\pi}$$

- Στην περίπτωση που γνωρίζουμε μόνο την ισχύ αιχμής P_{α} για τον υπολογισμό της μέσης ημερήσιας παραγωγής ηλεκτρικής

ενέργειας του Φ/Β πλαισίου, αντί για την παραπάνω σχέση χρησιμοποιούμε την ισοδύναμη σχέση:

$$E\left(\frac{kWh}{d}\right) = \Pi\left(\frac{kWh}{m^2 d}\right) \cdot \frac{P_a(kWp)}{1\left(\frac{kW}{m^2}\right)} \cdot \sigma_\theta \cdot \sigma_\rho$$

Τεχνικά χαρακτηριστικά Φ/Β πλαισίου

- Ισχύς αιχμής (P_a) σε συμβατική θερμοκρασία και ακτινοβολία.
- Ανοιχτοκυκλώμενη τάση (V_{os}) σε συμβατική θερμοκρασία και ακτινοβολία.
- Βραχυκυκλωμένη ένταση ρεύματος (I_{sc}) σε συμβατική θερμοκρασία και ακτινοβολία.
- Τάση (V_m) στι συνθήκες της μέγιστης απόδοσης σε συμβατική θερμοκρασία και ακτινοβολία.
- Ένταση ρεύματος (I_m) στις συνθήκες της μέγιστης απόδοσης σε συμβατική θερμοκρασία και ακτινοβολία.
- Συντελεστής πλήρωσης (FF), που ορίζεται ως ο λόγος του γινομένου $V_m I_m$ προς το γινόμενο $V_{oc} I_{sc}$.
- Συντελεστής απόδοσης (η_π) σε συμβατική θερμοκρασία και συντελεστής διόρθωσης της απόδοσης (σ_θ).
- Συντελεστής κάλυψης (σ_κ).
- Διηλεκτρική αντοχή, δηλαδή η ελάχιστη τάση που προκαλεί ηλεκτρική διάσπαση ανάμεσα στα ηλιακά στοιχεία και στο μεταλλικό περίβλημα του Φ/Β πλαισίου.

Φωτοβολταϊκά πάνελ και συστοιχίες

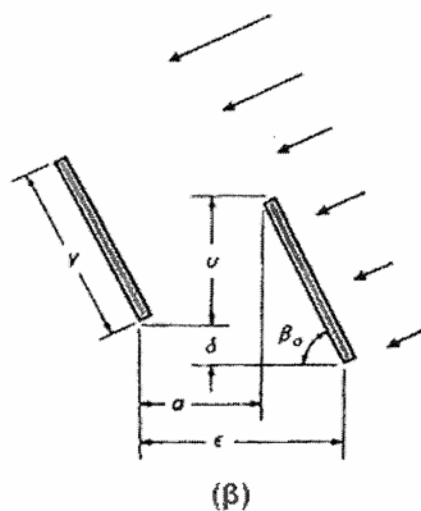
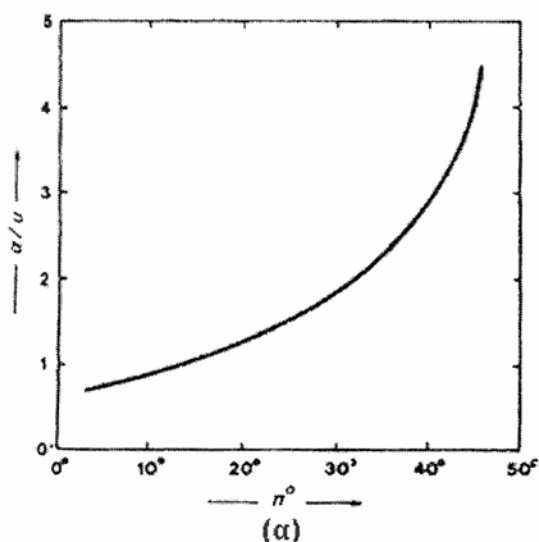
- Ένα πάνελ μπορεί να αποτελείται από περισσότερα χωριστά πλαίσια (το ένα δίπλα στο άλλο), που είναι σε κοινή συσκευασία και κοινή ηλεκτρική σύνδεση μεταξύ τους.
- Για την αύξηση της αξιοπιστίας ενός Φ/Β συστήματος, οι συνδέσεις των Φ/Β στοιχείων μέσα στα πλαίσια, αλλά και στα πάνελ ή ανάμεσα στα γειτονικά πλαίσια και πάνελ, δεν είναι μόνο στη σειρά αλλά και παράλληλες.
- Στις μεγάλες Φ/Β εγκαταστάσεις π.χ. συνολικής ισχύος αιχμής πάνω από 20 kWp, πολλές Φ/Β συστοιχίες σχηματίζουν ένα υπερσυγκρότημα συστοιχιών (arrays subfield) και το σύνολο των υπερσυγκροτημάτων αποτελεί το συγκρότημα συστοιχιών (array field) ή το Φ/Β πάρκο του Φ/Β σταθμού.
- Κάθε Φ/Β πλαίσιο πρέπει να έχει ανοικτό ορίζοντα. Σε μία τοποθεσία με γεωγραφικό πλάτος π° , η προϋπόθεση του ανοικτού ορίζοντα θεωρείται ότι εξασφαλίζεται όταν η γωνία του ύψους (β_ε) των γειτονικών συστοιχιών, δέντρων, κτιρίων ή άλλων εμποδίων ικανοποιεί μέσα σε μια αζιμούθια γωνία από -60° μέχρι $+60^\circ$ προς το Νότο τη σχέση:

$$\beta_\varepsilon \leq 48^\circ - \pi^\circ$$

- Για παράδειγμα, στην Αθήνα που βρίσκεται σε γεωγραφικό πλάτος 38° η γωνία του ύψους των διαφόρων εμποδίων δεν πρέπει να ξεπερνά τις 10° .
- Το ανωτέρω διάγραμμα μας βοηθά στον προσδιορισμό της απόστασης ανάμεσα στις παράλληλες σειρές των ηλιακών συλλεκτών στις Φ/Β συστοιχίες, ώστε η μια σειρά να μη σκιάζει αισθητά την επόμενη.

- Συγκεκριμένα, το διάγραμμα δίνει ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου, την ελάχιστη απαιτούμενη τιμή του λόγου της ελεύθερης απόστασης ανάμεσα στις δυο σειρές (α) προς την επικάλυψη του ύψους της κατασκευής στήριξης του συλλέκτη (υ).
- Αν γ είναι το πλάτος του στηρίγματος (που συμπίπτει με το πλάτος του συλλέκτη, δηλαδή του Φ/Β πλαισίου ή του πάνελ), β_α είναι η κλίση του και δ είναι η υψομετρική διαφορά ανάμεσα στα στηρίγματα των δύο σειρών, τότε το υ δίνεται προφανώς από τη σχέση:

$$u = \gamma \cdot \sin \beta_{\alpha} - \delta$$



- Με τη βοήθεια του διαγράμματος την αντίστοιχη του α και από τη σχέση

$$\varepsilon = \alpha + \gamma \cdot \cos \beta_{\varepsilon}$$

υπολογίζουμε το ε, δηλαδή την ελάχιστη απαιτούμενη απόσταση των σειρών.

Οι απώλειες στα φωτοβολταϊκά συστήματα

- Απώλειες λόγω αύξησης της θερμοκρασίας.
- Απώλειες λόγω ρύπανσης.
- Όταν το σύστημα δεν έχει αξιόπιστο ρυθμιστή ισχύος, κατά τη λειτουργία του θα υπάρχει μια αξιόλογη απόκλιση από τις ιδανικές συνθήκες, με αποτέλεσμα την έμφαση αντίστοιχης απώλειας στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.
- Απώλειες λόγω της φθοράς στα Φ/Β πλαίσια και στα άλλα μέρη του συστήματος. Με την πάροδο του χρόνου παρουσιάζεται μια μικρή βαθμιαία πτώση στην ποσότητα της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, που συνήθως υπολογίζεται στο 1% έως 2% για κάθε έτος.
- Κατά τον υπολογισμό της απαιτούμενης επιφάνειας των Φ/Β συλλεκτών ενός συστήματος πρέπει να γίνεται πρόβλεψη, ανάλογα με την περίπτωση και την κάλυψη όλων αυτών των απωλειών, που μπορεί να είναι της τάξης π.χ. περίπου του 20% έως 30% της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας ή και περισσότερο.

ΑΥΤΟΝΟΜΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Είναι εγκαταστάσεις που λειτουργούν αυτοδύναμα για την τροφοδότηση καθορισμένων καταναλώσεων, χωρίς να συνδέονται με μεγάλα κεντρικά δίκτυα διανομής, από τα οποία θα μπορούσαν να αντλούν συμπληρωματική ενέργεια ή να στέλνουν την ενδεχόμενη περίσσεια της παραγόμενης φωτοβολταϊκής ηλεκτρικής ενέργειας.



Παραδείγματα υποδείγματος των διαδοχικών βημάτων για τον προκαταρκτικό σχεδιασμό ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος

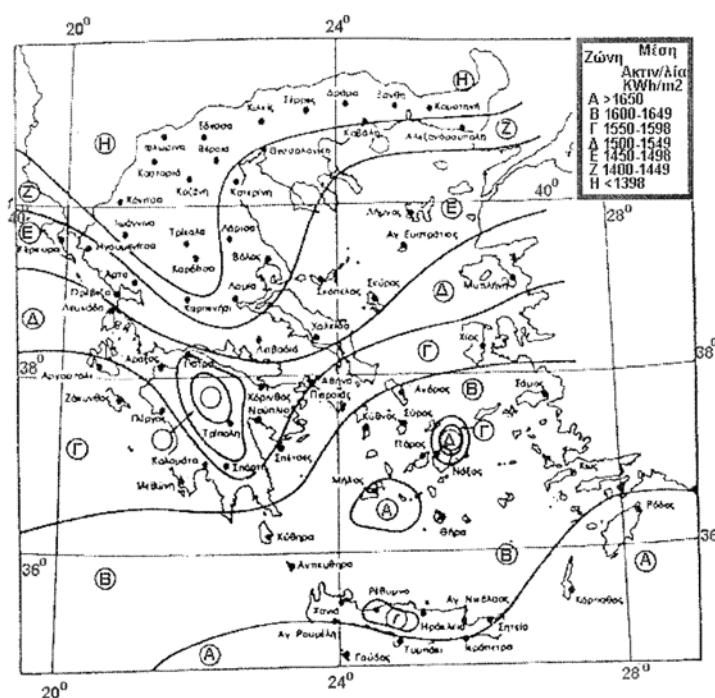
1. Επιλογή της κρίσιμης χρονικής περιόδου για την αξιόπιστη λειτουργία του συστήματος.
2. Εκτίμηση της μέσης ηλεκτρικής κατανάλωσης που ζητείται να ικανοποιεί το σύστημα.
3. Υπολογισμός της μέσης διαθέσιμης ηλιακής ενέργειας στην υπόψη τοποθεσία, στην επιλεγμένη χρονική περίοδο και για την βέλτιστη κλίση των συλλεκτών.
4. Υπολογισμός της απαιτούμενης συνολικής επιφάνειας ή της συνολικής ισχύος αιχμής των Φ/Β συλλεκτών και εύρεση του αντίστοιχου πλήθους και της κατάλληλης συνδεσμολογίας των τυποποιημένων Φ/Β πλαισίων ή πανέλων.
5. Καθορισμός των επιθυμητών ημερών αυτοδυναμίας του συστήματος και εύρεση της αντίστοιχης χωρητικότητας των συσσωρευτών αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας για την αντιμετώπιση της ζήτησης στο διάστημα των πιθανών ημερών συνεχούς συννεφιάς.
6. Υπόδειξη των διαφόρων αναγκαίων διατάξεων ρύθμισης και ελέγχου και της ισχύος της βοηθητικής ενέργειας πηγής.

Η ζήτηση: Οι ηλεκτρικές καταναλώσεις

Συσκευή	Ισχύς	Ώρες λειτουργίας	Ηλεκτρική κατανάλωση
Φώτα	1,0kW	3.0h	3.0kWh
Ψυγείο	0,3kW	9.0h	2.7kWh
Τηλεόραση	0,2kW	4.0h	0.8kWh
Ηλεκτρική σκούπα	0,6kW	0.5h	0.3kWh
Στεγνωτήρας μαλλιών	0,4kW	0.5h	0.2kWh
Φρυγανιέρα	1.5kW	0.2h	0.3kWh
Πλυντήριο ρούχων	3.5kW	0.2h	0.7kWh
Σύνολο	7.5kW		8.0kWh

Η προσφορά: Η ηλιακή ενέργεια

- Κατανομή της μέσης συνολικής ετήσιας έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας, σε οριζόντιο επίπεδο στις διάφορες περιοχές της Ελλάδας.



Το ζητούμενο: Το πλήθος των φωτοβολταϊκών πλαισίων

- Η ηλεκτρική ενέργεια E που παράγει ένα πλήθος Φ/B στοιχείων με συντελεστή απόδοσης η και συνολική επιφάνεια $A\text{m}^2$ όταν δεχτεί μία πυκνότητα ηλιακής ακτινοβολίας Π , kW/m^2 είναι:

$$E = P \cdot A \cdot \eta (\text{kWh})$$

- Όταν τα άλλα μεγέθη είναι γνωστά ή έχουν εκτιμηθεί, μπορούμε να βρούμε την απαιτούμενη συνολική επιφάνεια των Φ/B στοιχείων:

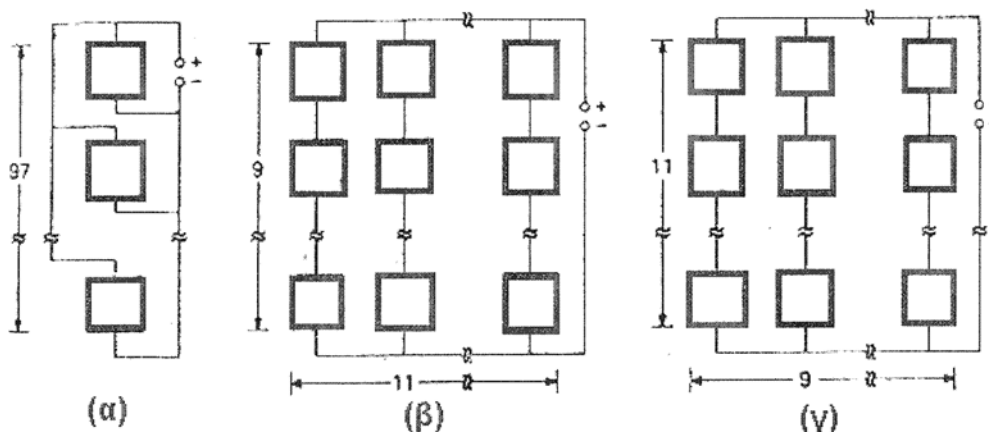
$$A = \frac{E}{\Pi \cdot \eta} (\text{m}^2)$$

- Για μεγαλύτερη ακρίβεια, κάνουμε τη θερμοκρασιακή διόρθωση και τη διόρθωση ρύπανσης της απόδοσης:

$$A = \frac{E}{\Pi \cdot H \cdot \sigma_{\theta} \cdot \sigma_{\rho}} (\text{m}^2)$$

Η συνδεσμολογία των συστοιχιών

Διαφορετικές συνδεσμολογίες των Φ/B πλαισίων για την παραγωγή συνεχούς ηλεκτρικής τάσης (α) 17V (β) 153V (γ) 187V.



ΑΥΤΟΝΟΜΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ – ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η ανάγκη για αποθήκευση

- Οι μέσες τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας είναι **στατιστικά μεγέθη** που μπορεί να αποκλίνουν σημαντικά από ενδεχόμενες πραγματικές συνθήκες.
- Ένα αξιόπιστο σύστημα πρέπει να παρέχει επαρκή ηλεκτρική ενέργεια για την ικανοποίηση της ζήτησης και στα χρονικά διαστήματα που δεν υπάρχει αντίστοιχη ηλιακή ακτινοβολία.
- Τα συνδεδεμένα Φ/Β συστήματα με κεντρικά ηλεκτρικά δίκτυα διανομής αντλούν από αυτά την απαιτούμενη συμπληρωματική ηλεκτρική ενέργεια και διοχετεύουν προς τα δίκτυα την ενδεχόμενη περίσσεια της παραγόμενης φωτοβολταϊκής ηλεκτρικής ενέργειας.
- Τα αυτόνομα Φ/Β συστήματα δεν έχουν αυτήν τη δυνατότητα ενεργειακής ανταλλαγής. Επομένως, χρειάζεται να **αποθηκεύσουν** μια ποσότητα από την περίσσεια της ηλεκτρικής τους παραγωγής, ώστε να χρησιμοποιηθεί όταν η ζήτηση είναι μεγαλύτερη από την παραγωγή της Φ/Β γεννήτριας.
- Η ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που πρέπει να αποθηκεύεται εξαρτάται από τις τοπικές συνθήκες και απαιτήσεις.
- Συνήθως, από τα αυτόνομα Φ/Β συστήματα ζητείται να εξασφαλίζουν μια αυτοδυναμία τουλάχιστον 3 ως 10 ημερών περίπου.

- Τρόποι αποθήκευσης: **Ηλεκτρικοί συσσωρευτές, αναστρέψιμα ΥΗΕ, ηλεκτρόλυση νερού και παραγωγή υδρογόνου**, το οποίο αποθηκεύεται σε αεριοφυλάκια και χρησιμοποιείται στη συνέχεια ως καύσιμο σε μικρούς θερμοηλεκτρικούς σταθμούς.

Οι συσσωρευτές μολύβδου – Λειτουργία

- Η λειτουργία των συσσωρευτών μολύβδου στηρίζεται σε μία αντιστρεπτή διαδικασία: $2\text{PbSO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{PbO}_2 + 2\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{Pb}$.
- Οι συσσωρευτές αποτελούνται από **κυψελίδες**, δηλαδή ζεύγη μεμονωμένων μεταξύ τους πλακών βυθισμένων στο ίδιο διάλυμα θεικού οξέος. Οι πλάκες του αφόρτιστου συσσωρευτή καλύπτονται από θεικό μόλυβδο (PbSO_4).
- Κατά τη φόρτιση διασπάται ο θεικός μόλυβδος και σχηματίζεται οξείδιο του μολύβδου (PbO_2) στις πλάκες των θετικών ηλεκτροδίων και μεταλλικός Pb στις πλάκες των αρνητικών.
- Κατά την εκφόρτιση ο Pb οξειδώνεται στις πλάκες των αρνητικών ηλεκτροδίων: $\text{Pb} \rightarrow \text{Pb}^{2+} + 2\text{e}$, ενώ στις πλάκες των θετικών ηλεκτροδίων: $\text{Pb}_4^{++} + 2\text{e} \rightarrow \text{Pb}^{2+}$.
- Τα προϊόντα των δύο αντιδράσεων, δηλαδή τα ιόντα Pb^{2+} , ενώνονται με θετικά ιόντα (SO_4^{2-}) από το διάλυμα και ξανασχηματίζουν το θεικό μόλυβδο πάνω στις πλάκες των κυψελίδων. Έτσι, καταναλώνεται θεικό οξύ και αραιώνεται το διάλυμα στις κυψελίδες, με τη φόρτιση όμως που επακολουθεί τα θετικά ιόντα επιστρέφουν στο διάλυμα, όπως δείχνει η αμφίδρομη

αντίδραση και η περιεκτικότητά του αποκαθίσταται στην κανονική τιμή.

- Στα Φ/Β συστήματα συνηθισμένοι είναι οι συσσωρευτές με **100** ως **150** κυψελίδες, που δίνουν τάση συνεχούς ρεύματος **200** ως **300V**.

Οι συσσωρευτές μολύβδου – Χωρητικότητα

- Το φορτίο που αποθηκεύεται, δηλαδή η χωρητικότητα ενός συσσωρευτή: $C=Ixt$

$$C(Ah), I(A), t(h)$$

- **Ονομαστική ικανότητα αποθήκευσης: $E=CxV$** E(Wh), V(V)
- Με τη χρήση η χωρητικότητα των συσσωρευτών μειώνεται λόγω διάβρωσης των πλακών σχηματισμού επικαθήσεως. Ένας συσσωρευτής θεωρείται άχρηστος όταν η χωρητικότητά του πέσει κάτω από το 80% περίπου της αρχικής τιμής.
- Οι φορτισμένοι συσσωρευτές αυτοεκφορτίζονται με ρυθμό 2% έως 5% της χωρητικότητάς τους το μήνα. Ο ρυθμός της αυτοεκφόρτισης αυξάνει με την ηλικία του συσσωρευτή.
- Η χωρητικότητα των συσσωρευτών εξαρτάται:
 1. από την ισχύ ($P=V \cdot I$) με την οποία γίνεται η εκφόρτισή τους,
 2. από τη θερμοκρασία του συσσωρευτή: αυξάνει με την αύξηση της θερμοκρασίας,
 3. από το πλήθος των διαδοχικών κύκλων φόρτισης – εκφόρτισης και από το βάθος κάθε εκφόρτισης (500 έως 1.500 κύκλους φορτίσεων – εκφορτίσεων, το βάθος εκφόρτισης δεν επιτρέπεται να ξεπερνά το 10%).

- Η ενεργός αξιοποιήσιμη χωρητικότητα είναι:

$$C = \beta \cdot c_N$$

όπου:

C_N : η ονομαστική χωρητικότητα.

- Η μέγιστη ηλεκτρική ενέργεια που μπορεί να αποταμιευθεί και να ανακτηθεί σε κάθε κύκλο φόρτισης – εκφόρτισης είναι:

$$E = C \cdot V = \beta \cdot C_N \cdot V$$

όπου:

β : το βάθος εκφόρτισης του συσσωρευτή.

Αν ο συσσωρευτής του διαγράμματος του διπλανού σχήματος έχει βάθος εκφόρτισης 60% και τάση 12V, βρίσκουμε ότι για χρόνο εκφόρτισης π.χ. 24 ωρών (που αντιστοιχεί ονομαστική χωρητικότητα 120Ah) θα είναι:

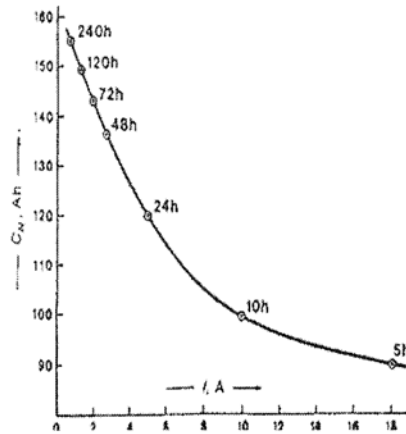
$$E = \beta \cdot C_N \cdot V = 0.6 \cdot 120 \cdot 12 = 864Wh$$

- Επομένως, αν η ηλεκτρική ενέργεια που ζητάμε να δίνει ο συσσωρευτής είναι E , η ενεργός χωρητικότητα του C θα πρέπει να αντιστοιχεί σε ενέργεια φόρτισης E_Φ ίση με:

$$E_\Phi = \frac{E}{\alpha}$$

- Σύμφωνα με την προηγούμενη σχέση που δίνει τη μέγιστη ενέργεια που μπορεί να αποταμιευθεί και να ανακτηθεί, η ονομαστική του χωρητικότητα να είναι:

$$C_N = \frac{E_\Phi}{\beta \cdot V} = \frac{E}{\alpha \cdot \beta \cdot V}$$



ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΚΑΙ ΧΩΡΟΤΑΞΙΚΑ ΘΕΜΑΤΑ

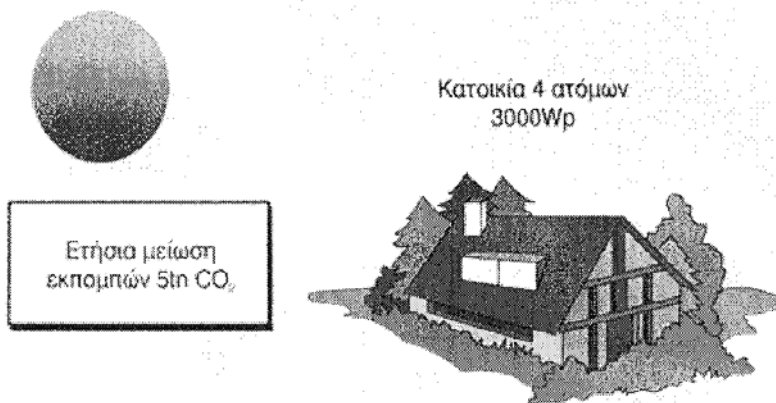
- Η **ενέργεια** που χρησιμοποιείται για την παραγωγή Φ/Β πλαισίων κρυσταλλικού πυριτίου είναι **235 kWh/m²**.
- Οι εκπομπές CO₂:45tn/GWh παραγόμενης ενέργειας από το Φ/Β, ενώ για το ίδιο ποσό ενέργειας ο τελειότερος και αποδοτικότερος σταθμός που καίει άνθρακα, εκπέμπει 1.000 τόνους CO₂.
- Τις περισσότερες φορές τα Φ/Β συστήματα τοποθετούνται σε απομακρυσμένες περιοχές, όπου υπάρχει άφθονη γη.
- Ακόμη και στην περίπτωση της τοποθέτησής τους σε οροφές, αξιοποιείται η διαθέσιμη επιφάνεια.
- Όσον αφορά στην αισθητική των εγκαταστάσεων, για τα συστήματα που βρίσκονται εκτός οικισμών υπάρχει η δυνατότητα απόκρυψης με φυσικά μέσα, ενώ έχει υπάρξει πρόοδος και στην αισθητική των συστημάτων που τοποθετούνται σε κτίρια.
- Δεν υπάρχουν οικολογικές επιπτώσεις στο περιβάλλον κατά τη λειτουργία των Φ/Β συστημάτων.

- Έχουν μηδενικές εκπομπές ρύπων και δεν προκαλούν ηχορύπανση.

Παράδειγμα υποδείγματος των διαδοχικών βημάτων για τον προκαταρκτικό σχεδιασμό ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος

1. Επιλογή της κρίσιμης χρονικής περιόδου για την αξιόπιστη λειτουργία του συστήματος.
2. εκτίμηση της μέσης ηλεκτρικής κατανάλωσης που ζητείται να ικανοποιεί το σύστημα.
3. Υπολογισμός της μέσης διαθέσιμης ηλιακής ενέργειας στην υπόψη τοποθεσία, στην επιλεγμένη χρονική περίοδο και για την βέλτιστη κλίση των συλλεκτών.
4. Υπολογισμός της απαιτούμενης συνολικής επιφάνειας ή της συνολικής ισχύος αιχμής των Φ/Β συλλεκτών και εύρεση του αντίστοιχου πλήθους και της κατάλληλης συνδεσμολογίας των τυποποιημένων Φ/Β πλαισίων ή πανέλων.

Ηλιακή Ενέργεια από Φωτοβολταϊκά Συστήματα

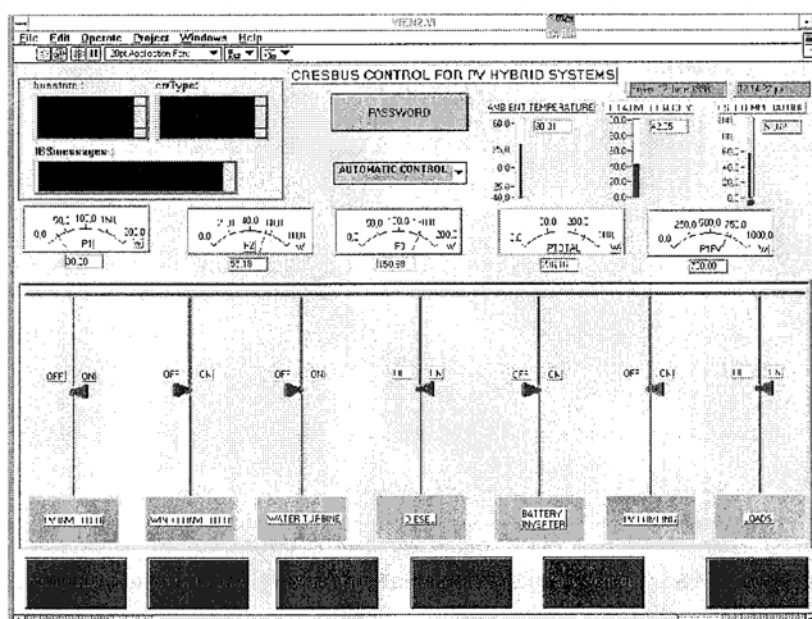


5. Καθορισμός των επιθυμητών ημερών αυτοδυναμίας του συστήματος και εύρεση της αντίστοιχης χωρητικότητας των συσσωρευτών αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας για την αντιμετώπιση της ζήτησης στο διάστημα των πιθανών ημερών συνεχούς συννεφιάς.
6. Υπόδειξη των διαφόρων αναγκαίων διατάξεων ρύθμισης και ελέγχου και της ισχύος της βοηθητικής ενεργειακής πηγής.

CRESbus, ΕΠΟΠΤΕΙΑ ΚΑΙ ΑΥΤΟΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ Φ/Β ΥΒΡΙΔΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

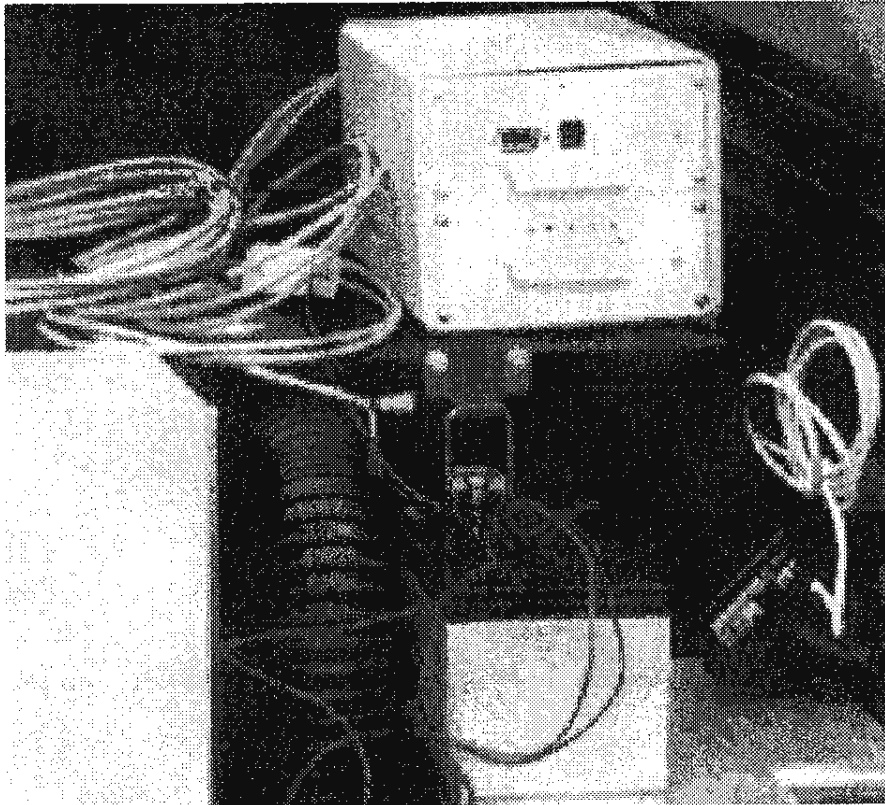
Το CRESbus (εποπτικό δίκτυο του ΚΑΠΕ):

- δίνει την κατάσταση αναφοράς του συστήματος παραγωγής ενέργειας,
- λαμβάνει πληροφορίες για την πραγματική κατάσταση κάθε μονάδας,
- αποτελεί την υλοποίηση του πρωτοκόλλου επικοινωνίας EIB (European Installation Bus) και του DLMS (Device Language Message Specification),
- η ανταλλαγή πληροφοριών εκτελείται με την διαμόρφωση της πληροφορίας στο ηλεκτρικό δίκτυο για δευτερεύουσες λειτουργίες,
- για τις κρίσιμες λειτουργίες χρησιμοποιείται καλώδιο RS-485 με υψηλή ταχύτητα (Fieldbus),
- η λήψη των δεδομένων στην κεντρική μονάδα επιτρέπει την αυτόματη ή χειροκίνητη λειτουργία του συστήματος.



ΚΑΤΑΓΡΑΦΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΓΙΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ (PVMS)

- Είναι μια οικονομική, πρωτότυπη καταγραφική μονάδα για τη συλλογή μετρήσεων, έλεγχο και διαχείριση δεδομένων.
- Σχεδιάστηκε ιδιαίτερα για Φ/Β συστήματα συνδεδεμένα με το δίκτυο, αλλά εύκολα τροποποιείται σύμφωνα με τις προδιαγραφές του πελάτη, από έναν απλό μετρητή ενέργειας σε πλήρες καταγραφικό Φ/Β συστημάτων.
- Αναπτύχθηκε από το ΚΑΠΕ και αποτελείται από τους **αισθητήρες, την κεντρική μονάδα και το λογισμικό του.**
- Το καταγραφικό παρέχει ένα αρχείο με δεδομένα σε μορφή ASCII, έτοιμα για επεξεργασία σε εμπορικά λογιστικά φύλλα.
- Για τη διαχείριση των δεδομένων και τον προγραμματισμό της δειγματοληψίας αναπτύχθηκε ένα φιλικό λογισμικό σε περιβάλλον Windows (Data Administrator) για την επικοινωνία μεταξύ του καταγραφικού και υπολογιστή.
- Στόχος είναι η μέτρηση μεγεθών με ακρίβεια από 1% έως 2% για τη μέγιστη μετρήσιμη τιμή των αισθητήρων και μέχρι 5% για τα υπολογιζόμενα μεγέθη.
- Ο δμπιτος μετατροπéας αναλογικού σήματος σε ψηφιακό που διαθέτει ο μικροελεγκτής παρέχει μέγιστη ακρίβεια αντίστοιχη στο 1/256 (0.4%) του μετρήσιμου εύρους.
- Σύμφωνα με τους χρησιμοποιούμενους αισθητήρες και το περιβάλλον λειτουργίας ενσωματώνεται και ο απαιτούμενος εξοπλισμός για την ενίσχυση του σήματος, την αφαίρεση θορύβου, το φιλτράρισμα και την προστασία σε μεταβατικές καταστάσεις.



Καταγραφόμενες τιμές

1.	Ακτινοβολία στο επίπεδο των Φ/Β γεννητριών σε W/m^2
2.	Θερμοκρασία Φ/Β στοιχείων σε $^{\circ}C$
3.	Θερμοκρασία περιβάλλοντος σε $^{\circ}C$
4.	Φ/Β DC Ισχύς Εξόδου σε W
5.	AC Ισχύς Εξόδου Μετατροπέα σε W
6.	Ενέργεια στο επίπεδο των Φ/Β γεννητριών σε kWh/m^2
7.	Παραχθείσα Φ/Β DC ενέργεια σε kWh
8.	Παραχθείσα Φ/Β AC ενέργεια σε kWh
9.	Κατανάλωση σε kWh (προαιρετικό)

Απεικόνιση του λογισμικού επικοινωνίας

Download

Comments: Save

Parameters Measured	Sampling Time step	Flash Yes/No	Energy Meters Yes/No	On Line View Yes/No
DC Power (Watt)	1 msec			<input type="checkbox"/>
AC Power - phase 1 (Watt)	1 msec			<input type="checkbox"/>
Solar Irradiance (Watt/m ²) ESTI Sensor	1 msec	<input checked="" type="checkbox"/> Yes	<input checked="" type="checkbox"/> Yes	<input type="checkbox"/>
PV Cell Temp. (°C)	<input type="text"/> min			<input type="checkbox"/>
Ambient Temp. (°C)	<input type="text"/> min			<input type="checkbox"/>
AC Power - phase 2 (Watt)	1 msec			<input type="checkbox"/>
AC Power - phase 3 (Watt)	1 msec			<input type="checkbox"/>
AC Power to Loads (Watt)	1 msec			<input type="checkbox"/>

OK Cancel

Προδιαγραφές καταγραφικού PVMS

- **Εξωτερική Επικοινωνία:** RS232 και τηλεφωνικό βύσμα (για προαιρετική μεταφορά δεδομένων μέσω κινητής τηλεφωνίας).
- **Παροχή ισχύος:** 7-40 VDC ή 230 VAC/50Hz (Max κατανάλωση 20W).
- **Αναλογικοί είσοδοι:** 8 (8μπιτες) είσοδος: 0-5V.
- **Ψηφιακές είσοδοι:** Ρυθμός δειγματοληψίας: 16μs ανά είσοδο.
- **Σειριακή είσοδος:** 2 (0-5V) Είσοδος ψηφιακών θερμομέτρων.
- **Μνήμη:**
 - Static RAM 128 Kb (αθροιζόμενα ενεργειακά στοιχεία).
 - 2 Mb Flash RAM (για συλλογή μετρούμενων μεγεθών).
 - ERROM για το λειτουργικό λογισμικό (μπαταρία για 1 μήνα αυτονομία).
- **Εσωτερικό ρολόι:** Πραγματικός χρόνος στην κάρτα CPU (μπαταρία για 1 μήνα αυτονομία).
- **Δειγματοληψία:** 1 msec, μέσος όρος από 1 μέχρι 60 min.
- **Περιβάλλον λειτουργίας:** Σε καλυμμένο χώρο, -20 με 70° C.
- **LCD και πληκτρολόγιο (προαιρετικό):**
 - Παρουσίαση των μετρούμενων μεγεθών σε κάθε είσοδο.
 - Πληκτρολόγιο 4 πλήκτρων για την επιλογή εισόδων.

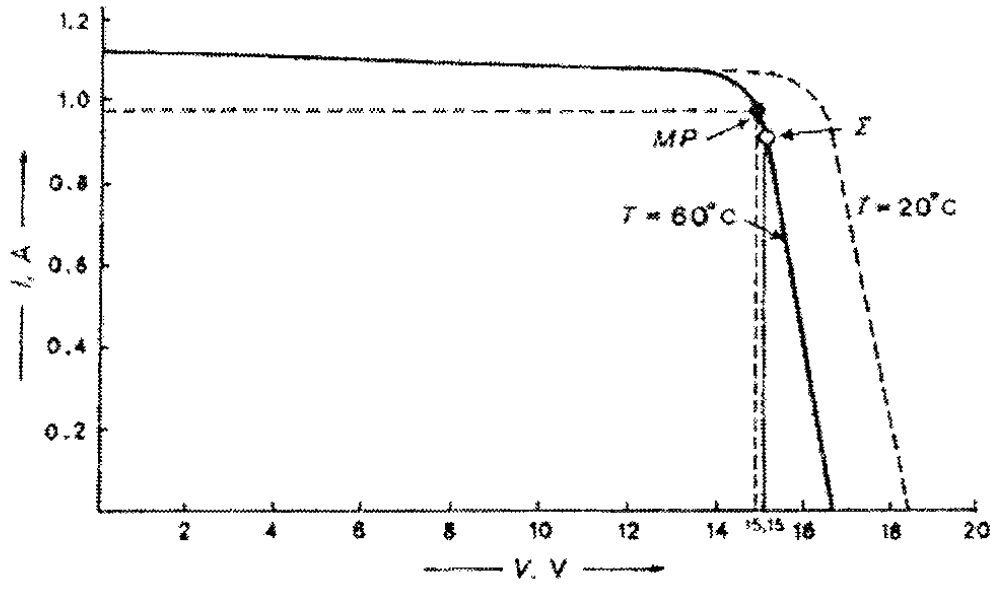
ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΗΣ ΙΣΧΥΟΣ (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ)

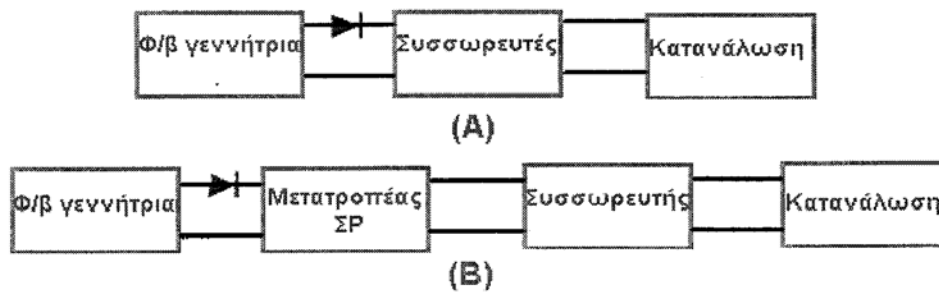
- Η **καλή λειτουργία** και η **αυξημένη απόδοση** των Φ/Β συστημάτων υποβοηθείται από την χρησιμοποίηση ειδικών διατάξεων, συνήθως **ηλεκτρονικής ισχύος**, που επεξεργάζονται την ηλεκτρική ενέργεια που παράγει η Φ/Β εννήτρια.
- Σ' αυτή τη μονάδα υπάγονται:
 - ο **ρυθμιστής φορτίσεως** και εκφορτίσεως της μπαταρίας (Regulator), εάν φυσικά υπάρχει αποθηκευτική μονάδα,
 - ο **ανιχνευτής** του σημείου μέγιστης ισχύος της Φ/Β συστοιχίας (M.P.P.T.),
 - ο **μετατροπέας DC/DC** του συνεχούς ρεύματος σε συνεχές,
 - ο **αντιστροφέας DC/AC** του συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο,
 - **τα διάφορα κυκλώματα** ελέγχου και λειτουργίας του συστήματος.
- Το βασικό έργο της μονάδας επεξεργασίας της ισχύος είναι η ρύθμιση των τάσεων λειτουργίας της Φ/Β συστοιχίας και του φορτίου (δικτύου).

ΑΥΤΟΝΟΜΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ – ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΙΣΧΥΟΣ

Ρυθμιστές, μετατροπείς και αντιστροφείς

- Η καλή λειτουργία και αυξημένη απόδοση των Φ/Β συστημάτων υποβοηθείται συχνά με τη χρησιμοποίηση **ειδικών διατάξεων, συνήθως ηλεκτρονικής ισχύος.**
- Στο διπλανό σχήμα δείχνεται **η χαρακτηριστική καμπύλη τάσης – έντασης** ενός Φ/Β πλαισίου, όταν τα ηλιακά στοιχεία του έχουν θερμοκρασία 60° C.
- Για τη φόρτιση συσσωρευτών 12 V μπορεί να χρησιμοποιηθεί παράλληλα ή στη σειρά με το Φ/Β πλαίσιο ένας **ρυθμιστής τάσης** που διατηρεί την τάση εξόδου του Φ/Β πλαισίου στην επιθυμητή τιμή.
- Η τάση φόρτισης των συσσωρευτών μπορεί να ανεξαρτητοποιηθεί εντελώς από την τάση εξόδου της Φ/Β γεννήτριας με την **παρεμβολή ενός μετατροπέα συνεχούς ρεύματος**, που παραλαμβάνει την τάση της Φ/Β γεννήτριας (που είναι ασταθής), την μετατρέπει σε ευνοϊκή τάση για τη φόρτιση των συσσωρευτών και τη σταθεροποιεί ώστε να εξασφαλίζονται οι βέλτιστες συνθήκες φόρτισης.
- Φ/Β συστήματα περιέχουν και άλλες ηλεκτρονικές διατάξεις, όπως είναι οι **ρυθμιστές ισχύος MPPT** (maximum power point trackers), δηλαδή διατάξεις παρακολούθησης του σημείου της μέγιστης ισχύος.





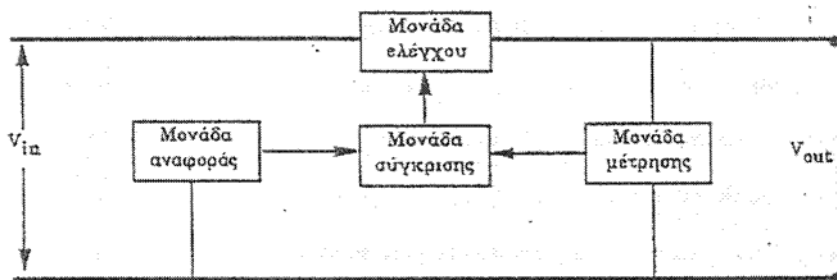
ΡΥΘΜΙΣΤΕΣ – ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ ΚΑΙ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΙΣ

- **Ρυθμιστής συνεχούς τάσης (Voltage regulator ή controller):** ρυθμίζει τη ροή του ρεύματος από τα Φ/Β πλαίσια προς τις μπαταρίες αποθήκευσης και διατηρεί την κανονική κατάσταση φόρτισης των μπαταριών.
- **Μπαταρία (Battery):** είναι απαραίτητη σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα για να αποθηκεύει την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται στα Φ/Β πλαίσια και να τη δίνει στον καταναλωτή κατά τα χρονικά διαστήματα που δεν υπάρχει ηλιακή ακτινοβολία (νυκτερινές ώρες, συννεφιασμένες μέρες).
- **Καταναλωτής (Load) (ή φορτίο):** περιλαμβάνει όλες τις ηλεκτρικές συσκευές του συστήματος που πρέπει να λειτουργήσουν με την ηλεκτρική ενέργεια που παρέχουν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια.
- **Μετατροπέας συνεχούς – εναλλασσόμενου ρεύματος (INVERTER):** Η συσκευή αυτή είναι απαραίτητη για τη μετατροπή του συνεχούς (D.C.) ρεύματος σε εναλλασσόμενο (A.C.) για να μπορούν να λειτουργούν οι διάφορες συσκευές που κυκλοφορούν στην αγορά:
 - Μετατροπέας αυτοτελούς συστήματος.
 - Μετατροπέας Φ/Β συστήματος συνδεδεμένου με δίκτυο.

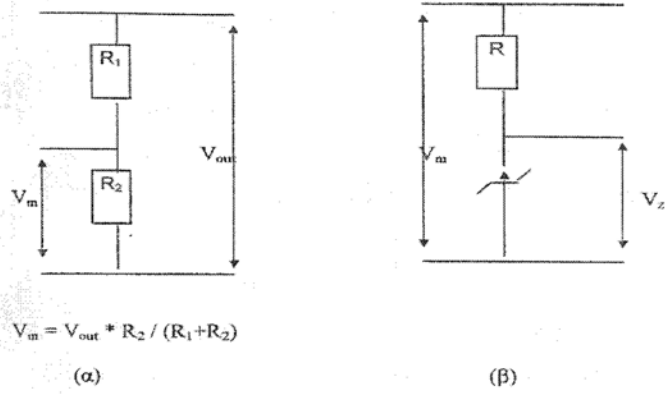
A) Ρυθμιστές τάσης (REGULATOR).

- Η τάση στην έξοδο της Φ/Β γεννήτριας μεταβάλλεται (μεταβολή καιρικών συνθηκών, γήρανση των κυττάρων).
- Οι διατάξεις αυτές παρέχουν στον συσσωρευτή σταθερή τάση, η οποία είναι απαραίτητη για την προστασία του και προστατεύουν τον συσσωρευτή από υπερβολική φόρτιση.
- Διακρίνονται σε γραμμικούς ρυθμιστές παράλληλους ή σε σειρά, οι οποίοι χρησιμοποιούνται σε μικρά και μεσαία συστήματα.
- Σε μεγάλα συστήματα η ρύθμιση της τάσης γίνεται με τη βοήθεια των DC/DC μετατροπέων, οι οποίοι μετρούν την τάση εξόδου και τη συγκρίνουν με μια προκαθορισμένη τάση αναφοράς και έτσι ελέγχουν την έξοδο ώστε να διατηρείται στην επιθυμητή τιμή.

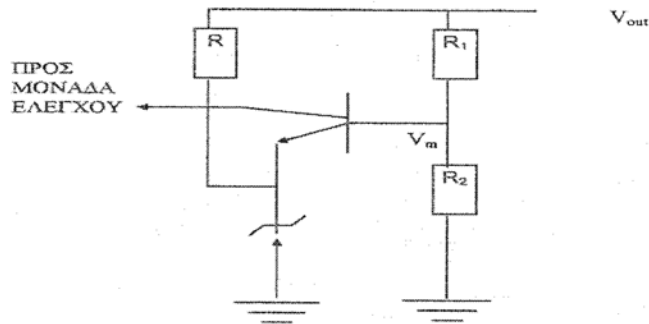
Μονάδες που απαρτίζουν έναν ρυθμιστή τάσης με ανατροφοδότηση



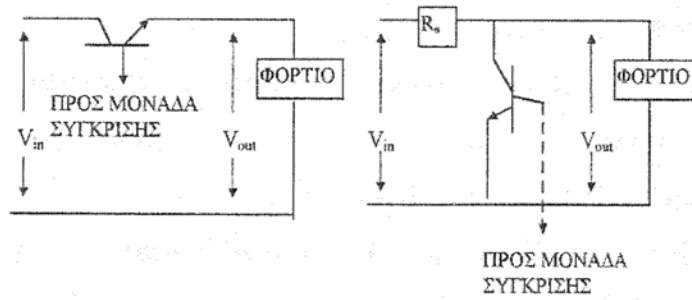
- Η τάση εξόδου, V_{out} , μετράται από τη μονάδα μετρήσεως και συγκρίνεται με μια τάση αναφοράς στη μονάδα σύγκρισης.
- Στη συνέχεια ο συγκριτής οδηγεί τη μονάδα ελέγχου, η οποία διορθώνει την τάση εξόδου, αν βέβαια είναι αναγκαίο.
- Ο συγκριτής αρκετές φορές περιλαμβάνει μία ή περισσότερες βαθμίδες ενίσχυσης, ώστε να αυξήσει την ευαισθησία της μονάδας ελέγχου.



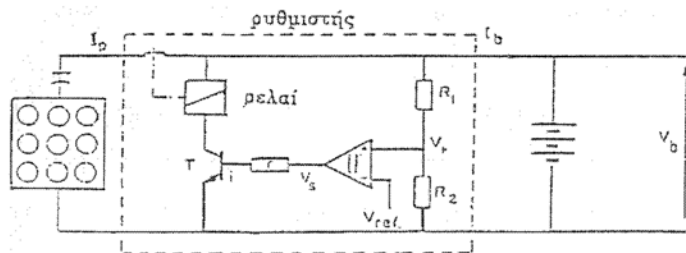
α) Μονάδα μέτρησης, β) Μονάδα αναφοράς



Μονάδα σύγκρισης με TRANSISTOR



Μονάδα ελέγχου. α) σε σειρά σύνδεση, β) σε παράλληλη σύνδεση



Ρυθμιστής τάσης με ηλεκτρομηχανικό ρελέ

B) Μετατροπέας DC/DC (CONVERTER)

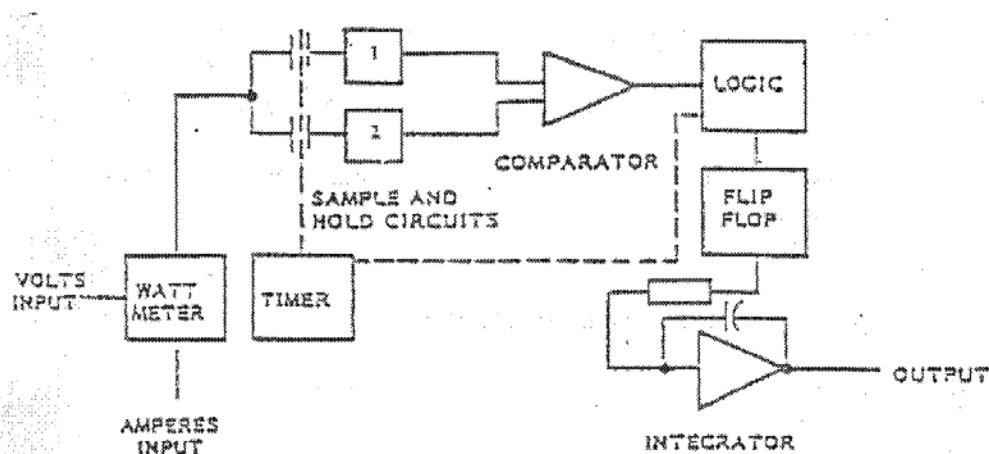
- Σε συστήματα όπου η ονομαστική ισχύς της Φ/Β συστοιχίας υπερβαίνει τα 20 KWp προτιμάται η εγκατάσταση ενός μετατροπέα DC/DC μεταξύ της συστοιχίας και της μπαταρίας.
- Αυτές οι διατάξεις ονομάζονται και CHOPPERS.
- Με την παρεμβολή του μετατροπέα DC/DC η τάση φόρτισης των συσσωρευτών μπορεί να ανεξαρτητοποιηθεί εντελώς από την τάση εξόδου της Φ/Β συστοιχίας.
- Η διάταξη αυτή παραλαμβάνει την τάση της Φ/Β γεννήτριας, η οποία είναι αναγκαστικά ασταθής λόγω των διακυμάνσεων της ηλιακής ακτινοβολίας και την μετατρέπει σε ευνοϊκή τάση για τη φόρτιση των συσσωρευτών σταθεροποιώντας τη, ώστε να εξασφαλίζονται οι βέλτιστες συνθήκες φόρτισης.
- Η βέλτιστη τιμή της τάσης είναι η μέση ετήσια τιμή V.
- Το μειονέκτημα της διάταξης είναι ότι έχουμε κάποια διαστήματα στη διάρκεια του έτους, που η Φ/Β συστοιχία θα λειτουργεί σε τάση διαφορετική από την V, με αποτέλεσμα την απώλεια ενέργειας.

Γ) Ανιχνευτής σημείου μέγιστης ισχύος (M.P.P.T.)

- Είναι μια συσκευή που επεξεργάζεται κατάλληλα το ρεύμα και την τάση εξόδου της Φ/Β συστοιχίας, ώστε, σε κάθε χρονική στιγμή, να απορροφάμε τη μέγιστη δυνατή ισχύ από τη συστοιχία.
- Το σημείο μέγιστης ισχύος μιας Φ/Β συστοιχίας (V_{mp} , I_{mp}) εξαρτάται από την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, από τη θερμοκρασία και από τη χαρακτηριστική του φορτίου.
- Η διάταξη M.P.P.T. είναι αυτή που αναλαμβάνει να διατηρεί το σημείο λειτουργίας του συστήματος στο σημείο μέγιστης ισχύος, ανεξάρτητα από οποιαδήποτε μεταβολή των παραπάνω παραγόντων.
- Αποτελείται από:
 1. Ένα βαττόμετρο που μετράει συνεχώς την ισχύ και δίνει ένα σήμα στην έξοδό του ανάλογο της τιμής της ισχύος.
 2. Δύο κυκλώματα SAMPLE και HOLD που ελέγχονται από ένα TIMER, όπου κατά τακτά χρονικά διαστήματα παίρνουν διαδοχικά δειγματοληπτική τιμή του σήματος εξόδου του βαττόμετρου και τη διατηρούν (HOLD) για να τη συγκρίνουν με την επόμενη τιμή μέσω του COMPARATOR.
 3. Ένα FLIP-FLOP που αλλάζει κατάσταση όταν μια νέα δειγματοληπτική τιμή είναι μικρότερη από την προηγούμενη, ενώ παραμένει στην ίδια κατάσταση αν είναι μεγαλύτερη από την προηγούμενη δείχνοντας έτσι αύξηση της ισχύος.
 4. Ένα κύκλωμα ολοκλήρωσης (INTEGRATOR), που δίνει μια σταθερά μεταβαλλόμενη έξοδο, η οποία τείνει να αυξηθεί για

την μια κατάσταση του FLIP-FLOP και να μειωθεί για την άλλη.

Απλοποιημένο χονδρικό διάγραμμα ενός MPPT



Δ) Αντιστροφέας DC/AC (INVERTER)

- Η Φ/Β γεννήτρια δίνει στην έξοδό της συνεχές ρεύμα, έτσι είναι απαραίτητη η τοποθέτηση ενός αντιστροφέα DC/AC, ο οποίος θα μετατρέπει την παραγόμενη DC τάση σε AC, κατάλληλη για τη χρησιμοποίησή της από τις συσκευές του συστήματος ή την απορρόφησή της από το δίκτυο.
- Ο ιδανικός αντιστροφέας (inverter) μετατρέπει την DC ισχύ σε ημιτονοειδή, σταθερού πλάτους, σταθερής συχνότητας και χωρίς απώλειες. Ο βαθμός προσέγγισης μιας τέτοιας ιδανικής κατάστασης στην πράξη εξαρτάται από την τοπολογία του κυκλώματος που θα επιλεγεί και τις απώλειες στα διάφορα σημεία.
- Ο απλούστερος τρόπος μετατροπής DC ισχύος σε AC είναι η μηχανική σύνδεση ενός DC κινητήρα με AC γεννήτρια (μικρό βαθμό απόδοσης).

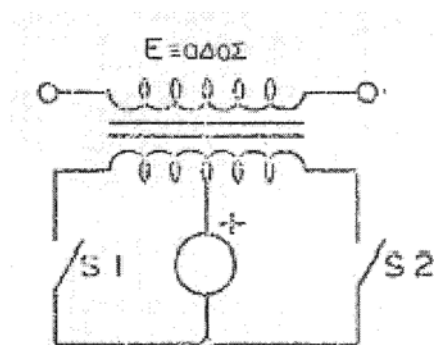
- Η καθιερωμένη πλέον μέθοδος για μια τέτοια μετατροπή βασίζεται στη χρήση ημιαγωγών στοιχείων (TRANSISTOR, SCR).
- Ένας αντιστροφέας εκτελεί βασικά 3 λειτουργίες:
 - την αντιστροφή (INVERSION, I),
 - τη ρύθμιση της τάσης (REGULATION, R) και
 - τη διαμόρφωση της κυματομορφής (WAVE SHAPING, W) που συνήθως δεν είναι ημιτονοειδής.

ΤΟΠΟΛΟΓΙΕΣ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΕΝΟΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑ

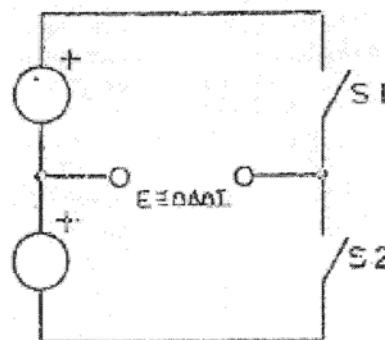
Η τοπολογία που πρόκειται να επιλεγεί για μία εφαρμογή έχει να κάνει με την οικονομική πλευρά, την ποιότητα της κυματομορφής εξόδου, το μέγεθος, το βάρος κ.ά.

Μερικές από τις πιο πιθανές τοπολογίες είναι:

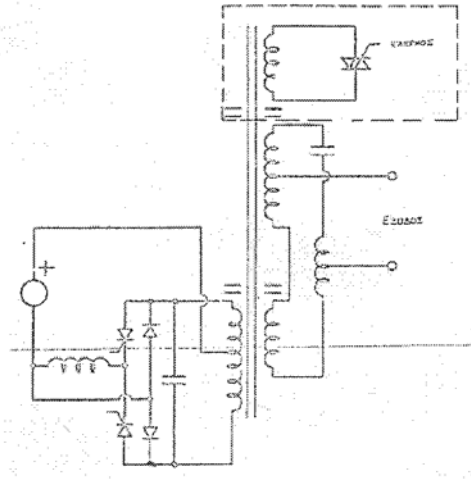
- ο παράλληλος ή PUSH-PULL αντιστροφέας (Σχήμα Π.10),
- ο αντιστροφέας ημιγέφυρας (Σχήμα Π.11),
- ο αντιστροφέας πλήρους γέφυρας (Σχήμα Π.9),
- ο αντιστροφέας με φερρομαγνητικό κύκλωμα συντονισμού, που μπορεί να είναι και ελεγχόμενος (Σχήμα Π.12),
- ο αντιστροφέας με βηματική κυματομορφή που προέρχεται από μετατόπιση φάσης δύο ή περισσότερων τετραγωνικών κυματομορφών,
- ο αντιστροφέας με προαποθηκευμένους παλμούς για τη δημιουργία της κυματομορφής,
- ο αντιστροφέας που χρησιμοποιεί διαμόρφωση εύρους παλμού (PWM).



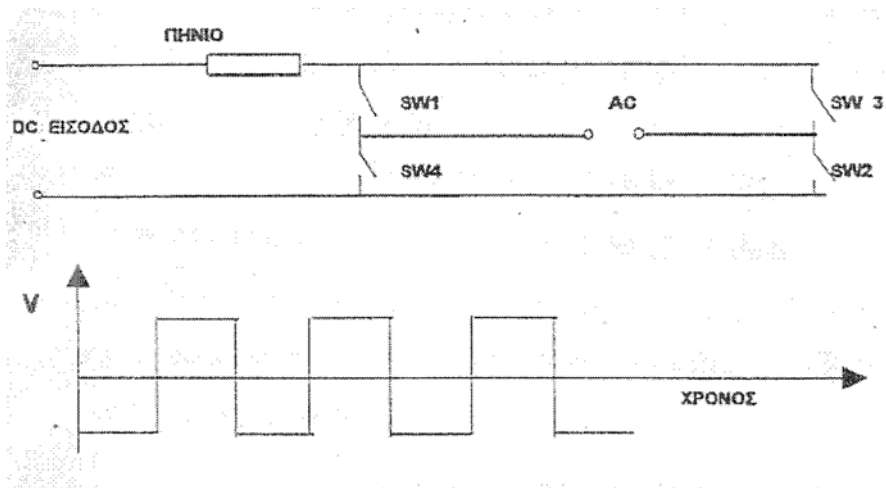
Παράλληλος (PUSH PULL) αντιστροφέας



Αντιστροφέας ημιγέφυρας



Αντιστροφέας με φερρομαγνητικό κύκλωμα συντονισμού



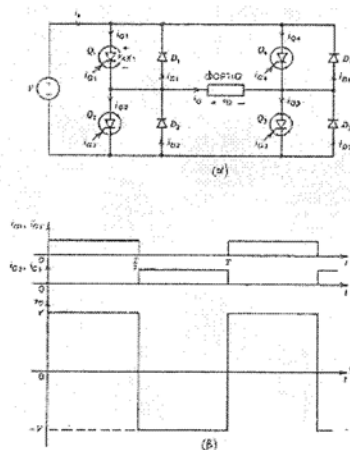
Βασικό κύκλωμα αντιστροφέα και κυματομορφή εξόδου

Ανάλυση Αντιστροφέα Γέφυρας

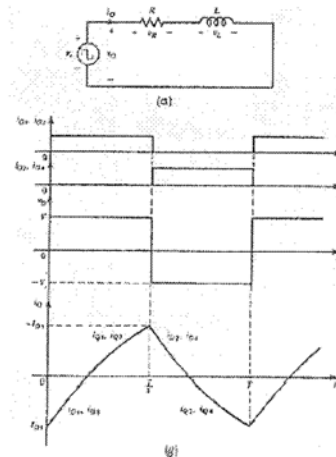
- Τα SCR είναι ικανά να δώσουν την παραπάνω κυματομορφή.
- Επειδή το φορτίο (δίκτυο) μπορεί να περιέχει στοιχεία L και C, (αποθηκεύουν ενέργεια, το ρεύμα φορτίου, i_o , δεν αλλάζει πολικότητα συγχρόνως με την τάση του φορτίου, u_o), γι' αυτό χρησιμοποιούμε διόδους, αντιπαράλληλα με τα SCR, που θα επιτρέπουν ροή ρεύματος και μετά το σβήσιμο του αντίστοιχου SCR.
- Η λειτουργία του κυκλώματος ισχύος, έχει ως εξής: Αν π.χ. το φορτίο του Σχ. 1 είναι ένα RL κύκλωμα στο οποίο εφαρμόζεται μία τάση τετραγωνικής μορφής με πλάτος V και περίοδο T, τότε το σύστημα αυτό μπορεί να παρασταθεί με το ισοδύναμο κύκλωμα του Σχ. 2, όπου:

$$U_s = V \quad \text{για} \quad 0 < t < T/2$$

$$U_s = -V \quad \text{για} \quad T/2 < t < T$$



Σχ.1

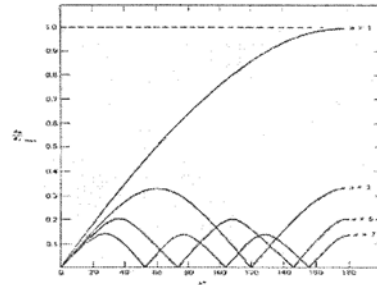
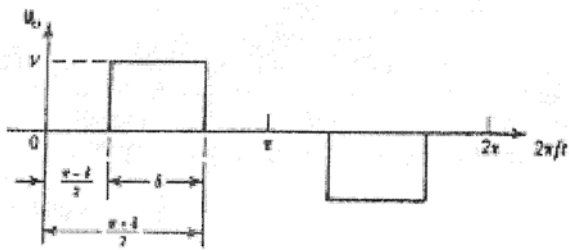


Σχ.2

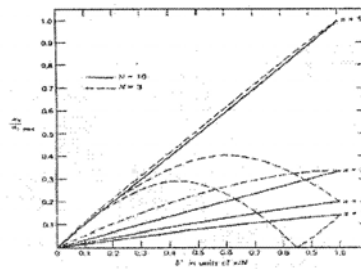
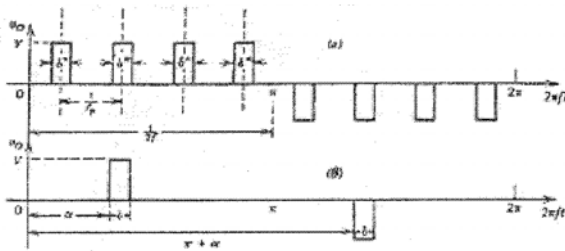
Ρύθμιση της τάσης σε έναν αντιστροφέα

- Είναι αναγκαίο να γίνεται βαθμιαίος έλεγχος του λόγου της DC τάσης της πηγής, προς την τάση AC που τροφοδοτεί το δίκτυο.
- Οι μέθοδοι που συνήθως χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της τάσης είναι:
 - με τη βοήθεια ενός AC ρυθμιστή τάσης μεταξύ των ακροδεκτών εξόδου του αντιστροφέα και του δικτύου,
 - με τη βοήθεια ενός DC/DC μετατροπέα μεταξύ της πηγής και των ακροδεκτών εισόδου του αντιστροφέα,
 - με τη βοήθεια του κυκλώματος ελέγχου του αντιστροφέα μεταβάλλουμε τον λόγο μεταξύ της DC τάσης εισόδου και AC τάσης εξόδου του αντιστροφέα.
- Οι τρεις πιο βασικές τεχνικές χρησιμοποιούν διαμόρφωση εύρους παλμού (PWM), η οποία απαιτεί εξαναγκασμένη μεταγωγή και είναι:
 - διαμόρφωση με έναν παλμό (Single Pulse Modulation),
 - διαμόρφωση με πολλούς παλμούς (Multiple Pulse Modulation) και
 - διαμόρφωση με ημιτονοειδή παλμό (Sinusoidal Pulse Modulation).

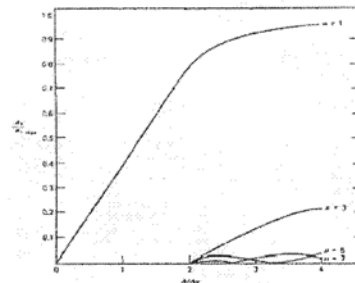
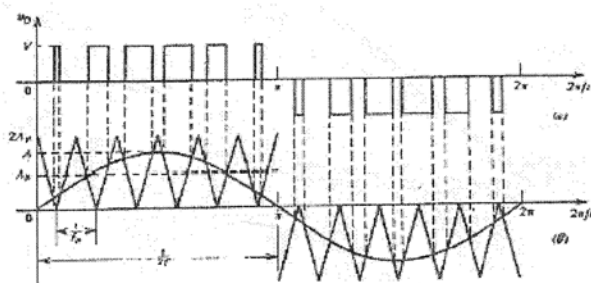
Τάση εξόδου αντιστροφέα με διαμόρφωση με έναν παλμό και αρμονικές της κυματομορφής



Τάση εξόδου αντιστροφέα με διαμόρφωση με πολλούς παλμούς και αρμονικές της κυματομορφής



Τάση εξόδου αντιστροφέα με διαμόρφωση με ημιτονοειδή παλμό (N=6) και αρμονικές της κυματομορφής



Μείωση των αρμονικών της τάσης εξόδου

- Οι αρμονικές συνιστώσες της τάσεως εξόδου του αντιστροφέα είναι ανεπιθύμητο γεγονός για την καλή ποιότητα της τάσεως εξόδου και την ομαλή λειτουργία του φορτίου που πρόκειται να τροφοδοτήσει το Φ/Β σύστημα.
- Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για να μειώσουμε το αρμονικό περιεχόμενο της τάσεως εξόδου, πριν από το φίλτρο της τάσης εξόδου ενός αντιστροφέα, εξαρτώνται κατ' αρχήν από την τοπολογία του αντιστροφέα.
- Ένας τρόπος για την εξάλειψη των αρμονικών, στην τοπολογία του αντιστροφέα ημιγέφυρας είναι με την μείωση του πλάτους της θεμελιώδους αρμονικής της τάσης στην τομή 0,839 της μέγιστης τιμής της.
- Ένας άλλος τρόπος είναι με τη χρήση μετασχηματιστών. Οι τάσεις εξόδου δύο ή περισσότερων αντιστροφέων, που έχουν παρόμοιες κυματομορφές αλλά μετατοπισμένες ως προς τη φάση, μπορούν να συνδυαστούν με τη βοήθεια μετασχηματιστών και να δώσουν μια τάση εξόδου με αρμονικό περιεχόμενο μικρότερο από εκείνο της μίας μόνο τάσης εξόδου από τους αντιστροφείς.

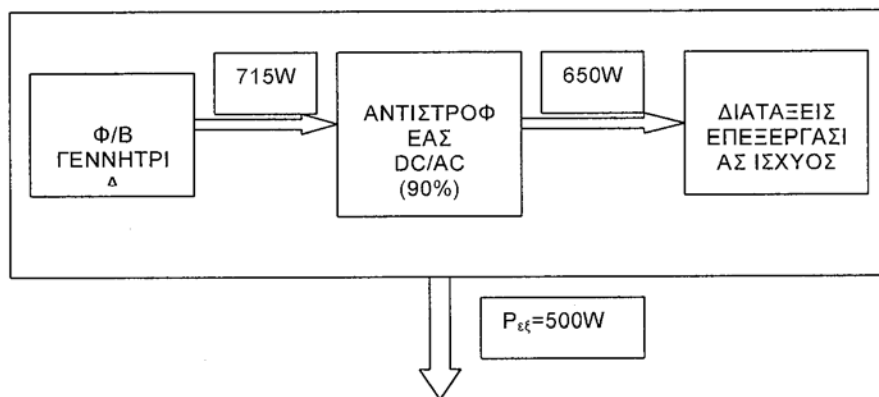
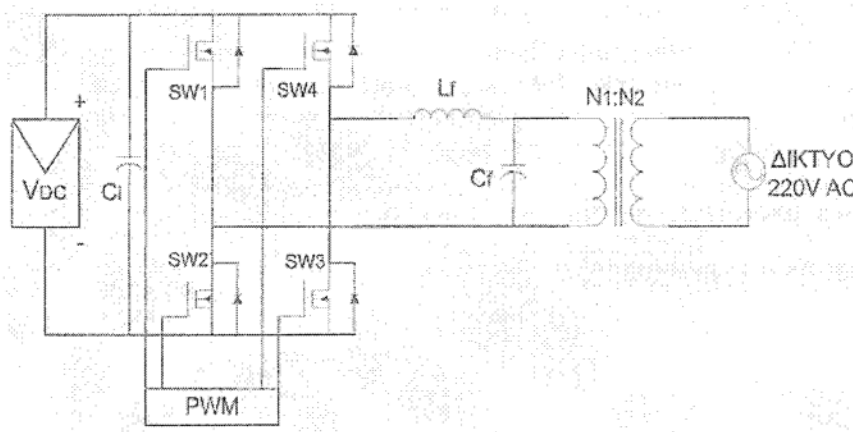
Χρήση Υψίσυχνων Αντιστροφέων Τάσης για τη διασύνδεση Φ/Β συστημάτων με το ηλεκτρικό δίκτυο

- Εξαιτίας του **υψηλού κόστους** οι μεγάλοι Φ/Β σταθμοί παραγωγής εγκαταστημένης ισχύος της τάξης των MW, παρότι αξιόπιστοι, κρίθηκαν μη οικονομικά βιώσιμοι με τα σημερινά οικονομικά δεδομένα. Έτσι προτείνεται η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας να γίνεται **αποκεντρωμένα**, με εγκατάσταση Φ/Β συστημάτων **μικρής ισχύος (έως 1KWh)**.
- Τα **αποκεντρωμένα** Φ/Β συστήματα αποτελούνται συνήθως από μια **Φ/Β γεννήτρια**, έναν **μετατροπέα** (αντιστροφέας – inverter) συνεχούς τάσης σε εναλλασσόμενη, ένα **κατωδιαβατό φίλτρο L-C** και ένα **μετασχηματιστή**, ο οποίος ανυψώνει την τάση εξόδου του φίλτρου στην τάση του δικτύου παροχής ηλεκτρικής ενέργειας.
- Για να είναι τα συστήματα αυτά όχι μόνο οικονομικά βιώσιμα αλλά και αποδοτικά ως προς την προσφερόμενη ισχύ, πρέπει η **ισχύς λειτουργίας** τους να κυμαίνεται από **500W-1KW**.

A) Θεωρητική Ανάλυση

- Η συγκεκριμένη διάταξη αποτελείται από:
 - μια Φ/Β γεννήτρια, η οποία τροφοδοτεί το σύστημα με συνεχή τάση 48 Volt,
 - έναν πυκνωτή εισόδου,
 - έναν αντιστροφέα πλήρους γέφυρας αποτελούμενο από 4 ημιαγωγικούς διακόπτες (MOFSET),
 - ένα βαθυπερατό φίλτρο (L-C) και

- ένα μετασχηματιστή τάσεως 24 Volt / 240 Volt.
- Ο συγκεκριμένος αντιστροφέας σχεδιάστηκε για ονομαστική ισχύ εξόδου 500W. Λαμβάνοντας υπόψη μας έναν ελάχιστο βαθμό απόδοσης του συνολικού Φ/Β συστήματος 70% έχουμε ό,τι απαιτείται, μέγιστη ισχύ εισόδου $P_i=500W/0,7=715W$.
- Στη συνέχεια θεωρώντας μεμονωμένα για τον αντιστροφέα ένα μέγιστο βαθμό απόδοσης 90%, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η μέγιστη ισχύς εξόδου του αντιστροφέα είναι $P_o=650W$ περίπου. Δηλαδή, σχηματικά θα έχουμε το πιο κάτω διάγραμμα για την «πορεία» της ισχύος:



- Η ενεργός τιμή της τάσεως εξόδου του αντιστροφέα δίνεται από τη σχέση:

$$V_{rms} = \frac{m_{\alpha} \cdot V_{DC}}{\sqrt{2}}$$

όπου:

V_{DC} : είναι η τάση εισόδου του αντιστροφέα και m_{α} είναι ο συντελεστής διαμόρφωσης πλάτους.

- Αν για παράδειγμα είχε επιλεγεί MOSFET με $R_{dson}=1\Omega$, τότε για ένα ρεύμα $I_{rms}=10A$ η συνολική πτώση τάσεως στους διακόπτες θα ήταν: $V_{total}=2 \cdot I_{rms} \cdot R_{dson}=20Volts$.
- **Διακοπτική συχνότητα λειτουργίας:** επιλέχθηκε ως διακοπτική συχνότητα λειτουργίας τα 50KHz.
- **Το κατωδιαβατό φίλτρο L-C:** επιλέχθηκε έτσι ώστε η διάταξη να είναι συμβατή με τον κανονισμό European Standard EN 60555-2, σύμφωνα με τον οποίο ο Συντελεστής Ολικής Αρμονικής Παραμόρφωσης (THD) <5% με κάθε μία αρμονική <3%. Πιο συγκεκριμένα υπολογίστηκε έτσι ώστε η συχνότητα συντονισμού του να είναι 10 φορές μικρότερη από τη διακοπτική συχνότητα των 50KHz. Αυτό οδήγησε στη χρησιμοποίηση πηνίου με $L_f=50\mu H$ και πυκνωτή $C_f=20\mu F$.

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}}$$

- **Πηνίο:** υπολογίστηκε για ισχύ 650W και κατασκευάστηκε με χρήση πυρήνα φερρίτη τύπου U93/76/30 σε συνδυασμό με πυρήνα φερρίτη τύπου 193/28/30.
- **Πυκνωτής του κατωδιαβατού φίλτρου:** κατασκευάστηκε με παραλληλισμό 20 πυκνωτών πολυπροπυλενίου χωρητικότητας $1\mu F$ στα 63 Volt.

- **Ανύψωση της τάσεως εξόδου του φίλτρου:** χρησιμοποιήθηκε τοροειδής μετασχηματιστής πυρήνα σιδήρου (24Volt/240Volt) και ονομαστικής ισχύος 500VA.

B) Εξομοίωση της διάταξης

- Έγινε με το πρόγραμμα εξομοίωσης ηλεκτρικών κυκλωμάτων PSPICE.
- Περιλαμβάνει εξομοίωση της Φ/Β γεννήτριας και του αντιστροφέα.
- Για το παραπάνω μοντέλο ισχύουν οι παρακάτω εξισώσεις:

$$I_p = q \cdot N \cdot A$$

όπου:

I_{sc} : είναι το ρεύμα βραχυκυκλώματος

$$I_{L_1} = I_p - I_D - I_{Rsh}$$

όπου:

I_p : το παραγόμενο ρεύμα της γεννήτριας,

q : το φορτίο ηλεκτρονίου,

N : ο αριθμός των φωτονίων που συμμετέχουν στη μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική,

A : είναι η επιφάνεια του ημιαγωγού που εκτίθεται στο φως.

$$I_D = I_o \left[\exp\left(\frac{q \cdot V}{k \cdot T}\right) - 1 \right]$$

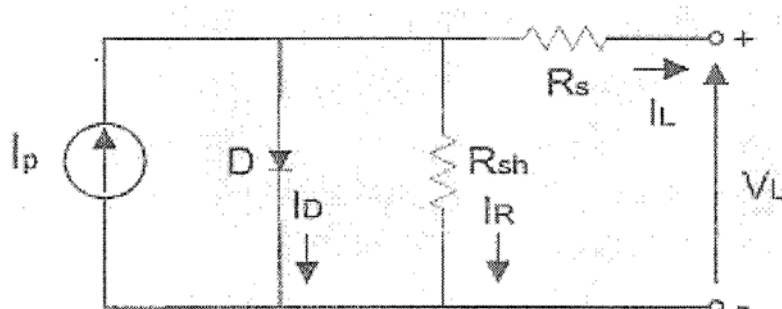
όπου:

I_L : το ρεύμα εξόδου

I_D : το ρεύμα διόδου και

I_{Rsh} : το ρεύμα παράλληλης αντίστασης R_{sh} .

Το ισοδύναμο μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε για την εξομοίωση της Φ/Β γεννήτριας



$$V_{oc} = \frac{k \cdot T}{q} \cdot \ln \left[\frac{I_p}{I_o} + 1 \right]$$

όπου:

I_o : το ρεύμα κορεσμού της διόδου,

k : η σταθερά του Boltzmann διόδου και

T : η θερμοκρασία λειτουργίας της γεννήτριας.

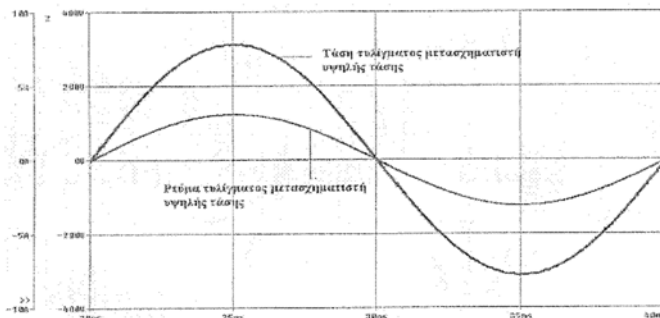
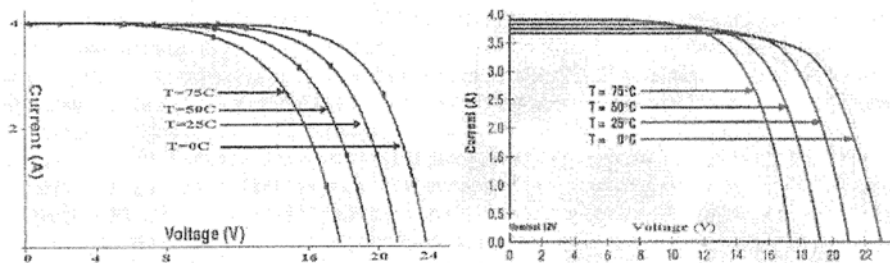
$$I_{sc} = I_o \left[\frac{q \cdot V_{oc}}{e^{k \cdot T}} \right]$$

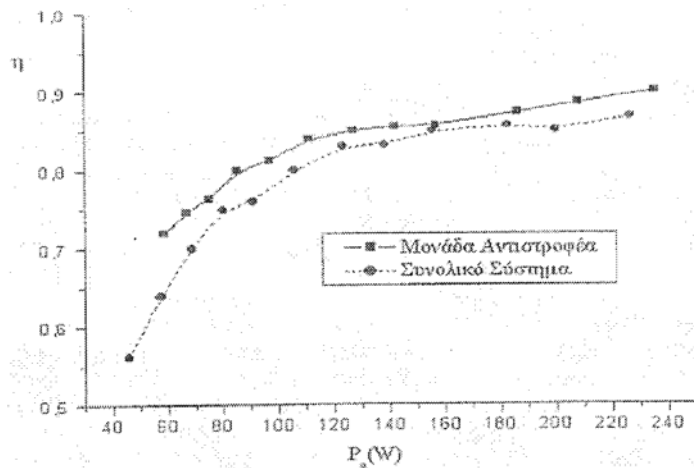
όπου:

V_{oc} : η τάση ανοικτού κυκλώματος.

- Η Φ/Β γεννήτρια που χρησιμοποιείται αντιστοιχεί στα τεχνικά χαρακτηριστικά της Φ/Β γεννήτριας Solarex MSX-60. Επειδή η συγκεκριμένη γεννήτρια έχει χαρακτηριστικά: μέγιστη ισχύ εξόδου 50W και τάση 16Volt, το μοντέλο προσαρμόστηκε ώστε να αποδίδει μέγιστη ισχύ 700W και τάση εξόδου 48Volt.

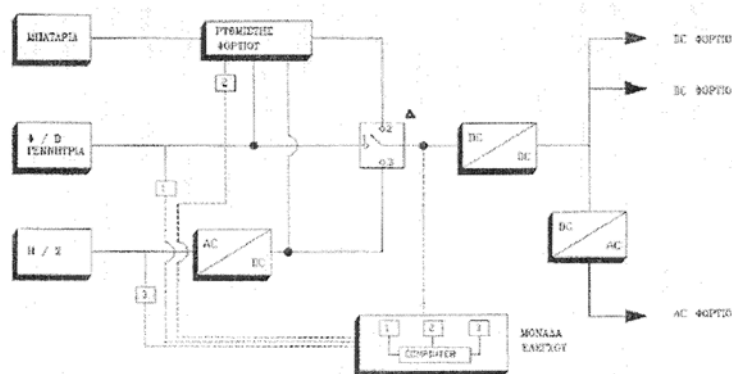
- Στο πρώτο σχήμα συγκρίνονται τα αποτελέσματα της εξομοίωσης με τα πραγματικά χαρακτηριστικά της Φ/B γεννήτριας για διαφορετικές θερμοκρασίες.
- Κατόπιν πραγματοποιήθηκε εξομοίωση του συνολικού συστήματος τα αποτελέσματα της οποίας επιβεβαίωσαν τους θεωρητικούς υπολογισμούς.
- Στο δεύτερο σχήμα απεικονίζεται η κυματομορφή της τάσεως και του ρεύματος εξόδου του συνολικού συστήματος. Στο ίδιο σχήμα φαίνεται η εξάλειψη των ανωτέρων αρμονικών του ρεύματος και επομένως η εναρμόνιση της συσκευής με τους διεθνείς κανονισμούς της ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας. Επίσης έχουμε και διόρθωση του συντελεστή ισχύος και επομένως μη επιβάρυνση του δικτύου με άεργο ισχύ.





Αυτοματοποίηση της λειτουργίας του Φ/Β συστήματος και η συγκρότησή του

- Με διατάξεις αυτοματισμού ελέγχουμε και ρυθμίζουμε τον τρόπο λειτουργίας από μεγάλη απόσταση χωρίς να απαιτείται ανθρώπινη παρέμβαση στο χώρο εγκατάστασης του συστήματος.
- Η διαδικασία αυτοματοποίησης πραγματοποιείται στη μονάδα ελέγχου. Αυτή απαρτίζεται από ένα σύνολο τηλεχειριζόμενων διακοπών (ρελέ) και από έναν ηλεκτρικό υπολογιστή που δίνει σήματα για την ενεργοποίηση των κατάλληλων ρελέ. Τα ρελέ συνεργάζονται μεταξύ τους μέσω του ηλεκτρονικού υπολογιστή, για την άψογη λειτουργία του συστήματος.



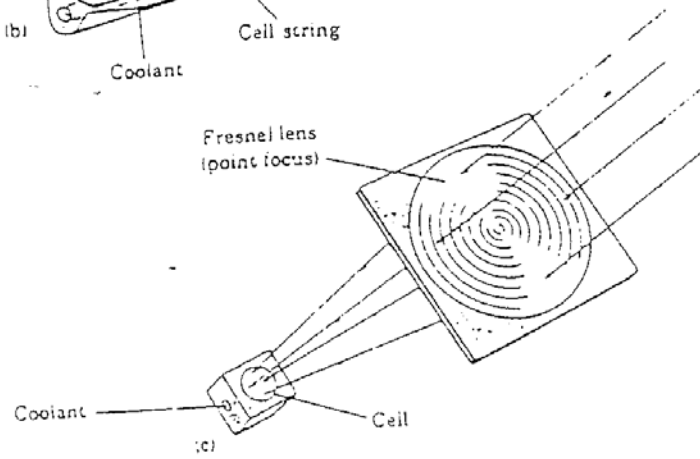
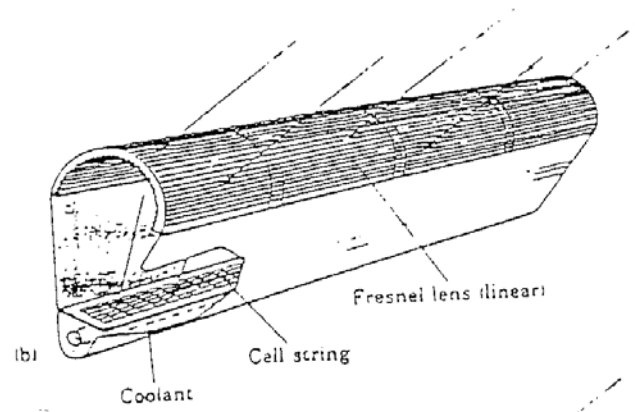
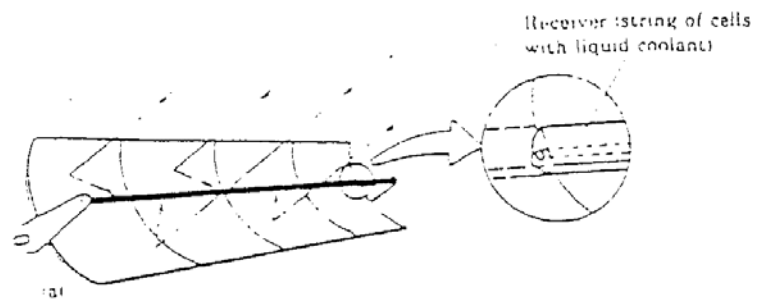
3.0 ΣΥΝΘΕΣΗ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Σταθερές συστοιχίες

Ο απλούστερος τύπος μιας Φ/Β συστοιχίας είναι ο σταθερός, ο οποίος έχει το πλεονέκτημα των αμετακίνητων τμημάτων και το μειονέκτημα ότι δεν εκτίθεται 100% στις ηλιακές ακτίνες. Τα πλαίσια συνήθως τοποθετούνται με πρόσοψη προς το Νότο και στρέφονται υπό μια γωνία ως προς την επιφάνεια της γης, η οποία προσεγγίζει τη γωνία του γεωγραφικού πλάτους της περιοχής, στην οποία η συστοιχία είναι τοποθετημένη. Ταυτόχρονα ο επιμήκης άξονας της Φ/Β συστοιχίας προσανατολίζεται από την Ανατολή στη Δύση. Το ελαφρό τους βάρος και η απλότητά τους τις καθιστά χρήσιμες για οικιακές εφαρμογές. Ωστόσο, αυτό το πλεονέκτημα των σταθερών συστοιχιών δεν τις κάνει λιγότερο δαπανηρές τη στιγμή κατά την οποία χρειάζονται περισσότερα στοιχεία για να παράγουν το ίδιο ρεύμα με κάποιο άλλο σύστημα, το οποίο πάντα ακολουθεί τον ήλιο.

Συστοιχίες με ανακλαστήρες

Ένας άλλος σχεδιασμός που βοηθά στην αύξηση της απόδοσης ενός Φ/Β συστήματος επιτυγχάνεται με τη χρήση ανακλαστήρων / κατόπτρων. Κατασκευάζονται σε διάφορες μορφές (κοίλα, παραβολικά, ελλειπτικά, τριγωνικά, κωνικά) και σκοπός τους είναι να ενισχύουν και να εστιάζουν το ποσό του ηλιακού φωτός προς τα Φ/Β στοιχεία και ακόμα να αυξάνουν την ένταση του προσπιπτομένου φωτός κατά ένα τρίτο. Ανήκουν στον τομέα των οπτικών συγκεντρωτικών διατάξεων και τις περισσότερες εφαρμογές έχουν βρει τα παραβολικά κάτοπτρα. Επειδή το κόστος τους δεν τα κάνει πολύ ελκυστικά, πολλές φορές τη θέση τους τη παίρνουν οι φακοί Fresnel, που συνδυάζουν χαμηλό κόστος με ταυτόχρονη ικανοποιητική απόδοση οπτικής συγκέντρωσης. Συνήθως οι φακοί Fresnel είναι κατασκευασμένοι από ακρυλικό υλικό και διατίθενται στο εμπόριο σε δυο τύπους, ανάλογα με την απόδοση και συγκέντρωση που προσφέρουν. Ο ένας τύπος που κατασκευάζεται με έγχυση σε παλούκι, προσφέρει μια συγκέντρωση 400 με απόδοση 85%, ενώ ο δεύτερος που κατασκευάζεται από λεπτά φύλλα προσφέρει χαμηλότερη συγκέντρωση αλλά με απόδοση της τάξης του 90%.



Εφαρμογή φακών Fresnel σε Φ/Β συλλέκτη

Περιστροφικές συστοιχίες

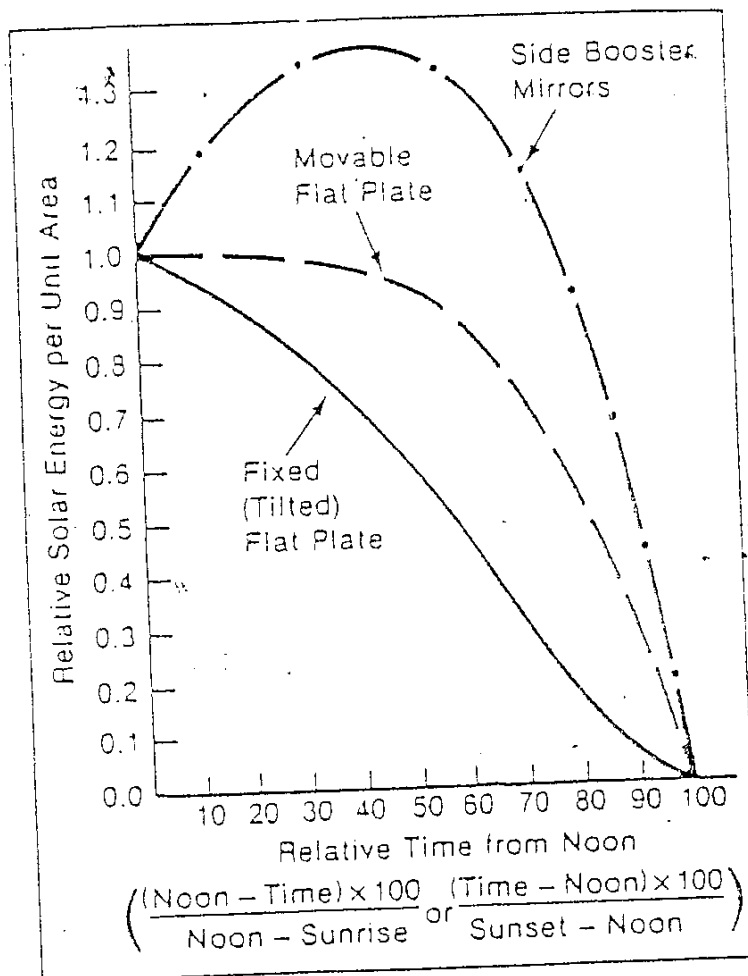
Οι συστοιχίες οι οποίες ακολουθούν τον ήλιο περιστρέφονται γύρω από άξονες και απαιτούν τη χρήση συστημάτων προσανατολισμού για τη στόχευση και παρακολούθηση του ήλιου, ώστε να επιτυγχάνεται υψηλή απόδοση συγκέντρωσης ηλιακής ακτινοβολίας πάνω στα Φ/Β στοιχεία. Τέτοιοι μηχανισμοί διαφέρουν ανάλογα με το είδος της κίνησής τους. Οι περισσότεροι κατατάσσονται σε διπλό άξονα, όπου οι Φ/Β συλλέκτες στηρίζονται σε δυο ανεξάρτητους περιστρεφόμενους άξονες, έναν οριζόντιο (άξονα ανύψωσης) και ένα κάθετο (αζιμούθιος άξονας). Παρόμοιες κατασκευές προϋποθέτουν ότι ο ένας είναι παράλληλος (άξονας ανύψωσης) με τον άξονα περιστροφής της γης, ενώ ο δεύτερος είναι κάθετος (άξονας απόκλισης) προς τον πολικό άξονα.

Σε όλα τα συστήματα προσανατολισμού η καθοδήγηση των μηχανισμών γίνεται με τη βοήθεια θερμοϋδραυλικών διατάξεων, μικροϋπολογιστών για την πρόβλεψη της αστρονομικής θέσης του ήλιου και των ηλιακών αισθητήρων, όπως φωτοαντιστάσεις και φωτοτρανσίστορ. Η περιστροφή στις διευθύνσεις από Ανατολή προς Δυσμάς και από Βορρά προς Νότο επιτυγχάνεται με τη χρήση μιας περιστροφικής βάσης και συστήματος γραναζίων αντιστοίχως. Κατά συνέπεια η παρακολούθηση του ήλιου επιτυγχάνεται είτε περιστρέφοντας τη συστοιχία προς την κατεύθυνση των ηλιακών ακτινών ή ανακλώντας τις ακτίνες με τη χρήση περιστροφικών κατόπτρων προς το Φ/Β πλαίσιο. Και οι δυο μέθοδοι χρησιμοποιούν κινητά μέρη, ωστόσο το πλεονέκτημα της χρήσης κινητών κατόπτρων αντί για κινητές συστοιχίες είναι ότι η καταπόνηση η οποία επιφέρεται στη συστοιχία αποφεύγεται.

Άλλο πλεονέκτημα είναι ότι οι ανακλαστές θα πρέπει να περιστρέφονται κατά το ήμισυ από ότι οι συστοιχίες τη στιγμή κατά την οποία η ανάκλαση διπλασιάζει το φαινόμενο της κίνησης του κατόπτρου.

Συγκρίσεις

Σύγκριση των σχετικών παραγόμενων αποτελεσμάτων των τριών διαφορετικών τρόπων σχεδιασμού συστοιχιών φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί, όπου καθίσταται προφανές ότι η μέθοδος των ανακλαστήρων είναι πιο αποτελεσματική.



**Σχετικά αποτελέσματα των τριών τύπων συστοιχιών
σε διαφορετικές ώρες**

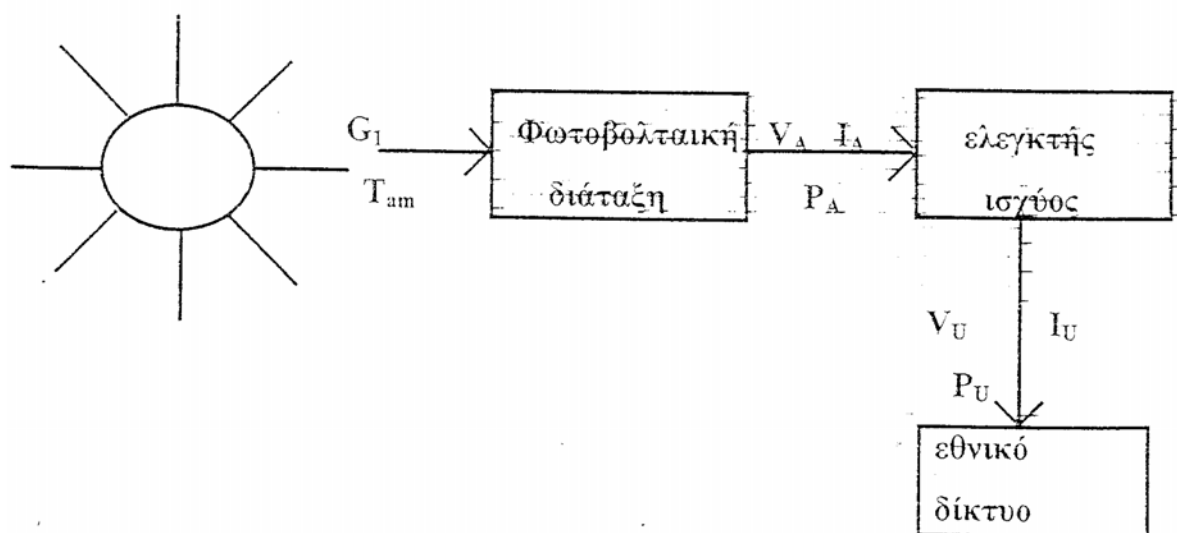
Φασματικός διαχωρισμός ηλιακής ακτινοβολίας

Μια άλλη μέθοδος αύξησης της Φ/Β ισχύος είναι η χρήση πρίσματος για την ανάλυση και διαχωρισμό του φάσματος της ηλιακής ακτινοβολίας, με στόχο τον εστιασμό κάθε δέσμης φωτός σε διαφορετικούς ημιαγωγούς Φ/Β συστοιχίας με το αντίστοιχο κατάλληλο ενεργειακό διάκενο για κάθε περιοχή φάσματος. Βασιζόμενοι στην ίδια θεωρία, έχει κατασκευαστεί πειραματικά ένα Φ/Β στοιχείο σάντουιτς, ώστε η κάθε δέσμη φωτός να δεσμεύεται από εκείνο το στοιχείο με ημιαγωγό φθίνοντας κατά σειρά ενεργειακού διακένου, ώστε να είναι αποδοτικότερη η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία. Όλες αυτές οι διατάξεις είναι και ο κύριος λόγος που δεν έχουν τύχει ακόμη πρακτικής εφαρμογής, όμως είναι μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία, αφού οι μέχρι σήμερα έρευνες οδήγησαν στην κατασκευή ενός διπλού Φ/Β στοιχείου.

4.0 Μετρήσεις των απαραίτητων μεγεθών

Στο κεφάλαιο αυτό θα ασχοληθούμε με τις μετρήσεις των απαραίτητων μεγεθών σύμφωνα με τα Διεθνή πρότυπα για το Φ/Β σύστημα το οποίο μελετάμε.

Ο σκοπός αυτών των διαδικασιών είναι να αξιολογηθεί η συνολική λειτουργία του Φ/Β συστήματος. Στη συνέχεια θα δούμε ένα απλό σχέδιο του συστήματος το οποίο μελετάμε.



Οι μετρήσεις που πραγματοποιούνται αφορούν κάποιες παραμέτρους.

Οι παράμετροι αυτοί παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας με τις παραμέτρους

Παράμετροι	Σύμβολα	Μονάδες
Μετεωρολογικές	G_1	Wm^{-2}
Συνολική ακτινοβολία στο επίπεδο του συλλέκτη	T^{am}	$^{\circ} C$
Θερμοκρασία ατμοσφαιρικού αέρα στο χώρο	S_w	Ms_{-1}
Ταχύτητα ανέμου		
Φωτοβολταϊκές ηλεκτρικές παράμετροι	V_A	V
Τάση εξόδου Φ/Β διάταξης	I_A	A
Ρεύμα εξόδου Φ/Β διάταξης	P_A	kW
Ισχύς εξόδου Φ/Β διάταξης	T_m	$^{\circ} C$
Θερμοκρασία πλαισίου	σταθερή	30°
Κλίση	σταθερός	0°
Προσανατολισμός	I_{TU}	A
Ρεύμα δικτύου	P_{TU}	K_w
Ισχύς δικτύου		

Στη συνέχεια θα αναφέρουμε κάποιες παρατηρήσεις για τις παραμέτρους που χρησιμοποιούμε:

1. Η συνολική ακτινοβολία είναι γνωστή επίσης ως ακτινοβολία επίπεδης δέσμης, οριζόμενη ως ενεργειακή ακτινοβολία, άμεσα κυρίως διαδίδεται και προσπίπτει στην περιοχή μιας επικλινούς επιφάνειας.
2. Παράμετροι όπως η ταχύτητα ανέμου είναι προαιρετικοί, αλλά ίσως να απαιτούνται από ειδικές συμβάσεις ή αν η Φ/B δέσμη υπόκειται σε ακραίες συνθήκες λειτουργίας.
3. Οι ποσότητες A.C. και D.C. μπορούν να διαχωριστούν με την πρόσθεση συνδρομητών. Στην περίπτωση των πολυφασικών συστημάτων οι παράμετροι V_L , I_L και P_L μπορούν να συγκεκριμενοποιηθούν για κάθε φάση.
4. Ένας απλός αισθητήρας ρεύματος ή ενέργειας μπορεί κανονικά να χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση του ρεύματος ή της ενέργειας για τις δύο κατευθύνσεις εισόδου εξόδου. Μια θετική ένδειξη στο σήμα εξόδου του αισθητήρα αντιπροσωπεύει είσοδο στη συσκευή αποθήκευσης ή το δίκτυο χρησιμότητας. Η είσοδος και η έξοδος από έναν απλό αισθητήρα πρέπει να συσσωρευτεί ξεχωριστά στο λογαριασμό.
5. Η τροχιά των γωνιών κατά τη διάρκεια των μετρήσεων είναι σταθερή.

Μέτρηση της ακτινοβολίας

Οι πληροφορίες της ακτινοβολίας καταγράφονται στο επίπεδο της δέσμης για χρήση στην ανάλυση λειτουργίας του φωτοβολταϊκού συστήματος. Οριζόντιες πληροφορίες επίσης μπορούν να καταγραφούν ώστε να επιτρέψουν συγκρίσεις με σταθερές μετεωρολογικές πληροφορίες από άλλες περιοχές. Επίπεδη ακτινοβολία μπορεί να μετρηθεί στο ίδιο επίπεδο με την φωτοβολταϊκή δέσμη με την έννοια των διαβαθμιζόμενων μέσων αναφοράς ή πυρανόμετρο. Αν χρησιμοποιηθούν πυρήνες (κελιά) αναφοράς, οι θαλαμίσκοι μπορούν να διαβαθμιστούν και να διατηρηθούν σύμφωνα με το IEC. Η περιοχή αυτών των αισθητηριακών συσκευών θα πρέπει να είναι αντιπροσωπευτική των συνθηκών ακτινοβολίας του εξοπλισμού. Η ακρίβεια των αισθητηριακών συσκευών ακτινοβολίας συμπεριλαμβανομένων και των όρων σηματοδότησης θα είναι καλύτερη από 5% της έρευνας.

Μέτρηση θερμοκρασίας του ατμοσφαιρικού αέρα

Η θερμοκρασία του ατμοσφαιρικού αέρα μπορεί να μετρηθεί στην περιοχή που είναι αντιπροσωπευτική των συνθηκών κατάταξης με την έννοια ότι οι αισθητηριακές συσκευές θερμότητας τοποθετήθηκαν σε ασπίδες ηλιακής ακτινοβολίας. Η ακρίβεια των αισθητηριακών συσκευών θερμοκρασίας του αέρα συμπεριλαμβανομένων και των συνθηκών σηματοδότησης θα είναι καλύτερα.

Μέτρηση ταχύτητας ανέμου

Όπου είναι εφαρμόσιμη, η ταχύτητα του ανέμου μπορεί να μετρηθεί στο υψόμετρο και στην περιοχή που είναι αντιπροσωπευτικά των συνθηκών κατάταξης. Η ακρίβεια των αισθητηριακών συσκευών ταχύτητας ανέμου θα είναι καλύτερη από $0,5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ για ταχύτητα ανέμου $<5\cdot\text{s}^{-1}$ και καλύτερη από 10%.

Μέτρηση θερμοκρασίας πλαισίου

Η θερμοκρασία του θαλαμίσκου πρέπει να μετρηθεί σε περιοχές όπου είναι αντιπροσωπευτικές των συνθηκών κατάταξης με την έννοια ότι οι αισθητηριακές συσκευές θερμοκρασίας τοποθετούνται στην πίσω επιφάνεια ενός ή περισσοτέρων θαλαμίσκων. Η επιλογή της τοποθέτησης των θαλαμίσκων καθορίζεται από τη μέθοδο Α στο I.E.C. Πρέπει να παρθούν μέτρα για να εξασφαλισθεί η θερμοκρασία του κελιού μπροστά από την αισθητηριακή συσκευή δεν είναι σημαντικά αλλαγμένη εξαιτίας της ύπαρξης της συσκευής. Η ακρίβεια αυτών των αισθητηριακών συσκευών συμπεριλαμβανομένων και των συνθηκών σηματοδότησης θα είναι καλύτερη.

Μέτρηση της τάσης και ρεύματος

Οι παράμετροι της τάσης και του ρεύματος μπορεί να είναι D.C. είτε A.C. Η ακρίβεια των αισθητηριακών συσκευών τάσης και ρεύματος συμπεριλαμβανομένων και των συνθηκών σηματοδότησης θα είναι καλύτερη από 1% της έρευνας.

Μέτρηση ηλεκτρικής ενέργειας

Οι παράμετροι της ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να είναι συνεχής ή εναλλασσόμενη ή και τα δυο. D.C. ενέργεια μπορεί να υπολογιστεί σε πραγματικές συνθήκες ως προϊόν δείγματος τάσης και ποσοτήτων τρεχουσών ή μετρημένων άμεσα χρησιμοποιώντας έναν αισθητήρα ενέργειας. Αν η D.C. ενέργεια μετρηθεί, οι υπολογισμοί πρέπει να χρησιμοποιήσουν δείγματα τάσης και τρέχουσες ποσότητες και όχι μέσου όρου τάσης και τρέχουσες ποσότητες. Η D.C. εισαγόμενη ενέργεια και τάση σε αυτόνομους αναστροφείς να έχουν μεγάλες ποσότητες από A.C.

Ίσως είναι απαραίτητο να χρησιμοποιηθεί ένα βατόμετρο για να μετρηθεί με ακρίβεια η ενέργεια. Η A.C. ενέργεια μπορεί να μετρηθεί χρησιμοποιώντας μια συσκευή ανίχνευσης ενέργειας η οποία λογαριάζει με σωστό τρόπο τον παράγοντα ενέργεια και την αρμονική παραμόρφωση. Η ακρίβεια των συσκευών ανίχνευσης ενέργειας, συμπεριλαμβανομένων και των συνθηκών σηματοδότησης, θα είναι καλύτερη από το 2% της μετρούμενης τιμής. Μια αναβαθμισμένη συσκευή ή ανίχνευση ενέργειας με υψηλή απάντηση, ίσως μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αποφευχθούν λάθη δειγματοληψίας.

Το χρονικό διάστημα που γίνεται η καταγραφή κάθε μεγέθους που μετράμε είναι μια ώρα. Σε κάθε καταγραμμένο διάστημα, ο χώρος και η

ημερομηνία στο τέλος της περιόδου στην οποία οι μετρήσεις παίρνονται πρέπει να καταγράφονται. Ο χρόνος πάντα θα αναφέρεται στην τοπική σταθερή ώρα. Η παγκόσμια ώρα ίσως είναι χρήσιμη ώστε να αποφεύγονται οι αλλαγές της ώρας το χειμώνα και το καλοκαίρι.

Περίοδος παρατήρησης και ελέγχου

Η περίοδος παρατήρησης και ελέγχου πρέπει να είναι αρκετή ώστε να τροφοδοτεί με λειτουργικές πληροφορίες, αντιπροσωπευτικές του φορτίου και των ατμοσφαιρικών συνθηκών. Έτσι η ελάχιστη περίοδος συνεχούς ελέγχου και παρατήρησης πρέπει να ελεγχθεί σε συμφωνία με την τελική χρήση των συλλεγόμενων πληροφοριών.

Πραγματοποίηση καταγραφής

Κατά την πραγματοποίηση της καταγραφής των μεγεθών μπορεί να καταγραφούν και κάποια ασυνήθιστα γεγονότα, συνδεδεμένες αλλαγές, αποτυχίες, λάθη ή ατυχήματα. Άλλα σχόλια που μπορούν να είναι χρήσιμα για την αναπαραγωγή και αξιολόγηση της πληροφορίας μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν, όπως είναι ο καιρός.

Διαχωρισμός header με πολλαπλές καταγραφές πληροφοριών

Το σχήμα αυτό δίνει μια header καταγραφή του τόπου, της ημερομηνίας, του χρόνου των σχολίων ακολουθούμενο από μια ή περισσότερες καταγεγραμμένες πληροφορίες. Μια καταγραφή είναι συγκρίσιμη με έναν τυπωμένο όρο ή αριθμό.

α) Κάθε καταγραφή μπορεί να αποτελείται από ένα ή περισσότερα εδάφια με κάθε εδάφιο διαχωρισμό από ένα εδάφιο χαρακτήρα διαχωριστικού (Fs), το οποίο μπορεί να είναι κατά προτίμηση ένα κόμμα (ASC1144) ή προαιρετικά μια ετικέτα (ASC119). Οι καταγραφές πρέπει να διαχωρίζονται από ένα τελικό σημάδι που αποτελείται από έναν “carriage return” χαρακτήρα (ASC1113), έναν “line feed” χαρακτήρα (ASC1113) ή έναν “carriage return” ακολουθούμενο από έναν “line feed”.

β) Η εγγραφή (ή δίσκος) header θα είναι της παρακάτω μορφής “station” FS ημερομηνία FS χρόνος FS σχόλιο “station” είναι το όνομα της εσωκλειόμενης θέσης σε διπλά εισαγωγικά (ASC1134), των οποίων μόνο τα 8 πρώτα γράμματα είναι υποχρεωτικά.

Ημερομηνία είναι μόνο η μέρα της μέτρησης στη δημιουργία των mm-dd-yy (τα αρχικά μηδενικά πρέπει να συμπεριλαμβάνονται). Χρόνος είναι ο χρόνος της καταγραφής στη δημιουργία των hh:mm. Τα μεσάνυχτα πρέπει να αναφέρονται ως 24ωρα της προηγούμενης μέρας και όχι ως ώρα της επόμενης μέρας.

γ) Η καταγραφή πληροφοριών θα αποτελείται από έναν αριθμό καταγραφής, όπως το πρώτο πεδίο ακολουθούμενο από ένα ή περισσότερα αριθμητικά πεδία πληροφοριών. Τα πεδία πληροφοριών ορίζονται για συγκεκριμένη καταγραφή ως εξής χρησιμοποιώντας τα σύμβολα του πίνακα.

Καταγραφή Πληροφοριών

Κάθε αριθμός των πρόσθετων καταγραφών πληροφοριών θα περιλαμβάνεται προαιρετικά στο καταγραφόμενο διάστημα. Το περιεχόμενο αυτών των καταχωρημένων πληροφοριών ίσως να ορίζεται από οργάνωση καταγραφής με την εξαίρεση του πρώτου πεδίου που πρέπει να φανερώνει τον αριθμό καταχώρησης.

Μια αριθμητική πληροφορία μπορεί να γραφεί σε μονό single-byte κώδικα. Οι πληροφορίες μπορούν να καταγραφούν ή σε ελεύθερο πεδίο ή σε σταθερό σχηματισμό πεδίου όπως signed integers ή υποδιαστελλούμενα τεμάχια με περίοδο (ASC1146) χρησιμοποιούμενη όπως the radix.

Αν κάποιο πεδίο αριθμητικής πληροφορίας δεν είναι εφαρμοσμένο σε Φ/Β εγκατάσταση ή αν η αξία της πληροφορίας δεν είναι εύκαιρη για καταγραφή, ένα άδειο πεδίο ενδείκνυται από την απουσία χαρακτήρων. Έτσι, ο χαρακτήρας FS στο τέλος του άδειου πεδίου πληροφοριών μπορεί επίσης να ακολουθήσει τον FS χαρακτήρα από το κοντινό πεδίο πληροφοριών. Έτσι, όλοι οι FS χαρακτήρες άμεσα πλησιάζοντας το EOL σημάδι θα πιεστούν. Για παράδειγμα στην καταγραφή πληροφοριών 2 μόνο I_{TS} και P_{TS} είναι διαθέσιμα, τότε αυτή η καταγραφή θα γραφεί όπως ακολούθως:

2FS FS/TS FS FS PTS EOL

Σχηματισμός μονής καταγραφής

Ένας άλλος σχηματισμός που μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο σχηματισμό μονής καταγραφής στην οποία όλες οι πληροφορίες για το δεδομένο διάστημα καταγραφής τοποθετούνται σε μια γραμμή. Αυτός ο σχηματισμός μονής καταγραφής βοηθάει στην οπτική έρευνα, ιδιαίτερα αν χρησιμοποιείται σε σύνδεση με σταθερό πλάτος πεδίου αφού όλες οι πληροφορίες δίνονται σε μια μονή κάθετη στήλη για κάθε παράμετρο.

Πληροφορία FS Χρόνος FS G_1 FS T_A FS T_M FS V_A FS I_A FS P_A

Κάθε πεδίο πρέπει να διαχωριστεί από έναν διαχωριστικό χαρακτήρα πεδίου (FS) το οποίο θα είναι κατά προτίμηση ένα κόμμα (ASC1144) ή προαιρετικά με μια ετικέτα (ASC119).

Έλεγχος ποιότητας πληροφοριών

Όλες οι καταγεγραμμένες πληροφορίες πρέπει να ελεγχθούν για συνέχεια και κενά, να βρεθούν προφανείς ανωμαλίες πριν κάθε λεπτομερή ανάλυση συνταχθεί. Ένα λογικό σύνολο ορίων πρέπει να οριστεί για την οποία οι πληροφορίες της παρατήρησης έχουν καταγραφεί και ελεγχθεί.

Ο συνολικός αριθμός των ωρών που οι πληροφορίες περνούν μέσα από τον έλεγχο ποιότητας θα δηλωθεί αν είναι διαφορετικός από τη διάρκεια του αληθινού ελέγχου ποιότητας της περιόδου που επιλέχθηκε. Η διαθεσιμότητα των παρατηρούμενων πληροφοριών AMD όπως δίνεται:

$$AMD = \frac{R_{ma}}{r}$$

Συνακόλουθες παράμετροι

Ποικίλες συνακόλουθες παράμετροι συνδέονται με τα συστήματα ενεργειακής ισορροπίας και λειτουργίας ίσως να λογαριάζεται από τις καταγεγραμμένες παρατηρούμενες πληροφορίες χρησιμοποιώντας σύνολα, μέσους όρους, μέγιστα, ελάχιστα και ποσοστά προς τις περιόδους παρατήρησης r , οι οποίες είναι μεγαλύτερες από το καταγεγραμμένο διάστημα.

Για να υπολογίσουμε ποσότητες ενεργειών από τις ανταποκρινόμενες μετρημένες παραμέτρους ενέργειας επί της αναφοράς r , ισχύει η ακόλουθη εξίσωση:

$$E_{i,r} = R_r \cdot \sum_r P_i$$

όπου:

E_i : εκφράζεται σε KWH

P_i : μετριέται σε KW

Το σύμβολο \sum_r δηλώνει την πρόθεση κάθε παραμέτρου, τις καταγεγραμμένες παραμέτρους, βασισμένα σε γνωστά χαρακτηριστικά των παραμέτρων της Φ/Β εγκατάστασης και του περιβάλλοντος. Τα όρια πρέπει να ορίζουν το μέγιστο και ελάχιστο επιτρεπτό όριο ποσών για την παράμετρο και τη μέγιστη αλλαγή μεταξύ συνεχόμενων σημείων πληροφοριών. Πληροφορίες οι οποίες ξεφεύγουν από αυτά τα όρια ή είναι διαφορετικά μη συμβατές με άλλες πληροφορίες, δεν θα συμπεριληφθούν στην επερχόμενη ανάλυση.

Αν είναι δυνατό (όπως με το σύστημα πρόσληψης πληροφοριών βασισμένο σε κομπιούτερ) τέτοιοι έλεγχοι θα εφαρμοστούν με δειγματικές πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο πριν η διαδικασία επεξεργασίας των πληροφοριών εκτελεστεί. Τα αποτελέσματα αυτών των

ελέγχων της ποιότητας των πληροφοριών πρέπει φυσιολογικά να περιλαμβάνουν τις ακόλουθες πληροφορίες:

α) Μια λίστα των πληροφοριών που ξεφεύγουν από τις προκαθορισμένες διακυμάνσεις. Με αυτοματοποιημένα συστήματα που συλλέγουν ένα μεγάλο ποσό πληροφοριών είναι πρακτικό να γίνει μια λίστα με τα σημεία πληροφοριών εκτός ορίου. Έτσι, κάποια παρατηρούμενα εκτός ορίου σημεία από την ποσότητα των πληροφοριών πρέπει να καταγραφούν. Τα εκτός ορίων σημεία πληροφοριών πρέπει να χρησιμοποιηθούν στην ανάλυση.

β) Η διάρκεια της περιόδου παρατήρησης και ελέγχου rMA (εκφρασμένη σε ώρες) στην περίοδο αναφοράς επί την περίοδο αναφοράς.

Συνολική Ακτινοβολία

Οι καθημερινές ποσότητες ακτινοβολίας δίνονται από τον τύπο:

$$H_{1,d} = 24 \cdot r_r \cdot (\sum_r R_{ma} \cdot 1000)$$

Υπολογισμός της ισχύος

Ο υπολογισμός της ισχύος στην έξοδο της Φ/Β διάταξης και στην έξοδο του ελεγκτή καθώς και η συνολική μπορεί να υπολογιστεί με την τοποθέτηση ισχυομέτρων. Η μέθοδος αυτή όμως δε χρησιμοποιείται στην προκειμένη μελέτη. Η μέθοδος που χρησιμοποιούμε είναι υπολογιστική, δηλαδή παίρνουμε από το καταγραφικό τα διάφορα αποτελέσματα και με τους τύπους που δίνω στη συνέχεια υπολογίζω την κάθε ισχύ.

Οι ποσότητες ηλεκτρικής ενέργειας μπορούν να μετρηθούν για ολόκληρο το σύστημα και τα συστατικά του. Οι παράμετροι που έχουν ενδιαφέρον είναι εκείνες οι οποίες δείχνουν τη συμμετοχή του εξοπλισμού Φ/Β στη συνολική λειτουργία του συστήματος:

α) Η καθαρή διανεμημένη ενέργεια στο εθνικό δίκτυο κατά την περίοδο αναφοράς:

$$E_{TUN,\tau} = E_{TU,\tau\alpha}$$

β) Το συνολικό σύστημα εξαγόμενης ενέργειας:

$$E_{in,\tau} = E_{TU,\tau\alpha}$$

γ) Το συνολικό σύστημα εξαγόμενης ενέργειας:

$$E_{USE,\tau} = E_{TU,\tau\alpha}$$

δ) Ο τεμαχισμός της ενέργειας από όλες τις πηγές συντελέστηκε από τον εξοπλισμό του Φ/Β

$$F_{A,\tau} = \frac{E_{A,\tau}}{E_{in,\tau\alpha}}$$

Λειτουργία συστήματος BOS.

Η επάρκεια BOS μόνο περιλαμβάνει επάρκεια αλλαγής ενέργειας, πράγματα όπως λάθος array tracking και PCU μέγιστου ενεργειακού σημείου tracking λάθος εξαιρούνται.

Για κάθε συστατικό στοιχείο του συστήματος η ισορροπία ενέργειας είναι πάνω από το σημείο αναφοράς, μπορεί να οριστεί από τη συγκέντρωση των ποσοτήτων ενέργειας μέσα και έξω από το συστατικό στοιχείο. Το στοιχείο επάρκειας της ενέργειας είναι το πηλίκο της εισαγόμενης ενέργειας δια την εξαγόμενη. Για τα διασταυρούμενα συστήματα Φ/Β και τα utility grid συνδεδεμένα συστήματα όπου $E_{L,τα}$ είναι λιγότερο από $E_{ατχ}$ και για όλα τα Φ/Β αυτόνομα συστήματα.

Για μικρές περιόδους αναφοράς στις οποίες η ικανότητα αποθήκευσης ενέργειας του μέσου είναι πολύ μεγαλύτερη, η επάρκεια του μέσου τότε μπορεί να θεωρηθεί πως έχει αμελητέα επιρροή στους υπολογισμούς λειτουργίας του συστήματος.

Συστήματα λειτουργίας καταλόγων

Τα Φ/Β συστήματα διαφορετικών σχηματισμών και σε διαφορετικές περιοχές μπορούν να συγκριθούν αξιολογώντας τους καταλόγους λειτουργίας του συνηθισμένου συστήματος όπως αποδόσεις, απώλειες και επάρκειες.

Οι αποδόσεις είναι ποσότητες συνηθισμένης ενέργειας στην τιμολογημένη ενέργεια. Οι επάρκειες συστήματος είναι συνηθισμένες στην περιοχή array. Οι απώλειες είναι διαφορετικές μεταξύ των αποδόσεων.

Καθημερινές σχεδιασμένες αποδόσεις

Οι καθημερινά σχεδιασμένες αποδόσεις είναι το πηλίκο των ποσοτήτων ενέργειας προς την εγκαθιδρυμένη και τιμολογημένη εξαγόμενη ενέργεια.

Οι αποδόσεις έχουν ενότητες των $\text{KWH} \cdot \text{d}^{-1}$ ή (hd^{-1}) και προσδιορίζει το ποσό του χρόνου κατά τη διάρκεια του οποίου η ακτινοβολία πρέπει να απαιτείται ώστε να λειτουργεί στο P_o και να δίνει μια ειδικά ελεγχόμενη ποσότητα ενέργειας. Οι αποδόσεις σημειώνουν την πραγματική ακτινοβολία λειτουργίας που συνδέεται με την τιμολογημένη ικανότητα.

α) Η απόδοση ακτινοβολίας Y_A είναι καθημερινή ενέργεια της εξαγόμενης ακτινοβολικής ενέργειας ανά KW της εγκατεστημένης Φ/Β συστοιχίας.

$$Y_A = \frac{E_{A,d}}{P_o} = \tau_\tau \cdot \frac{(\sum_{day} P_A)}{P_o}$$

Το σύνολο Σ_{day} σημαίνει το σύνολο για κάθε μέρα. Αυτή η απόδοση αντιπροσωπεύει τον αριθμό των ωρών ανά μέρα που η ακτινοβολία μπορεί να λειτουργήσει στην εξαγόμενη, υπολογισμένη ενέργεια P_o για να συντελέσει στην ίδια καθημερινή ακτινοβολία ενέργειας στο σύστημα να ήταν καταγεγραμμένη.

β) Η τελική του συστήματος Φ/B απόδοση Y_F είναι το κομμάτι της καθημερινής εξαγόμενης ενέργειας του συνολικού Φ/B συστήματος το οποίο υποβοηθείται από την ακτινοβολία ανά KW εγκατεστημένης Φ/B ακτινοβολίας. Αυτή η απόδοση αντιπροσωπεύει τον αριθμό των ωρών ανά μέρα που η ακτινοβολία μπορεί να χρειαστεί για να λειτουργήσει σαν εξαγόμενη.

γ) Η απόδοση αναφοράς Y_τ μπορεί να υπολογιστεί διαιρώντας τη συνολική καθημερινή ακτινοβολία του επιπέδου δια την επίπεδη ακτινοβολία αναφοράς του θαλαμίσκου.

$$Y_\tau = \tau_\tau \cdot \frac{(\Sigma_{day} G_1)}{G_1 \tau_y}$$

Αυτή η απόδοση αντιπροσωπεύει τον αριθμό των ωρών ανά μέρα κατά τη διάρκεια των οποίων η ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να χρειαστεί να είναι στα επίπεδα αναφοράς στην ίδια συμβατή ενέργεια όπως καταγράφηκε.

Συνηθισμένες απώλειες

Οι συνηθισμένες απώλειες μετριοούνται από αφαιρέσεις αποδόσεων. Απώλειες επίσης έχουν οι ενότητες και σημειώνουν το ποσό του χρόνου κατά τη διάρκεια του οποίου η ακτινοβολία μπορεί να απαιτηθεί να λειτουργήσει στην υπολογισμένη ενέργεια P_0 ώστε να γίνουν προβλέψεις για τις απώλειες.

α) Η καταλαμβανόμενη επιφάνεια αντιπροσωπεύει απώλειες εξαιτίας της ακτινοβολίας.

$$L_C = Y_\tau - Y_A$$

β) Οι BOS απώλειες L_{BOS} αντιπροσωπεύουν τις απώλειες στα συστατικά στοιχεία BOS:

$$L_{BOS} = Y_A \cdot (1 - N_{bos})$$

γ) Το ποσοστό λειτουργίας R_p σημειώνει τη συνολική επιρροή των απωλειών στην υπολογισμένη εξαγωγή ακτινοβολίας εξαιτίας της θερμοκρασίας της ατελούς χρήσης της ακτινοβολίας και των ανεπαρκειών ή λαθών των στοιχείων του συστήματος.

$$R_p = \frac{Y_F}{Y_\tau}$$

Μηνιαίες ή ετήσιες αποδόσεις, απώλειες και επάρκειες

Οι μηνιαίες ή ετήσιες σχεδιασμένες αποδόσεις μπορούν να καθοριστούν χρησιμοποιώντας την κατάλληλη ενεργειακή εξίσωση. Η απόδοση πρέπει να έχει μονάδες τις $\text{h} \cdot \text{m}^{-1}$ για μηνιαίες αποδόσεις ή $\text{h} \cdot \text{y}^{-1}$ για ετήσιες αποδόσεις.

Παρόμοια, μηνιαίες ή ετήσιες αποδόσεις Y_F μπορούν να συμπεριληφθούν για να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις του χρήστη.

5. Αξιολόγηση

Στο παρόν κεφάλαιο περιγράφεται μια απλή μεθοδολογία αξιολόγησης Φ/Β συστημάτων διασυνδεδεμένων στο δίκτυο.

Στόχος της μεθοδολογίας είναι ο υπολογισμός της ετήσιας παραγόμενης από το Φ/Β σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, βασισμένη σε μετρήσεις περιορισμένης χρονικής διάρκειας.

Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων υπολογίζεται ο συντελεστής ισχύος του Φ/Β συστήματος ανά διάστημα ισχύος ηλιοφάνειας. Στη συνέχεια υπολογίζεται η ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιώντας τον συντελεστή ισχύος ανά διάστημα ηλιοφάνειας και την ηλιοφάνεια του τόπου, όπως αυτό περιγράφεται αναλυτικά στη συνέχεια.

Μετρήσεις

Στο προηγούμενο κεφάλαιο περιγράφεται αναλυτικά ο τρόπος που πραγματοποιούνται οι μετρήσεις, οι παράμετροι που μετρούνται και η ακρίβεια των αισθητηρίων και του καταγραφικού που χρησιμοποιούνται για την εκτέλεση των μετρήσεων. Για τη μεθοδολογία που περιγράφουμε στο παρόν κεφάλαιο απαιτούνται δύο παράμετροι, η ολική ωφέλιμη ηλεκτρική ισχύς (ισχύς που αποδίδεται στο δίκτυο) και η ισχύς της ηλιακής ακτινοβολίας ανά τετραγωνικό μέτρο στο επίπεδο των συλλεκτών.

Θα ήταν προτιμότερο η ηλεκτρική ισχύς να μετρηθεί με ισχύόμετρο αντί να μετράται η τάση και η ένταση του ρεύματος και κατόπιν να υπολογίζεται η ισχύς. Οι δύο αυτές παράμετροι μετρούνται κάθε 4

δευτερόλεπτα, σχηματίζεται η μέση τιμή τους σε χρονικό διάστημα 10 λεπτών, οι οποίες και καταγράφονται στη μνήμη του καταγραφικού οργάνου συγχρόνως με την ημερομηνία και την ώρα. Το διάστημα ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας είναι 100W/m^2 .

Υπολογισμός συντελεστή ισχύος

Υπολογίζουμε πρώτα την μέση της ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας και της αποδοιδομένης στο δίκτυο ηλεκτρικής ισχύος από τις σχέσεις:

$$G_1 = \frac{\sum_{j=1}^{N_1} G_{10\text{min},i,j}}{N_1} \quad (1)$$

$$G_1 = \frac{\sum_{j=1}^{N_1} P_{10\text{min},i,j}}{N_1} \quad (2)$$

όπου:

G_1 : η μέση τιμή των δεκαλέπτων ισχύος ηλιακής ακτινοβολίας στο διάστημα τιμών ισχύος ηλιακής ακτινοβολίας i .

$G_{10\text{min},i,j}$: καταγραμμένη τιμή δεκαλέπτου ισχύος ηλιακής ακτινοβολίας στο διάστημα τιμών ισχύος ηλιακής ακτινοβολίας i .

N_i : αριθμός τιμών δεκαλέπτων ηλεκτρικής ισχύος στο διάστημα τιμών ισχύος ηλιακής ακτινοβολίας i .

$P_{10\text{min},i,j}$: καταγραμμένη τιμή δεκαλέπτου ηλεκτρικής ισχύος στο διάστημα τιμών ισχύος ηλιακής ακτινοβολίας i .

Κάθε διάστημα i έχει εύρος τιμών ισχύος ηλιακής ακτινοβολίας $100\text{W}/\text{m}^2$.

Οι τιμές του συντελεστή ισχύος σε κάθε διάστημα i υπολογίζονται από τη σχέση:

$$C_1 = \frac{P_1}{G_1 \cdot A}$$

όπου:

A: η ενεργός επιφάνεια των συλλεκτών του Φ/Β συστήματος.

Εκτίμηση της ετήσιας παραγωγής (ΕΠΕ)

Η ετήσια παραγόμενη ενέργεια υπολογίζεται με βάση την τιμή του συντελεστή ισχύος και την ακτινοβολία του τόπου όπου είναι εγκατεστημένο το Φ/Β σύστημα. Συνήθως τα στοιχεία για την ακτινοβολία ενός τόπου δίδονται σε kWh/m^2 και είναι η μέση ημερήσια ενέργεια ανά μήνα και τετραγωνικό μέτρο και σε οριζόντιο επίπεδο.

Για να μπορέσουμε να χρησιμοποιήσουμε τις τιμές του πίνακα για την αξιολόγηση που επιχειρείται είναι αναγκαίο να μετατραπούν σε ωριαίες τιμές ισχύος. Η μετατροπή αυτή γίνεται με ειδικά προγράμματα που υπάρχουν στην αγορά. Επίσης, πρέπει να ληφθεί υπόψη και η κλίση των ηλιακών συλλεκτών κατά τη μετατροπή.

Η ετήσια παραγόμενη ενέργεια (ΕΠΕ) υπολογίζεται από τη σχέση

$$\text{ΕΠΕ} = \sum_{i=1}^N C_1 \cdot h_j \cdot \frac{\varepsilon}{2} \cdot (2 \cdot i - 1) \cdot A \quad (3)$$

όπου:

h_j : σύνολο ωρών κατά τη διάρκεια του έτους με ισχύ ηλιακής ακτινοβολίας στο διάστημα ισχύος ηλιακής ακτινοβολίας i .

ε : εύρος διαστήματος ισχύος ηλιακής ακτινοβολίας (σε W/m^2).

N : πλήθος διαστημάτων.

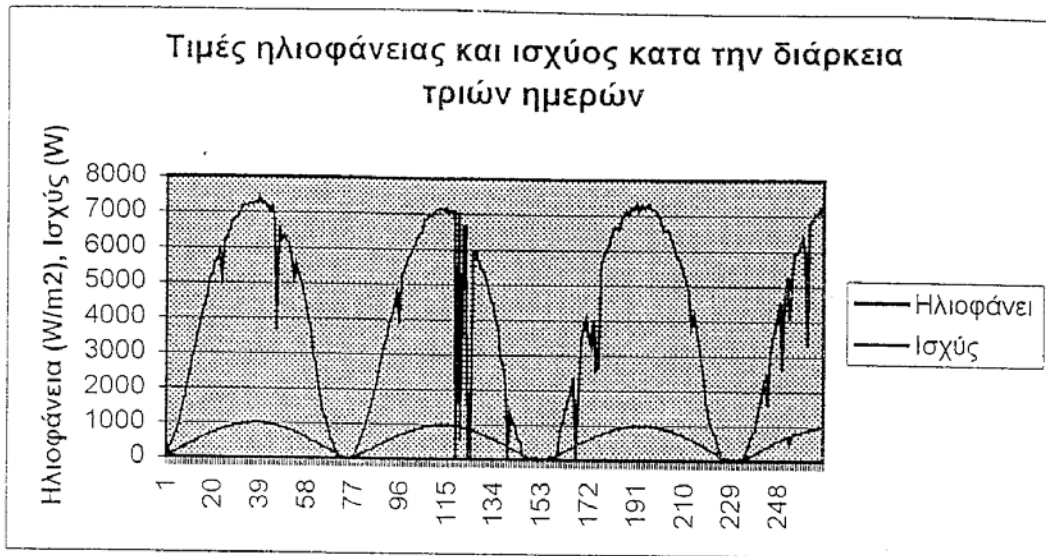
Παράδειγμα

Για το παράδειγμα που ακολουθεί χρησιμοποιήθηκαν μετρήσεις από Φ/Β σύστημα διασυνδεδεμένο στο δίκτυο με μέγιστη ισχύ 10kW και ενεργό επιφάνεια συλλεκτών 95m². Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια του διμήνου Σεπτεμβρίου – Οκτωβρίου 1999 και καταγράφηκαν, μεταξύ άλλων, 2.000 ζεύγη τιμών δεκαλέπτων της ηλιακής ακτινοβολίας και της αποδιδόμενης στο δίκτυο ηλεκτρικής ισχύος. Στον πίνακα 4.1 αναγράφονται μερικά από τα μετρηθέντα ζεύγη τιμών και στο σχήμα 4.1 η γραφική παράσταση τιμών τριών ημερών.

Πίνακας 4.1: Μετρηθείσες τιμές ηλιακής ακτινοβολίας με αντίστοιχες τιμές ισχύος.

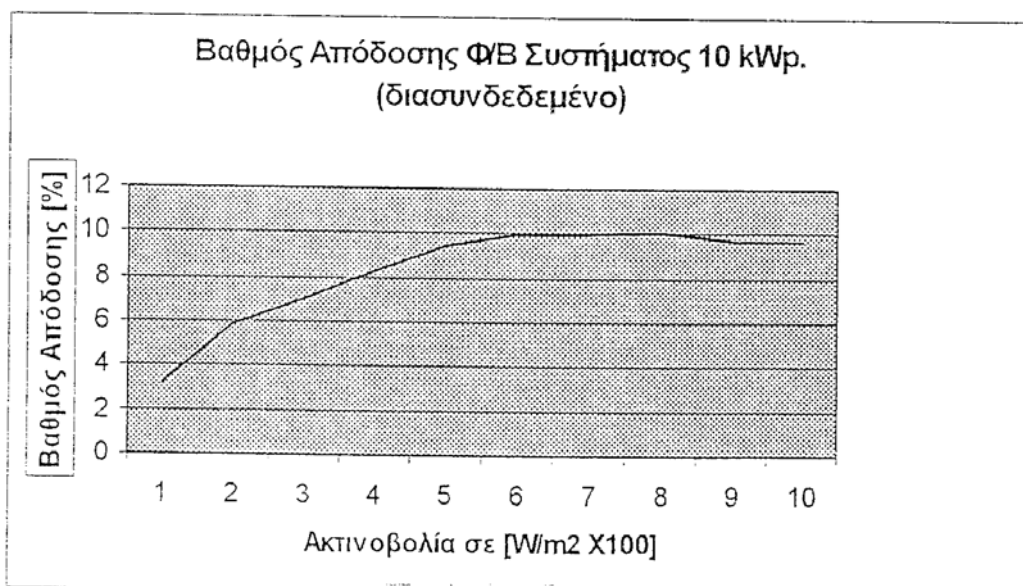
Ακτινοβολία σε W/m ²	Ισχύς σε W
84	237
60	86
87	271
114	430
144	656
177	812
214	1163

277	1494
287	1751
329	2128
364	2449
409	2831
442	3097
485	3480
522	3734
555	4097
590	4352
631	4670
673	5090
696	5210
726	5550
755	5635
776	5888
806	4928
826	6190



Σχήμα 4.1: Ηλιοφάνεια και ισχύς κατά την διάρκεια τριών ημερών.

Με τη βοήθεια προγράμματος στη γλώσσα FORTRAN υπολογίστηκε ο συντελεστής ισχύος για κάθε διάστημα ηλιακής ακτινοβολίας καθώς και ο αριθμός των δεκαλέπτων που είχαν τιμές ακτινοβολιών σε κάθε διάστημα.



Σχήμα 4.2: Συντελεστής ισχύος του συστήματος σε συνάρτηση με την ακτινοβολία.

Η ηλιακή ακτινοβολία του τόπου δίδεται από τον πίνακα 4.2.

Πίνακας 4.2: Η ηλιακή ακτινοβολία του τόπου

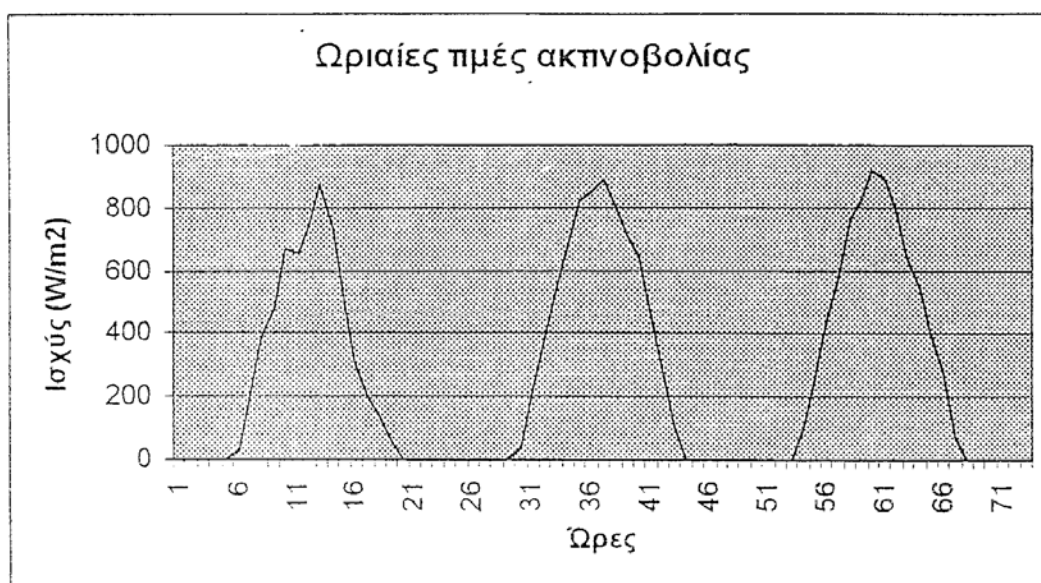
Μήνας	Μέση ημερήσια ολική ακτινοβολία (kWh/m²)
Ιανουάριος	2,06
Φεβρουάριος	2,75
Μάρτιος	3,94
Απρίλιος	5,17
Μάιος	6,32
Ιούνιος	7,13
Ιούλιος	7,32
Αύγουστος	6,81
Σεπτέμβριος	5,53
Οκτώβριος	3,77
Νοέμβριος	2,63
Δεκέμβριος	1,97

Με ειδικό πρόγραμμα γίνεται μετατροπή σε ωριαίες τιμές ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας, μέρος αυτών των τιμών εμφανίζονται στον πίνακα 4.3 και στο σχήμα 4.3

Πίνακας 4.3: Ωριαίες τιμές ακτινοβολίας και θερμοκρασίες του τόπου.

Ολική Ακτινοβολία W/m²	Διάχυτη Ακτινοβολία W/m²	Θερμοκρασία Περιβ. °C
0	0	23.3
0	0	22.7
23	15	22.2
137	101	23.0
364	111	23.4
553	129	25.6
689	167	27.0
786	203	29.1
853	221	31.0
878	226	32.7
864	214	34.9
796	199	35.5
666	193	35.7
511	174	35.5
375	108	34.1
169	93	32.0
22	19	29.6
0	0	27.4
0	0	25.0
0	0	23.3
0	0	22.2
0	0	23.0
0	0	22.3
0	0	21.1
0	0	20.2
0	0	19.1
9	9	18.7
63	62	18.9
102	100	19.4
170	167	19.6
262	253	21.4
411	366	22.8
449	399	25.1
520	429	26.7
630	403	27.0
332	317	28.0

390	331	27.1
217	209	27.6
199	178	27.1
29	29	27.0
3	3	25.4
0	0	24.4



Σχήμα 4.3: Ωριαίες τιμές ακτινοβολίας του τόπου κατά την διάρκεια τριών ημερών.

Με τη βοήθεια προγράμματος FORTRAN υπολογίζεται ο αριθμός των ωρών ανά διάστημα i και στη συνέχεια η ΕΠΕ από τη σχέση 3.

Στον πίνακα 4.4. παρουσιάζεται στο διάστημα i , το σύνολο των ωρών με ισχύ ακτινοβολίας στο διάστημα αυτό και ο αντίστοιχος συντελεστής ισχύος.

Πίνακας 4.4: Ώρες ηλιοφάνειας ανά διάστημα με αντίστοιχο συντελεστή ισχύος.

Διάστημα (W)	Ώρες /έτος	Συντ. Ισχύος (%)
0-100	775	3.1
100-200	634	5.8
200-300	545	7.0
300-400	570	8.2
400-500	477	9.4
500-600	407	9.9
600-700	335	9.9
700-800	295	10.0
800-900	220	9.7
900-1000	82	9.7
1000-1100	1	9.6

Η Συνολική Ετήσια Παραγωγή Ενέργειας λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές του ως άνω πίνακα και ενεργός επιφάνεια των συλλεκτών 95m^2 υπολογίζεται:

$$\text{ΕΠΕ}=13.721\text{KwH}$$

Φ/Β μεμβράνες για στέγες /οροφές κτιρίων, αποθηκών κλπ

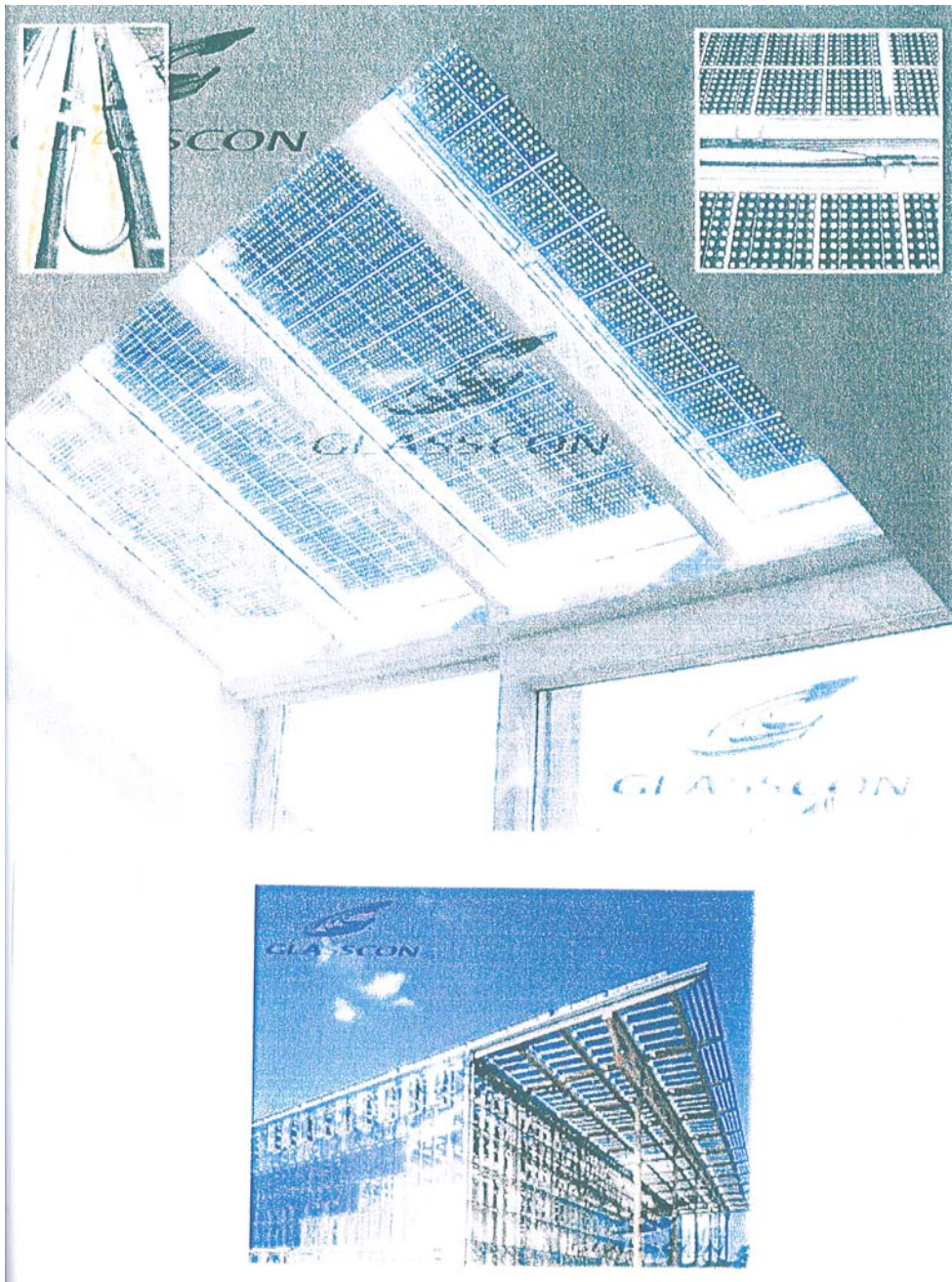
Αποτελούν νέα τεχνολογία στη μόνωση δωματίων. Συνδυάζουν υγρομονωτικά στρώματα με επίστρωση λωρίδων Φ/Β στοιχείων λεπτού υμενίου από άμορφο πυρίτιο. Πλεονεκτήματα: στεγάνωση οροφής και παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, υψηλές αποδόσεις, αμελητέο βάρος, ευκαμψία, καμπυλότητα, γρήγορη τοποθέτηση.



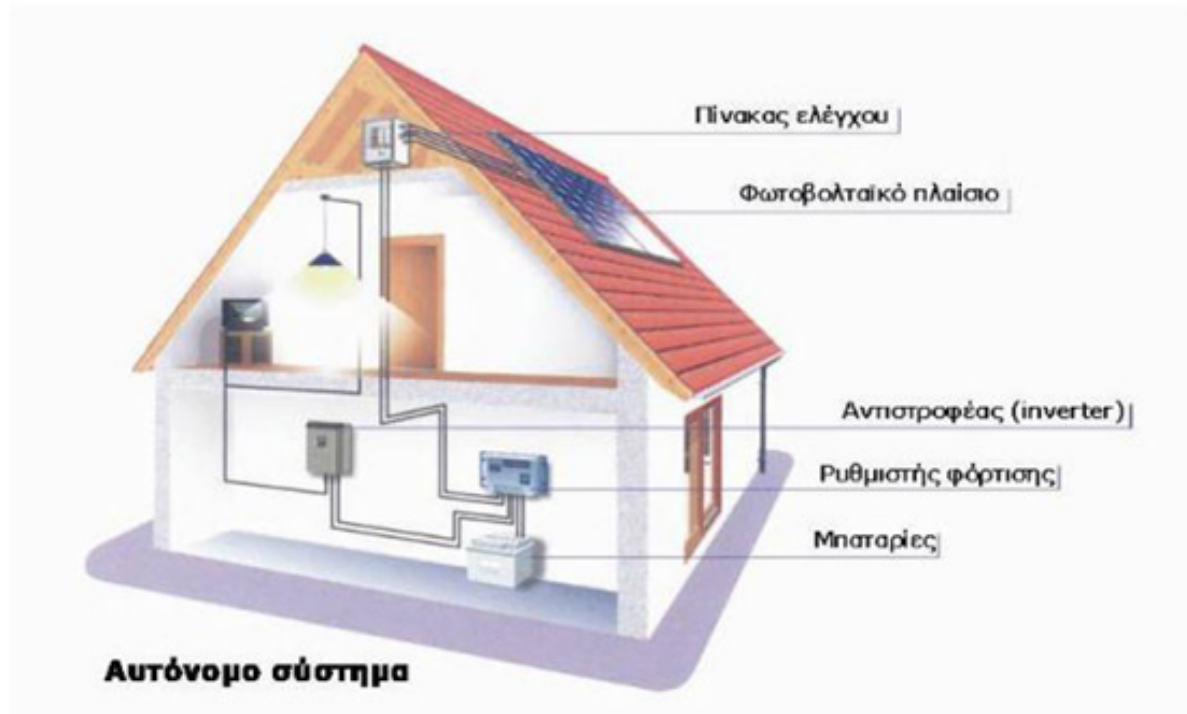


Φωτοβολταϊκοί υαλοπίνακες

Το γυαλί Φ/Β στοιχείων αποτελείται από Φ/Β κυψέλες οι οποίες ενσωματώνονται σε υαλοπίνακες. Έχουν ευρεία εφαρμογή (μηχανική στήριξη ή σημειακή στήριξη), δημιουργούνται συστήματα μοναδικής αισθητικής και μέγιστης διαφάνειας, καθώς απουσιάζουν τα πλαίσια αλουμινίου.



Αυτόνομο Φ/Β σύστημα



Μεταλλικά φύλλα φωτοβολταϊκών στοιχείων για εγκαταστάσεις σε στέγες κτιρίων

Αποτελούνται από μεταλλικά φύλλα, τα οποία είναι επιστρωμένα με λωρίδες Φ/Β στοιχείων λεπτού υμενίου από άμορφο πυρίτιο. Υψηλή απόδοση. Πλεονέκτημα είναι η ευκαμψία, μικρό βάρος, εύκολη τοποθέτηση, αμελητέο κόστος συντήρησης.





**6.0 ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΑΠΟ ΠΡΟΣΩΠΙΚΗ ΜΟΥ ΕΡΓΑΣΙΑ ΣΕ
ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ Φ/Β ΣΕ ΣΤΕΓΗ ΣΠΙΤΙΟΥ**







ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ ΑΔΕΙΟΥΧΟΥ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΟΥ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΤΗ

(Ν. 4483/1965 αρ. 2, Υ.Α. Φ.7.5/1816/88/27.2.2004, ΚΥΑ Φ Α' 50/12081/642/26.7.2006, Υ.Α. Φ.50/503/168/19.4.2011, όπως ισχύουν)

Αφορά: Νέα εγκατάσταση Τροποποίηση
 Επέκταση Επανάλεγχο
 Προς τη ΔΕΗ ΤΡΙΠΟΛΗΣ Περιοχή/Πρακτορείο

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΥΠΟΒΟΛΗΣ
 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΗ:

Αριθ. παροχής εγκατάστασης: 32546711
 Ονοματ. ιδιοκτήτη εγκατάστασης: ΣΟΤΗΡΙΟΣ ΔΗΜΟΠΟΥΛΟΣ
 Ονοματ. χρήστη εγκατάστασης: ΣΟΤΗΡΙΟΣ ΔΗΜΟΠΟΥΛΟΣ

Ο υπογράφων αδειούχος ηλεκτρολόγος εγκαταστάτης **ΜΑΝΩΛΟΠΟΥΛΟΣ Ε. ΙΩΑΝΝΗΣ** δηλώνω υπεύθυνα, με γνώση των συνεπειών των νόμων για ψευδή δήλωση, ότι:

- Διαθέτω άδεια ηλεκτρολόγου εγκαταστάτη, δεν έχει ανασταλεί η ισχύς της και δεν υπόκειμαι στους περιορισμούς της παραγράφου 3 του άρθρου 6 του Β.Δ. της 4/25 Νοεμβρίου 1949.
- Η περιγραφόμενη ηλεκτρική εγκατάσταση, παραδίδεται από εμένα σήμερα, σε ασφαλή λειτουργία όπως αναλύεται στο(α) ηλεκτρολογικό(ά) σχέδιο(α), στο πρωτόκολλο ελέγχου και περιγράφεται στην έκθεση παράδοσης.
- Δίνω την εγγύηση σύμφωνα με το άρθρο 3 του Ν. 4483/1965, όπως ισχύει κάθε φορά, ότι αυτή η ηλεκτρική εγκατάσταση θα λειτουργήσει με ασφάλεια και απρόσκοπτα.
- Έχει(ουν) τοποθετηθεί διάταξη(εις) διαφορικού ρεύματος σε εφαρμογή της ΚΥΑ Φ Α' 50/12081/642/26.7.2006.
- Έχουν εκτελεστεί οι ηλεκτρικές εργασίες που περιγράφονται στη δήλωση αυτή με βάση την υφιστάμενη Νομοθεσία, έχω ελέγξει την ηλεκτρική εγκατάσταση με βάση την υφιστάμενη Νομοθεσία και την κρίνω ασφαλή και κατάλληλη για χρήση. Τα αποτελέσματα του ελέγχου και των μετρήσεων είναι σύμφωνα με την υφιστάμενη Νομοθεσία και αναλύονται στο(α) αντίστοιχο(α) πρωτόκολλο(α) ελέγχου.
- Έχω ενημερώσει τον ιδιοκτήτη ή χρήστη της εγκατάστασης για την υποχρέωση επανέλεγχου αυτής της ηλεκτρικής εγκατάστασης με βάση τις ισχύουσες σήμερα Υπουργικές Αποφάσεις
- Ένα ακριβές αντίγραφο της δήλωσης αυτής μαζί με το(α) ηλεκτρολογικό(ά) σχέδιο(α), το(α) πρωτόκολλο(α) ελέγχου και την έκθεση παράδοσης παραδίδονται στον παραπάνω ιδιοκτήτη ή χρήστη, καθώς και τα πρωτότυπα αυτών για τη τα οποία πρέπει να κατατεθούν εντός ενός έτους από την έκδοσή τους και αναλαμβάνω την ευθύνη της φύλαξης ενός αντιγράφου των παραπάνω έως την ημερομηνία του επόμενου επανέλεγχου.

ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ:
 Δήμος ή Κοινότη.: ΑΡΚΑΔΙΑΣ
 Περιοχή/Διαμέρισμα: ΤΡΙΠΟΛΗ
 Οδός - Αριθ.: ΤΕΡΜΑ ΤΕΡΕΑΣ
 Τ.Κ.: 22100 Όροφος: Αρ. διαμερίσμ.:
 Κατηγορία χώρου: Φ.Β. ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ
 Επόμενος επανέλεγχος έως:
 Άρθρο 5 της Υ.Α. Φ.7.5/1816/88 (ΦΕΚ Β' 470/2004)

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΤΗ:
 Αριθμός άδειας: 129
 Ειδικότητα: ΗΛ. ΜΗΧ. Τ.Ε. Κατηγορία: Β. ΤΑΞΗΣ
 Ημερομηνία έκδοσης: 15-6-2010
 Ημερομηνία λήξης ισχύος:
 Όριο ισχύος άδειας σε ΚW: ΠΑΡΑΓ. ΗΛ.Ε.ΕΣ. 250
 Τύπος & Αριθ. Φορ. στοιχείου (ΤΠΥΠ ή ΔΠΥ)

ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ
 Τάση (V)/Φάσεις(η)/Συχνότη. (Hz)/dc ή ac 400/3/50/1
 Συν. εγκατ. ενεργός/φανόμενη ισχύς: KW/..... KVA
 Εγκατεστημένη ισχύς (KW):
 Φωτισμού Συσκευών Κίνησης
 Συνολ. εγκατεσ/νη ισχύς παραγωγικής διαδικασίας: KW (μόνο για Ε.Η.Ε που υπόκειται στο Ν. 3325/2005)
 Ισχύς μεγαλύτερου κινητήρα: KW (εάν υπάρχει)
 Ηλεκτροδότηση πίνακα ανεκυστήρα: ΝΑΙ ΟΧΙ
 Γραμ. γενικ. πίν.-Μετρητή(αίθρος x διατ.αγωγών): 5x10x15 mm²
 Γεν. ασφάλεια ή Αυτόμ. διακόπτης ισχύος γεν. πίνακα: 3x2,5A
 Σύστ. σύνδεσης γείωσης: (Αμεση)ΤΤ (Ουδέτ/ση)ΤΝ ΙΤ

ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗ (Συμπεριλαμβάνεται εφόσον υπάρχει)		
ΕΙΔΟΣ	Τάση (V)	Ισχύς (KW)
Ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος (εφεδρική χρήση)		
Μεταγωγικός διακόπτης: ΝΑΙ <input type="checkbox"/> ΟΧΙ <input type="checkbox"/>		
Φωτοβολταϊκή μονάδα	230	10,00
Προστ. έναντι νησιδοποίησης: ΝΑΙ <input type="checkbox"/> ΟΧΙ <input type="checkbox"/>		
Κατά ΔΙΝ. Ν.ΔΕ. 0126-1-1.....		
Άλλος τύπος		
Προστασία απόευσξης: ΝΑΙ <input checked="" type="checkbox"/> ΟΧΙ <input type="checkbox"/>		

- Έγγραφα που συνοδεύουν την ΥΔΕ**
- Μονογραμμικό(ά) εγκατάστασης
 - Μονογραμμικό(ά) πίνακα(ων)
 - Πρωτόκολλο(α) ελέγχου (σελίδ.)
 - Έκθεση παράδοσης (σελίδ.)

Ο δηλών αδειούχος ηλεκτρολόγος εγκαταστάτης

Θεωρήθηκε για το γνήσιο της υπογραφής
 Αριθ. πρωτοκόλλου θεώρησης: 22/14-5-2012
 (Άρθρο 2 παραγ. 2 του Ν. 4483/1965, όπως ισχύει)




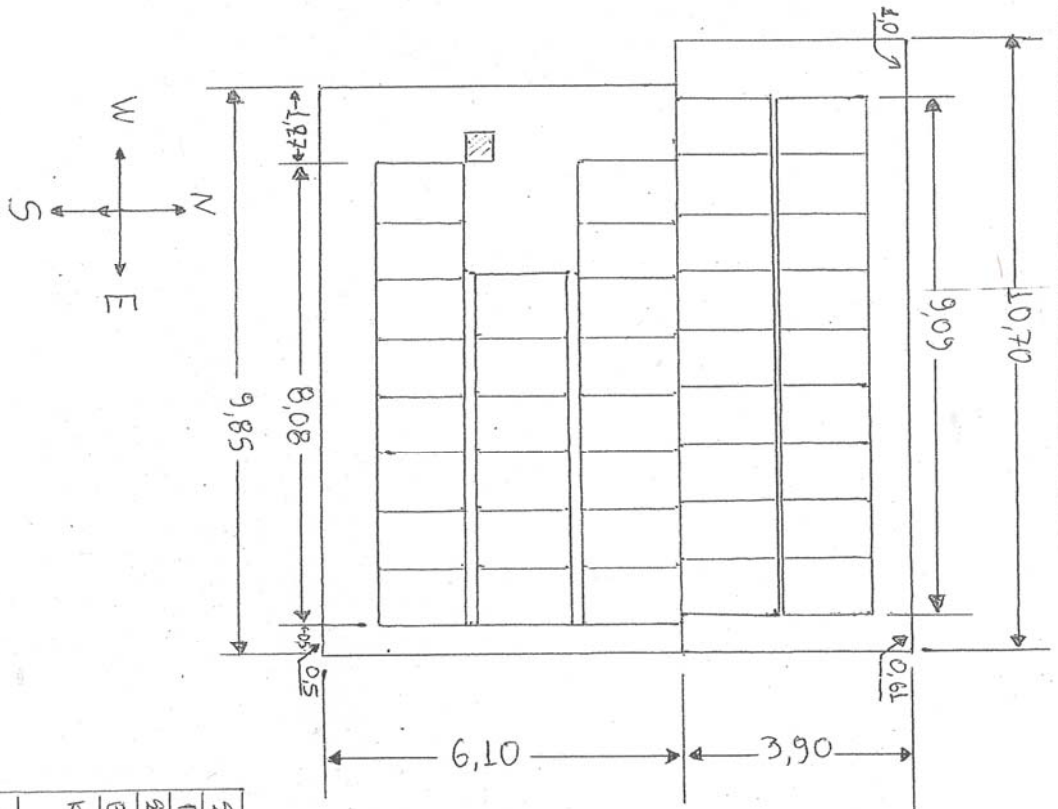
ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΗ
 (Στη συνέχεια υπογραφή)
ΜΑΝΩΛΟΠΟΥΛΟΣ Ε. ΙΩΑΝΝΗΣ
 ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ Τ.Ε.
 ΑΛΩΝΙΣΤΑΚΗΣ 203 - ΤΡΙΠΟΛΗ
 Τ.Κ. 22100 Τηλ: 2710 23299 Ημερομηνία: 14/5/2012
 ΑΔΜ 127197218 ΔΟΥ ΤΡΙΠΟΛΗΣ
 Α.Μ.Ε.Ε.Τ.Ε.Μ. 46017 ΑΡΙΘ.ΑΔΕΙΑΣ 129

Τόπος: ΤΡΙΠΟΛΗ Ημερομηνία: 14/5/2012 Τόπος: ΤΡΙΠΟΛΗ Ημερομηνία: 14/5/2012

Έκθεση Παράδοσης Ηλεκτρικής Εγκατάστασης

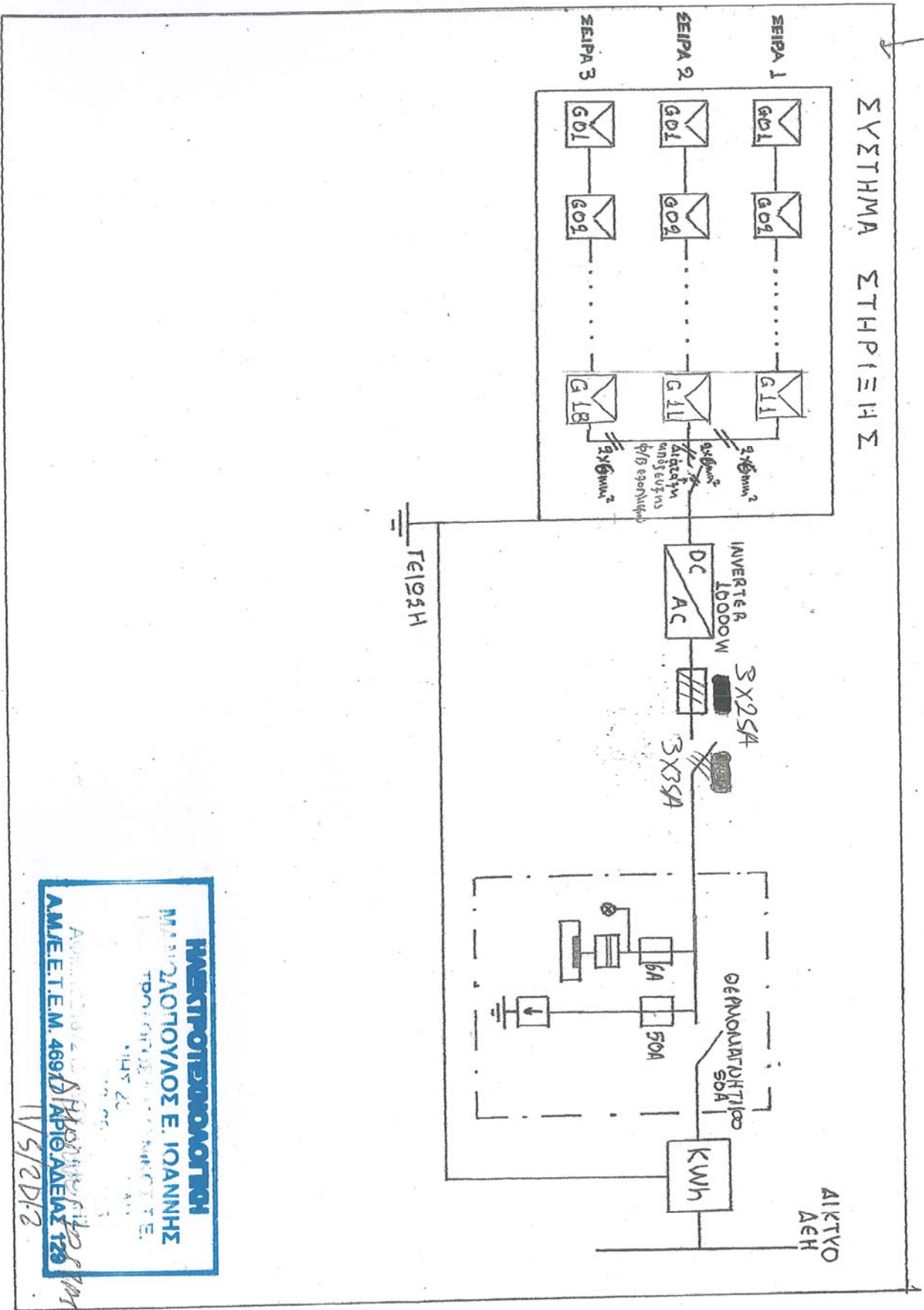
Σελίδα 1 από

Έκθεση παράδοσης Νο <u>1</u>		Ιδιοκτήτης <input type="checkbox"/> Χρήστης <input type="checkbox"/> <u>ΛΗΜΟΠΟΥΛΟΣ ΣΩΤΗΡΙΟΣ</u>	Αρ. παροχής: <u>32546711</u> Διεύθυνση: <u>ΤΕΡΜΑ ΤΣΕΡΕΑΣ</u>	
Πρωτόκολλο ελέγχου Νο <u>1</u>		Αδειούχος ηλεκτρολόγος εγκαταστάτης <u>ΜΑΝΩΠΟΥΛΟΣ ΣΩΜΝΗΣ</u>	Αριθ. άδειας: <u>129</u> Κατηγορία: <u>Β. ΤΑΞΗΣ</u> Ειδικότητα: <u>ΗΛΕΚΤΡ. ΜΗΧΤ.Ε.</u>	
Κατην. Εγκατ/σης: <u>Φ/Β. ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ</u>				
Χώρος/μήμα εγκατάστασης Αριθμός ηλεκτ. συσκευών & υλικών	ΠΙΛΑΚΙΑ Ν/Σ Φ/Β ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ			
	Σύνολο	Βαθμός προστασίας IP	Εγκατεστημένη Ισχύς (KW)	
Ηλεκτρολογικά υλικά	Πίνακας διανομής			
	Διακόπτης απλός			
	Διακόπτης διπλός			
	Διακόπτης αλλη - ρετούρ ακραίος			
	Διακόπτης κομμωτήρι			
	Ρυθμιστής έντασης φωτισμού			
	Μπουτόν			
	Ανιχνευτής κίνησης			
	Πρίζα σούκα	μονή		
		διπλή		
τριπλή				
Θερμοστάτης χώρου				
Γραμμές σταθερών ηλεκτρικών συσκευών & κινητήρων	Κουζίνα			
	Θερμοσίφωνο			
	Πλυντήριο			
	Κλιμαστικό			
	Ανελκυστήρας <u>ΙΝΒΕΡΤΕΡ SMA 1000TL</u>		<u>(x1000w) 1 πρξ 10</u>	
Φωτιστικό σημείο	Απλό			
	Πολλαπλό			
	>0,5 KW			
<u>ΙΣΧΥΣ 4L ΦΒ ΠΑΙΣΙΩΝ αλεο S-10</u>		Συνολική εγκατεστημένη ισχύς (KW)	<u>10</u>	
Η ηλεκτρική εγκατάσταση παραλήφθηκε έτοιμη προς χρήση σύμφωνα με την παρούσα έκθεση παράδοσης <input checked="" type="checkbox"/>		Παράδοση πρόσθετης τεκμηρίωσης (π.χ. σχέδια) <input checked="" type="checkbox"/>		
Ο αδειούχος ηλεκτρολόγος εγκαταστάτης		Ο παραλαμβάνων την έκθεση παράδοσης ιδιοκτήτης ή χρήστης		
 (Σφραγίδα, Υπογραφή)		 (Όνομα, Υπογραφή)		
Τόπος.....	Ημερ/νία.....	Τόπος.....	Ημερ/νία.....	



ΣΧΕΔΙΟ ΧΡΟΦΕΤΙΚΗΣ Φ/Β ΠΑΝΕΛ ΕΠΙ ΣΤΕΓΗΣ	
ΠΕΛΑΤΗΣ: ΣΩΤΗΡΙΟΣ ΔΗΜΟΠΟΥΛΟΣ	
ΣΧΕΔΙΑΣΗ: ΜΑΝΩΛΟΠΟΥΛΟΣ Ε. ΙΩΑΝΝΗΣ	
ΘΕΣΗ: ΤΕΡΜΑ ΤΕΡΑΣ	ΗΜ: 11/5/2012
ΚΩΣΗ ΠΑΝΕΛ	ΙΝΒΕΡΤΕΡ: 1
14° / 10°	ΑΡΧΑΙΣΙΩΝ: 40
ΑΠΟΔΟΣΗ: 9,6 kW	modules: 5.18 940W

ΗΛΕΚΤΡΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗ
ΜΑΝΩΛΟΠΟΥΛΟΣ Ε. ΙΩΑΝΝΗΣ
 ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ Τ.Ε.
 ΑΛΩΝΙΣΤΑΙΝΗΣ 23 ΤΡΙΠΟΛΗ
 ΤΗΛ: 2710 232936 692276295
 ΑΦΜ: 122187216 ΔΟΥ ΤΡΙΠΟΛΗΣ
 Α.Μ./Ε.Ε.Τ.Ε.Μ. 46917 ΑΡΙΘ.ΑΔΕΙΑΣ 129



ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΗ
Μ. ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ Ε. ΙΩΑΝΝΙΝΗΣ
 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΚΑΤΑΣΤΗΡΙΑΣ
 15122/12

15/2012

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Καγκαράκης Κ., Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία (βιβλίο), (Αθήνα: Εκδόσεις Συμμετρία).
2. Παπαδόπουλος Π. Μιχλ, Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές (βιβλίο), (Αθήνα: Εκδόσεις Συμμετρία, 1997).
3. Καγκαράκης Κ., Μελέτη Συστημάτων Αποθήκευσης Ενέργειας από Φωτοβολταϊκά Συστήματα (Πικέρμι Αττικής: Κ.Α.Π.Ε.).
4. Σαφάκας Α., Μελέτη Συστημάτων Αποθήκευσης Ενέργειας από Φωτοβολταϊκά Συστήματα (Πικέρμι Αττικής: Κ.Α.Π.Ε.).
5. Διεθνή έγγραφα με τους κανονισμούς κατά IEC.
6. Makvart T., Solar Electricity (West Sussex).
7. Φωτοβολταϊκά Συστήματα και οι Εφαρμογές τους στα Κτίρια, Άρθρο στο Περιοδικό Ενέργεια, Δεκ. –Ιαν., 1996-1997.
8. Lesnier F. & Ang. T. G., Photovoltaic Engineering Handbook (New York: IOP Publishing, 1990).
9. Internet.
10. Φωτογραφίες Φ/Β πάνελ.