

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ 1490

ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ Φ/Β ΠΑΡΚΟΥ

ΜΑΜΑΚΗΣ ΧΡΗΣΤΟΣ (5935)

ΣΚΛΗΒΑΣ ΑΓΓΕΛΟΣ (5962)

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:

ΣΧΟΙΝΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2017

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η εργασία αυτή αποτελεί μια αναλυτική μελέτη εφαρμογής σχεδίασης και υλοποίησης φωτοβολταϊκού συστήματος ισχύος 100 kwp.

Ως προς την δομή της περιλαμβάνει 11 επιμέρους ενότητες που αφορούν την χωροθέτηση για την μέγιστη μείωση των απωλειών του φωτοβολταϊκού πάρκου, στη σχέση επένδυσης και προσφοράς, στα τεχνικά χαρακτηριστικά που συνδέονται με το πλήθος και τον τύπο των φωτοβολταϊκών πάνελ, στην ιδιαιτερότητα των inverter και την συνδεσμολογία τους και στο σύστημα τηλεμετρίας. Επίσης εμπεριέχεται λεπτομερής ανάλυση καλωδιώσεων και συνδεσμολογίας, γειώσεων και αντικεραυνικής προστασίας.

Ακολουθούν τα θέματα διαχείρισης και παρακολούθησης του έργου καθώς και η καταγραφή των συνολικών υλικών και των εργασιών που λαμβάνουν χώρα για την δημιουργία του φωτοβολταϊκού πάρκου.

Τέλος, ιδιαίτερης σημασίας ζήτημα για την υλοποίηση του έργου είναι η εμπεριστατωμένη οικονομική προσφορά καθώς και συμπληρωματικά έργα και χωματουργικές εργασίες.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία ασχολείται με το εξαιρετικά ενδιαφέρον θέμα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και συγκεκριμένα με την φωτοβολταϊκή τεχνολογία.

Η εργασία αυτή αποτελεί μια αναλυτική μελέτη εφαρμογής σχεδίασης και υλοποίησης φωτοβολταϊκού συστήματος ισχύος 100 kwp.

Ως προς την δομή της περιλαμβάνει 11 επιμέρους ενότητες που αφορούν την χοροθέτηση για την μέγιστη μείωση των απωλειών του φωτοβολταϊκού πάρκου, στη σχέση επένδυσης και προσφοράς, στα τεχνικά χαρακτηριστικά που συνδέονται με το πλήθος και τον τύπο των φωτοβολταϊκών πάνελ, στην ιδιαιτερότητα των inverter και την συνδεσμολογία τους και στο σύστημα τηλεμετρίας. Επίσης εμπεριέχεται λεπτομερής ανάλυση καλωδιώσεων και συνδεσμολογίας, γειώσεων και αντικεραυνικής προστασίας.

Ακολουθούν τα θέματα διαχείρισης και παρακολούθησης του έργου καθώς και η καταγραφή των συνολικών υλικών και των εργασιών που λαμβάνουν χώρα για την δημιουργία του φωτοβολταϊκού πάρκου.

Τέλος, ιδιαίτερης σημασίας ζήτημα για την υλοποίηση του έργου είναι η εμπεριστατωμένη οικονομική προσφορά καθώς και συμπληρωματικά έργα και χωματουργικές εργασίες.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| ΠΡΟΛΟΓΟΣ | II |
| ΠΕΡΙΛΗΨΗ | III |
| ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ | IV |
| ΕΙΣΑΓΩΓΗ | 1 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 | 5 |
| ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ | 5 |
| 1.1. Το Φωτοβολταϊκό φαινόμενο | 5 |
| 1.2. Χαρακτηριστικά Ημιαγωγών | 6 |
| 1.3. Περιορισμοί στην απόδοση των φωτοβολταϊκών | 8 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 | 9 |
| ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ – ΕΙΔΗ ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΙ ΣΥΝΔΕΣΗΣ | 9 |
| 2.1 Είδη φωτοβολταϊκών συλλεκτών | 9 |
| 2.1.1 Ημιαγωγοί Λεπτών Υμενίων (Thin Films) | 9 |
| 2.1.2 Μονο-κρυσταλλικού Πυριτίου (Single-crystal Silicon) | 10 |
| 2.1.3 Πολυ-κρυσταλλικού Πυριτίου (Multi-crystalline Silicon) | 10 |
| 2.1.4 Άμορφου Πυριτίου (Amorphous or Thin Silicon)..... | 12 |
| 2.1.5 Φωτοβολταϊκά Στοιχεία Άλλων Υλικών, Λεπτών Επιστρώσεων | 12 |
| 2.1.6 Σε σειρά συνδεσμολογία | 14 |
| 2.1.7 Παράλληλη συνδεσμολογία | 15 |
| 2.1.8 Μεικτή συνδεσμολογία | 16 |
| 2.2 Ηλεκτρικά Χαρακτηριστικά Φωτοβολταϊκού Στοιχείου | 18 |
| 2.2.1 Ισοδύναμο Ηλεκτρικό Κύκλωμα Φωτοβολταϊκού Στοιχείου και Χαρακτηριστική Εξίσωση | 18 |
| 2.2.2 I-V Χαρακτηριστική Φωτοβολταϊκού Στοιχείου | 20 |
| 2.2.3 Το ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{sc} | 22 |
| 2.2.4 Η τάση ανοικτού κυκλώματος V_{oc} | 22 |
| 2.2.5 Σημείο μέγιστης ισχύος P_m | 23 |
| 2.2.6 Ο συντελεστής πλήρωσης ff (Fill Factor) | 23 |
| 2.2.7 Μεταβολή της έντασης της ακτινοβολίας | 24 |
| 2.2.8 Μεταβολή της θερμοκρασίας | 25 |
| 2.2.9 Παράγοντες που επηρεάζουν αρνητικά το βαθμό απόδοσης | 27 |
| 2.2.10 Η Απόδοση του Φωτοβολταϊκού Πλαισίου | 29 |
| 2.2.11 Η Επίδραση της Θερμοκρασίας και της Ρύπανσης | 30 |
| 2.2.12 Η Ισχύς Αιχμής του Φωτοβολταϊκού Πλαισίου | 31 |
| 2.3 Τρόποι τοποθέτησης φωτοβολταϊκών πάνελ | 32 |

| | | |
|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.3.1 | Σταθερές βάσεις | 32 |
| 2.3.2 | Συστήματα ιχνηλάτησης της πορείας του ηλίου | 34 |
| 3.1 | Χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκών συστημάτων | 39 |
| 3.2 | Συνδεσμολογία ενός φωτοβολταϊκού συστήματος | 39 |
| 3.3 | Είδη φωτοβολταϊκών συστημάτων | 40 |
| 3.3.1 | Διασυνδεδεμένο φωτοβολταϊκό σύστημα | 40 |
| 3.3.2 | Υβριδικό φωτοβολταϊκό σύστημα | 41 |
| 3.3.3 | Αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα | 42 |
| 3.4 | Ηλιακοί χάρτες απεικόνισης της ισχύος των φωτοβολταϊκών συστημάτων στην Ελληνική επικράτεια..... | 43 |
| 3.5 | Πλεονεκτήματα - Μειονεκτήματα των φωτοβολταϊκών συστημάτων | 45 |
| 3.6 | Οι ενεργειακές ανάγκες που καλύπτει ένα φωτοβολταϊκό σύστημα 46 | |
| 3.7 | Παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος | 47 |
| | Ο βαθμός απόδοσης ενός φωτοβολταϊκού επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες, οι βασικότεροι από αυτούς είναι οι ακόλουθοι: | 47 |
| 3.8 | Το φαινόμενο PID (Potential Inducted Degradation) | 48 |
| 3.8.1 | PID και μείωση της απόδοσης | 48 |
| 3.8.2 | Το PID σε ένα φωτοβολταϊκό πάνελ | 49 |
| 3.8.3 | Το PID σε συστοιχία φωτοβολταϊκών πάνελ | 50 |
| 3.8.4 | Παράγοντες που επηρεάζουν το PID | 50 |
| 3.8.5 | Διάγνωση του PID..... | 51 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 | | 52 |
| INVERTER..... | | 52 |
| 4.1 | Αρχή λειτουργίας και τρόπος σύνδεσης | 52 |
| 4.2 | Επιλογή της κατάλληλης ισχύος | 55 |
| 4.3 | Inverter με τροποποιημένο ή με καθαρό ημίτονο | 55 |
| 4.4 | Inverter καθαρού ημίτονου high frequency και low frequency | 56 |
| 4.5 | Ποιον inverter χρειάζομαι τελικά; | 57 |
| 4.6 | Η διάταξη του inverter..... | 58 |
| 4.7 | Τεχνολογίες ελέγχου | 59 |
| 4.7.1 | V/F (βολτ ανά Hertz) | 59 |
| 4.7.2 | Sensorless Vector Control | 59 |
| 4.7.3 | Flux Vector Control | 59 |
| 4.7.4 | Field Oriented Control | 59 |
| 4.8 | Inverter Ημιγέφυρας και Πλήρους Γέφυρας | 59 |
| 4.8.1 | Μονοφασικός ημιγέφυρας | 59 |
| 4.8.2 | Μονοφασικός πλήρους γέφυρας..... | 60 |
| 4.9 | Σύγκριση κόστους | 62 |
| 4.10 | Σύγκριση απόδοσης | 62 |
| 4.11 | Νησιδοποίηση (Islanding) | 62 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 | 65 |
| ΚΑΛΩΔΙΩΣΗ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ | 65 |
| 5.1 Τύποι καλωδίων | 65 |
| 5.2 Καλώδια συνεχούς ρεύματος | 66 |
| 5.3 Καλώδιου σύνδεσης εναλλασσόμενου ρεύματος και είδη καλωδίων 66 | |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 | 68 |
| ΤΗΛΕΜΕΤΡΙΑ | 68 |
| 6.1 Τι ονομάζουμε τηλεμετρία | 68 |
| 6.2 Εφαρμογές της τηλεμετρίας | 68 |
| 6.3 Επιτήρηση της απόδοσης της εγκατάστασης | 69 |
| 6.4 Ασύρματα ή ενσύρματα - Ασφαλής σύνδεση με ή χωρίς καλώδια BLUETOOTH (ΑΣΥΡΜΑΤΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ) | 70 |
| ΚΑΛΩΔΙΩΣΗ RS485 | 70 |
| 6.4.1 Ασύρματης διασύνδεσης | 71 |
| 6.4.2 Ενσύρματης διασύνδεσης | 71 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 | 72 |
| ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ | 72 |
| 7.1 Λόγοι για να συντηρήσουμε την επένδυσή μας | 72 |
| 7.2 Προληπτική Συντήρηση Φωτοβολταϊκών Πάρκων | 73 |
| 7.2.1 Ηλεκτρολογικός έλεγχος | 73 |
| 7.2.2 Μηχανολογικός έλεγχος | 73 |
| 7.2.3 Καθημερινός έλεγχος παραγόμενης ισχύος | 73 |
| 7.2.4 Αντικατάσταση αναλώσιμων | 73 |
| 7.2.5 Καθαρισμός Φ/Β πλασιών | 74 |
| 7.2.6 Χλοοκοψία | 74 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 | 76 |
| ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ – ΜΕΛΕΤΗ Φ/Β ΠΑΡΚΟΥ | 76 |
| 8.1. Τα τέσσερα στάδια σχεδίασης ενός ΦΒ πάρκου | 76 |
| 8.2. Παραδοχές Προσφοράς | 77 |
| 8.3. Φωτοβολταϊκά PANEL | 77 |
| 8.4. INVERTER | 79 |
| 8.4.1. Τεχνικά χαρακτηριστικά Sunny Tripower17000TL | 80 |
| 8.4.2. Γενικά χαρακτηριστικά Sunny Tripower17000TL | 81 |
| 8.4.3. Εξοπλισμός | 82 |

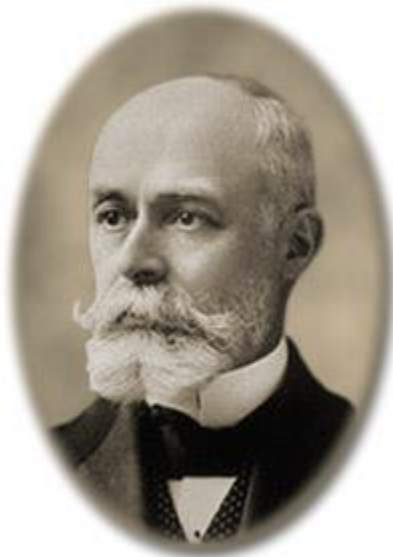
| | | |
|---------|---------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 8.5. | Σύστημα Τηλεμετρίας : SMA Sunny WebBox & Sunny SensorBox INVERTER..... | 82 |
| 8.5.1. | Χαρακτηριστικά SMA Sunny WebBox:..... | 83 |
| 8.5.2. | Χαρακτηριστικά SMA Sunny SensorBox..... | 83 |
| 8.6. | Σύστημα στήριξης..... | 84 |
| 8.7. | Καλωδιώσεις - Συνδεσμολογία..... | 84 |
| 8.8. | Γειώσεις & Αντικεραυνική Προστασία..... | 86 |
| 8.9. | Διαχείριση και παρακολούθηση έργου..... | 86 |
| 8.10. | Σύνολο υλικών και εργασίες..... | 86 |
| 8.11. | Οικονομική Προσφορά..... | 88 |
| 8.12. | Συμπληρωματικά έργα και χωματουργικές εργασίες..... | 89 |
| 8.12.1. | Διάνοιξη χαντακιών για την όδευση των καλωδίων..... | 89 |
| 8.12.2. | Περίφραξη οικοπέδου (300m)..... | 89 |
| 8.13. | Σύστημα ασφαλείας..... | 90 |
| 8.14. | Κλειστό κύκλωμα τηλεόρασης..... | 91 |
| 8.15. | Σύστημα περιμετρικού φωτισμού..... | 91 |
| | ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ..... | 92 |
| | ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ..... | 93 |

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ιστορία της ανακάλυψης του φωτοβολταϊκού φαινομένου

Βρισκόμαστε στην εποχή όπου η διόγκωση των περιβαλλοντικών προβλημάτων σε συνδυασμό με την εξάντληση των ορυκτών ενεργειακών πόρων και τα τεράστια βήματα στην τεχνολογία των Φωτοβολταϊκών Συστημάτων κάνουν πλέον εφικτή την χρήση τους. Ποια είναι όμως η ιστορία των φωτοβολταϊκών και πως φτάσαμε στο σήμερα; Ας κάνουμε λοιπόν μια σύντομη αναδρομή στην ιστορία του φωτοβολταϊκού, έχοντας κατά νου την φράση του Αριστοτέλη η οποία μας λέει : “Η ουσία ενός φαινομένου γίνεται καλύτερα αντιληπτή όταν το ερευνούμε από την γένεσή του”.

Είναι το έτος 1839 όταν ο Edmond Becquerel Γάλλος φυσικός, ανακάλυψε το φωτοβολταϊκό φαινόμενο κατά την διάρκεια πειραμάτων του με μια ηλεκτρολυτική επαφή φτιαγμένη από δύο μεταλλικά ηλεκτρόδια σε αγώγιμο υγρό. Η ροή αυξανόταν με την έκθεση στον ήλιο. Οι σημειώσεις του γύρω από το φαινόμενο, είχαν φανεί πολύ ενδιαφέρουσες στην επιστημονική κοινότητα δεν είχαν όμως καμία πρακτική εφαρμογή.



**Alexandre Edmond Becquerel
(1820-1891)**

Εικόνα 1:Ο Γάλλος φυσικός Edmond Becquerel που ανακάλυψε το ΦΒ φαινόμενο

Έπρεπε να περάσουν 37 ολόκληρα χρόνια για να γίνει το επόμενο σημαντικό βήμα το 1876 από τον Adams και τον φοιτητή του Day, οι οποίοι παρατήρησαν πως όταν είχαν εκτεθειμένο στο φως σελήνιο (Se), παραγόταν μια ποσότητα ηλεκτρικού ρεύματος. Το 1883 ο Charles Fritz παράγει ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο με απόδοση 1-2%, για να έρθει στην συνέχεια ο Albert Einstein το 1904 και να κάνει την πληρέστερη θεωρία γύρω από το φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Για την θεωρητική του εξήγηση τιμήθηκε το 1921 με βραβείο Nobel.Μια σημαντική ανακάλυψη έγινε

επίσης το 1949 όταν οι Mott και Schottky ανέπτυξαν την θεωρία της διόδου σταθερής κατάστασης. Στο μεταξύ η κβαντική θεωρία είχε ξεδιπλωθεί. Ο δρόμος πλέον για τις πρώτες πρακτικές εφαρμογές είχε ανοίξει. Το πρώτο ηλιακό κελί ήταν γεγονός στα εργαστήρια της Bell το 1954 από τους Chapin, Fuller και Pearson. Η απόδοση του ήταν 6% εκμετάλλευση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Το 1958 κατασκευάζεται φωτοβολταϊκό στοιχείο με απόδοση 9%. Στις 17 Μαρτίου εκτοξεύεται το Vanguard I, ο πρώτος δορυφόρος τροφοδοτούμενος από φωτοβολταϊκά, που θα δουλέψει συνεχόμενα για 8 χρόνια. Την επόμενη ακριβώς χρονιά παράχθηκαν φωτοβολταϊκά με απόδοση 10%. Για να έρθει το έτος 1962 η εταιρία Sharp στην Ιαπωνία και να κάνει την μεγαλύτερη εγκατάσταση φωτοβολταϊκών στον κόσμο, σε ένα φάρο. Η εγκατεστημένη ισχύς του συστήματος είναι 242Wp. Τα φωτοβολταϊκά ξεκίνησαν λοιπόν να κάνουν την εμφάνιση τους αλλά λόγω του υψηλού κόστους παραγωγής η εφαρμογή τους ήταν δυνατή μόνο σε ειδικές περιπτώσεις αυτόνομων συστημάτων. Η έρευνα όμως προχωρούσε και η απόδοση των ΦΒ συνεχώς βελτιωνόταν. Κυριότερος πελάτης των φωτοβολταϊκών τις δεκαετίες που ακολούθησαν είναι η NASA. Η πρώτη εγκατάσταση που φτάνει στα επίπεδα του 1MW (μεγαβατ) γίνεται στην Καλιφόρνια το 1980 από την ARCO Solar χρησιμοποιώντας ταυτόχρονα και σύστημα παρακολούθησης της τροχιάς του ηλίου 2 αξόνων (dual-axis trackers). Το 1983 η παγκόσμια παραγωγή φωτοβολταϊκών ξεπερνά τα 21,3 MW, ενώ το 1984 κυκλοφορούν τα πρώτα όμορφα φωτοβολταϊκά. Το 1999 η συνολική παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύ σε φωτοβολταϊκά φτάνει τα 1000 MW, ενώ τρία χρόνια μετά διπλασιάζεται. Φτάνουμε λοιπόν κάπως έτσι στο σήμερα η σημαντικότερη εφαρμογή τους είναι η συμπληρωματική παραγωγή ενέργειας. Στην Βόρεια Αμερική πολλές εταιρείες παραγωγής ενέργειας (αντίστοιχες της ΔΕΗ) υποστηρίζουν τα φορτία του κλιματισμού τους θερινούς μήνες με φωτοβολταϊκά συστήματα. Ο αυριανός στόχος είναι το 20% της συνολικής παραγωγής ενέργειας να προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές.

Βλέποντας σχεδόν επιγραμματικά την ραγδαία εξέλιξη των φωτοβολταϊκών σε βάθος 178 χρόνων, πολλοί είναι αυτοί που υποστηρίζουν ότι η διείδυση τους στην ζωή μας ήρθε με αργό ρυθμό. Γίνεται μάλιστα σύγκριση με μια άλλη βιομηχανία ημιαγωγών υλικών, αυτή των ηλεκτρονικών υπολογιστών. Οι οικονομικές καθώς και τεχνικές δυσκολίες είναι οι κύριες αιτίες καθυστέρησης. Αυτές είναι οι βασικές αιτίες που αντιμετωπίζουν οι κατασκευαστές κατά την παραγωγική διαδικασία και προσπάθεια τους να δημιουργήσουν υλικά απο καθαρά ημιαγωγά υλικά (κρυσταλλικό πυρίτιο).

Στα φωτοβολταϊκά συστήματα ο όγκος του απαιτούμενου υλικού (κρυσταλλικό πυρίτιο) είναι πολύ μεγάλος και η παραγωγή του είναι ιδιαίτερα ενεργοβόρος. Τα υπέρογκα ποσά για το κόστος του εξοπλισμού είναι ένας εξίσου σημαντικός λόγος καθώς επίσης και η ενέργεια η οποία καταναλώνεται κατά την παραγωγική διαδικασία. Για τον λόγο αυτό άλλωστε η τάση που φαίνεται ότι θα καταλάβει ένα μεγάλο μερίδιο στην αγορά των φωτοβολταϊκών μετά από κάποια χρόνια (σε σχέση με αυτό που έχει σήμερα) είναι οι τεχνολογίες λεπτού υμενίου (thin film) στις οποίες επιτυγχάνεται σημαντική μείωση του απαιτούμενου όγκου πυριτίου και

συνεπώς η μείωση στις τιμές των φωτοβολταϊκών. Δεν χρίζουν καμίας αμφισβήτησης όμως τα πρωτεία που κρατάει η τεχνολογία κρυσταλλικού πυριτίου. Μέγιστη απόδειξη αυτού είναι η επένδυση εκατοντάδων εκατομμυρίων σε ευρώ, δολάρια, γεν και γιουάν, που έχουν επενδυθεί παγκοσμίως για κατασκευές εργοστασίων παραγωγής όπως πολυπυριτίου (polysilicon), ράβδων (μόνο και πόλυ) κρυσταλλικού πυριτίου (solar ingot), φωτοβολταϊκών στοιχείων (solar wafers), φωτοβολταϊκών κυψελών (solar cells) και φωτοβολταϊκών πλαισίων (solar panels - modules) ή διαφορετικά (πανέλων - τζαμιών - καθρεπτών κλπ).

Τα προγνωστικά για το άμεσο μέλλον όσον αφορά την αγορά φωτοβολταϊκών είναι ιδιαίτερος ευοίωνα, τόσο για την ραγδαία εξάπλωση της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας παγκοσμίως, όσο και για την καθοδική πορεία στις πτώσεις των τιμών των φωτοβολταϊκών πλαισίων.

Λόγοι στρέψης μας στην ηλιακή ενέργεια

Οι βασικότερη λόγοι που στρέφεται κάποιος στην ηλιακή ενέργεια είναι για να καλύψει δύο βασικές ανάγκες. Την ανάγκη σε ενέργεια και την προστασία του περιβάλλοντος. Αξίζει να αναφερθούμε στο γεγονός ότι για κάθε κιλοβατώρα ηλεκτρισμού που παίρνουμε από το δίκτυο και παράγεται από ορυκτά καύσιμα, αυτή επιβαρύνει την ατμόσφαιρα με ένα κιλό διοξείδιο του άνθρακα (το λιγότερο). Το διοξείδιο του άνθρακα ή αλλιώς το σημαντικότερο “αέριο του θερμοκηπίου”, είναι αυτό που παίζει τον μεγαλύτερο ρόλο στις επικίνδυνες κλιματικές αλλαγές. Η μόνη διέξοδος για να αποτραπούν οι κλιματικές αλλαγές που απειλούν καθημερινά τον πλανήτη, είναι η στροφή μας σε καθαρές πηγές ενέργειας, όπως αυτή της ηλιακής. Επιλέγοντας την ηλιακή ενέργεια αυτομάτως επιλέγουμε και λιγότερες εκπομπές επικίνδυνων ρύπων (όπως οξείδια του αζώτου, ενώσεις θείου, καρκινογόνα μικροσωματίδια, κλπ). Πρέπει να έχουμε πάντα κατά νου πως οι εν λόγω ρύποι επιφέρουν σοβαρές βλάβες τόσο στην υγεία μας όσο και στο περιβάλλον.

Λόγοι που μας συμφέρει η ηλιακή ενέργεια

Σε χώρες όπως η δική μας που παρέχεται ενισχυμένη τιμή της πωλούμενης ηλιακής κιλοβατώρας, ο καταναλωτής όχι απλά κάνει απόσβεση της επένδυσης του αλλά έχει και ένα επιπλέον κέρδος από την παραγωγή και τροφοδοσία πράσινης ενέργειας στο δίκτυο. Σε περιπτώσεις όπως αυτές των αυτόνομων φωτοβολταϊκών συστημάτων σε εφαρμογές εκτός δικτύου, η ανταγωνιστική τεχνολογία είναι οι πανάκριβες στην λειτουργία τους και ρυπογόνες ηλεκτρογεννήτριες, οπότε είναι ξεκάθαρο πλέον πως τα φωτοβολταϊκά είναι η πιο συμφέρουσα εναλλακτική λύση.



Εικόνα 2: Ο κόσμος στρέφεται στις ήπιες μορφές ενέργειας

Λειτουργία ηλιακής ενέργειας

Το φως που λαμβάνουμε σε καθημερινή βάση από τον ήλιο είναι στην ουσία μικρά πακέτα ενέργειας που έχουν την ονομασία “φωτόνια”. Τα φωτόνια περιέχουν διαφορετικά ποσά ενέργειας ανάλογα με το μήκος του κύματος του ηλιακού φάσματος. Για παράδειγμα το κόκκινο ή υπέρυθρο χρώμα έχουν λιγότερη ενέργεια από το γαλάζιο ή το υπεριώδες. Όταν λοιπόν τα φωτόνια προσκρούσουν σε ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο (έναν ημιαγωγό), άλλα ανακλώνται, άλλα το διαπερνούν και άλλα απορροφώνται από το φωτοβολταϊκό. Τα φωτόνια της τελευταίας περίπτωσης είναι αυτά που παράγουν το ηλεκτρικό ρεύμα. Αναγκάζουν δηλαδή τα ηλεκτρόνια του φωτοβολταϊκού να μετακινηθούν σε άλλη θέση και όπως είναι γνωστό, ο ηλεκτρισμός δεν είναι τίποτε άλλο παρά η κίνηση ηλεκτρονίων. Σε αυτή την τόσο απλή αρχή της φυσικής, βασίζεται μια από τις πιο εξελιγμένες τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρισμού στις μέρες μας.

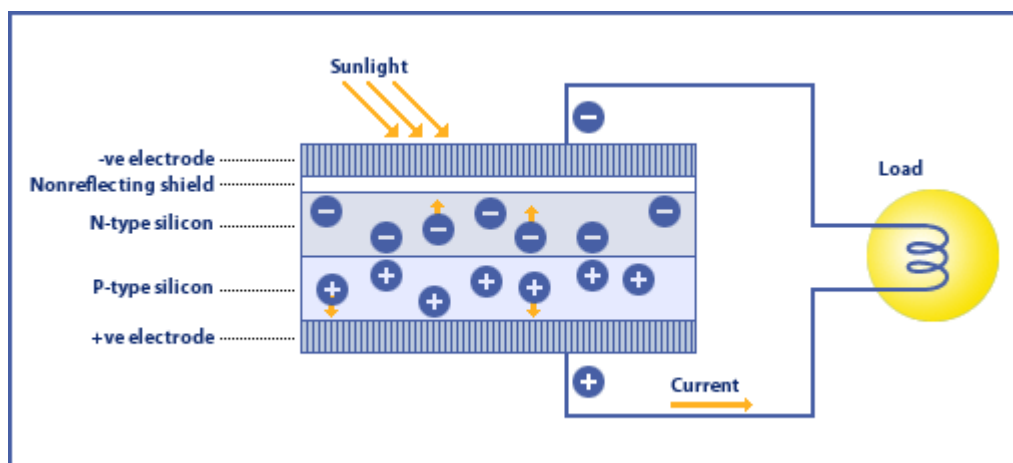
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

1.1. Το Φωτοβολταϊκό φαινόμενο

Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο και η λειτουργία του φωτοβολταϊκού συστήματος στηρίζεται στις βασικές ιδιότητες των ημιαγωγών υλικών σε ατομικό επίπεδο. Ας πάρουμε όμως τα πράγματα από την αρχή.

Όταν το φως προσπίπτει σε μια επιφάνεια είτε ανακλάται, είτε την διαπερνά (διαπερατότητα) είτε απορροφάται από το υλικό της επιφάνειας. Η απορρόφηση του φωτός ουσιαστικά σημαίνει την μετατροπή του σε μια άλλη μορφή ενέργειας (σύμφωνα με την αρχή διατήρησης της ενέργειας) η οποία συνήθως είναι η θερμότητα.



Εικόνα 3: Το ΦΒ φαινόμενο με μια ματιά

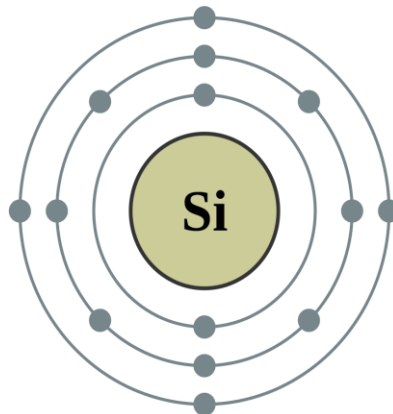
Παρόλα αυτά όμως υπάρχουν κάποια υλικά τα οποία έχουν την ιδιότητα να μετατρέπουν την ενέργεια των προσπιπτόντων φωτονίων (πακέτα ενέργειας) σε ηλεκτρική ενέργεια. Αυτά τα υλικά είναι οι ημιαγωγοί και σε αυτά οφείλεται επίσης η τεράστια τεχνολογική πρόοδος που έχει συντελεστεί στον τομέα της ηλεκτρονικής και συνεπακόλουθα στον ευρύτερο χώρο της πληροφορικής και των τηλεπικοινωνιών.

Γενικότερα τα υλικά στην φύση σε σχέση με τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά τους εμπίπτουν σε τρεις κατηγορίες, τους αγωγούς του ηλεκτρισμού, τους μονωτές και τους ημιαγωγούς. Ένας ημιαγωγός έχει την ιδιότητα να μπορεί να ελεγχθεί η ηλεκτρική του αγωγιμότητα είτε μόνιμα είτε δυναμικά.

1.2. Χαρακτηριστικά Ημιαγωγών

Το χαρακτηριστικό στοιχείο ενός ημιαγωγού που το διαφοροποιεί από τα υπόλοιπα υλικά είναι ο αριθμός των ηλεκτρονίων ενός ατόμου που βρίσκεται στην εξωτερική του στοιβάδα (σθένους). Ο περισσότερο γνωστός ημιαγωγός είναι το πυρίτιο (Si) για αυτό και θα επικεντρωθούμε σε αυτό. Το πυρίτιο έχει ατομικό βαθμό 14 και έχει στην εξωτερική του στοιβάδα 4 ηλεκτρόνια. Όλα τα άτομα που έχουν λιγότερα η περισσότερα ηλεκτρόνια στην εξωτερική στοιβάδα (είναι "γενικά" συμπληρωμένη με 8 e) ψάχνουν άλλα άτομα με τα οποία μπορούν να ανταλλάξουν ηλεκτρόνια ή να μοιραστούν κάποια με σκοπό τελικά να αποκτήσουν συμπληρωμένη εξωτερική στοιβάδα σθένους.

Σε αυτήν την τάση οφείλεται και η κρυσταλλική δομή του πυριτίου αφού όταν συνυπάρχουν πολλά άτομα μαζί διατάσσονται με τέτοιο τρόπο ώστε να συνεισφέρουν ηλεκτρόνια με όλα τα γειτονικά τους άτομα και τελικά με αυτόν τον τρόπο να αποκτούν μια συμπληρωμένη εξωτερική στοιβάδα και κρυσταλλική δομή. Αυτή είναι και η καθοριστική ιδιότητα που έχουν τα κρυσταλλικά υλικά.



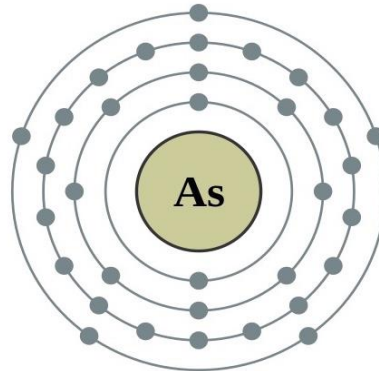
Εικόνα 4: Η κρυσταλλική δομή του πυριτίου (Si)

Στην κρυσταλλική του μορφή όμως το πυρίτιο είναι σταθερό. Δεν έχει ανάγκη ούτε να προσθέσει ούτε να διώξει ηλεκτρόνια κάτι που ουσιαστικά του δίνει ηλεκτρικά χαρακτηριστικά πολύ κοντά σε αυτά ενός μονωτή αφού δεν υπάρχουν ελεύθερα ηλεκτρόνια για την δημιουργία ηλεκτρικού ρεύματος στο εσωτερικό του.

Τις ημιαγωγές ιδιότητες του το πυρίτιο τις αποκτά με τεχνικό τρόπο. Αυτό πρακτικά γίνεται με την πρόσμειξη με άλλα στοιχεία τα οποία είτε έχουν ένα ηλεκτρόνιο περισσότερο είτε ένα λιγότερο στην στοιβάδα σθένους των. Αυτή η πρόσμειξη τελικά κάνει τον κρύσταλλο δεκτικό είτε σε θετικά φορτία (υλικό τύπου p) είτε σε αρνητικά φορτία (υλικό τύπου n)

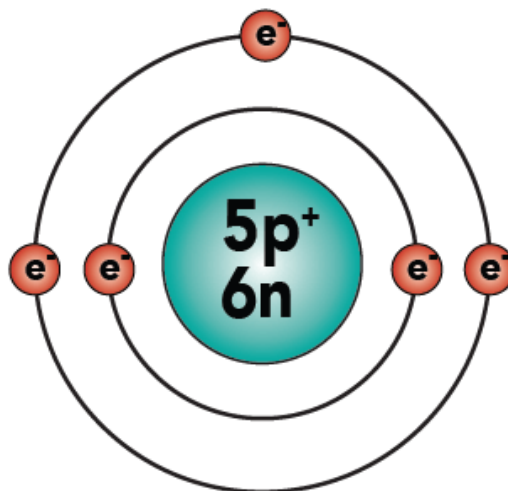
Για να φτιαχτεί λοιπόν ένας ημιαγωγός τύπου n ή αλλιώς ένας αρνητικά φορτισμένος κρύσταλλος πυριτίου θα πρέπει να γίνει πρόσμειξη ενός

υλικού με 5e στην εξωτερική του στοιβάδα όπως για παράδειγμα το Αρσενικό (As).



Εικόνα 5: Η κρυσταλλική δομή του αρσενικού (As)

Αντίστοιχα για να δημιουργήσουμε έναν ημιαγωγό τύπου p ή αλλιώς θετικά φορτισμένος κρύσταλλος πυριτίου χρειάζεται να γίνει πρόσμειξη στον κρύσταλλο κάποιου υλικού όπως το βόριο (B) που έχει 3e στην εξωτερική του στοιβάδα.



Εικόνα 6: Η κρυσταλλική δομή του βορίου (B)

Η ηλιακή ακτινοβολία έρχεται με την μορφή πακέτων ενέργειας ή φωτονίων. Τα φωτόνια όταν προσπίπτουν σε μια διάταξη φωτοβολταϊκού κελιού περνούν αδιατάραχτα την επαφή τύπου n και χτυπούν τα άτομα της περιοχής τύπου p. Τα ηλεκτρόνια της περιοχής τύπου p αρχίζουν και κινούνται μεταξύ των οπών ώσπου τελικά φτάνουν στην περιοχή της διόδου όπου και έλκονται πλέον από το θετικό πεδίο της εκεί περιοχής.

Αφού ξεπεράσουν το ενεργειακό χάσμα αυτής της περιοχής μετά είναι αδύνατον να επιστρέψουν. Στο κομμάτι της επαφής n πλέον έχουμε μια περίσσεια ηλεκτρονίων που μπορούμε να εκμεταλλευτούμε. Αυτή η περίσσεια των ηλεκτρονίων μπορεί να παράγει ηλεκτρικό ρεύμα εάν τοποθετήσουμε μια διάταξη όπως ένας μεταλλικός αγωγός στο πάνω μέρος

της επαφής η και στο κάτω της επαφής ρ και ένα φορτίο ενδιάμεσα με τέτοιο τρόπο ώστε να κλείσει ένας αγωγίμος δρόμος για το ηλεκτρικό ρεύμα που παράγεται. Αυτή είναι απλοποιημένα η γενική αρχή λειτουργίας του φωτοβολταϊκού φαινομένου.

1.3. Περιορισμοί στην απόδοση των φωτοβολταϊκών

Γιατί όμως δεν μπορούμε να εκμεταλλευτούμε όλη την προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια; Το κάθε ημιαγωγό υλικό αντιδρά σε διαφορετικά μήκη κύματος της ακτινοβολίας. Κάποια υλικά αντιδρούν σε ευρύτερα φάσματα ακτινοβολίας από κάποια άλλα.



Εικόνα 7:Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα

Το ποσοστό της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται σε σχέση με την προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια συμβολίζει τον συντελεστή απόδοσης του υλικού. Οι δύο βασικοί παράγοντες για την απόδοση ενός φωτοβολταϊκού υλικού είναι το ενεργειακό χάσμα του υλικού και ο συντελεστής μετατροπής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ – ΕΙΔΗ ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΙ ΣΥΝΔΕΣΗΣ

2.1 Είδη φωτοβολταϊκών συλλεκτών

2.1.1 Ημιαγωγοί Λεπτών Υμενίων (Thin Films)

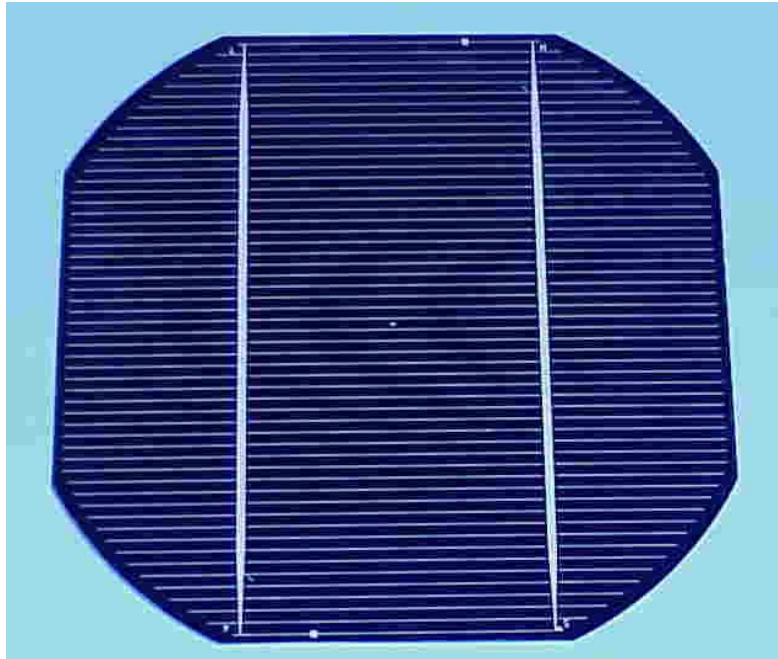
Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία thin films, έχουν αισθητά χαμηλότερες αποδόσεις σε σχέση με τις δύο προηγούμενες κατηγορίες. Πρόκειται για ταινίες λεπτών επιστρώσεων οι οποίες παράγονται με την εναπόθεση ημιαγωγού υλικού (πχ. πυρίτιο) πάνω σε υπόστρωμα υποστήριξης, χαμηλού κόστους όπως γυαλί ή αλουμίνιο. Έτσι λόγω της μικρότερης ποσότητας πυριτίου που χρησιμοποιείται, η τιμή τους είναι γενικότερα αρκετά χαμηλότερη. Οι επιδόσεις που επιτυγχάνονται χρησιμοποιώντας φωτοβολταϊκά thin films πυριτίου κυμαίνονται για το πλαίσιο από 6 έως 8% . Το σημαντικότερο πλεονέκτημα για αυτήν την κατηγορία είναι το γεγονός ότι δεν επηρεάζονται από τις υψηλές θερμοκρασίες ενώ το βασικό μειονέκτημα τους είναι η χαμηλή τους ενεργειακή πυκνότητα κάτι που σημαίνει ότι για να παράγουμε την ίδια ενέργεια χρειαζόμαστε σχεδόν διπλάσια επιφάνεια σε σχέση με τα μονοκρυσταλλικά ή πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία. Επίσης υπάρχουν αμφιβολίες όσον αφορά την διάρκεια ζωής τους μιας και δεν υπάρχουν στοιχεία από παλιές εγκαταστάσεις αφού η τεχνολογία είναι σχετικά καινούρια. Παρόλα αυτά οι κατασκευαστές πλέον δίνουν εγγυήσεις απόδοσης 20 ετών.



Εικόνα 8: Thin film ΦΒ

2.1.2 Μονο-κρυσταλλικού Πυριτίου (Single-crystal Silicon)

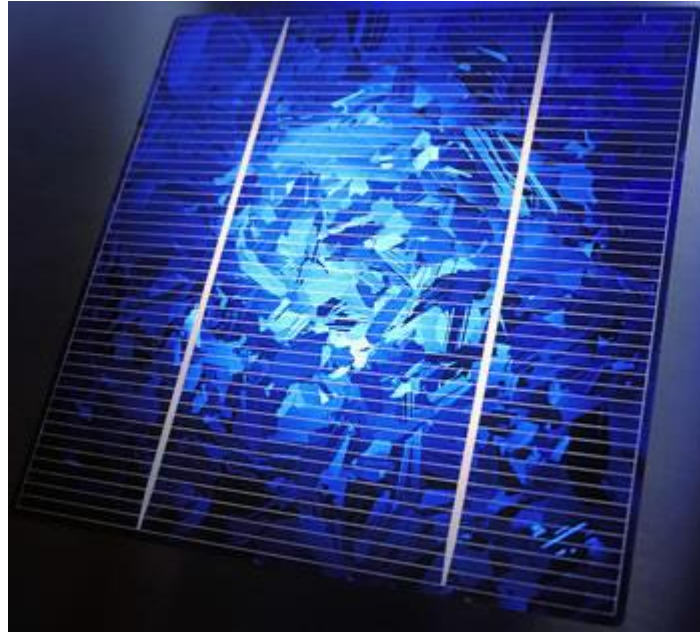
Κατασκευάζονται από κυψέλες που έχουν κοπεί από ένα κυλινδρικό κρύσταλλο πυριτίου. Αποτελούν τα πιο αποδοτικά φωτοβολταϊκά με αποδόσεις της τάξεως του 15%. Η κατασκευή τους όμως είναι πιο πολύπλοκη γιατί απαιτεί την κατασκευή του μονοκρυσταλλικού πυριτίου με αποτέλεσμα το υψηλότερο κόστος κατασκευής.



Εικόνα 9: Μονοκρυσταλλικό ΦΒ

2.1.3 Πολυ-κρυσταλλικού Πυριτίου (Multi-crystalline Silicon)

Τα πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά κατασκευάζονται από ράβδους λιωμένου και επανακρυσταλλομένου πυριτίου. Για την παραγωγή τους οι ράβδοι του πυριτίου κόβονται σε λεπτά τμήματα από τα οποία κατασκευάζεται η κυψέλη του φωτοβολταϊκού. Η διαδικασία κατασκευής τους είναι απλούστερη από εκείνη των μονοκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών με αποτέλεσμα το φθηνότερο κόστος παραγωγής. Παρουσιάζουν όμως σε γενικές γραμμές μικρότερη απόδοση της τάξεως του 12%.



Εικόνα 10: Πολυκρυσταλλικό ΦΒ

Ο παρακάτω πίνακας είναι συγκριτικός για τους παραπάνω τύπους

Πίνακας 1: Συγκριτικός πίνακας των παραπάνω τεχνολογιών ΦΒ

| ΤΥΠΟΣ | THIN FILM | ΠΟΛΥΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΑ | ΜΟΝΟΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΑ |
|----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| ΕΜΦΑΝΙΣΗ – ΕΙΚΟΝΑ |  |  |  |
| ΑΠΟΔΟΣΗ | Άμορφα : 5 ~ 7 % CIS : 7 ~ 10 % CdTe : 8 ~ 9 % | 11 ~ 14 % | 13 ~ 16 % |
| ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ / kWp | 10 ~ 20 m ² | 8 ~ 10 m ² | 7 ~ 8 m ² |
| ΜΕΣΗ ΕΤΗΣΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (kWh / kWp) | 1300 ~ 1400 | 1300 | 1300 |
| ΜΕΣΗ ΕΤΗΣΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (kWh / m ²) | 65 ~ 140 | 130 ~ 160 | 160 ~ 185 |
| ΕΤΗΣΙΑ ΜΕΙΩΣΗ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (kg CO ₂ / kWp) | 1380 ~ 1485 | 1380 | 1380 |

2.1.4 Άμορφου Πυριτίου (Amorphous or Thin Silicon)

Τα φωτοβολταϊκά αυτής της κατηγορίας αποτελούνται από ένα λεπτό στρώμα πυριτίου που έχει εναποτεθεί ομοιόμορφα σε κατάλληλο υπόβαθρο. Σαν υπόβαθρο μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια μεγάλη γκάμα υλικών από δύσκαμπτα μέχρι ελαστικά με αποτέλεσμα να βρίσκει μεγαλύτερο εύρος εφαρμογών, ιδιαίτερα σε καμπύλες ή εύκαμπτες επιφάνειες. Ενώ το άμορφο πυρίτιο παρουσιάζει μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα στην απορρόφηση του φωτός, εντούτοις η φωτοβολταϊκή απόδοση του είναι του μικρότερη των κρυσταλλικών, περίπου 6%. Το φθινό όμως κόστος κατασκευής τους τα κάνει ιδανικά σε εφαρμογές όπου δεν απαιτείται υψηλή απόδοση.



Εικόνα 11: ΦΒ άμορφου πυριτίου

2.1.5 Φωτοβολταϊκά Στοιχεία Άλλων Υλικών, Λεπτών Επιστρώσεων

Στην κατηγορία αυτή, εκτός από τα Φ/Β στοιχεία πυριτίου, λεπτής επίστρωσης ($a\text{-Si:H}$), τα οποία σήμερα αποτελούν τα περισσότερο διαδεδομένα στον κόσμο, εξαιτίας των πράγματι αξιόλογων χαρακτηριστικών τους, κατασκευάζονται Φ/Β στοιχεία από άλλα υλικά. Γενικά, τα Φ/Β στοιχεία αυτά παρά τα πολύ σημαντικά πλεονεκτήματά τους σε σχέση με το πυρίτιο, παρουσιάζουν ακόμη μειονεκτήματα, τα οποία στην καλύτερη περίπτωση περιορίζουν τη χρήση τους σε ειδικές εφαρμογές. Ο επόμενος πίνακας παρουσιάζει τα πιο σημαντικά απ' αυτά τα Φ/Β στοιχεία, το καθένα με τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά του.

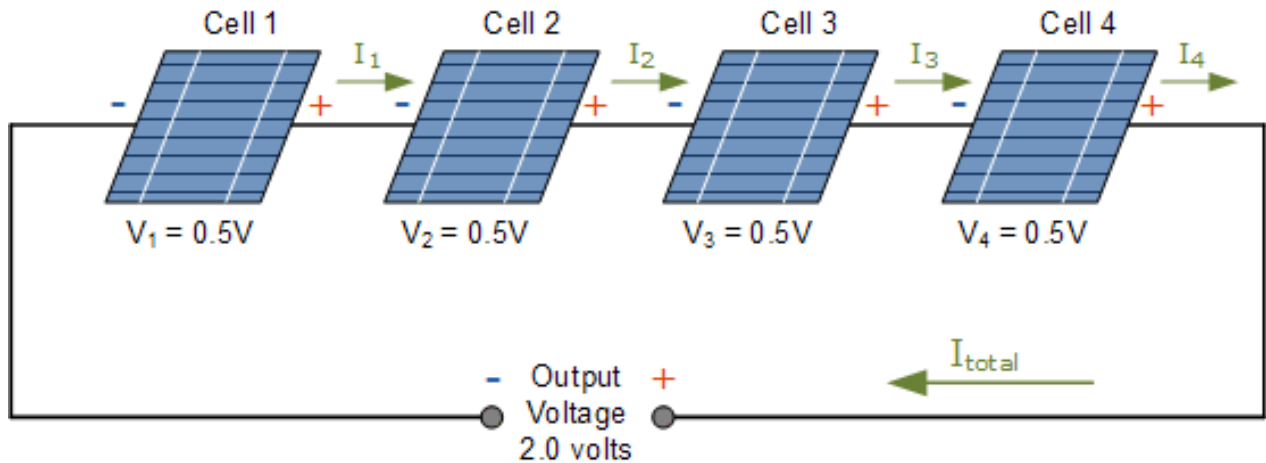
Πίνακας 2:Φ/Β στοιχεία Λεπτών Επιστρώσεων

| a/a | Βασικά υλικά Φ/Β στοιχείου | Χαρακτηριστικά | Πλεονεκτήματα | Μειονεκτήματα |
|------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| 1 | Ετεροένωση Cu ₂ S/CdS | $E_g=1,2eV/2,3eV$ Απόδοση ~10% | Μικρό κόστος κατασκευής | Μη σταθερής απόδοσης Φ/Β στοιχείο |
| 2 | Δισεληνοινδιούχος Χαλκός (CuInSe ₂ ή CIS) | Άμεσο ενεργειακό διάκενο, υψηλά απορρόφηση σε λεπτό στρώμα. Εργαστηριακή απόδοση 12-13%. Με προσθήκη Ga βελτιώνονται τα χαρακτηριστικά του (Εργαστηριακή απόδοση 17%) Απόδοση βιομηχανικού προϊόντος (πλαισίου):8-11% | Χαμηλό κόστος κατασκευής, σταθερότητα ισοδύναμη του c-Si. | Χαμηλή απόδοση βιομηχανικού προϊόντος |
| 3 | Τελουριούχο κάδμιο (CdTe) | Ιδανικό ενεργειακό διάκενο | Εξαιρετική εκμετάλλευση ηλιακού φάσματος | Μη επαναλήψιμες ιδιότητες. Δυσκολία δημιουργίας μεταλλικών επαφών |
| 4 | Αρσενιούχο Γάλλιο (GaAs) | Παρουσιάζει την υψηλότερη ενεργειακή απόδοση~25.5% Χρησιμοποιείται σε διαστημικές εφαρμογές | Υψηλή ενεργειακή απόδοση βιομηχανικού Φ/Β πλαισίου~22% | Υψηλό κόστος κατασκευής |

Τρόποι σύνδεσης φωτοβολταϊκών πάνελ

2.1.6 Σε σειρά συνδεσμολογία

Όταν θέλουμε να συνδέσουμε οποιεσδήποτε συσκευές σε σειρά πρέπει να συνδέσουμε τον αρνητικό πόλο της μίας με τον θετικό της επόμενης.

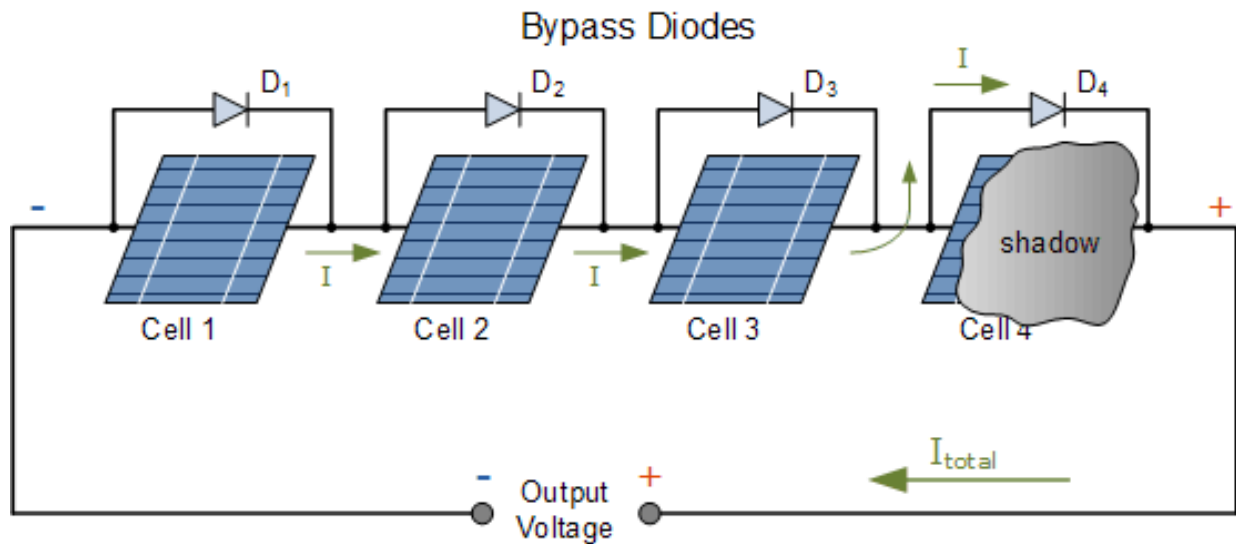


Εικόνα 12: Σε σειρά συνδεσμολογία ΦΒ πάνελ

Σε αυτή την περίπτωση πρέπει να γνωρίζουμε ότι η συνολική τάση του κυκλώματος είναι το άθροισμα των επιμέρους τάσεων της κάθε συσκευής. Για παράδειγμα στο σχήμα 1 εάν κάθε συσκευή παράγει 12 V, η συνολική παρεχόμενη τάση είναι $12+12+12+12=48V$.

Επίσης πρέπει να θυμόμαστε ότι το συνολικό ρεύμα παραμένει ίδιο. Δηλαδή εάν κάθε συσκευή έχει ονομαστική τιμή ρεύματος 350A τότε το συνολικό ρεύμα που ρέει στο κύκλωμα είναι 350A.

Τέλος προβλέπεται και η σύνδεση διόδων παράκαμψης παράλληλα σε κάθε πάνελ, έτσι ώστε σε περίπτωση μερικής ή ολικής σκίασης ενός ή περισσοτέρων πάνελ, να μην διακόπτεται η κυκλοφορία του ρεύματος μέσα από τη συστοιχία.

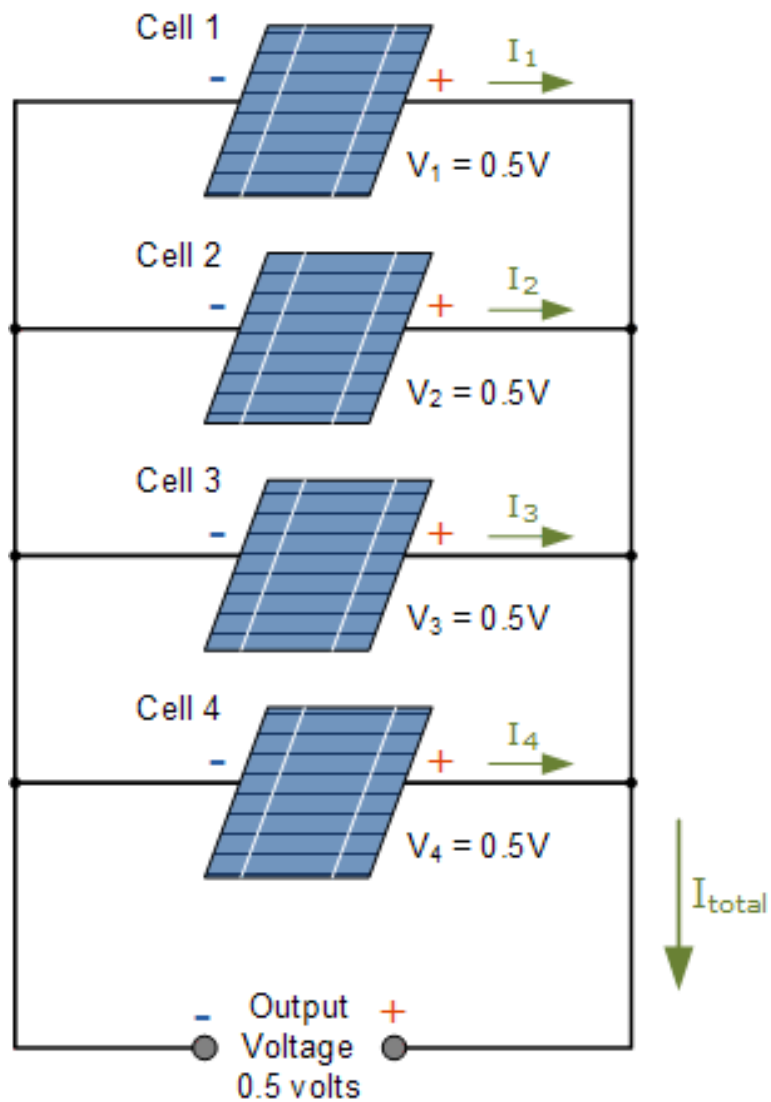


Εικόνα 13: Σύνδεση διόδων παράκαμψης (bypass diodes)

2.1.7 Παράλληλη συνδεσμολογία

Για να συνδέσουμε συσκευές παράλληλη πρέπει να συνδέσουμε τους θετικούς πόλους μαζί σε έναν ακροδέκτη και τους αρνητικούς σε έναν άλλο.

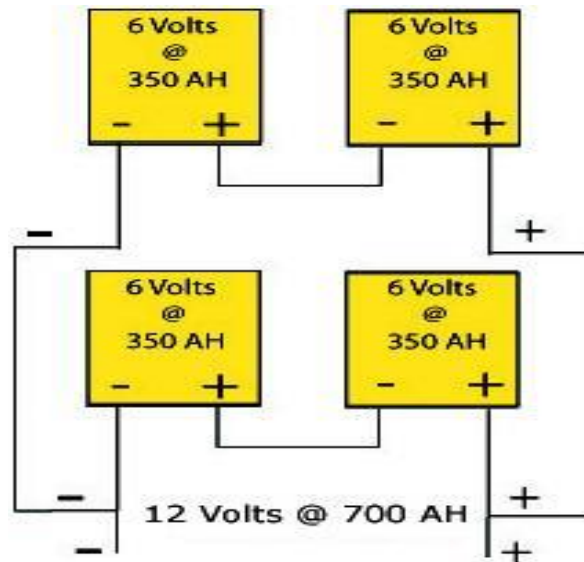
Στην παράλληλη σύνδεση, σε αντίθεση με την σειριακή, οι ονομαστικές τιμές ρεύματος προστίθενται ενώ η ονομαστική τάση του ενός είναι η συνολική τάση του κυκλώματος. Για παράδειγμα στο σχήμα 2, εάν η κάθε συσκευή έχει ονομαστική τιμή τάσης 12V και ονομαστική τιμή ρεύματος 350 A τότε το συνολικό ρεύμα του κυκλώματος είναι $350+350=700$ A ενώ η συνολική τάση στα άκρα του είναι 12V.



Εικόνα 14: Παράλληλη συνδεσμολογία ΦΒ στοιχείων

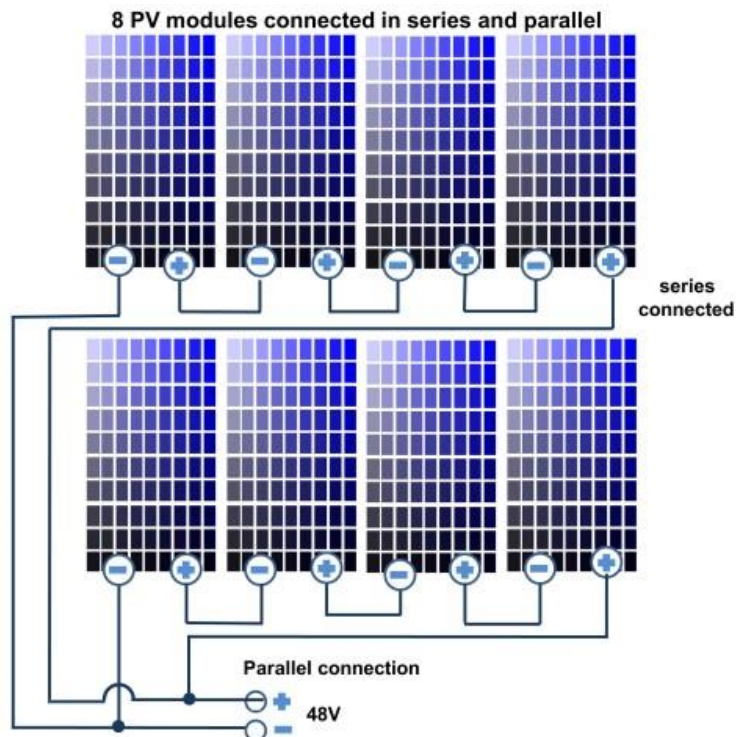
2.1.8 Μεικτή συνδεσμολογία

Αξίζει να σημειωθεί ότι είναι δυνατόν σε ένα κύκλωμα να έχουμε συνδυασμό των δύο παραπάνω τρόπων σύνδεσης ανάλογα με το τι θέλουμε να πετύχουμε.



Εικόνα 15: Μεικτή συνδεσμολογία ΦΒ στοιχείων

Σε παραπάνω σχήμα δύο ξεχωριστά ζεύγη κυττάρων των 6 Volt συνδέθηκαν σε σειρά και στην συνέχεια παράλληλα με αποτέλεσμα στην έξοδο να έχουμε 12 V και 700 A.

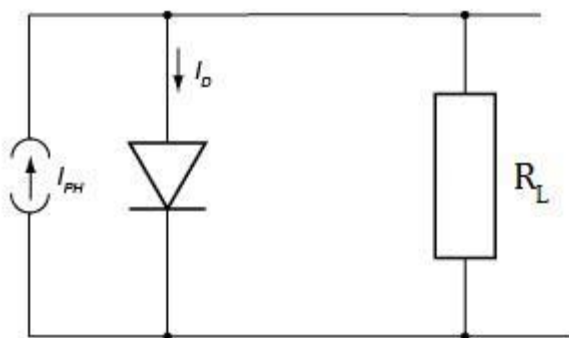


Εικόνα 16: Μεικτή συνδεσμολογία ΦΒ στοιχείων

2.2 Ηλεκτρικά Χαρακτηριστικά Φωτοβολταϊκού Στοιχείου

2.2.1 Ισοδύναμο Ηλεκτρικό Κύκλωμα Φωτοβολταϊκού Στοιχείου και Χαρακτηριστική Εξίσωση

Για να γίνει μια εκτίμηση των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών και της λειτουργίας ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου, μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελεί μια πηγή ρεύματος που ελέγχεται από μία δίοδο και ότι περιγράφεται από το πολύ απλοποιημένο διάγραμμα του Εικόνας 17 παρακάτω. Στο ισοδύναμο αυτό δε συμπεριλαμβάνεται η αντίσταση λόγω της κίνησης των φορέων μέσα στον ημιαγωγό και στις επαφές με τα ηλεκτρόδια, όπως ακόμα και η μη άπειρη αντίσταση διαμέσου της διόδου και τα αναπόφευκτα ρεύματα διαρροής.



Εικόνα 17. Ιδανικό ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα ενός Φ/Β στοιχείου.

Η βασική εξίσωση του ιδανικού ηλιακού κυττάρου είναι η εξής:

$$I = I_0 \left(e^{\frac{qV}{KT}} - 1 \right) - I_L$$

όπου

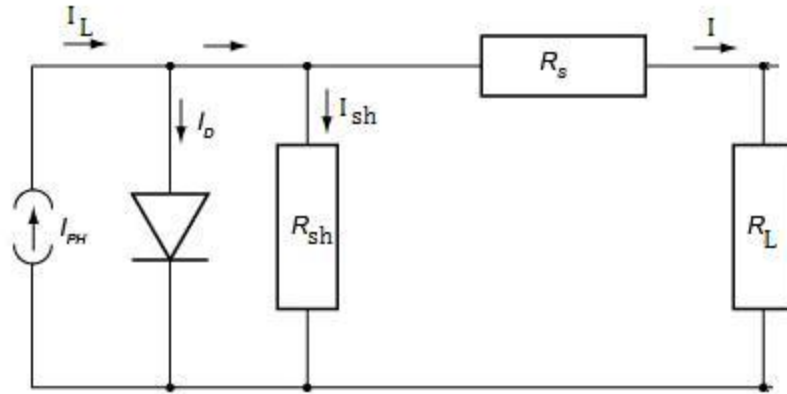
I = το ρεύμα του κυττάρου.

V = η τάση του κυττάρου.

I_L = το φωτόρευμα.

I_0 = το ρεύμα κόρου της

Ωστόσο στην πράξη κανένα ηλιακό κύτταρο δεν είναι ιδανικό γι' αυτό τοποθετείται το μη ιδανικό τμήμα του φωτοβολταϊκού στοιχείου, το οποίο περιλαμβάνει, αφενός την αντίσταση απωλειών διαρροής του ρεύματος μεταξύ των άκρων του φωτοβολταϊκού στοιχείου, που είναι παράλληλα συνδεδεμένη στα άκρα της διόδου, αφετέρου την αντίσταση απωλειών στο δρόμο ροής του ρεύματος της διόδου, που αντιπροσωπεύεται από αντίσταση συνδεδεμένη σε σειρά με τη δίοδο.



Εικόνα 18: Το ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα ενός Φ/Β στοιχείου που περιλαμβάνει τις αντιστάσεις σειράς R_s , καθώς και τις παράλληλες αντιστάσεις R_{sh}

Η χαρακτηριστική εξίσωση για το παραπάνω ηλιακό κύτταρο είναι η εξής:

$$I = I_L - I_0 \left\{ \exp \left[\frac{q(V + IR_s)}{AKT} \right] - 1 \right\} - \frac{V}{R_{sh}}$$

όπου

I = το ρεύμα στην έξοδο του κυττάρου.

I_L = φωτόρευμα.

I_0 = ρεύμα κόρου διόδου.

q = φορτίο ηλεκτρονίου.

V = τάση στην έξοδο του κυττάρου.

R_s = σε σειρά αντίσταση του κυττάρου. Παριστάνει σε συγκεντρωμένη μορφή όλα τα κατανεμημένα στοιχεία αντίστασης κατά τη ροή των φορέων στον κυρίως ημιαγωγό, την επιφανειακή ροή στον ημιαγωγό (συνήθως τύπου-n) που βρίσκεται στην πλευρά που προσπίπτει το φως και αποτελείται από πολύ

λεπτό στρώμα, την ενδοεπιφάνεια μεταξύ ημιαγωγού-ωμικής επαφής και την ωμική επαφή. Τυπικές τιμές της R_s , για καλής ποιότητας Φ/Β στοιχεία: 0,1 Ω έως 0,3 Ω.

$V + IR_s = V_D$ = τάση της διόδου επαφής μέσα στο κύτταρο.

A = σταθερά με τιμές 1 και 2. Οφείλεται σε φαινόμενα επανασύνδεσης που συμβαίνουν στην περιοχή της επαφής.

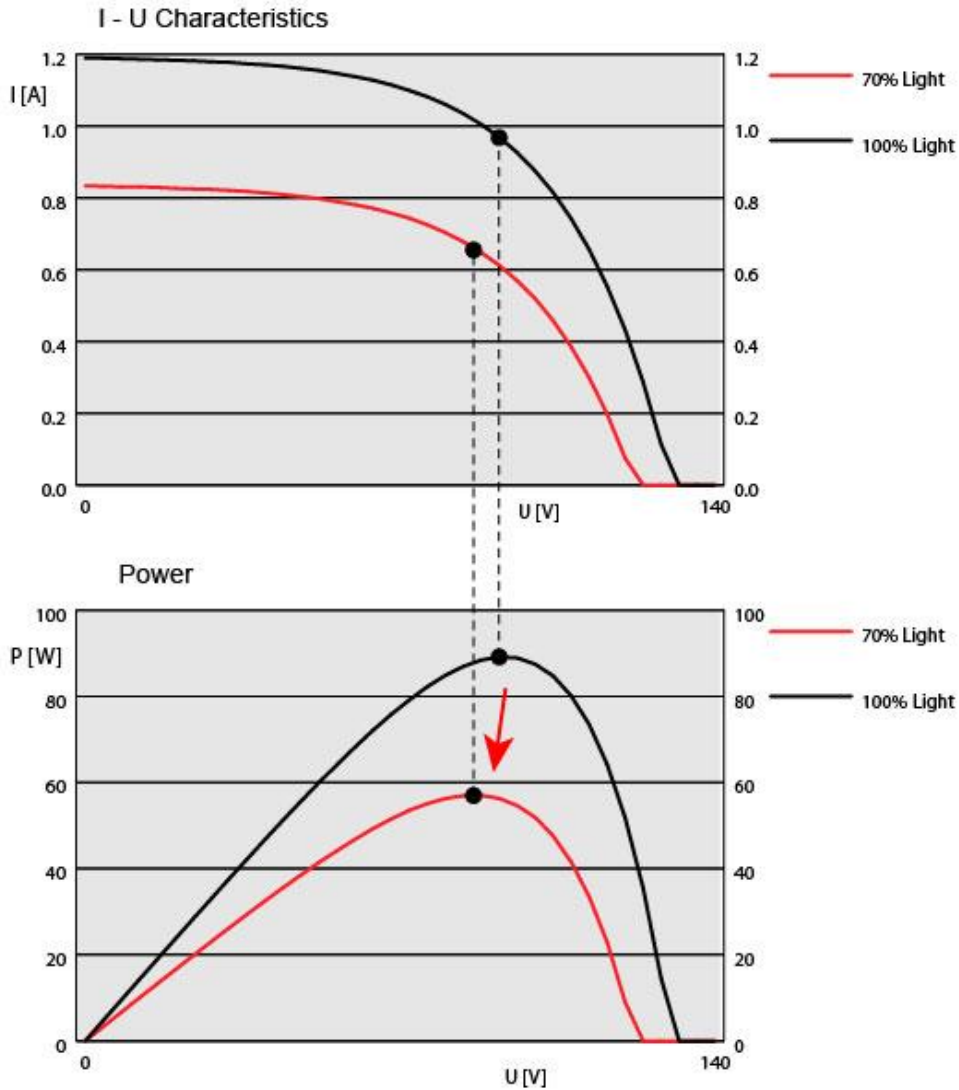
K = Σταθερά Boltzmann.

T = απόλυτη θερμοκρασία.

R_{sh} = παράλληλη αντίσταση του κυττάρου. Σχετίζεται με τη διαρροή του ρεύματος μεταξύ των άκρων της επαφής p-n. Αφορά διαδρομές ρεύματος διαρροής στο εσωτερικό της επαφής p-n, μεταξύ σημείων που βρίσκονται σε διαφορά δυναμικού ίση με την τάση στα άκρα της διόδου. Η τιμή της R_{sh} σε πολύ καλής απόδοσης Φ/Β στοιχεία είναι μεγαλύτερη των 10³ Ω.

2.2.2 I-V Χαρακτηριστική Φωτοβολταϊκού Στοιχείου

Ως πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας το Φ/Β στοιχείο έχει μια αρκετά ασυνήθιστη συμπεριφορά. Δηλαδή σε αντίθεση με τις περισσότερες κοινές ηλεκτρικές πηγές οι οποίες διατηρούν περίπου σταθερή τάση στην περιοχή κανονικής λειτουργίας, η τάση των φωτοβολταϊκών στοιχείων μεταβάλλεται ριζικά και μη γραμμικά συναρτήσει της έντασης του ρεύματος που δίνουν στο κύκλωμα, έστω και αν η ακτινοβολία παραμένει σταθερή. Η γραφική παράσταση μεταξύ ρεύματος στην έξοδο (I) και τάσεως στην έξοδο (V) ενός ηλιακού κυττάρου καλείται $I - V$ χαρακτηριστική και έχει επικρατήσει να παριστάνεται στο πρώτο τεταρτημόριο.



Εικόνα 19 . Καμπύλες I -V και P -V φωτοβολταϊκού στοιχείου Si για σταθερές συνθήκες ακτινοβολίας και θερμοκρασίας.

Για σταθερές συνθήκες ακτινοβολίας (και θερμοκρασίας) και για μεταβαλλόμενες τιμές στην αντίσταση του κυκλώματος που τροφοδοτεί το ηλιακό κύτταρο, η τάση και η ένταση του ρεύματος του κυττάρου παίρνουν ενδιάμεσες τιμές ανάμεσα στις ακραίες που αντιστοιχούν σε μηδενική αντίσταση (βραχυκυκλωμένη κατάσταση με μέγιστη τιμή ρεύματος, $sc I$ και μηδενική τάση) και άπειρη αντίσταση (ανοιχτοκυκλωμένη κατάσταση με μηδενική τιμή ρεύματος και μέγιστη τιμή τάσης, $oc V$). Συνεπώς οι βασικές παράμετροι που χαρακτηρίζουν την καμπύλη είναι:

2.2.3 Το ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{sc}

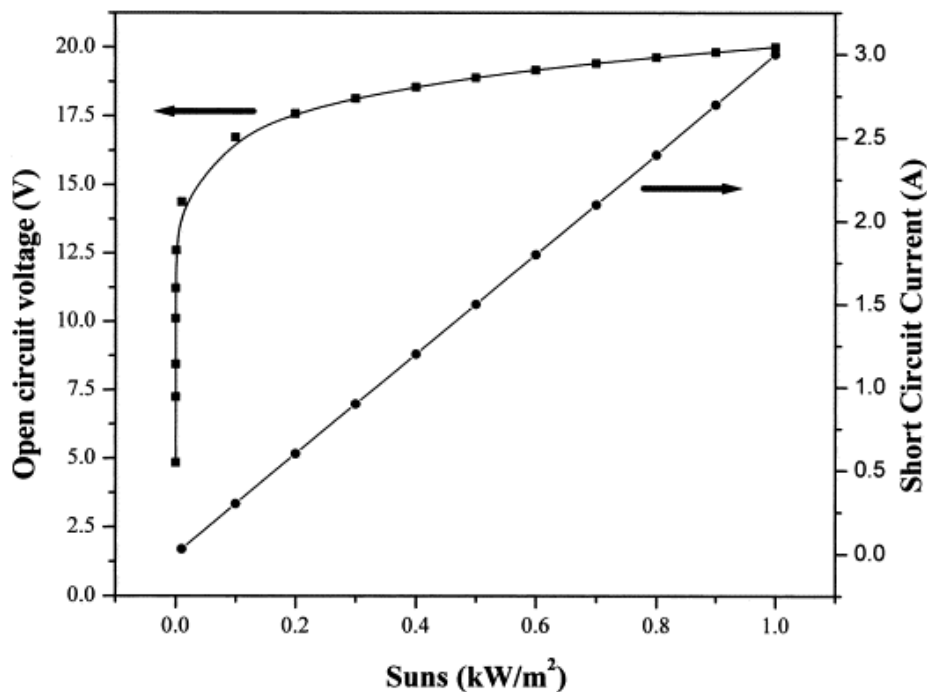
Είναι το ρεύμα για $V=0$ και αν θεωρήσουμε την R_s πολύ μικρή είναι ίσο με το φωτόρευμα I_L .

2.2.4 Η τάση ανοικτού κυκλώματος V_{oc}

Είναι η τάση για $I=0$ και αν θεωρήσουμε την R_{sh} πολύ μεγάλη τότε από την εξίσωση (3.4) προκύπτει:

$$V_{oc} = \frac{AKT}{q} \ln\left(\frac{I_L}{I_0} + 1\right)$$

Η τάση ανοικτού κυκλώματος V_{oc} καθορίζεται, αφενός από τα χαρακτηριστικά της επαφής p-n, όπως το βασικό υλικό, τη συγκέντρωση των προσμείξεων και τη θερμοκρασία και αφετέρου από την ένταση της προσπίπτουσας ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.



Εικόνα 20. Η μεταβολή της ανοιχτοκυκλωμένης τάσης V_{oc} και της βραχυκυκλωμένης έντασης I_{sc} του ρεύματος ενός Φ/B στοιχείου πυριτίου σε συνάρτηση με την ισχύ της ακτινοβολίας H που δέχεται ανά μονάδα επιφάνειάς του.

Από την παραπάνω εικόνα παρατηρούμε ότι:

- Το ρεύμα βραχυκύκλωσης, I_{sc} , του Φ/Β στοιχείου είναι ανάλογο της πυκνότητας ισχύος, H , της ακτινοβολίας που προσπίπτει στην κυψελίδα.
- Η τάση ανοικτού κυκλώματος αρχικά αυξάνει, σχετικά απότομα, ως συνάρτηση της πυκνότητας ισχύος, H , της ακτινοβολίας που προσπίπτει στην κυψελίδα παραμένοντας στη συνέχεια, σχεδόν ανεξάρτητη της H . Δηλαδή, με το πρώτο φως της ημέρας, η τάση ανοικτού κυκλώματος παίρνει τιμή που μεταβάλλεται αργά (ποσοστιαία μεταβολή), μέσα στο υπόλοιπο χρονικό διάστημα μιας αίθριας ημέρας, σχεδόν μέχρι τη δύση.

2.2.5 Σημείο μέγιστης ισχύος P_m

Στο σημείο αυτό αντιστοιχεί ρεύμα I_m και τάση V_m και βρίσκεται στο σημείο από το οποίο μπορούμε να κατασκευάσουμε το ορθογώνιο με την μεγαλύτερη επιφάνεια μέσα στη $I-V$ καμπύλη. Μια ευθεία που διέρχεται από την αρχή των αξόνων και το σημείο m P παριστάνει τη βέλτιστη αντίσταση φορτίου R_{Lopt} , που έχει κλίση $1/R_{Lopt}=I_m/V_m$. Επίσης, η $I-V$ χαρακτηριστική είναι εφαπτόμενη σε κάποια καμπύλη σταθερής ισχύος στο σημείο μέγιστης ισχύος, όπου $dP/dV=0$ και επειδή το σημείο επαφής δε μπορεί να καθορισθεί επακριβώς για καμπύλες που κατασκευάζονται με βάση πειραματικά δεδομένα είναι δυνατόν να κατασκευαστεί μια $P-V$ καμπύλη και να εντοπιστεί το μέγιστο αυτής.

2.2.6 Ο συντελεστής πλήρωσης ff (Fill Factor)

Ο συντελεστής ποιότητας (παράγοντας πληρότητας ή πλήρωσης) ff (fill factor) είναι ο λόγος της μέγιστης ηλεκτρικής ισχύος $P_m = V_m I_m$ ενός Φ/Β στοιχείου ή Φ/Β πλαισίου γενικότερα, προς το γινόμενο της τάσεως ανοικτού κυκλώματος V_{oc} επί το ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{sc} , αντίστοιχα, για τη δεδομένη πυκνότητα ισχύος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας και είναι ένα μέτρο του πόσο “τετράγωνη” είναι η $I-V$ καμπύλη.

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

Είναι ουσιαστικά συνάρτηση μόνο της τάσεως ανοικτού κυκλώματος V_{oc} επειδή εξαρτάται κυρίως απ' αυτήν. Αν ορίσουμε μια κανονικοποιημένη τάση

$$V_{oc} = \frac{V_{oc}}{AKT/q}$$

η ιδανική (μέγιστη) τιμή του δίνεται από τον εμπειρικό τύπο:

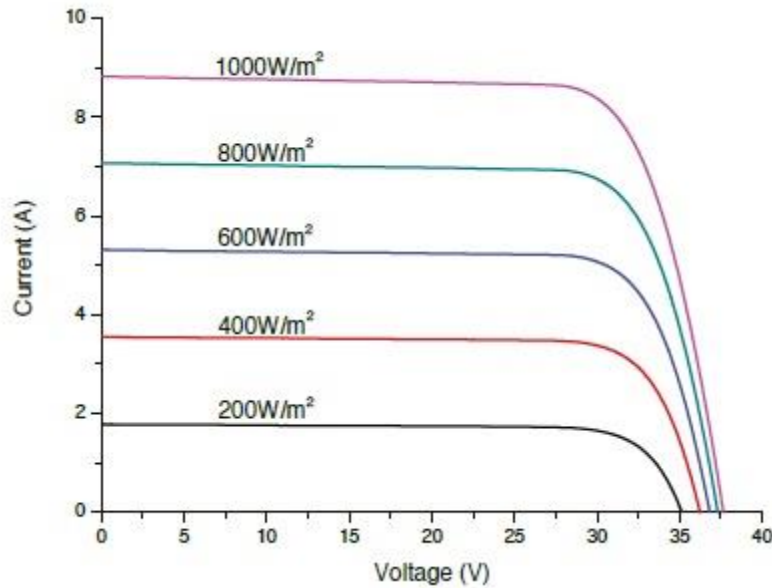
$$ff_o = \frac{V_{oc} - \ln(V_{oc} + 0.72)}{V_{oc} + 1} \text{ για } V_{oc} > 10$$

Οι τιμές του, που καθορίζονται από το υλικό του φωτοβολταϊκού στοιχείου και τις συνθήκες, είναι μεταξύ 0 και 1 και πιο συγκεκριμένα τυπικές τιμές του είναι μεταξύ 0,7 και 0,85. Όσο πιο κοντά στη μονάδα είναι οι τιμές του ff , τόσο περισσότερο η λειτουργία του Φ/Β στοιχείου πλησιάζει την ιδανική συμπεριφορά της πηγής σταθερού ρεύματος στην περιοχή τάσεων 0- V_{oc} . Σ' αυτές τις περιπτώσεις η διάταξη χαρακτηρίζεται αφενός από μικρή ισοδύναμη αντίσταση σε σειρά, αφετέρου από μεγάλη τιμή παράλληλης αντίστασης. Τυπικές τιμές 0,7 με 0,9 χαρακτηρίζουν Φ/Β στοιχεία με αποδεκτή έως πολύ καλή ενεργειακή απόδοση αντίστοιχα.

Έχοντας δει τη μεταβολή της τάσης ανοικτού κυκλώματος V_{oc} και του ρεύματος βραχυκυκλώσεως I_{sc} συναρτήσει της ακτινοβολίας, μπορούμε να δούμε πως μεταβάλλεται και η $I - V$ χαρακτηριστική του κυττάρου όταν μεταβάλλεται η ένταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας, διατηρώντας σταθερή τη θερμοκρασία του καθώς και ποιες μεταβολές στις παραμέτρους της $I - V$ χαρακτηριστικής θα προκληθούν με μεταβολή της θερμοκρασίας.

2.2.7 Μεταβολή της έντασης της ακτινοβολίας

Όταν μεταβάλλεται η ένταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας (διατηρώντας σταθερή τη θερμοκρασία του κυττάρου και τη φασματική κατανομή της ακτινοβολίας), μεταβάλλεται και η $I - V$ χαρακτηριστική του κυττάρου και μάλιστα η απόκριση είναι πολύ γρήγορη (σταθερά χρόνου της τάξεως των μsec). Για τους περισσότερους τύπους ηλιακών κυττάρων που έχουν σχεδιασθεί για λειτουργία σε ένταση ακτινοβολίας μιας περίπου ηλιακής σταθεράς, η μορφή της $I - V$ καμπύλης δε μεταβάλλεται ουσιαστικά με την ένταση στην περιοχή 0,5-2 ηλιακές σταθερές, το ρεύμα I_{sc} πρακτικά μεταβάλλεται αναλογικά με την ένταση, η τάση V_{oc} μεταβάλλεται λιγότερο (λογαριθμική εξάρτηση).



Εικόνα 21: Χαρακτηριστικές $I - V$ για διάφορες τιμές της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Η θερμοκρασία λειτουργίας πλαισίου παραμένει σταθερή στους $25^{\circ} C$. Με τη μείωση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας παρατηρείται σημαντική μείωση του ρεύματος βραχυκύκλωσης και της παραγόμενης ισχύος στο MPP. Αντίθετα η τάση ανοιχτοκύκλωσης μετατοπίζεται ελαφρά.

2.2.8 Μεταβολή της θερμοκρασίας

Όταν μεταβάλλεται η θερμοκρασία του κυττάρου προκαλούνται οι παρακάτω μεταβολές στις παραμέτρους της $I - V$ χαρακτηριστικής. Με αύξηση της θερμοκρασίας λειτουργίας του κυττάρου:

- Το ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{sc} αυξάνεται ελαφρά (εξαρτάται βέβαια και από την ένταση της ακτινοβολίας και οφείλεται σε μεταβολή της δυνατότητας συλλογής των φορέων, αφού και το ενεργειακό χάσμα μειώνεται με αύξηση της θερμοκρασίας). Τυπικές τιμές:

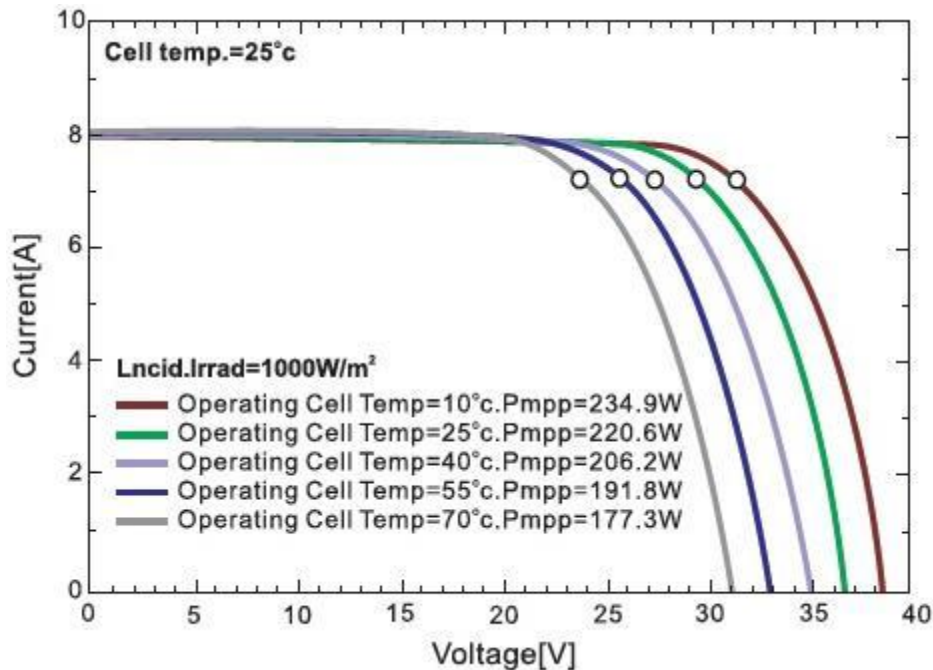
$$\frac{dI_{sc}}{dT} = 0.01mA \cdot cm^{-2} / ^{\circ}C \text{ ή } 0.1\% / ^{\circ}C$$

- Η τάση ανοικτού κυκλώματος V_{oc} μειώνεται (οφείλεται σε μεταβολή των χαρακτηριστικών αγωγής της διόδου). Τυπικές τιμές:

$$\frac{dV_{oc}}{dT} = -2.2mV / ^{\circ}C \text{ ή } -0.4\% / ^{\circ}C$$

- Η ισχύς P_m (P_{mpp} ή P_{max}) μειώνεται, ενώ μεταβάλλεται και η μορφή της καμπύλης (το σημείο μέγιστης ισχύος της καμπύλης γίνεται πιο στρογγυλεμένο με αύξηση της θερμοκρασίας). Τυπικές τιμές:

$$\frac{dP_m}{dT} = -0.4 \text{ έως } -0.5\% / ^\circ C$$



Εικόνα 22: Χαρακτηριστικές $I - V$ για διάφορες τιμές της θερμοκρασίας λειτουργίας των κυττάρων του πλαισίου. Η τιμή της προσπίπτουσας ολικής ακτινοβολίας παραμένει σταθερή στα 1000 W/m^2 . Με την αύξηση της θερμοκρασίας λειτουργίας των κυττάρων του πλαισίου παρατηρείται μετατόπιση του MPP που αντιστοιχεί σε μείωση της παραγόμενης ισχύος. Το ρεύμα βραχυκύκλωσης αυξάνεται ελαφρά. Η τάση V_{oc} μειώνεται περισσότερο αισθητά κάτι που οφείλεται στην μεταβολή των χαρακτηριστικών αγωγής της διόδου.

Ο βαθμός απόδοσης

Ο βαθμός απόδοσης του ηλιακού κυττάρου δίνεται από τη σχέση:

$$\eta = \frac{V_{oc} I_m}{P_{in}} = \frac{V_{oc} I_{sc} ff}{P_{in}}$$

όπου

P_{in} είναι η ολική ισχύς της προσπίπτουσας στο κύτταρο ακτινοβολίας.

Ο βαθμός απόδοσης των ηλιακών κυττάρων του εμπορίου βρίσκεται στην περιοχή 12 μέχρι 14%, ενώ σε πειραματικά μοντέλα έχουν επιτευχθεί μεγαλύτερες τιμές. Ο θεωρητικά μέγιστος δυνατός βαθμός απόδοσης, με βάση τη σχέση, εξαρτάται από τις μέγιστες τιμές των I_{sc} , V_{oc} και ff , κυρίως όμως από τα δύο πρώτα, διότι όπως έχει αναφερθεί η μέγιστη τιμή του ff είναι συνάρτηση του V_{oc} . Έτσι προκύπτει για το πυρίτιο η μέγιστη τιμή της V_{oc} περίπου 100 mV. Η αντίστοιχη μέγιστη τιμή του ff είναι 0,84 οπότε μπορεί να υπολογιστεί η μέγιστη τιμή του βαθμού απόδοσης. Μια λογική εκτίμηση της ελάχιστης τιμής του I_0 που προκύπτει συναρτήσει του ενεργειακού χάσματος είναι:

$$I_0 = 1.5 \cdot 10^5 \cdot \exp\left(-\frac{E_g}{KT}\right)$$

Αυτή η σχέση δείχνει ότι η μέγιστη τιμή του V_{oc} ελαττώνεται, όταν ελαττώνεται το ενεργειακό χάσμα, τάση που είναι αντίθετα από εκείνη που ισχύει για το I_{sc} . Κατά συνέπεια θα υπάρχει μια βέλτιστη τιμή του ενεργειακού χάσματος που θα δίνει το μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης, όπου η μέγιστη απόδοση συμβαίνει για ενεργειακό χάσμα στην περιοχή (1,4-1,6 eV). Το ενεργειακό χάσμα του πυριτίου (1,1 eV) είναι μικρότερο από το βέλτιστο αλλά η θεωρητικά μέγιστη απόδοση είναι ακόμα πολύ υψηλή, ενώ το GaAs έχει ένα σχεδόν βέλτιστο ενεργειακό χάσμα (1,4 eV).

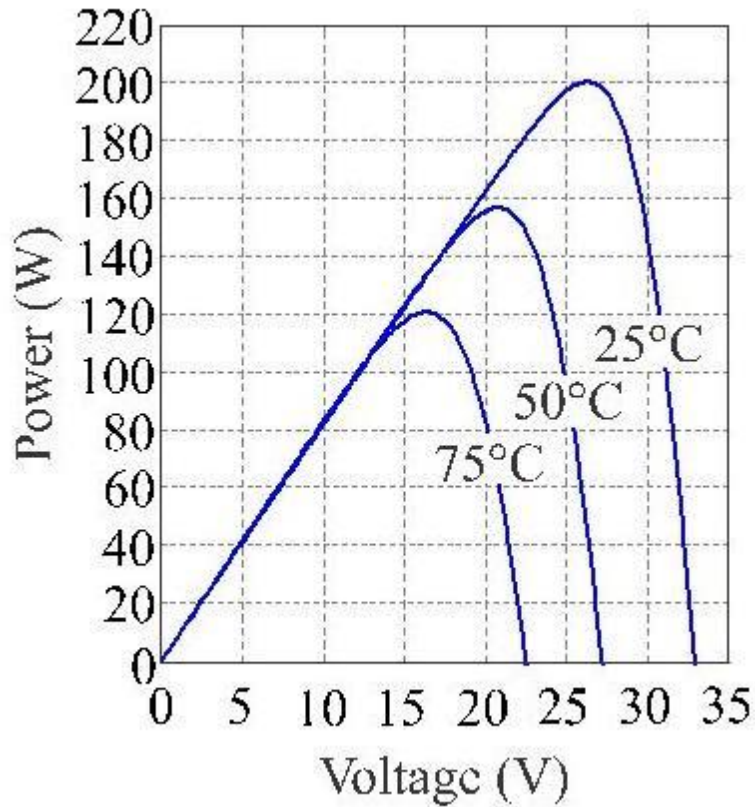
2.2.9 Παράγοντες που επηρεάζουν αρνητικά το βαθμό απόδοσης

Οι παράγοντες που είναι υπεύθυνοι για τη σχετικά χαμηλή τιμή, τόσο θεωρητική όσο και πρακτική, του βαθμού απόδοσης είναι:

- Ανάκλαση: Μη επεξεργασμένη επιφάνεια πυριτίου ανακλά ένα ποσοστό της προσπίπτουσας ακτινοβολίας της τάξεως του 30%. Επεξεργασία της επιφάνειας με χημικά μέσα και/ή επίστρωση με

αντιανακλαστικά υλικά περιορίζει δραστικά τις ανακλάσεις μέχρι την τάξη του 3%.

- Σκίαση από τις επαφές: Η ανάγκη της κατασκευής ηλεκτροδίων τόσο στην επιφάνεια του υλικού τύπου-p όσο και του υλικού τύπου-n συνεπάγεται τη δημιουργία ενός μεταλλικού πλέγματος επαφών στην επιφάνεια του κυττάρου που εκτίθεται στο ηλιακό φως. Αυτό συμβαίνει επειδή η αντίσταση στην επιφανειακή κίνηση των φορέων στο πάνω επιφανειακό στρώμα του κυττάρου είναι μεγάλη και πρέπει να υπάρχουν πολλά σημεία απαγωγής των φορέων (ηλεκτρικές επαφές) με σκοπό να ελαχιστοποιηθούν τα ωμικά φαινόμενα. Το αποτέλεσμα για τα ηλεκτρόδια είναι μια γεωμετρία μεταλλικού πλέγματος στην πάνω επιφάνεια του κυττάρου, που έχει σαν συνέπεια ένα ποσοστό 5-15% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας να εκτρέπεται.
- Ατελής εκμετάλλευση της ενέργειας των φωτονίων: Όπως είναι γνωστό η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στο έδαφος έχει διαφορετικές εντάσεις σε ένα ευρύ φάσμα μηκών κύματος. Δηλαδή στον κρύσταλλο, προσπίπτουν φωτόνια που καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα τιμών ενέργειας τα οποία είναι δυνατόν ή να διαπεράσουν το κύτταρο, ή να απορροφηθούν παράγοντας μόνο θερμότητα υπό μορφή ταλαντώσεων των ατόμων, ή να δημιουργήσουν ζεύγος ηλεκτρονίων-οπών, ή να δημιουργήσουν ζεύγος ηλεκτρονίων-οπών και η επιπλέον ενέργεια τους να μετατραπεί σε θερμότητα. Αυτός ο παράγοντας με τους τέσσερις μηχανισμούς του και μόνο περιορίζει τη μέγιστη δυνατή απόδοση στο 44%.
- Επανασύνδεση: Αυτή μπορεί να συμβεί με διάφορους μηχανισμούς στον κυρίως όγκο του ημιαγωγού στις επιφάνειες και στις ατέλειες του υλικού.
- Αντίσταση: Μη ικανοποιητικές τιμές τόσο της εν σειρά αντίστασης R_s όσο και της παράλληλης R_{sh} τείνουν να ελαττώσουν το συντελεστή ff , ενώ σε ακραίες περιπτώσεις ακόμη και τα I_{sc} , V_{oc} με τελική συνέπεια τη μείωση της απόδοσης.
- Θερμοκρασία: Οι φυσικοί μηχανισμοί που καθορίζουν τη σχέση μεταξύ θερμοκρασίας και βαθμού απόδοσης είναι αρκετά πολύπλοκοι. Πάντως τόσο οι αρκετά υψηλές και οι αρκετά χαμηλές θερμοκρασίες τείνουν να μειώσουν σημαντικά το βαθμό απόδοσης
- Γήρανση: Προσδιορίζει την ελάττωση της απόδοσης του φωτοβολταϊκού πλαισίου, άρα και της ισχύος αιχμής του, λόγω γενικότερης αλλοίωσης του φωτοβολταϊκού κυττάρου ως ενσωματωμένου τμήματος του Φ/Β πλαισίου. Οι αιτίες της γήρανσης είναι πολλές όπως αποχρωματισμός των κυττάρων, ράγισμα του γυαλιού κάλυψης, διαχωρισμός του ειδικού πλαστικού μόνωσης από την υγρασία της πίσω πλευράς, και κακή λειτουργία των καλωδιώσεων και του κιβωτίου συνδέσεων. Μετρήσεις μακράς διάρκειας σε πλαίσια κρυσταλλικού πυριτίου δίδουν μείωση της αποδοτικότητάς του κάτω από πρότυπες συνθήκες ~ 1% κατ' έτος χρήσης (ρυθμός γήρανσης).



Εικόνα 23 Όπως αναμενόταν η μέγιστη απόδοση του πλαισίου μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας λειτουργίας για τις ίδιες συνθήκες ακτινοβολίας.

2.2.10 Η Απόδοση του Φωτοβολταϊκού Πλαισίου

Το κάθε Φ/Β πλαίσιο παρουσιάζει τα δικά του ηλεκτρικά χαρακτηριστικά (απόδοση, τάση, ισχύ κλπ), που προφανώς διαμορφώνονται από τα αντίστοιχα μεγέθη των χωριστών ηλιακών στοιχείων που περιέχει. Επομένως, όμοια με την σχέση που ορίζει το συντελεστή πλήρωσης, ο συντελεστής απόδοσης του Φ/Β πλαισίου (n_{π}) εκφράζει το 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 . Προφανώς, την ίδια τιμή θα έχει και ο λόγος της μέγιστης ηλεκτρικής ενέργειας E που παράγει το Φ/Β πλαίσιο επί ένα ορισμένο χρονικό διάστημα, προς την ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται επί το ίδιο χρονικό διάστημα. Δηλαδή:

$$n_{\pi} = \frac{P_{\pi}}{H \cdot S} \left[\frac{W}{(W / m^2) \cdot m^2} \right]$$

$$n_{\pi} = \frac{E}{\Pi \cdot S} \left[\frac{kW}{(kW / m^2) \cdot m^2} \right]$$

όπου

Π είναι η πυκνότητα της ηλιακής ενέργειας που πέφτει στην επιφάνεια του Φ/B πλαισίου.

Η τιμή του n_{π} είναι φανερό ότι εξαρτάται όχι μόνο από τη μέση απόδοση των ηλιακών στοιχείων (n), αλλά 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 την συνολική επιφάνεια του

Φ/B πλαισίου. Βρίσκουμε εύκολα ότι θα ισχύει η σχέση: $n_{\pi} = n \cdot \sigma_{\kappa}$

Η τιμή του σ_{κ} εξαρτάται κυρίως από 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 (πρακτικά μέχρι 0,98) για τα μεγαλύτερου κόστους τετραγωνικά ή εξαγωνικά ηλιακά στοιχεία.

2.2.11 Η Επίδραση της Θερμοκρασίας και της Ρύπανσης

Όπως είδαμε η απόδοση των Φ/B στοιχείων επηρεάζεται σημαντικά από τη θερμοκρασία. Όμως, ο συντελεστής απόδοσης που δίνεται για τα ηλιακά στοιχεία ή για τα Φ/B πλαίσια αντιστοιχεί σε μία συμβατική θερμοκρασία 20 °C, που συχνά, ιδίως στους θερινούς μήνες, διαφέρει αξιόλογα από την πραγματική θερμοκρασία του στοιχείου. Έχει μετρηθεί ότι αφενός και κυρίως λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχονται, αλλά και λόγω των ηλεκτρικών απωλειών που πραγματοποιούνται πάνω τους, στις αντιστάσεις σειράς, τα ηλιακά στοιχεία αποκτούν κατά την λειτουργία τους θερμοκρασία μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία του αέρα του περιβάλλοντος κατά 25 ως 30 °C, ανάλογα και με την ταχύτητα του ανέμου. Ως μέσο όρο στους υπολογισμούς μας παίρνουμε συνήθως αύξηση της θερμοκρασίας κατά 30°C. Για τη διόρθωση του παραπάνω σφάλματος χρησιμοποιείται ένας αδιάστατος συντελεστής σ_{θ} με τον οποίο πολλαπλασιάζουμε τον συντελεστή απόδοση των ηλιακών στοιχείων. Το ίδιο εφαρμόζουμε και για τα Φ/B πλαίσια. Δηλαδή, για θερμοκρασίες διαφορετικές από τη συμβατική, ως συντελεστή απόδοσης των

Φ/B πλαισίων παίρνουμε το γινόμενο: $n_{\pi} \cdot \sigma_{\theta}$

Σε συμβατική θερμοκρασία ο σ_{θ} είναι ίσος με την μονάδα 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 επιφάνειας του από την επικάθιση σκόνης, φύλλων, χιονιού, αλατιού από τη θάλασσα, εντόμων και άλλων ακαθαρσιών. Η μείωση είναι σημαντικότερη σε αστικές και βιομηχανικές περιοχές λόγω της αιθάλης που αιωρείται στην ατμόσφαιρα και προσκολλάται ισχυρά στη γυάλινη ή πλαστική επιφάνεια των Φ/Β πλαισίων χωρίς να μπορεί η βροχή να την ξεπλύνει αρκετά. Στις περιπτώσεις αυτές χρειάζεται να γίνει περιοδικός καθαρισμός της επιφάνειας των Φ/Β πλαισίων με απορρυπαντικό. Πάντως, σε περιοχές σε συχνές χιονοπτώσεις ή ανεμοθύελλες, οι ηλιακοί συλλέκτες τοποθετούνται συνήθως με κλίση 90° για την αποφυγή συσσώρευσης χιονιού ή τουλάχιστον 45° για να μην συγκρατείται η σκόνη. Όταν η Φ/Β γεννήτρια βρίσκεται σε μια περιοχή όπου εκτιμάμε ότι ο βαθμός ρύπανσης είναι σημαντικός, είναι σκόπιμο να προβλέπεται στους υπολογισμούς μας η αντίστοιχη μείωση στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τα Φ/Β πλαίσια, με τη χρησιμοποίηση ενός αδιάστατου συντελεστή καθαρότητας (σ_{ρ}), ο οποίος ορίζεται ως ο λόγος της ηλεκτρικής ισχύος που παράγει το ρυπασμένο Φ/Β πλαίσιο προς την ηλεκτρική ισχύ όταν η επιφάνεια 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 κτλ. Έτσι, όποτε είναι απαραίτητο, ως συντελεστή απόδοσης των Φ/Β πλαισίων για τους υπολογισμούς μας, παίρνουμε το γινόμενο του ενδεικτικού συντελεστή απόδοσης n_{π} , που δίνεται για συμβατική θερμοκρασία και καθαρή επιφάνεια, επί τους συντελεστές διόρθωσης για τη θερμοκρασία σ_{θ} και για τη ρύπανση σ_{ρ} . Δηλαδή, η προηγούμενη σχέση παίρνει τη γενικότερη μορφή:

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

2.2.12 Η Ισχύς Αιχμής του Φωτοβολταϊκού Πλαισίου

Συχνά, δεν είναι διαθέσιμα όλα τα λεπτομερειακά κατασκευαστικά δεδομένα και ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των Φ/Β πλαισίων (διαστάσεις, συντελεστής κάλυψης, συντελεστής απόδοσης των ηλιακών στοιχείων κλπ), αλλά δίνεται μόνο μια ενδεικτική ισχύς αιχμής ($a P$), που αντιστοιχεί στην παραγόμενη μέγιστη ηλεκτρική ισχύ όταν το Φ/Β πλαίσιο δεχτεί ηλιακή ακτινοβολία με πυκνότητα ισχύος 1 ήλιου, δηλαδή 1 kW/m^2 .

Οι μονάδες ισχύος που εκφράζουν την ισχύ αιχμής ενός Φ/Β πλαισίου μιας ολόκληρης Φ/Β εγκατάστασης ή ενός ηλιακού στοιχείου ονομάζονται συχνά Watt αιχμής (W_p , Watt peak) και κιλοβάτ αιχμής (kW_p). Δηλαδή χρησιμοποιείται ο ίδιος όρος και συμβολισμός (άλλωστε ουσιαστικά είναι και

το ίδιο πράγμα) όπως για το μέτρο της επιφάνειας των Φ/Β στοιχείων που γνωρίσαμε προηγουμένως.

Από την σχέση που δίνει την απόδοση n_p είναι φανερό ότι:

$$P_a (kWp) = 1 (kW / m^2) \cdot S (m^2) \cdot n_p$$

Στην περίπτωση λοιπόν, που γνωρίζουμε μόνο την ισχύ αιχμής P_a για τον υπολογισμό της μέσης ημερήσιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας του Φ/Β πλαισίου αντί για την παραπάνω σχέση χρησιμοποιούμε την ισοδύναμη σχέση

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

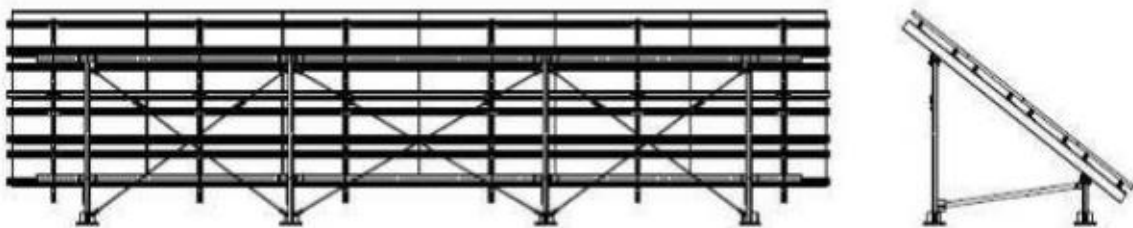
2.3 Τρόποι τοποθέτησης φωτοβολταϊκών πάνελ

Τα φωτοβολταϊκά πάνελ συνήθως εδράζονται επί εδάφους με δύο τρόπους: Σε βάσεις σταθερής κλίσης ως προς την οριζόντιο, συνήθως αναφερόμενες ως «σταθερές βάσεις» και σε βάσεις επί διατάξεων παρακολούθησης της πορείας του ήλιου, αναφερόμενες συνήθως ως συστήματα ιχνηλάτησης της πορείας του ήλιου, ή ηλιοπαρακολουθητές ή τράκερς (trackers).

2.3.1 Σταθερές βάσεις

Οι σταθερές βάσεις αποτελούν τον απλούστερο και οικονομικότερο τρόπο έδρασης φωτοβολταϊκών πάνελ. Η αρχή σχεδιασμού τους είναι απλή: οι ακτίνες του ήλιου θα πρέπει να προσπίπτουν κάθετα στην επιφάνεια των πάνελ κατά το μεσημέρι. Έτσι οι βάσεις κατασκευάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτρέπουν την τοποθέτηση των πάνελ σε σταθερή κλίση, περί τις 30 μοίρες. Η κλίση αυτή θεωρείται ως μία ικανοποιητική μέση τιμή για τα Ελληνικά δεδομένα. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι η ιδανική κλίση είναι αρκετά μικρότερη κατά τους καλοκαιρινούς μήνες και αρκετά μεγαλύτερη κατά τους χειμερινούς μήνες. Οι σταθερές βάσεις κατασκευάζονται συνήθως από αλουμίνιο ή ανοξείδωτο χάλυβα (χάλυβα γαλβανισμένο εν θερμώ). Συνήθως κατασκευάζονται μετά από τεχνική μελέτη ώστε να διαπιστωθεί η στατική τους επάρκεια και η αντοχή τους σε ανεμοπιέσεις ή φορτία χιονιού. Οι βάσεις τοποθετούνται επί του εδάφους είτε με σκυροδέτηση είτε απευθείας με εδαφόμεληξη. Η σκυροδέτηση των βάσεων γίνεται συνήθως σε δοκάρι (δηλαδή σε όλη τη σειρά των βάσεων) από οπλισμένο σκυρόδεμα, είτε σε πέλαμα από σκυρόδεμα, τοποθετημένα

κατάλληλα ώστε να επιτρέπουν το βίδωμα των υποδοχών των βάσεων. Η εδαφόμψη γίνεται συνήθως σε βάθη τυπικά του 0,5-1,5 μέτρα, όπου τοποθετούνται πάσσαλοι, επί των οποίων στη συνέχεια εδράζεται η βάση. Η σκυροδέτηση των βάσεων αυξάνει το κόστος εγκατάστασης σε σχέση με την απλή εδαφόμψη. Ωστόσο, συστήνεται να διενεργείται αυτοψία και γεωτεχνική μελέτη για να διαπιστωθεί κατά πόσο ο τύπος του εδάφους επιτρέπει την εδαφόμψη χωρίς να δημιουργούνται θέματα στατικής επάρκειας των βάσεων. Επιπλέον, ο μελετητής μηχανικός θα πρέπει να είναι προσεκτικός στη χρήση παρελκόμενων υλικών όπως βίδες ή σύνδεσμοι φωτοβολταϊκών πάνελ, καθώς θα πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα για την αποφυγή οξειδώσεων ή ηλεκτρόλυσης. Θα πρέπει επίσης να λαμβάνεται μέριμνα για τη δυνατότητα όδευσης καλωδίων καθώς και για τη στήριξη πινάκων ή αντιστροφών, σε περίπτωση που τεχνικά διαπιστωθεί ότι αυτή είναι η βέλτιστη λύση. Οι σταθερές βάσεις αποτελούνται συνήθως από τεμάχια τα οποία συναρμολογούνται επί το έργο. Κάθε τεμάχιο χαρακτηρίζεται από τη μέγιστη επιφάνεια τοποθέτησης, η οποία συνήθως υπολογίζεται λαμβάνοντας κάποιες μέσες τιμές διαστάσεων πάνελ (τυπικά 1,6 χ 1 μέτρο για κρυσταλλικά πάνελ). Τα πάνελ μπορούν να τοποθετηθούν ανά απλή (μονή) σειρά ή (συνηθέστερα) σε διπλή σειρά ή ακόμη και σε τριπλή ή τετραπλή σειρά. Επίσης είναι δυνατή η τοποθέτηση τους είτε κατά τη μικρή - - 30 διάσταση (portrait) είτε κατά τη μεγάλη διάσταση (landscape). Η ακριβής χωροθέτηση εξαρτάται από τη μορφολογία του διαθέσιμου χώρου εγκατάστασης και τις διαστάσεις αυτού. Οι επόμενες φωτογραφίες παρουσιάζουν ενδεικτικά κάποιες σταθερές βάσεις.



Εικόνα 24:Τυπική σταθερή βάση στήριξης



Εικόνα 25:Σκυροδέτηση σταθερών βάσεων σε δοκάρια από μπετόν



Εικόνα 26: Σκυροδέτηση σταθερών βάσεων σε πέλμα από μπετόν

2.3.2 Συστήματα ιχνηλάτησης της πορείας του ηλίου

Η ιχνηλάτηση της πορείας του ήλιου αποτελεί μία τεχνική η οποία στοχεύει στην μεγιστοποίηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας μέσω της προσπάθειας κίνησης των βάσεων των πάνελ κατά τη διάρκεια της ημέρας ώστε να επιτυγχάνεται συνεχώς η κάθετη πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας. Τα συστήματα ιχνηλάτησης της πορείας του ήλιου, ή ηλιοπαρακολουθητές ή τράκερ (tracker) χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη πολυπλοκότητα σε σχέση με τα συστήματα βάσεων, παρέχοντας ωστόσο αυξημένες αποδόσεις, κατά μέσο όρο της τάξης του 30%. Χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες:

- Συστήματα μονού άξονα (single axis): πρόκειται για συστήματα στα οποία λαμβάνει χώρα κίνηση των πάνελ σε έναν άξονα, αυτόν της Ανατολής-Δύσης κατά τη διάρκεια μίας μέρας. Τυπικά, τα συστήματα αυτά επιτυγχάνουν αύξηση της παραγωγής κατά 20-25% σε σχέση με τα συστήματα σταθερών βάσεων.



Εικόνα 27: Σύστημα μονού άξονα

- Συστήματα διπλού άξονα (dual axis): πρόκειται για συστήματα στα οποία είναι επιπλέον δυνατή η ρύθμιση της κλίσης των πάνελ ως προς την οριζόντιο. Η επιπλέον αυτή δυνατότητα παρέχει αυξημένη απόδοση κατά τυπικά 25-40% σε σχέση με τα συστήματα σταθερών βάσεων. Η κίνηση στα συστήματα αυτά επιτυγχάνεται με συνήθως με ήλεκτρο- μηχανικά ή ήλεκτρο-υδραυλικά μέσα.



Εικόνα 28: Σύστημα μονού άξονα

Κατά συνέπεια, όλα τα συστήματα ιχνηλάτησης χαρακτηρίζονται από ιδιοκαταναλώσεις, οι οποίες είναι μικρές καθώς η κίνηση δεν είναι συνεχής αλλά περιοδική, τυπικά μία κίνηση ανά 10 λεπτά. Ωστόσο, είναι σκόπιμο η ενέργεια αυτή να προέρχεται από το δίκτυο της ΔΕΗ και όχι από τα φωτοβολταϊκά πάνελ λόγω της διαφοράς τιμής. Η ανίχνευση της πορείας του ήλιου γίνεται συνήθως με δύο τρόπους: ο πρώτος τρόπος είναι με ηλιακούς αισθητήρες, οι οποίοι αντιλαμβάνονται τη θέση του ήλιου. Ο δεύτερος τρόπος είναι μέσω λογισμικού, από αστρονομικά δεδομένα, βάσει των οποίων υπολογίζεται η θέση και πορεία του ήλιου για κάθε μέρα του έτους, ανάλογα με τις γεωγραφικές συντεταγμένες της περιοχής. Λόγω της ανάγκης κίνησης σημαντικού αριθμού πάνελ, τα συστήματα ιχνηλάτησης χαρακτηρίζονται από επίπεδες επιφάνειες τοποθετημένες σε μία κάθετη ως προς το έδαφος βάση στήριξης. Στη βάση στήριξης τοποθετείται συνήθως και ο αντιστροφέας (inverter) ή αν αυτό δεν είναι δυνατόν, γίνεται η αναχώρηση καλωδίων προς ένα κεντρικό σημείο συλλογής όπου βρίσκονται και οι αντιστροφείς. Το γεγονός αυτό οδηγεί σε κατασκευές σημαντικού ύψους το οποίο κυμαίνεται από 2,5 έως 10-12 μέτρα, αναλόγως της κατασκευής. Το ύψος της κατασκευής συνήθως αυξάνει με την αύξηση της επιφάνειας των πάνελ. Σήμερα συστήματα ιχνηλάτησης κατασκευάζονται για να φέρουν ισχύ πάνελ που κυμαίνεται από 2-3kWp έως περίπου 33kWp. Το σημαντικό μέγεθος της κατασκευής καθιστά πολυπλοκότερη και την έδραση. Συνήθως οι βάσεις στήριξης εδράζονται σε οπλισμένο σκυρόδεμα

σημαντικού όγκου (από 2-3 έως και περίπου 20-30 κυβ. μέτρα) ώστε να εξασφαλίζεται η στατική τους επάρκεια. Επιπλέον, αυξάνονται τα κόστη εγκατάστασης σε σχέση με τα συστήματα σταθερών βάσεων. Το σημαντικό μέγεθος των συστημάτων αυτών (και κυρίως το ύψος τους) αυξάνει τις απαιτήσεις χώρου σε σχέση με ένα σύστημα σταθερών βάσεων, συνήθως κατά 1,5-2 φορές, λόγω των μεγαλύτερων αποστάσεων μεταξύ τους για την αποφυγή σκιάσεων. Επιπλέον, το μέγεθος των τράκερ τους καθιστά περισσότερο ευάλωτους (σε σχέση με συστήματα σταθερών βάσεων) σε ανεμοπιέσεις. Η συνηθέστερη τεχνική που χρησιμοποιείται είναι να χρησιμοποιείται ένα ανεμόμετρο και όταν η ταχύτητα του ανέμου ξεπεράσει ένα όριο για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, το σύστημα κίνησης να λαμβάνει εντολή να θέτει την επιφάνεια των πάνελ σχεδόν παράλληλα με το έδαφος, μια διαδικασία γνωστή ως «οριζοντίωση», για λόγους προστασίας. Η ταχύτητα αυτή κυμαίνεται ανάλογα με τον κατασκευαστή, αλλά μπορεί να είναι και χαμηλή και να αντιστοιχεί σε άνεμο έντασης 5-6 Bf. Κατά συνέπεια, κάθε μελετητής μηχανικός θα πρέπει να εκτιμά τα ανεμολογικά δεδομένα της περιοχής εγκατάστασης προτού προχωρήσει στην επιλογή ενός συγκεκριμένου τύπου τέτοιου συστήματος. Πέραν των παραπάνω, κάθε μελετητής μηχανικός και εν δυνάμει ιδιοκτήτης ενός φωτοβολταϊκού πάρκου θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη του τα εξής πρακτικά ζητήματα που αφορούν την τοποθέτηση των συστημάτων ιχνηλάτησης:

Όλα τα συστήματα ιχνηλάτησης χρήζουν συντήρησης λόγω της ύπαρξης ήλεκτρο-μηχανικών ή ήλεκτρο-υδραυλικών μέσων κίνησης. Σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να καταστεί απαραίτητος ο επανα-προγραμματισμός του λογισμικού του συστήματος κίνησης, λόγω απώλειας δεδομένων.

Λόγω του σημαντικού τους ύψους, είναι απαραίτητη η έκδοση οικοδομικής άδειας και όχι έγκρισης εργασιών μικρής κλίμακας, όπως ισχύει για τα συστήματα σταθερών βάσεων. Το γεγονός αυτό αυξάνει το κόστος εγκατάστασης και επηρεάζει τον χρόνο υλοποίησης της κατασκευής του σταθμού. 3. Επιπλέον λόγω του σημαντικού ύψους, η εκτέλεση διάφορων εργασιών γίνεται δυσκολότερη σε σχέση με τα συστήματα σταθερών βάσεων. Παραδείγματα τέτοιων εργασιών αποτελούν η αντικατάσταση ενός πάνελ που έχει υποστεί φθορά ή ο καθαρισμός των πάνελ. Παρακάτω παρουσιάζονται ενδεικτικά κάποιες διατάξεις ιχνηλάτησης της πορείας του ήλιου.

Στον αμέσως επόμενο πίνακα φαίνεται η απόδοση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος σε σχέση με τον προσανατολισμό του σε μοίρες.

Πίνακας 3: Απόδοση ΦΒ συστήματος σε σχέση με τον προσανατολισμό του

| | | προσανατολισμός | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------------------|-----|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---------|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | δύση | | | | | | νότος | | | | | | | ανατολή | | | | | |
| | | 90° | 80° | 70° | 60° | 50° | 40° | 30° | 20° | 10° | 0° | 10° | 20° | 30° | 40° | 50° | 60° | 70° | 80° | 90° |
| τοποθέτηση πάνελ σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο | 0° | 87 | 88 | 90 | 91 | 92 | 92 | 93 | 93 | 93 | 93 | 93 | 92 | 92 | 91 | 90 | 89 | 87 | 86 | |
| | 10° | 84 | 87 | 90 | 92 | 94 | 95 | 95 | 96 | 96 | 97 | 97 | 96 | 95 | 94 | 93 | 91 | 89 | 87 | 84 |
| | 20° | 82 | 85 | 90 | 93 | 94 | 96 | 97 | 98 | 99 | 99 | 98 | 97 | 96 | 95 | 93 | 91 | 88 | 84 | 81 |
| | 30° | 78 | 83 | 87 | 91 | 93 | 96 | 97 | 98 | 99 | 100 | 98 | 97 | 96 | 95 | 93 | 89 | 85 | 81 | 78 |
| | 40° | 75 | 79 | 84 | 87 | 92 | 94 | 95 | 96 | 96 | 96 | 96 | 95 | 94 | 92 | 90 | 86 | 82 | 77 | 72 |
| | 50° | 70 | 74 | 79 | 83 | 87 | 90 | 91 | 93 | 94 | 94 | 94 | 93 | 91 | 88 | 83 | 80 | 76 | 73 | 70 |
| | 60° | 65 | 69 | 73 | 77 | 80 | 83 | 86 | 87 | 87 | 87 | 88 | 87 | 85 | 82 | 78 | 74 | 71 | 67 | 63 |
| | 70° | 59 | 69 | 66 | 70 | 72 | 75 | 78 | 79 | 79 | 79 | 79 | 79 | 78 | 75 | 72 | 62 | 64 | 61 | 56 |
| | 80° | 50 | 56 | 60 | 64 | 66 | 68 | 69 | 70 | 71 | 72 | 72 | 71 | 70 | 67 | 66 | 60 | 57 | 54 | 50 |
| | 90° | 41 | 49 | 54 | 58 | 59 | 60 | 61 | 61 | 63 | 65 | 65 | 63 | 62 | 59 | 59 | 52 | 50 | 47 | 44 |

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

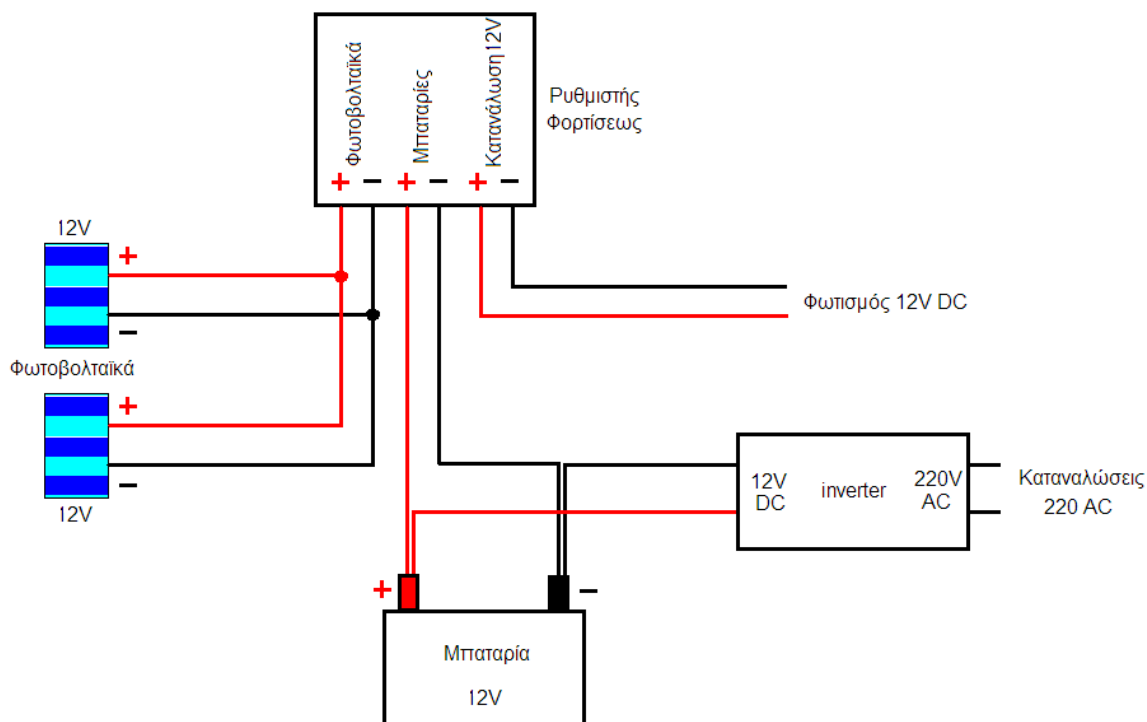
Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

3.1 Χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκών συστημάτων

Τα χαρακτηριστικά των φωτοβολταϊκών συστημάτων που τα διαφοροποιούν από τις άλλες μορφές ενέργειας είναι πολλά. Αρχικά να αναφερθούμε στην απευθείας παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ακόμη και όταν έχουμε να κάνουμε με μικρές κλίμακες όπως αυτές των μερικών δεκάδων Watt. Σε καμία περίπτωση δεν προσβάλλουν αισθητικά το περιβάλλον. Συνδυάζονται εύκολα και με άλλες πηγές ενέργειας (υβριδικά συστήματα). Λειτουργούν αθόρυβα, δεν εκπέμπουν ρύπους και δεν έχουν την παραμικρή επίπτωση στο περιβάλλον. Το κόστος συντήρησης τους είναι χαμηλό και η διάρκεια ζωής τους μεγάλη καθώς επίσης και η αξιοπιστία τους.

3.2 Συνδεσμολογία ενός φωτοβολταϊκού συστήματος

Όπως φαίνεται και από το σχήμα χρειαζόμαστε τα φωτοβολταϊκά, ένα ρυθμιστή φορτίσεως, μπαταρίες, ένα inverter εάν θέλουμε να έχουμε 220V εναλλασσόμενου ρεύματος σαν αυτό που μας δίνει η ΔΕΗ. Ο ρυθμιστής φορτίσεως είναι τόσον A ώστε να μην υπερβαίνουν τα A_{max} των φωτοβολταϊκών. Για παράδειγμα για 5 φωτοβολταϊκά των 2A χρειαζόμαστε ένα ρυθμιστή φορτίσεως 10A. Ακόμα μπορούμε να πάρουμε ένα μεγαλύτερο ρυθμιστή για μελλοντική επέκταση των φωτοβολταϊκών. Η μπαταρία πρέπει να είναι ανάλογη με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά και πάντα λίγο μεγαλύτερη. Δηλαδή υπολογίζουμε την ημερήσια max παραγωγή και παίρνουμε μια μπαταρία λίγο μεγαλύτερη από αυτήν. Το inverter εξαρτάται πάντα από το μέγεθος της εγκατάστασης και το πόσο μεγάλη μπαταρία έχουμε.



Εικόνα 29: Διασύνδεση ενός ΦΒ συστήματος

3.3 Είδη φωτοβολταϊκών συστημάτων

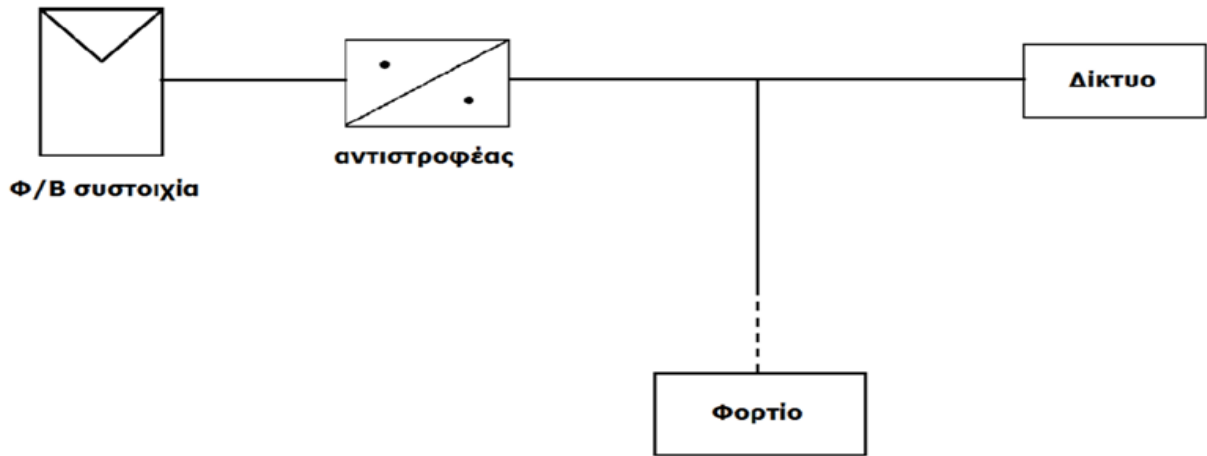
3.3.1 Διασυνδεδεμένο φωτοβολταϊκό σύστημα

Στην περίπτωση αυτή καταναλώνεται ρεύμα από το δίκτυο όταν το φωτοβολταϊκό σύστημα δεν επαρκεί (π.χ. όταν έχει συννεφιά ή κατά την διάρκεια της νύχτας) και δίνεται ενέργεια στο δίκτυο όταν η παραγωγή υπερκαλύπτει τις ανάγκες (π.χ. τις ηλιόλουστες μέρες). Στην κατηγορία αυτή ανήκουν

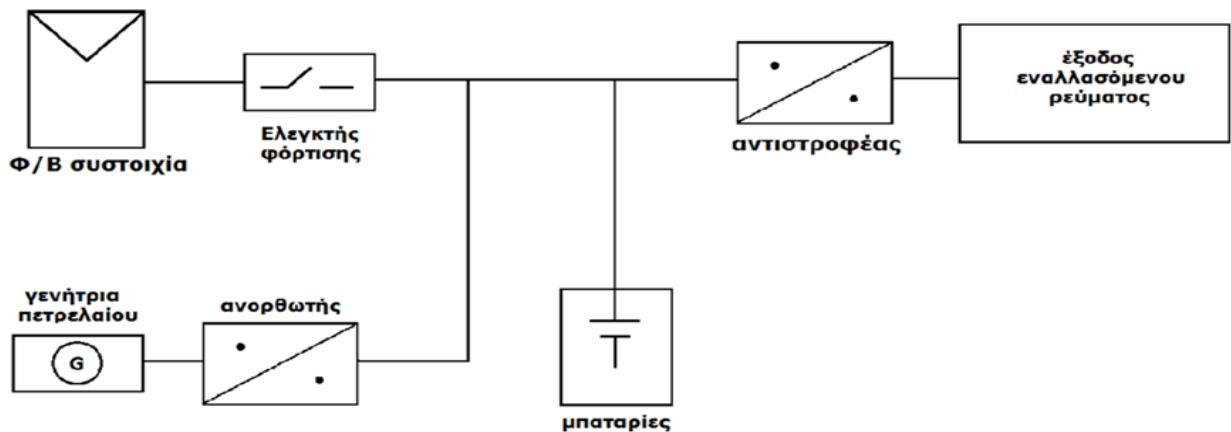
- Τα φωτοβολταϊκά συστήματα μεγέθους έως μερικών εκατοντάδων KWp που τροφοδοτούν κατοικίες, συγκροτήματα κατοικιών ή άλλα κτίρια και όπου η τυχόν πλεονάζουσα ενέργεια τροφοδοτείται (πωλείται) προς το δίκτυο.
- Φωτοβολταϊκοί σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, όπου η παραγόμενη ενέργεια διοχετεύεται απευθείας στο δίκτυο.

3.3.2 Υβριδικό φωτοβολταϊκό σύστημα

Το υβριδικό σύστημα εκμεταλλεύεται ταυτόχρονα την ηλιακή και την αιολική ενέργεια. Διαθέτει φωτοβολταϊκό συλλέκτη και αντιστροφέα ώστε να παράγει ρεύμα από τον ήλιο και από τον άνεμο.



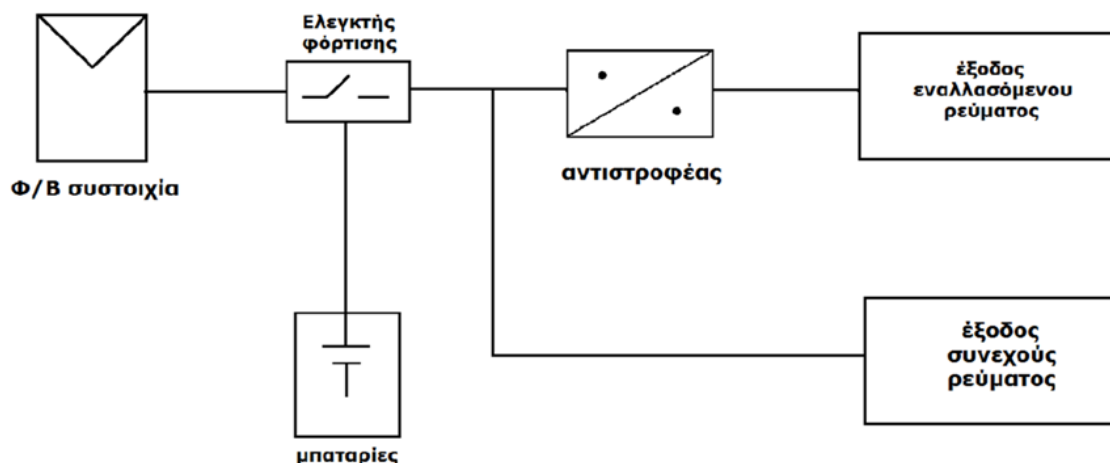
Εικόνα 30: Υβριδικό φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελούμενο μόνο από ΦΒ συστοιχία



Εικόνα 31: Υβριδικό φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελούμενο από ΦΒ συστοιχία και γεννήτρια πετρελαίου

3.3.3 Αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα

Στην περίπτωση του αυτόνομου ΦΒ συστήματος, η συστοιχία παρέχει όλη την ηλεκτρική ενέργεια που χρειάζεται ένας καταναλωτής



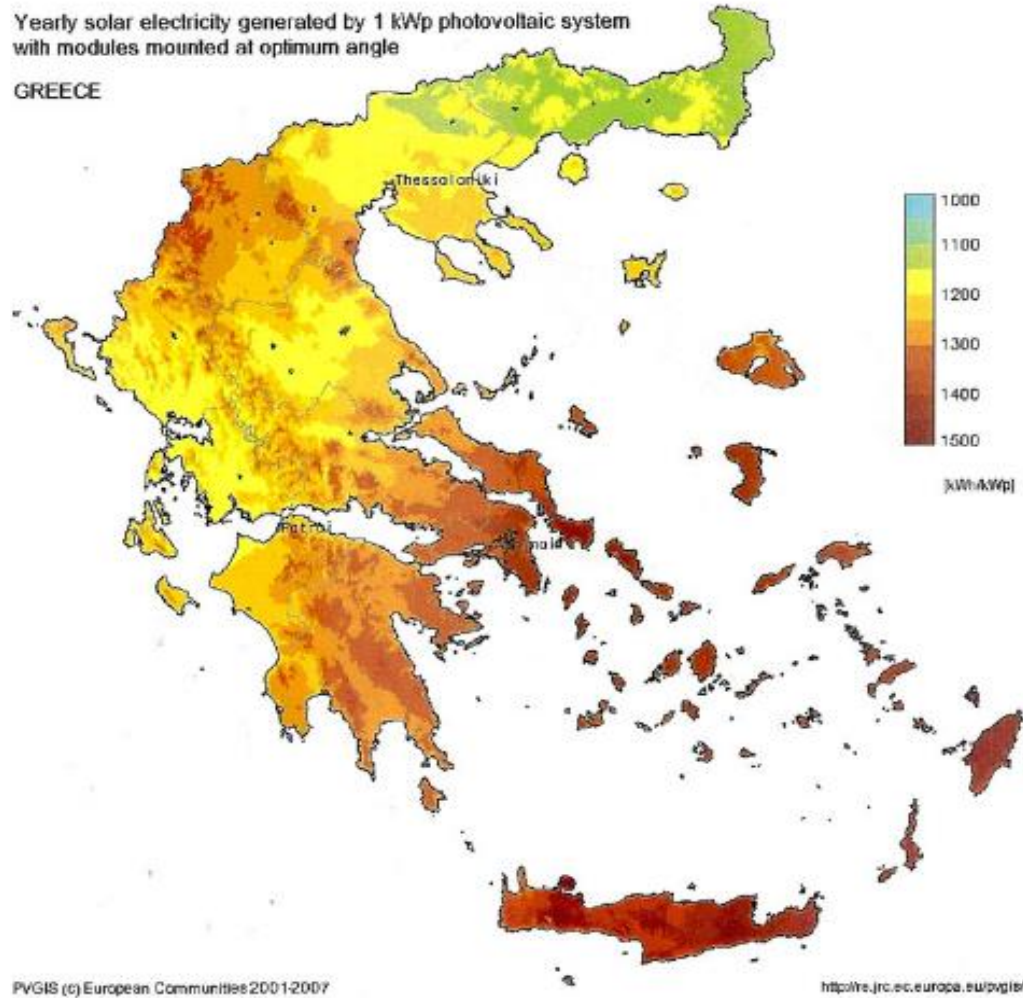
Εικόνα 32: Διασυνδεση ενός αυτόνομου ΦΒ συστήματος

Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνεται το ποσοστό κόστους για κάθε μέρος ενός ΦΒ συστήματος

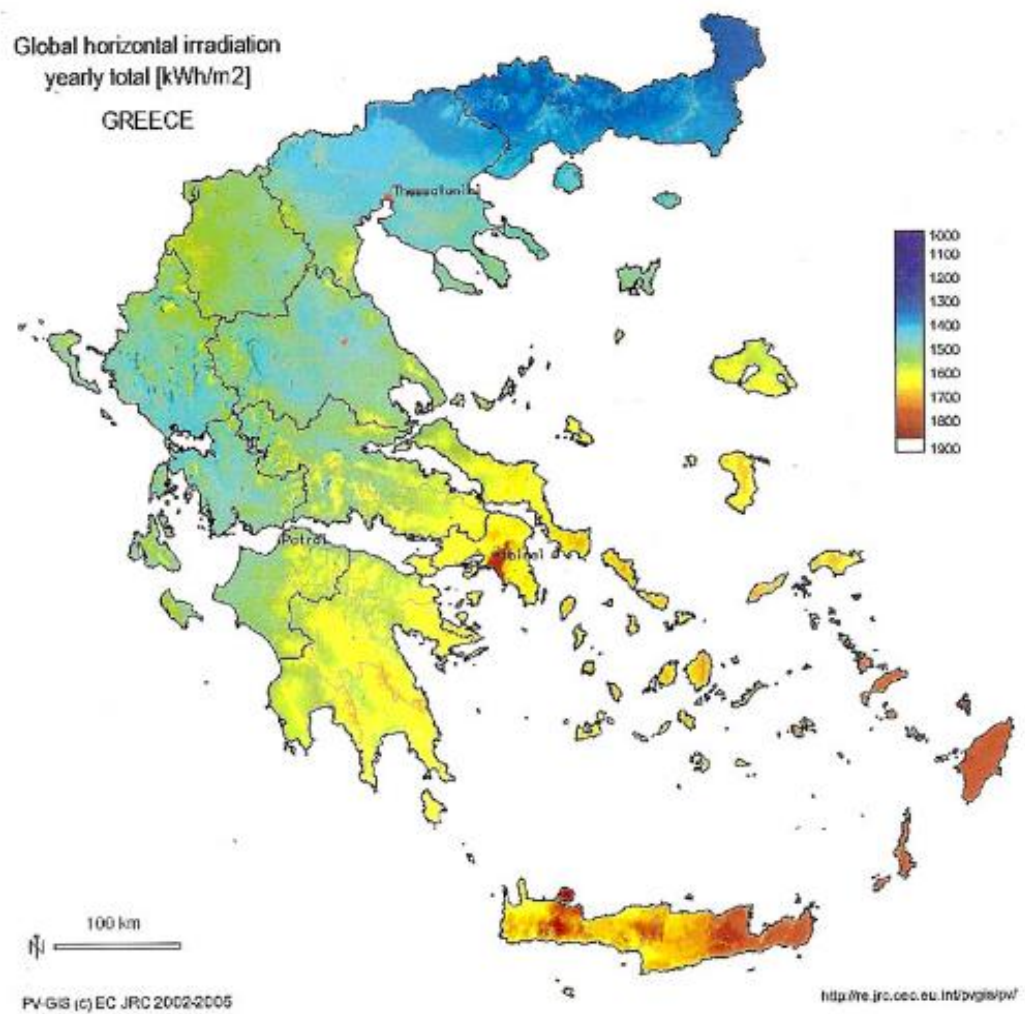
Πίνακας 4: Το κόστος των διάφορων μερών ενός ΦΒ συστήματος

| <u>παράγοντας κόστους</u> | <u>% συνολ.κόστους</u> |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| φωτοβολταϊκά πλαίσια ή panel | 65% |
| βάσεις Φ/Β και ηλεκτρικές καλωδιώσεις | 5% |
| Συσσωρευτές αποθήκευσης ηλεκτρ.ενέργειας | 15% |
| Διατάξεις ρυθμίσεων τάσης, ισχύος, 12% μετατροπής τάσης, προστασίας ελέγχου κλ | 12% |
| βοηθητική γεννήτρια | 3% |

3.4 Ηλιακοί χάρτες απεικόνισης της ισχύος των φωτοβολταϊκών συστημάτων στην Ελληνική επικράτεια



Εικόνα 33: Ηλιακός χάρτης φωτοβολταϊκών συστημάτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από στοιχεία ισχύος 1kWp και ιδανικά εγκατεστημένα.



Εικόνα 34: Ηλιακός χάρτης της ενέργειας της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει ανά m² οριζόντιας επιφάνειας σε διάστημα ενός έτους.

3.5 Πλεονεκτήματα - Μειονεκτήματα τών φωτοβολταϊκών συστημάτων

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν τα εξής πλεονεκτήματα

- Τεχνολογία φιλική στο περιβάλλον: δεν προκαλούνται ρύποι από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας
- Η ηλιακή ενέργεια είναι ανεξάντλητη ενεργειακή πηγή, διατίθεται παντού και δεν στοιχίζει απολύτως τίποτα
- Με την κατάλληλη γεωγραφική κατανομή, κοντά στους αντίστοιχους καταναλωτές ενέργειας, τα Φ/Β συστήματα μπορούν να εγκατασταθούν χωρίς να απαιτείται ενίσχυση του δικτύου διανομής
- Η λειτουργία του συστήματος είναι ολοσχερώς αθόρυβη
- Έχουν σχεδόν μηδενικές απαιτήσεις συντήρησης
- Έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής: οι κατασκευαστές εγγυώνται τα «κρύσταλλα» για 20-30 χρόνια λειτουργίας
- Υπάρχει πάντα η δυνατότητα μελλοντικής επέκτασης, ώστε να ανταποκρίνονται στις αυξανόμενες ανάγκες των χρηστών
- Μπορούν να εγκατασταθούν πάνω σε ήδη υπάρχουσες κατασκευές, όπως είναι π.χ. η στέγη ενός σπιτιού ή η πρόσοψη ενός κτιρίου,
- Διαθέτουν ευελιξία στις εφαρμογές: τα Φ/Β συστήματα λειτουργούν άριστα τόσο ως αυτόνομα συστήματα, όσο και ως αυτόνομα υβριδικά συστήματα όταν συνδυάζονται με άλλες πηγές ενέργειας (συμβατικές ή ανανεώσιμες) και συσσωρευτές για την αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας. Επιπλέον, ένα μεγάλο πλεονέκτημα του Φ/Β συστήματος είναι ότι μπορεί να διασυνδεθεί με το δίκτυο ηλεκτροδότησης (διασυνδεδεμένο σύστημα), καταργώντας με τον τρόπο αυτό την ανάγκη για εφεδρεία και δίνοντας επιπλέον τη δυνατότητα στον χρήστη να πωλήσει τυχόν πλεονάζουσα ενέργεια στον διαχειριστή του ηλεκτρικού δικτύου, όπως ήδη γίνεται στο Φράιμπουργκ της Γερμανίας.

Ως μειονέκτημα θα μπορούσε να καταλογίσει κανείς στα φωτοβολταϊκά συστήματα το κόστος τους, το οποίο, παρά τις τεχνολογικές εξελίξεις παραμένει ακόμη αρκετά υψηλό. Μια γενική ενδεικτική τιμή είναι 4000 ευρώ ανά εγκατεστημένο κιλοβάτ (kW) ηλεκτρικής ισχύος. Λαμβάνοντας υπόψη ότι μια τυπική οικιακή κατανάλωση απαιτεί από 1,5 έως 3,5 κιλοβάτ, το κόστος της εγκατάστασης δεν είναι αμελητέο. Το ποσό αυτό, ωστόσο, μπορεί να αποσβεστεί σε περίπου 5-6 χρόνια και το Φ/Β σύστημα θα συνεχίσει να παράγει δωρεάν ενέργεια για τουλάχιστον άλλα 25 χρόνια.

Ωστόσο, τα πλεονεκτήματα είναι πολλά, και το ευρύ κοινό έχει αρχίσει να στρέφεται όλο και πιο πολύ στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και στα φωτοβολταϊκά ειδικότερα, για την κάλυψη ή την συμπλήρωση των ενεργειακών του αναγκών.

3.6 Οι ενεργειακές ανάγκες που καλύπτει ένα φωτοβολταϊκό σύστημα

- Εξοχικές κατοικίες
- Λυόμενες κατοικίες
- Κτίρια, διαμερίσματα
- Ορεινά καταφύγια
- Χιονοδρομικά κέντρα
- Αφαλατώσεις
- Ξηραντήρια
- Κτηνοτροφικές μονάδες & Αγροτικές κατοικίες
- Γεωτρήσεις
- Αυτόματο σύστημα ποτίσματος
- Θερμοκήπια
- Ιχθυοκαλλιέργειες
- Ψύξη γάλακτος
- Αναμεταδότες TV, ράδιο
- Κινητή τηλεφωνία
- Μετεωρολογικούς σταθμούς
- Ανεμόμυλους
- Εκκλησίες
- Μοναστήρια
- Φανούς σήμανσης
- Τροχόσπιτα

- Σκάφη αναψυχής
- Διαφημιστικές πινακίδες
- Φωτισμό πλατειών, πάρκων, πεζοδρόμων, προβλητών & λοιπών ανοικτών χώρων



Εικόνα 35: Χαρακτηριστικό παράδειγμα κάλυψης ενεργειακών αναγκών σκάφους

3.7 Παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος

Ο βαθμός απόδοσης ενός φωτοβολταϊκού επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες, οι βασικότεροι από αυτούς είναι οι ακόλουθοι:

- **Γήρανση :** Η απόδοση ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου μειώνεται σταδιακά με το πέρασμα του χρόνου, λόγω της αλλοίωσης των υλικών κατασκευής του. Παρόλα αυτά οι πλείστοι κατασκευαστές προσφέρουν εγγυήσεις που καθορίζουν το μέγιστο ποσοστό μείωσης της απόδοσης των φωτοβολταϊκών πλαισίων τους, μετά από 20 ή 25 χρόνια λειτουργίας.
- **Σκίαση των πλαισίων :** Η σκίαση επηρεάζει σημαντικά την απόδοση των φωτοβολταϊκών πλαισίων, γι' αυτό απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή στην επιλογή του χώρου εγκατάστασης τους και στον τρόπο τοποθέτησης τους, έτσι ώστε να αποφεύγεται οποιαδήποτε σκίαση, κυρίως κατά τις ώρες 9.00 π.μ. με 3.00 μ.μ. Ανεπιθύμητη σκίαση μπορούμε να έχουμε από γειτονικά κτίρια, δέντρα, περιτοιχίσματα

κ.τ.λ. αλλά και από την μπροστινή σειρά φωτοβολταϊκών πλαισίων όταν τα πλαίσια τοποθετηθούν σε οριζόντιο επίπεδο σε παράλληλες σειρές.

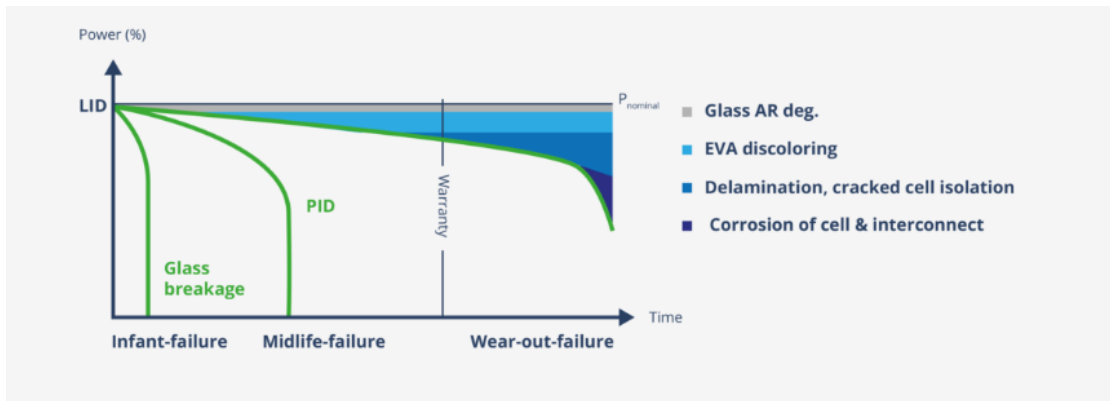
- Αύξηση της θερμοκρασίας : Η αύξηση της θερμοκρασίας των φωτοβολταϊκών πλαισίων αποτελεί τον βασικότερο παράγοντα μείωσης της απόδοσης του συστήματος. Η μείωση αυτή καθορίζεται από τον συντελεστή θερμοκρασίας των φωτοβολταϊκών πλαισίων που αναφέρεται στις τεχνικές προδιαγραφές του κάθε κατασκευαστή. Σύμφωνα με τον οποίο στα περισσότερα πλαίσια η απόδοση τους μειώνεται γύρω στα 0.4-0.45%, από την κανονική τιμή, για κάθε 1°C αύξηση της θερμοκρασίας πάνω από τους 25 °C.
- Ρύπανση της επιφάνειας των πλαισίων : Η επικάλυψη σκόνης, φύλλων, απορριμμάτων πουλιών και άλλων ακαθαρσιών στην επιφάνεια ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου προκαλεί ορισμένη μείωση στην απόδοση του γι' αυτό χρειάζεται ένας περιοδικός καθαρισμός των επιφανειών των πλαισίων.

3.8 Το φαινόμενο PID (Potential Inducted Degradation)

Το PID είναι ένα φαινόμενο το οποίο προκαλεί την δυσλειτουργία στις κυψέλες των φωτοβολταϊκών πλαισίων. Μπορεί να μόλις λίγα χρόνια μετά την εγκατάσταση ενός φωτοβολταϊκού σταθμού. Η ιδιαιτερότητά του έγκειται στο γεγονός ότι μπορεί να ξεκινήσει από ένα μόνο φωτοβολταϊκό πάνελ και σταδιακά να επεκταθεί και σε περισσότερα, ακόμη και σε όλα τα πάνελ, αν δεν αντιμετωπιστεί εγκαίρως. Το αποτέλεσμα συνεπώς του PID είναι η σταδιακή μείωση της απόδοσης ολόκληρου του φωτοβολταϊκού σταθμού.

3.8.1 PID και μείωση της απόδοσης

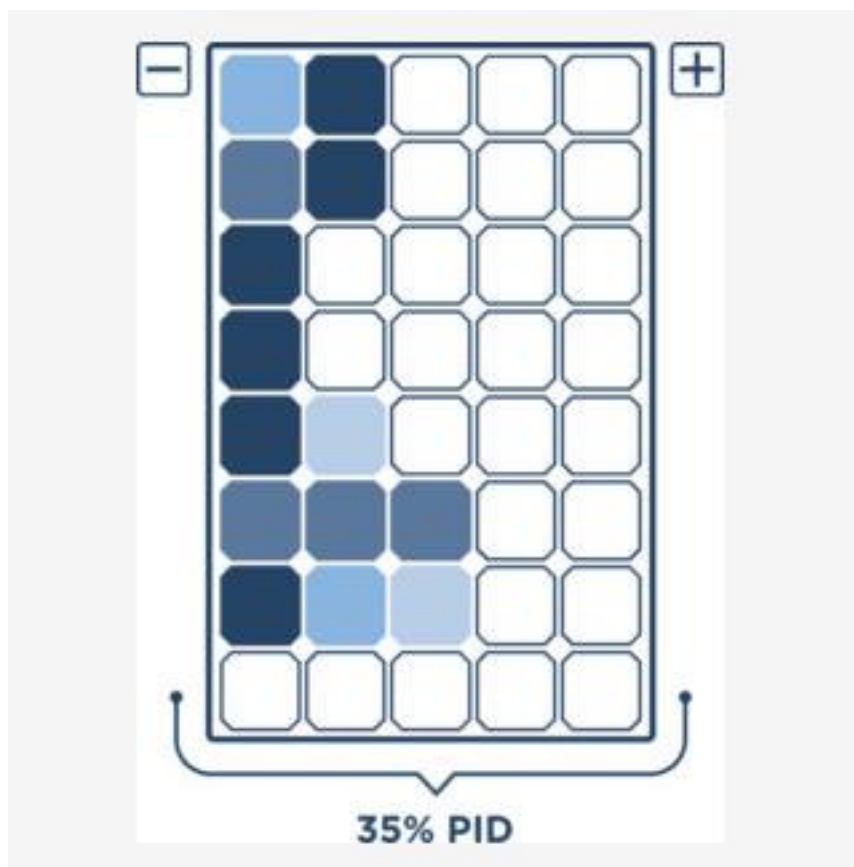
Η διάγνωση του PID με βάση τα στοιχεία που παρέχει το σύστημα τηλεμετρίας για την παραγωγή του φωτοβολταϊκού σταθμού, είναι ιδιαίτερα δύσκολη καθώς η παραγωγή του σταθμού εξαρτάται από την ηλιακή ακτινοβολία και τη χρονική στιγμή κατά την οποία πραγματοποιείται η μέτρηση. Συνεπώς, πιο αντικειμενικός δείκτης για τον εντοπισμό του PID είναι ο Βαθμός Απόδοσης (Performance Ratio) του φωτοβολταϊκού σταθμού, ο οποίος θα μειωθεί από 2.5% έως και 30%, σε περίπτωση που ο σταθμός έχει PID.



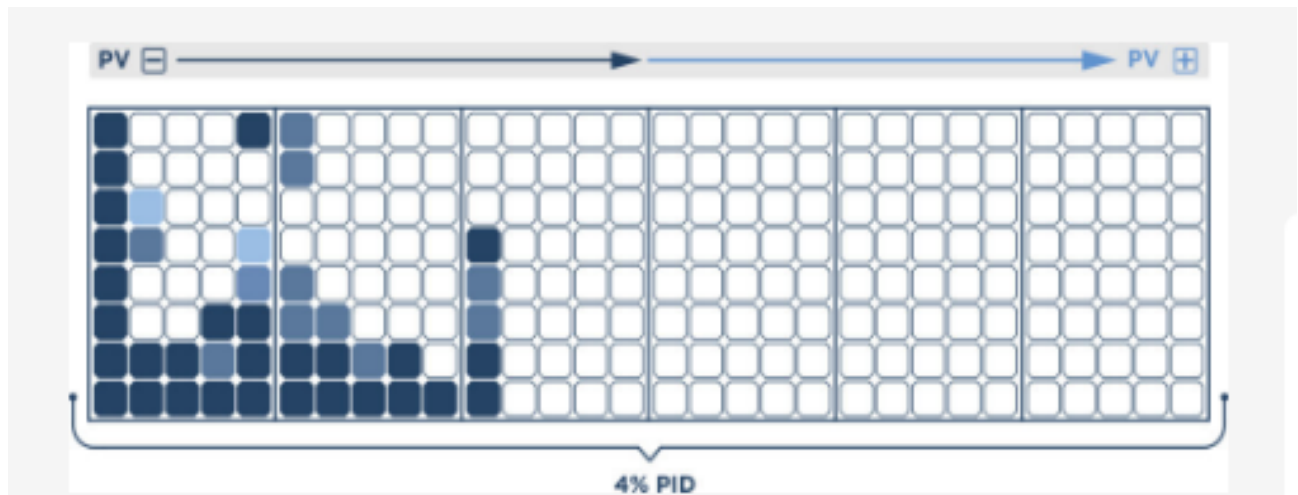
Εικόνα 36:Μοτίβο εκδήλωσης PID

3.8.2 Το PID σε ένα φωτοβολταϊκό πάνελ

Σε ένα φωτοβολταϊκό πάνελ, το φαινόμενο PID εμφανίζεται εντονότερα στις κυψέλες που βρίσκονται πιο κοντά στο πλαίσιο αλουμινίου. Αντίθετα, το PID εμφανίζεται λιγότερο έντονα στις κυψέλες που βρίσκονται στο κέντρο του φωτοβολταϊκού πάνελ.



Εικόνα 37:Εμφάνιση φαινομένου PID σε κυψέλες κοντά στο περιμετρικό πλαίσιο



Εικόνα 38: Εμφάνιση φαινομένου PID σε συστοιχία

3.8.3 Το PID σε συστοιχία φωτοβολταϊκών πάνελ

Σε μια συστοιχία φωτοβολταϊκών πάνελ (string), το PID εμφανίζεται εντονότερα στα πάνελ που είναι πιο κοντά στην πιο αρνητική, από άποψη δυναμικού, πλευρά της στοιχειοσειράς (string).

3.8.4 Παράγοντες που επηρεάζουν το PID

Φωτοβολταϊκές κυψέλες: Υπάρχουν ενδείξεις ότι πολλοί τύποι φωτοβολταϊκών κυψελών εμφανίζουν ευαισθησία κατά την έκθεσή τους σε υψηλό αρνητικό δυναμικό. Η δομή της ίδιας της κυψέλης παίζει ρόλο στην εμφάνιση και στην εξάπλωση του PID.

Φωτοβολταϊκά πάνελ: Τα υλικά από τα οποία έχουν κατασκευαστεί τα φωτοβολταϊκά πάνελ, όπως για παράδειγμα η χημική σύνθεση του γυαλιού και το υλικό EVA με το οποίο είναι εγκιβωτισμένες οι κυψέλες, επηρεάζουν το φαινόμενο PID.

Ιδιαιτερότητες φωτοβολταϊκού σταθμού : Σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη του PID παίζει το μέγιστο αρνητικό δυναμικό στο οποίο οι φωτοβολταϊκές κυψέλες υπόκεινται. Αυτό εξαρτάται από τον αριθμό των πλαισίων ανά στοιχειοσειρά (string), τον τύπο του μετατροπέα (με ή χωρίς μετασχηματιστή) και τη γείωση του φωτοβολταϊκού σταθμού.

Έγκαιρη διάγνωση : Για τους ιδιοκτήτες φωτοβολταϊκών σταθμών, το φαινόμενο PID και οι συνέπειές του στην απόδοση της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης δεν είναι άμεσα ορατά. Ως εκ τούτου, ένας θερμογραφικός

έλεγχος και μια μέτρηση IV των στοιχειοσειρών (strings) με εξειδικευμένα όργανα είναι η καλύτερη εγγύηση για την έγκαιρη ανίχνευση και αντιμετώπιση του φαινομένου.

Εξωγενείς Παράγοντες : Η θερμοκρασία και η υγρασία είναι ορισμένοι από τους παράγοντες του περιβάλλοντος που παίζουν σημαντικό ρόλο στην εμφάνιση και την εξέλιξη του PID σε ένα φωτοβολταϊκό σταθμό.

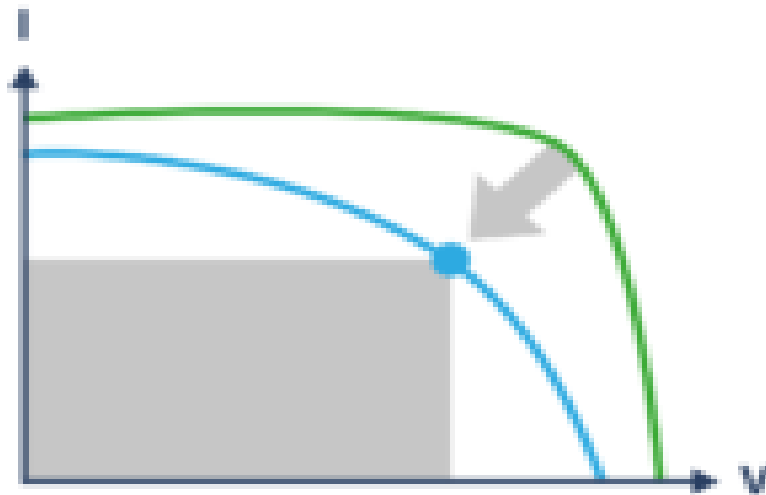
3.8.5 Διάγνωση του PID

Διάγνωση του PID σε επίπεδο στοιχειοσειράς (string)

Όταν το PID εντοπίζεται σε επίπεδο στοιχειοσειράς, υπάρχει ξεκάθαρη διαφορά μεταξύ της αρχής και του τέλους της στοιχειοσειράς των πάνελ. Ένα τυχαίο μοτίβο, τύπου σκακιέρας, θα εμφανιστεί για τα πάνελ που βρίσκονται πιο κοντά στην αρνητική πλευρά της στοιχειοσειράς.

Διάγνωση του PID σε επίπεδο φωτοβολταϊκού πάνελ

Αν το PID διαγνωστεί σε επίπεδο κυψελών, θα επηρεάσει την απόδοση του φωτοβολταϊκού πάνελ. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα την αλλαγή στην καμπύλη IV καθώς το σημείο Μέγιστης Ισχύος (Maximum Power Point) του πάνελ θα μετατοπιστεί προς τα κάτω. Συνεπώς, η μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια θα είναι λιγότερο αποτελεσματική.



Εικόνα 39: Μετατόπιση του σημείου μέγιστης ισχύος του ΦΒ στοιχείου προς τα κάτω

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

INVERTER

4.1 Αρχή λειτουργίας και τρόπος σύνδεσης

Ο μετατροπέας (inverter) μιας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης αποτελεί ένα από τα πλέον βασικά τμήματα της, καθώς από αυτόν εξαρτάται η λειτουργία και η απόδοση του συστήματος που διαθέτουμε. Είναι ο μετατροπέας της τάσης που παίρνουμε από την μπαταρία. Κάνει τη μετατροπή από 12V (ή 24/48V) συνεχές DC σε 230V εναλλασσόμενο AC ρεύμα. Μπορούμε να δούμε να αναφέρεται και ως αντιστροφέας ή μετατροπέας.



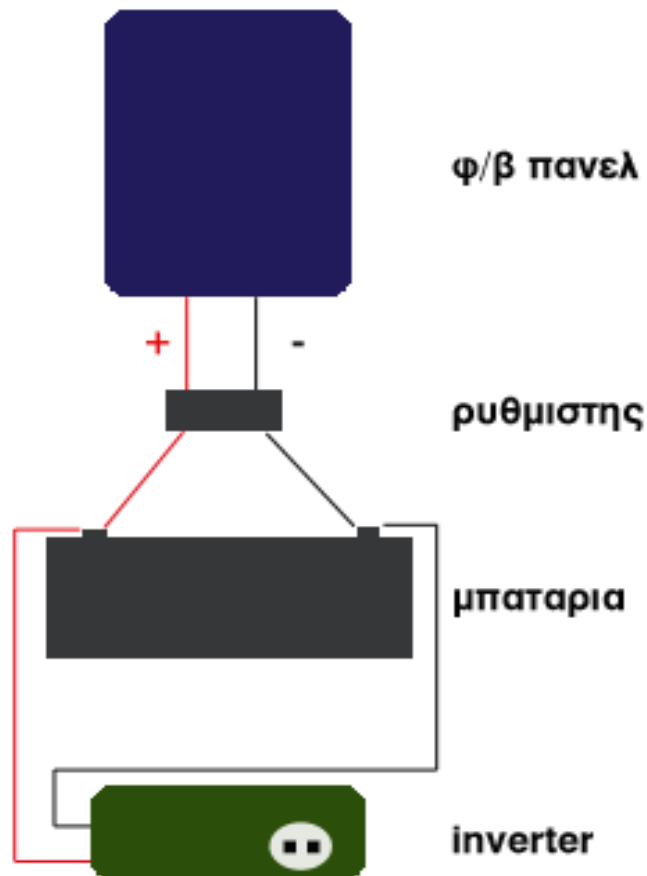
Εικόνα 40: Inverter απευθείας συνδεδεμένος σε ΦΒ συστοιχία



Εικόνα 41: Σειρά από inverters

Όπως είπαμε λοιπόν είναι το μηχάνημα που μετατρέπει το συνεχές (DC) ρεύμα του φωτοβολταϊκού συστήματος (ουσιαστικά το συνεχές ρεύμα της μπαταρίας του συστήματος), σε εναλλασσόμενο (AC) ρεύμα 230V για να μπορούμε να τροφοδοτήσουμε από τη μπαταρία του φωτοβολταϊκού συστήματος όλες τις συσκευές που απαιτούν 230 Volt.

Ο inverter 230V συνδέεται με ένα διπλό καλώδιο (θετικό – αρνητικό) πάνω στους πόλους της μπαταρίας. Έχει συνήθως μια ή δύο υποδοχές σαν τις πρίζες που έχουμε στους τοίχους του σπιτιού μας, πάνω στις οποίες συνδέουμε τις συσκευές που απαιτούν 230V, απ' ευθείας ή χρησιμοποιώντας πολύμπριζο ή και μπαλαντέζα.



Εικόνα 42: Διασύνδεση inverter με ΦΒ συστοιχία

Δεν έχει σημασία πόσες συσκευές θα συνδέσουμε ταυτόχρονα, αρκεί η ισχύς όλων των συσκευών που λειτουργούν ταυτόχρονα να μην ξεπερνά την επιτρεπόμενη ισχύ του inverter. Έτσι, αν έχουμε έναν μετατροπέα 200W, μπορούμε να λειτουργήσουμε ταυτόχρονα μια τηλεόραση 60W, έναν ανεμιστήρα 40W, ένα φορητό υπολογιστή 60W και λαμπτήρες οικονομίας με 40W συνολικής ισχύος.

Ένας inverter καλής ποιότητας θα κλείσει αν από λάθος συνδέσουμε μια συσκευή με παραπάνω ισχύ σε Watt από αυτή που μπορεί να αντέξει, προστατεύοντας έτσι τις ηλεκτρικές συσκευές μας. Το ίδιο θα κάνει ένας μετατροπέας καλής ποιότητας αν διαπιστώσει ότι κοντεύει να αδειάσει η μπαταρία.

Υπάρχουν inverters από 50W έως 10.000W ή παραπάνω, ενώ κάποια μοντέλα μπορούν να επεκταθούν συνδέοντας μεταξύ τους δύο ή περισσότερους inverters σε σειρά (για τριφασικό ρεύμα) ή παράλληλα (για αύξηση της διαθέσιμης ισχύος).

Συνήθως χρησιμοποιούμε inverter από 150W έως 1.200W ανάλογα βέβαια και με τις ανάγκες μας. Ένα μικρό φωτοβολταϊκό σύστημα back-up για τις περιπτώσεις διακοπής ρεύματος μπορεί να εξυπηρετείται από έναν μετατροπέα 300W, αλλά ένα μεγάλο φωτοβολταϊκό σύστημα που καλύπτει όλες τις καθημερινές ανάγκες για ένα ολόκληρο σπίτι θα θέλει μετατροπέα μέχρι και πάνω από 4.000W.

4.2 Επιλογή της κατάλληλης ισχύος

Μια σημαντική παρατήρηση που πρέπει να κάνουμε από την αρχή είναι ότι δεν πρέπει να επιλέγουμε έναν inverter με οριακή ισχύ σε σχέση με τις συσκευές που ενδέχεται να χρειαστεί να τροφοδοτήσουμε ταυτόχρονα από αυτόν. Έτσι λοιπόν, αν η συνολική ισχύς των συσκευών μας είναι π.χ. 1.300 Watt, επιλέγουμε inverter ισχύος τουλάχιστον 2.000 Watt. Αυτό επειδή τα τεχνικά χαρακτηριστικά των inverters έχουν υπολογιστεί σε βέλτιστες εργαστηριακές συνθήκες. Στην πραγματικότητα, ο inverter μας μπορεί κάποια στιγμή να λειτουργεί σε μεγαλύτερη θερμοκρασία ή υγρασία και να μην μπορεί να δώσει αυτά που θεωρητικά θα μπορούσε σύμφωνα με τον κατασκευαστή του (π.χ. κάτω από άλλες συνθήκες θερμοκρασίας).

Επίσης, κάποιες συσκευές όπως ψυγεία, εργαλεία, αντλίες, κ.ά., κατά διαστήματα απαιτούν μεγάλη ισχύ για την εκκίνησή τους (π.χ. μέχρι και το πενταπλάσιο ή ακόμη και το δεκαπλάσιο της ονομαστικής τους ισχύος). Έτσι λοιπόν, αν έχουμε κάποια τέτοια συσκευή, επιλέγουμε inverter με ισχύ που θα μπορέσει να υποστηρίξει και αυτή την ισχύ εκκίνησης.

4.3 Inverter με τροποποιημένο ή με καθαρό ημίτονο

Οι inverters διακρίνονται σε τροποποιημένου ημίτονου (modified sine-wave) και σε καθαρού ημίτονου (pure ή true sine-wave).

Ένας μετατροπέας με τροποποιημένο ημίτονο, είναι φθηνότερος από έναν με καθαρό ημίτονο και είναι κατάλληλος για τις περισσότερες από τις συσκευές που κυκλοφορούν στην αγορά. Καταναλώνει όμως έως και 20% περισσότερη ενέργεια από τη μπαταρία σε σχέση με έναν μετατροπέα καθαρού ημίτονου. Επίσης, σε τηλεοράσεις και ηχοσυστήματα μέτριας ποιότητας μπορεί αν ακούγεται ένα ελαφρύ βουητό.

Από την άλλη μεριά, το μοναδικό μειονέκτημα που έχουν οι inverters καθαρού ημίτονου είναι η τιμή τους, αφού είναι τρεις έως τέσσερις φορές ακριβότεροι από έναν αντίστοιχο με τροποποιημένο ημίτονο. Αν έχουμε ευαίσθητες ηλεκτρονικές συσκευές, καλό είναι να χρησιμοποιούμε για αυτές inverter με καθαρό ημίτονο.

Οι συσκευές που λειτουργούν με μοτέρ ή συμπιεστές (π.χ. μηχανήματα, αντλίες, ψυγεία) απαιτούν στιγμιαία κατά την εκκίνησή τους πολλαπλάσια Watt (π.χ. πενταπλάσια ή και παραπάνω) από αυτά της κανονικής τους

λειτουργίας. Αυτό είναι κάτι που πρέπει να γνωρίζουμε κατά την επιλογή του ινβερτερ, ώστε να επιλέξουμε έναν με μεγαλύτερη ισχύ από τα συνολικά (ονομαστικά) Watt των συσκευών που θα λειτουργούν ταυτόχρονα.

4.4 Inverter καθαρού ημίτονου high frequency και low frequency

Υπάρχουν οι high frequency inverters που φτιάχνουν το καθαρό ημίτονο και τα 230V AC κάνοντας απλά step up από τα 12 στα 230V και μετά προσομοιώνουν το καθαρό ημίτονο με ηλεκτρονικό τρόπο (high-frequency, transformer-less).

Πετυχαίνουν ένα ικανοποιητικό αποτέλεσμα, αφού η καμπύλη ημιτόνου που παράγουν είναι πολύ καλύτερη από αυτή των inverter τροποποιημένου ημίτονου, αν και όχι τέλεια στις περισσότερες περιπτώσεις. Το μειονέκτημά τους είναι ότι δεν έχουν τόσο μεγάλη ικανότητα να αντέξουν τις απότομες και υψηλές ανάγκες σε ρεύμα εκκίνησης που έχουν ορισμένες συσκευές, όπως ψυγεία, αντλίες, μηχανές με μοτέρ κ.ά. Τα πλεονεκτήματά τους είναι η οικονομική τιμή και η μικρή αυτοκατανάλωση. Τους καταλαβαίνει κανείς και από το χαμηλό τους βάρος (επειδή δεν έχουν βαριά πηνία / μετασχηματιστές).

Υπάρχουν και οι inverters low-frequency w/transformers οι οποίοι χρησιμοποιούν βαριά και μεγάλα πηνία για την μετατροπή της τάσης και για να φτιάξουν το καθαρό ημίτονο. Αυτός είναι πιο σωστός τρόπος για καθαρό ημίτονο και αντοχή σε υψηλά ρεύματα εκκίνησης, με αντάλλαγμα όμως την υψηλή αυτοκατανάλωση (λόγω μετασχηματιστών που απαιτούν συνεχώς ρεύμα), λίγο χαμηλότερο efficiency και λίγο μεγαλύτερο κόστος. Πολλοί τέτοιοι inverter έχουν τη δυνατότητα λειτουργίας stand by (ή energy saving mode) κατά την οποία δεν καταναλώνουν παρά ελάχιστο ρεύμα και μόνο αν κάποια συσκευή απαιτήσει ρεύμα ξεκινάνε τη λειτουργία τους.

Τέλος, υπάρχει και η κατηγορία μερικών επώνυμων inverter που χρησιμοποιούν κρύσταλλο για την παραγωγή του ημιτόνου και συνοδεύονται και από άλλες λειτουργίες όπως τηλεχειρισμός, σύνδεση με ηλεκτρονικό υπολογιστή, καταγραφή λειτουργίας του συστήματος ενώ και η αυτοκατανάλωσή τους είναι -σχετικά- χαμηλή. Το μόνο τους μειονέκτημα είναι η υψηλή τιμή (π.χ. η τιμή ενός τέτοιου inverter π.χ. των 2.000 Watt μπορεί να ξεπερνά τα 2.000 ευρώ).

4.5 Ποιον inverter χρειαζόμαστε τελικά;

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι δεν υπάρχει καλός και κακός inverter αλλά καλός η κακός ανάλογα με τη χρήση για την οποία τον προορίζουμε.

Για ψυγεία, αντλίες, μηχανές με μοτέρ κ.ά. δεν πρέπει να χρησιμοποιούμε high frequency inverters αφού δεν έχουν την ίδια αξιοπιστία στο χειρισμό των αναγκών τέτοιων συσκευών. Για αυτές τις συσκευές πρέπει να χρησιμοποιούμε inverter με μετασχηματιστές και πάντα με πολύ μεγαλύτερη ισχύ από την ονομαστική. Αυτούς τους ξεχωρίζουμε και από το βάρος τους που είναι πολλαπλάσιο από αυτό που έχουν τα φθηνότερα transformer-less αδερφάκια τους (π.χ. ένας inverter 2.000W φθάνει τα 25 κιλά). Μπορεί να έχουν μεγαλύτερη αυτοκατανάλωση, αλλά συνήθως χρησιμοποιούνται και σε μεγαλύτερα συστήματα όπου οι συσσωρευτές και τα φωτοβολταϊκά μπορούν να την αντιμετωπίσουν (ή χρησιμοποιούμε τη λειτουργία energy saver που έχουν οι περισσότεροι για χαμηλή αυτοκατανάλωση).

Για οποιαδήποτε άλλη χρήση δεν υπάρχει πρόβλημα, αρκεί να μην λειτουργούμε έναν inverter στα όρια της ισχύος του. Δηλαδή αν όλες οι συσκευές μαζί έχουν ισχύ π.χ. 1.300W, επιλέγουμε έναν inverter με ισχύ συνεχούς λειτουργίας 2.000W.

Μερικές φορές ίσως έχει νόημα η προμήθεια δύο inverter. Έναν για βαριά χρήση με μηχανήματα και έναν οικονομικότερο μικρό για όλες τις υπόλοιπες συσκευές μας. Αυτή η λύση έχει και το πλεονέκτημα ότι σε περίπτωση βλάβης του ενός inverter, θα έχουμε τον δεύτερο μέχρι να αντικαταστήσουμε τον πρώτο.

Ο έλεγχος του ηλεκτροκινητήρα μιας μηχανής ανελκυστήρα από Inverter προσδίδει πολλαπλά πλεονεκτήματα στον ίδιο τον ηλεκτροκινητήρα, αλλά και στην εγκατάσταση αυτή καθαυτή. Συνοπτικά, θα μπορούσαν να αναφερθούν τα παρακάτω :

- Σημαντική μείωση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας (οικονομία)
- Διόρθωση του συντελεστή ισχύος του ανελκυστήρα ($\cos\phi=1$ ως προς τον κινητήρα)
- Μείωση της καταπόνησης των μηχανικών μερών
- Αύξηση της διάρκειας ζωής των μηχανικών μερών του ανελκυστήρα
- Ομαλή εκκίνηση και σταμάτημα, ήπια πέδηση, σταθερή ταχύτητα διαδρομής, χωρίς κραδασμούς, ευχάριστα αποδεκτά στους επιβαίνοντες
- Προστασία του ηλεκτροκινητήρα

- Δυνατότητα απεγκλωβισμού σε περίπτωση διακοπής ρεύματος
- Επίτευξη υψηλών ταχυτήτων
- Γρήγορη και εύκολη θέση σε λειτουργία

Είναι γεγονός πως η τεχνολογία έχει εξελιχθεί έτσι, ώστε το Inverter πλέον να μπορεί να οδηγήσει όλους τους τριφασικούς κινητήρες εναλλασσομένου ρεύματος, ασύγχρονους (επαγωγικούς βραχυκυκλωμένου δρομέα ή δακτυλιοφόρου δρομέα) και σύγχρονους (με ή χωρίς μόνιμο μαγνήτη) σε διατάξεις ανοιχτού ή κλειστού βρόγχου, με ή χωρίς τη χρήση παλμογεννήτριας (Encoder).

4.6 Η διάταξη του inverter

Το Inverter ως ηλεκτρονικό κύκλωμα περιλαμβάνει έναν ελεγχόμενο ανορθωτή που μετατρέπει το εναλλασσόμενο ρεύμα σε συνεχές, ένα φίλτρο, έναν αντιστροφέα που μετατρέπει το συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο ρυθμιζόμενης τάσης και συχνότητας, και τη μονάδα ελέγχου. Η μονάδα ελέγχου ή Logic Circuit του Inverter είναι εκεί όπου:

- γίνεται η παραμετροποίηση του Inverter
- τίθενται μέσω των παραμέτρων οι συνθήκες κίνησης του ηλεκτροκινητήρα
- συλλέγονται οι πληροφορίες (feedback ή ανάδραση) για το αν επικρατούν οι προ-ρυθμισμένες συνθήκες κίνησης ή έχουν μεταβληθεί λόγω εναλλαγής του φορτίου ή άλλων εξωτερικών συνθηκών (η συλλογή αυτή των πληροφοριών γίνεται μέσω του Encoder – κλειστός βρόγχος – ή εσωτερικών του Inverter εκτιμητών – ανοιχτός βρόγχος)
- αναγνωρίζονται και καταγράφονται οι τυχόν διαφοροποιήσεις
- αποφασίζονται και υπολογίζονται οι διορθώσεις
- ανατροφοδοτείται το κύκλωμα ισχύος με τα νέα δεδομένα οδήγησης του ηλεκτροκινητήρα.

4.7 Τεχνολογίες ελέγχου

Σήμερα υπάρχουν τέσσερις βασικοί τύποι ελέγχου για AC μονάδες.

4.7.1 V/F (βολτ ανά Hertz)

Είναι μια μέθοδος βασικού ελέγχου, παρέχοντας μεταβλητή μονάδα τάσεως ανά συχνότητα. Παρέχει ικανοποιητικό έλεγχο ταχύτητας και ροπής με λογικό κόστος.

4.7.2 Sensorless Vector Control

Παρέχει καλύτερη ρύθμιση της ταχύτητας, καθώς και την ικανότητα να παράγει υψηλή αρχική ροπή.

4.7.3 Flux Vector Control

παρέχει με μεγαλύτερη ακρίβεια έλεγχο ταχύτητας και ροπής, με δυναμική απόκριση. Με αποτέλεσμα την καλύτερη ροπή στις χαμηλές συχνότητες.

4.7.4 Field Oriented Control

Παρέχει τον καλύτερο έλεγχο ταχύτητας και ροπής για κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος με σημαντικές επιδόσεις στις χαμηλές συχνότητες.

4.8 Inverter Ημιγέφυρας και Πλήρους Γέφυρας

Σκοπός της λειτουργίας τους είναι η παραγωγή εναλλασσόμενης τάσης εξόδου με δυνατότητα ελέγχου τόσο του πλάτους όσο και της συχνότητάς του

4.8.1 Μονοφασικός ημιγέφυρας

Η συνδεσμολογία ημιγέφυρας απαρτίζεται από δύο ημιαγωγικούς διακόπτες, οι διακόπτες είναι ελεγχόμενοι, ανάβοντας και σβήνοντας εναλλάξ παράγεται μια τετραγωνική εναλλασσόμενη κυματομορφή τάση πάνω στους ακροδέκτες του φορτίου, η μέγιστη τιμή τάσης που εφαρμόζεται πάνω στο φορτίο είναι $[vd/2]$ και η ελάχιστη $[-vd/2]$. Τα ημιαγωγικά στοιχεία επιτρέπουν την ροή ρεύματος όταν αυτά άγουν κατά την μια φορά ενώ οι αντιπαράλληλες διόδους επιτρέπουν το ρεύμα να ρέει κατά την αντίθετη κατεύθυνση. Η παρουσία των αντιπαράλληλων διόδων

είναι απαραίτητη όταν το φορτίο είναι επαγωγικής φύσης διότι δίνουν ένα δρόμο επιστροφής του ρεύματος, άρα και της ενέργειας από το φορτίο στη συνεχή τάση τροφοδοσίας στην είσοδο του αντιστροφέα. Η συνεχής τάση εισόδου του μετατροπέα αυτού του τύπου λαμβάνεται με ανορθωτή και εξομάλυνση της τάσης του δικτύου με κυκλώματα ανορθωτών ενώ η τάση εξόδου εξομαλύνεται για να μπορεί να θεωρείτε ημιτονοειδής. Επίσης κάποια άλλα στοιχεία είναι ότι το πλάτος της τάσης εξόδου έχει την μέση τιμή της τάσης εισόδου. Απαιτούνται δύο πυκνωτές μέσης λήψης, το δυναμικό της μεσαίας λήψης δεν σταθεροποιείται, επίσης δεν είναι εφικτό να δημιουργηθούν διαστήματα μηδενικής τάσης στην κυματομορφή της τάσης εξόδου ωμικό φορτίο.

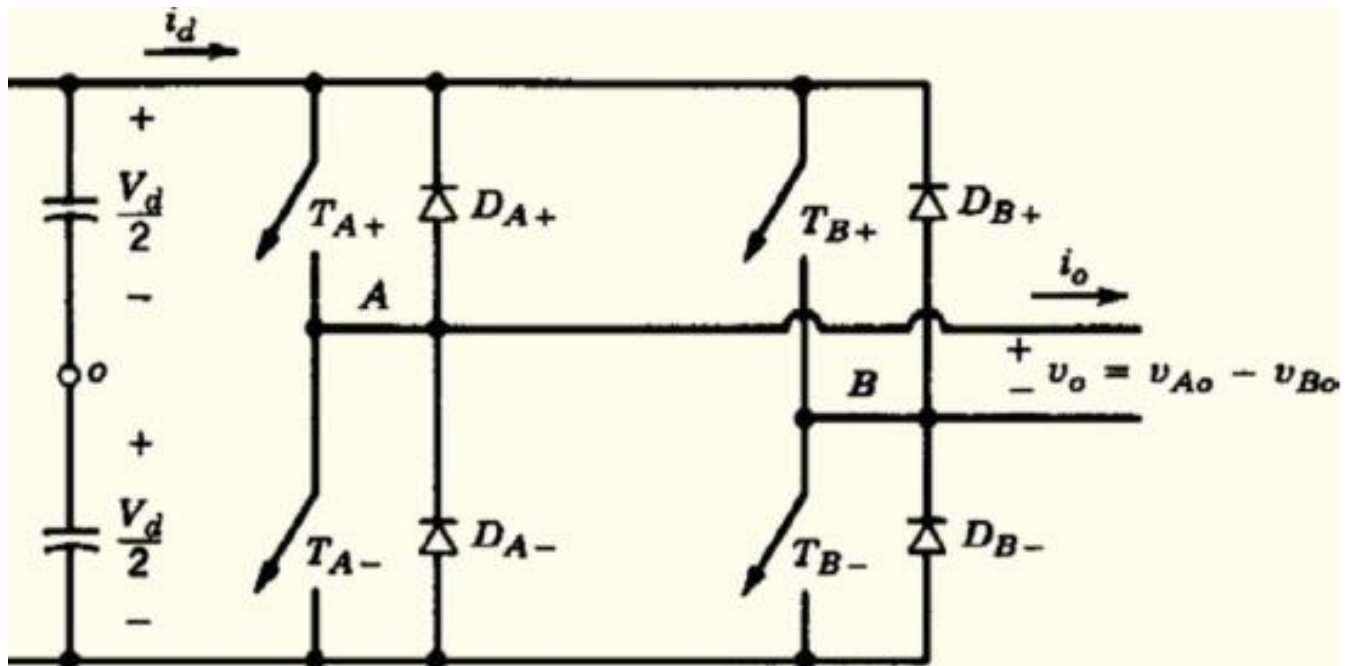
4.8.2 Μονοφασικός πλήρους γέφυρας

Η λειτουργία του αντιστροφέα με συνδεσμολογία πλήρους γέφυρας παρουσιάζει κάποια πλεονεκτήματα και αυτό την κάνει να χρησιμοποιείται περισσότερο στα φ/β συστήματα με ισχύς [$< 5 \text{ kw}$]. Χρησιμοποιώντας την ίδια συνεχή πηγή τάσης εισόδου, η μέγιστη τάση εξόδου του αντιστροφέα πλήρη γέφυρας είναι διπλάσια από αυτήν του αντιστροφέα ημιγέφυρας. Η επιλογή της διατάξεις αυτής όμως έχει ως αποτέλεσμα την διόγκωση των διακοπτικών απωλειών αγωγής καθώς και την αύξηση της πολυπλοκότητας του κυκλώματος παλμοδότησης λόγω της αύξησης του αριθμού των διακοπτικών στοιχείων. Για τον έλεγχο ενός μετατροπέα πλήρους γέφυρας χρησιμοποιεί δύο τεχνικές :

Η διαμόρφωση εύρους παλμών με μονοπολική τάση εξόδου

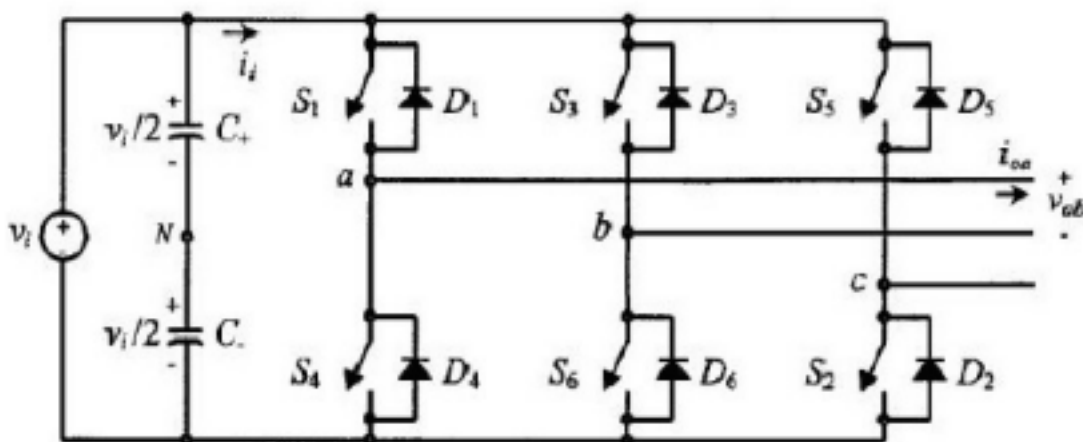
Η συνδεσμολογία του αντιστροφέα με πλήρους γέφυρα, αποτελείται από δυο ημιγέφυρες, οι ελεγχόμενοι ημιαγωγικοί διακόπτες αναβοσβήνουν σε διαγώνια ζευγάρια, συνεπώς πάνω στο φορτίο εμφανίζεται μια τετραγωνική τάση [$+vd$] ως [$-vd$]. Η λειτουργία τους όταν [$TA+$, $TB-$] βρίσκονται σε αγωγή οι [$TA-$, $TB+$] βρίσκονται σε αποκοπή. Στην περίπτωση αυτή η τάση εξόδου είναι [Vd] ενώ το ρεύμα ρέει από το σημείο A στο B. Αντίστροφα όταν [$TA-$, $TB+$] βρίσκονται σε αγωγή οι [$TA+$, $TB-$] βρίσκονται σε αποκοπή, η τάση εξόδου αλλάζει πολικότητα δηλαδή γίνεται ίση με $-Vd$ και το ρεύμα ρέει από το σημείο B στο A. Οι αντιπαράλληλες δίοδοι έχουν ενεργό ρόλο μόνο όταν το φορτίο είναι επαγωγικής φύσης. Αυτό συμβαίνει επειδή δεν είναι δυνατή η αντιστροφή του ρεύματος αμέσως μετά το κλείσιμο των διακοπών [$TA-$, $TB+$] και το άνοιγμα των [$TA+$, $TB-$] λόγω καθυστέρησης που εισάγει το επαγωγικό φορτίο το ίδιο συμβαίνει και αντίστροφα. Έτσι υπάρχει ένα χρονικό διάστημα που το ρεύμα ρέει μέσω των διόδων [$DA-$, $DB+$] όταν [$TA-$, $TB+$] κλειστοί και μέσω των διόδων [$DA+$, $DB-$] όταν [$TA+$, $TB-$] κλειστοί επιστρέφοντας ενέργεια στην πηγή τροφοδοσίας. Όταν το φορτίο είναι ωμικό οι δίοδοι δεν έχουν ενεργό ρόλο στο κύκλωμα. Στους αντιστροφείς με συνδεσμολογία πλήρους γέφυρας δεν πρέπει να είναι ταυτόχρονα κλειστοί οι διακόπτες του ίδιου σκέλους γιατί δημιουργείται βραχυκύκλωμα στην DC πλευρά. Επίσης υπάρχουν δύο όμοιοι πυκνωτές στην DC πλευρά οι οποίοι πρέπει να έχουν αρκετή χωρητικότητα ώστε να εξασφαλίζουν σταθερή τάση εισόδου. Οι

αντιστροφής πλήρους γέφυρας είναι αυτοί που χρησιμοποιούνται κατά το πλείστον στα συστήματα φ/β σε στέγες όπως και στην παρούσα φ/β εγκατάσταση της μελέτης αυτής.



Εικόνα 43: Τοπολογία μονοφασικού αντιστροφέα πλήρους γέφυρας ελεγχόμενου από πηγή τάσης.

Οι τριφασικοί αντιστροφείς χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές > 5 [kw][7]. Σκοπός τους είναι να παρέχουν μια τριφασική πηγή τάσης ή έντασης, όπου το πλάτος, η φάση και η συχνότητα να είναι ανά πάσα στιγμή ελεγχόμενα. Η τοπολογία ενός τριφασικού αντιστροφέα ελεγχόμενου από πηγή τάσης φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 44: Τοπολογία τριφασικού αντιστροφέα ελεγχόμενου από πηγή τάσης.

4.9 Σύγκριση κόστους

Οι οικονομικές διαφορές συγκριτικά είναι πολύ μικρές. Οι εταιρίες το κόστος των αντιστροφών το βγάζουν με βάση την συνολική ισχύ που θα αγοράσει ο αγοραστής, π.χ. όσο πιο μεγάλο είναι το σύστημα τόσο μεγαλύτερη έκπτωση υπάρχει στους inverter π.χ. για ένα σύστημα άνω των 500 kw η έκπτωση θα φτάσει για όλους τους inverter που θα χρειαστούν στη εγκατάσταση ψηλότερα και από το 35%.

4.10 Σύγκριση απόδοσης

Κατά το πλείστον οι αντιστροφείς που υπάρχουν στην αγορά λειτουργούν με βαθμό απόδοσης από 94% - 97% η διαφορές στην απόδοση δεν γίνεται να συγκριθούν διότι πρέπει να συγκρίνουμε ανάμοια πράγματα με διαφορετικές ιδιότητες όπου έχουν διαμορφωθεί με αυτά τα χαρακτηριστικά για να λειτουργούν και να εξυπηρετούν διάφορες λειτουργίες ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του κάθε inverter.

4.11 Νησιδοποίηση (Islanding)

Με τον όρο «φαινόμενο νησίδας» ορίζεται μια μη επιθυμητή κατάσταση κατά την οποία ένα τμήμα του ηλεκτρικού δικτύου, όπου εμπεριέχονται τόσο ηλεκτρικά φορτία όσο και διεσπαρμένες μονάδες παραγωγής, παραμένει ηλεκτροδοτημένο λόγω των παραπάνω μονάδων, παρότι το υπόλοιπο ηλεκτρικό δίκτυο είναι ανενεργό. Αιτίες εμφάνισης του φαινομένου αυτού είναι η ηθελημένη αποσύνδεση ενός μέρους του δικτύου από τα μέσα προστασίας λόγω ανίχνευσης κάποιου σφάλματος, η προγραμματισμένη διακοπή του δικτύου για την συντήρηση του, η διακοπή της ηλεκτροδότησης λόγω εξωγενών περιβαλλοντικών αιτιών, η πιθανή αστοχία ενός μέρους του εξοπλισμού του Σ.Η.Ε αλλά και το ανθρώπινο λάθος.

Η ανίχνευση του «φαινομένου της νησίδας», αποτελεί ένα από τα βασικά κριτήρια που πρέπει να ικανοποιούνται προκειμένου να επιτραπεί η σύνδεση ενός οικιακού φωτοβολταϊκού συστήματος στο Ελληνικό Σ.Η.Ε, όπως και των άλλων διεσπαρμένων πηγών ενέργειας. Οι λόγοι που επιβάλλουν την ανίχνευση αυτών των καταστάσεων εμπίπτουν στη διασφάλιση υψηλής ποιότητας παρεχόμενης ενέργειας στους καταναλωτές και κυρίως στην ασφάλεια εγκαταστάσεων και προσώπων.

Σε περιπτώσεις προγραμματισμένης συντήρησης, ενώ οι Διαχειριστές θέτουν ηθελημένα εκτός λειτουργίας τμήματα του ηλεκτρικού συστήματος για να τελεστούν εργασίες συντήρησης, η ενδεχόμενη ηλεκτροδότηση αυτού του τμήματος από διεσπαρμένες πηγές ενέργειας (λόγω αδυναμίας ανίχνευσης της διακοπής), θέτει σε θανάσιμο κίνδυνο το προσωπικό που

διενεργεί τις απαραίτητες εργασίες αφού δουλεύει υπό τάση εν αγνοία του. Επιπλέον, αν οι προστασίες ενός δικτύου ανοίξουν τους διακόπτες προστασίας μιας γραμμής (λόγω ανίχνευσης τυχαίων σφαλμάτων, πιθανής βλάβης του εξοπλισμού, εξωγενών περιβαλλοντικών αιτιών, ανθρώπινων λαθών χειρισμού κλπ), και δεν καταστεί εφικτό από τις διεσπαρμένες πηγές να εντοπίσουν τη διακοπή της ηλεκτροδότησης, θα συνεχίσουν να τροφοδοτούν τα φορτία που είναι συνδεδεμένα στην ίδια γραμμή με αυτές. Το γεγονός αυτό μπορεί να επιφέρει δύο πολύ σημαντικά προβλήματα:



Εικόνα 45: Το φαινόμενο νησιδοποίησης

Κατά το χρονικό διάστημα της διακοπής, στο κομμάτι της γραμμής που τέθηκε εκτός λειτουργίας δεν υφίσταται κάποιος κεντρικός έλεγχος της συχνότητας και της τάσης, γεγονός που μπορεί να προκαλέσει σοβαρές ζημιές στους υπόλοιπους συνδεδεμένους χρήστες σε περίπτωση που οι διεσπαρμένες πηγές ενέργειας δεν μπορέσουν να τροφοδοτήσουν τα φορτία με τα απαραίτητα ποσά ενεργού και αέργου ισχύος.

Στην περίπτωση που οι διεσπαρμένες μονάδες παραγωγής μπορέσουν να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις των φορτίων, όταν οι διακόπτες των συστημάτων προστασίας επανασυνδέσουν τη γραμμή στο κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο ενδέχεται να υπάρξουν σημαντικές διαφορές μεταξύ της τάσης στους ακροδέκτες των διεσπαρμένων πηγών και αυτής του υπολοίπου Σ.Η.Ε (διαφορά φάσης και πλάτους, απώλεια συγχρονισμού με το κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο). Οι διαφορές αυτές είναι δυνατό να έχουν καταστροφικές συνέπειες τόσο για την ίδια την εγκατάσταση όσο στους υπόλοιπους συνδεδεμένους καταναλωτές.

Για τους παραπάνω λόγους υπάρχει η απαίτηση το φαινόμενο να εντοπίζεται και να παύεται έγκαιρα. Με το ρόλο αυτό επιφορτίζονται οι σύγχρονοι αντιστροφείς ως σημείο διεπαφής του δικτύου με το φωτοβολταϊκό σύστημα. Η ΔΕΗ απαιτεί από τους διασυνδεδεμένους παραγωγούς να χρησιμοποιούν αντιστροφείς που είναι εφοδιασμένοι με τα κατάλληλα συστήματα «αντινησιδοποίησης».

Οι μονοφασικοί φωτοβολταϊκοί αντιστροφείς μπορεί και να μην παρουσιάσουν κάποιο πρόβλημα σχετικά με τη νησιδοποίηση αν αυτή προκλήθηκε από ανοικτοκύκλωμα του δικτύου λόγω ενός σφάλματος της γραμμής. Αντίθετα, οι τριφασικοί αντιστροφείς παρουσιάζουν πάντα μια διαταραχή της τάσης που συνδέεται με το σφάλμα. Η πλειοψηφία των οικιακών φωτοβολταϊκών συστημάτων συνδέεται σε μια φάση του δικτύου. Ενώ η πλειοψηφία των συσκευών που χρησιμοποιούν τα δίκτυα για εκκαθάριση σφαλμάτων είναι τριφασικές. Ο συνδυασμός μονοφασικών αντιστροφέων και τριφασικών διακοπών σφάλματος οδηγεί στην πιθανή κατάσταση όπου ένα σφάλμα μπορεί να υπάρχει σε μια γραμμή που προέρχεται από το άνοιγμα ενός διακόπτη, αλλά χωρίς να υπάρχει διαταραχή της τάσης ώστε να υπάρχει επίπτωση στο μονοφασικό αντιστροφέα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΚΑΛΩΔΙΩΣΗ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

5.1 Τύποι καλωδίων

Στα προηγούμενα κεφάλαια κάναμε λεπτομερή ανάλυση για φωτοβολταϊκά πάνελ και inverter. Σε μια ηλεκτρική εγκατάσταση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος η επιλογή του καλωδίου δεν γίνεται με τρόπο τυχαίο. Για τον λόγο αυτό θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί ειδικός τύπος καλωδίου βάσει των αναγκών της παρούσας περίπτωσης. Μια πρώτη διάκριση γίνεται ανάμεσα σε καλώδια για πάνελ και σε καλώδια γεννήτριας-string, των καλωδίων για το συνεχές ρεύμα DC και το εναλλασσόμενο AC ρεύμα.

Καλώδια πάνελ ή καλώδια συστοιχίας ονομάζονται τα καλώδια εκείνα τα οποία συνδέουν το τμήμα μεταξύ πάνελ και κουτί σύνδεσης της γεννήτριας. Η επιλογή αυτών των καλωδίων γίνεται κυρίως για εξωτερικούς χώρους. Κοινώς αποδεκτή λύση και κυρίως αξιόπιστη για τέτοιου είδους εφαρμογές, θεωρείται η επιλογή μονόκλωνου καλωδίου με διπλή μόνωση η οποία μας εξασφαλίζει μείωση της πιθανότητας εμφάνισης σφάλματος γείωσης.



1. Λεπτοπολύκλωνος αγωγός.
2. Μόνωση ελαστικού.
3. Μανδύας ελαστικού.

ΤΥΠΟΣ ΚΑΛΩΔΙΟΥ: H07RN-F
ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΤΑΣΗ: 450/750 V
ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ: ΕΛΟΤ 623.4, HD 22.4

Χρήσεις

Σε ξηρούς, υγρούς ή βρεγμένους χώρους, στο ύπαιθρο.
Για μέσες μηχανικές καταπονήσεις στις βιομηχανίες, σε εργοτάξια και αγροτικά έργα, για κινητές ή σταθερές εγκαταστάσεις.

Εικόνα 46: Το καλώδιο H07RN-F

Ο συνηθέστερος τύπος καλωδίου που χρησιμοποιείται είναι ο H07 RN-F. Τα κύρια χαρακτηριστικά γνωρίσματά του είναι η αντοχή του στην υπεριώδη ακτινοβολία και η αντοχή τους στις καιρικές συνθήκες (π.χ. θερμοκρασία -55°C σε 125°C). Στις στέγες η μέγιστη θερμοκρασία έχει

μετρηθεί περίπου 70ο C. Μερικοί εγκαταστάτες επιλέγουν καλώδια που καλύπτονται με πλέγμα μετάλλων, όπου το προστατευμένο καλώδιο όχι μόνο παρέχει την προστασία ενάντια στα τρωκτικά αλλά και βελτιώνει την προστασία ενάντια των υπερφορτίσεων.

Χρώματα

| ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΟΛΩΝ | ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΕ ΚΙΤΡΙΝΟ/ΠΡΑΣΙΝΟ | ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΧΩΡΙΣ ΚΙΤΡΙΝΟ/ΠΡΑΣΙΝΟ |
|---------------|------------------------------------------|---------------------------------|
| 1 | ΚΙΤΡΙΝΟ/ΠΡΑΣΙΝΟ | ΜΑΥΡΟ |
| 2 | - | ΜΠΛΕ, ΚΑΦΕ |
| 3 | ΚΙΤΡΙΝΟ/ΠΡΑΣΙΝΟ, ΜΠΛΕ, ΚΑΦΕ | ΚΑΦΕ, ΜΑΥΡΟ, ΓΚΡΙ |
| 4 | ΚΙΤΡΙΝΟ/ΠΡΑΣΙΝΟ, ΚΑΦΕ, ΜΑΥΡΟ, ΓΚΡΙ | ΜΠΛΕ, ΚΑΦΕ, ΜΑΥΡΟ, ΓΚΡΙ |
| 5 | ΚΙΤΡΙΝΟ/ΠΡΑΣΙΝΟ, ΜΠΛΕ, ΚΑΦΕ, ΜΑΥΡΟ, ΓΚΡΙ | ΜΠΛΕ, ΚΑΦΕ, ΜΑΥΡΟ, ΓΚΡΙ, ΜΑΥΡΟ |
| >5 | ΚΙΤΡΙΝΟ/ΠΡΑΣΙΝΟ, ΜΑΥΡΟΙ ΜΕ ΑΡΙΘΜΗΣΗ | ΜΑΥΡΟΙ ΜΕ ΑΡΙΘΜΗΣΗ |

Σημείωση : Για συνεχή λειτουργία μέσα σε γλυκό νερό θερμοκρασίας έως 40 °C και σε βάθος έως 10m κατάλληλος τύπος καλωδίου είναι ο H07RN8-F σύμφωνα με την προδιαγραφή HD 22.16

Εικόνα 47: Τα χαρακτηριστικά του καλωδίου H07RN-F

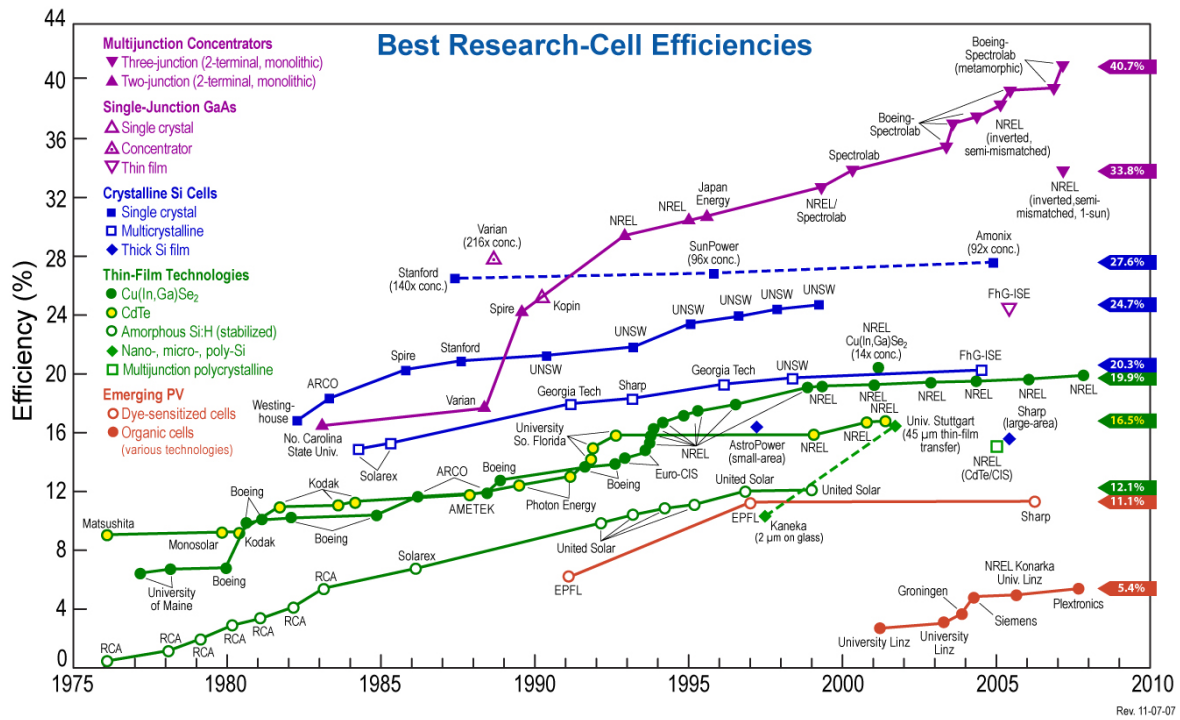
5.2 Καλώδια συνεχούς ρεύματος

Το συνεχές dc καλώδιο συνδέει το κιβώτιο συνδέσεων του φωτοβολταϊκού με τον αναστροφέα. Για τις συνδέσεις μεταξύ των πλαισίων χρησιμοποιούνται συνήθως εύκαμπτα μονοπολικά καλώδια με ενισχυμένη μόνωση, με τις ανωτέρω τουλάχιστον απαιτήσεις. Ο συνδυασμός αυτός των απαιτήσεων είναι δύσκολο να ικανοποιηθεί από κοινά τυποποιημένα καλώδια και απαιτεί τη χρήση ειδικών μειγμάτων πλαστικών για μόνωση. Εκτός από τους τύπους καλωδίων που αναφέρθηκαν νωρίτερα, για οικονομικούς λόγους χρησιμοποιείται και το κοινό PVC καλώδιο (NYM ή NYF) Εάν η εγκατάσταση είναι υπαίθρια, τα PVC πρέπει να τοποθετηθούν σε έναν προστατευτικό σωλήνα, δεδομένου ότι δεν είναι ανθεκτικά στην ηλιακή ακτινοβολία.

5.3 Καλώδιου σύνδεσης εναλλασσόμενου ρεύματος και είδη καλωδίων

Το καλώδιο σύνδεσης εναλλασσόμενου ρεύματος ac συνδέει τον αναστροφέα με το δίκτυο μέσω του εξοπλισμού προστασίας. Στην περίπτωση των τριφασικών αναστροφών, η σύνδεση στο δίκτυο χαμηλής τάσης γίνεται χρησιμοποιώντας ένα καλώδιο πέντε πόλων. Γενικότερα, στην πλευρά εναλλασσόμενου ρεύματος ακολουθούνται οι κανόνες που

απορρέουν από τον HD384. Έτσι για τους μονοφασικούς αναστροφείς χρησιμοποιείται καλώδιο τριπολικό τύπου NYM ή NYY.



Εικόνα 48: Διάγραμμα εξέλιξης της τεχνολογίας των φωτοβολταϊκών

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΤΗΛΕΜΕΤΡΙΑ

6.1 Τι ονομάζουμε τηλεμετρία

Η Τηλεμετρία είναι η επιστήμη που επιτρέπει την συλλογή δεδομένων εξ αποστάσεως. Συνήθως πρόκειται για επιστημονικά δεδομένα. Ένα παράδειγμα τηλεμετρικού δικτύου είναι ένα σεισμολογικό δίκτυο. Με τον όρο τηλεμετρία εννοείται συνήθως η ασύρματη μετάδοση δεδομένων με χρήση πομποδεκτών μεγάλης ή μικρής εμβέλειας, τηλεπικοινωνιακών δορυφόρων κλπ, αλλά και η καλωδιακή μετάδοση δεδομένων κυρίως σήμερα μέσω δικτύων όπως το ίντερνετ ή μέσω τηλεφωνικού δικτύου.

Όταν στο σύστημα τηλεμετρίας περιλαμβάνεται τόσο η ανάκτηση δεδομένων όσο και ο αυτόματος έλεγχος (σε βιομηχανικά και τεχνολογικά συστήματα, πχ για τον έλεγχο της λειτουργίας ανεμογεννητριών που είναι εγκατεστημένες σε απόμακρα σημεία) τότε χρησιμοποιείται ο όρος SCADA.

6.2 Εφαρμογές της τηλεμετρίας

Δίκτυα κοινής οφέλειας : Από τις πρώτες εφαρμογές της τηλεμετρίας ήταν ο έλεγχος της κατάστασης των δικτύων ηλεκτροδότησης (1912) μέσω τηλεφωνικών γραμμών. Σήμερα η τηλεμετρία χρησιμοποιείται για έλεγχο όλων των δικτύων κοινής οφέλειας, όπως της ύδρευσης, που χρειάζεται να εξετάζεται και η παροχή αλλά και η ποιότητα του νερού.

Μετεωρολογία : Η Τηλεμετρία έχει χρησιμοποιηθεί σε μετεωρολογικά μπαλόνια για την ασύρματη μετάδοση μετεωρολογικών δεδομένων (ραδιοτηλεμετρία με σήματα Μορς) από το 1930.

Σεισμολογία : Επειδή οι σταθμοί μετρήσεων βρίσκονται διάσπαρτοι σε κατοικημένες και μη περιοχές, τα σεισμολογικά δίκτυα χρησιμοποιούν πολλούς τρόπους για να μεταφέρουν δεδομένα: μισθωμένες τηλεφωνικές γραμμές, δορυφορική μετάδοση, διακίνηση μέσω ίντερνετ, κινητή τηλεφωνία, γεφύρωση με ασύρματες μικροκυματικές ζεύξεις κλπ.

Ιατρική : Η Τηλεμετρία χρησιμοποιείται στους αθλητές για την συλλογή και καταγραφή της σωματικής και φυσικής κατάστασης τους. Στην Ελλάδα χρησιμοποιείται κατά κόρον στους ποδοσφαιριστές, με τη μέριμνα της Ελληνικής Ποδοσφαιρικής Ομοσπονδίας με τη δημιουργία της «Κάρτας Υγείας Αθλητή Ε.Π.Ο.. Η τηλεμετρία ως ιατρική εφαρμογή (βιο-τηλεμετρία "biotelemetry") χρησιμοποιείται για ασθενείς που βρίσκονται σε κίνδυνο

ασυνήθιστης καρδιακής δραστηριότητας, γενικώς σε μονάδες φροντίδας στεφανιαίας νόσου. Σ' αυτούς τους ασθενείς η διαδικασία περιλαμβάνει μέτρηση και καταγραφή με τη χρήση συσκευών μεταβίβασης. Χρήσιμο για τη διάγνωση μπορεί να σταθεί ένα αρχείο δεδομένων που κρατείται από τους γιατρούς για την κατάσταση των ασθενών. Μια λειτουργία συναγερμού μπορεί να ειδοποιήσει το νοσηλευτικό προσωπικό εάν ο ασθενής πάσχει από κάποια οξεία (ή επικίνδυνη) κατάσταση. Τα συστήματα τηλεμετρίας είναι διαθέσιμα στο ιατρο-χειρουργικό και νοσηλευτικό προσωπικό για την παρακολούθηση και μείωση της πιθανότητας να συμβεί καρδιακή κατάσταση ή επίσης για τη μέτρηση αντιδράσεων σε φάρμακα κατά της αρρυθμίας, όπως το *digoxin*. Στα νοσοκομεία, όπου χρησιμοποιείται, διευκολύνει στις ελεύθερες μετακινήσεις των ασθενών και με ταυτόχρονη παρακολούθηση των ζωτικών τους λειτουργιών (καρδιαίος ρυθμός, πίεση, κ.λ.π.) από ειδικούς γιατρούς μέσω κεντρικού σταθμού. Έχουν υπάρξει και ειδικές χρήσεις της λέξης στην Ελλάδα, όπως π.χ. "είναι μία σύγχρονη μέθοδος μέτρησης, καταγραφής και αξιολόγησης της κινητικότητας της Σπονδυλικής στήλης και γενικότερα των αρθρώσεων στο ανθρώπινο σώμα", κάτι που στερείται επαρκούς επιστημονικής τεκμηρίωσης στη διεθνή επιστημονική βιβλιογραφία και αποτελεί περιοριστική εξειδίκευση του όρου, έως και παραπληροφορητική.

Έρευνα χρήσης υπολογιστών : Μεγάλες εταιρίες λογισμικού έχουν εισάγει την τηλεμετρία στα λειτουργικά συστήματα και τις εφαρμογές που εκτελούνται στους υπολογιστές με σκοπό τη φανέρωση του τρόπου χρήσης των υπολογιστών. Αποτέλεσμα της τηλεμετρίας της Microsoft ήταν η κατάργηση του «μενού έναρξης» στα Windows 8.

6.3 Επιτήρηση της απόδοσης της εγκατάστασης

Το να έχουμε την διορατικότητα και να επενδύσουμε σε μια ηλιακή εγκατάσταση, αυτομάτως σημαίνει πως επενδύουμε ταυτόχρονα σε μια τεχνολογία του μέλλοντος αλλά και σε μια μακροχρόνια πηγή εσόδων. Συνεπώς πρέπει με κάθε τρόπο να διασφαλίσουμε την ομαλή λειτουργία της. Για αυτόν ακριβώς τον λόγο υπάρχουν ολοκληρωμένα συστήματα τηλεμετρίας, που μας βοηθούν να επιτηρούμε την εγκατάστασή μας και την απόδοση της επι 24ωρου βάσεως. Η λογική των συστημάτων τηλεμετρίας βασίζεται στο διαδίκτυο και μας δίνει την δυνατότητα να επιβλέπουμε την εγκατάστασή μας από οποιοδήποτε σημείο στον κόσμο και αν βρισκόμαστε.

Τα προϊόντα αυτά βασίζονται στα ευρέως διαδεδομένα πρωτόκολλα επικοινωνίας ώστε να μπορούν να ενσωματώνονται χωρίς πρόβλημα σε κάθε υπάρχουσα εγκατάσταση.

Η ανοιχτή αρχιτεκτονική των πρωτοκόλλων επιτρέπει τη γρήγορη και ασφαλή προσαρμογή της εγκατάστασης ακόμη και σε ειδικές εφαρμογές. Παραδείγματα αυτών των εφαρμογών αποτελούν το ασύρματο σύστημα Sunny Beam και το Sunny Boy Control, το Sunny WebBox και το Sunny

Portal της εταιρείας SMA Solar Technology AG από την οποία πήραμε και τα στοιχεία.

6.4 Ασύρματα ή ενσύρματα - Ασφαλής σύνδεση με ή χωρίς καλώδια

Ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η επιτήρηση μιας εγκατάστασης ηλιακού ρεύματος, δεν είναι άλλος παρά αυτός της μεταφοράς δεδομένων των τιμών ισχύος ή της ενεργειακής απόδοσης. Η επικοινωνία μεταξύ των ηλιακών μετατροπέων και των συσκευών επιτήρησης δικτύου, γίνεται με δύο βασικές δυνατότητες σύνδεσης : την ασύρματη και την ενσύρματη. Όποια και αν επιλέξουμε απο τις δύο μας δίνει τα δικά της πλεονεκτήματα και μπορούμε να τις χρησιμοποιήσουμε σε οποιασδήποτε τάξης μεγέθους εγκατάσταση. Παραλάτω θα δείξουμε αναλυτικά τον κατάλληλο τρόπο επικοινωνίας για το εκάστοτε φωτοβολταϊκό σύστημα.

Πίνακας 5 :Σύγκριση ασύρματης και ενσύρματης σύνδεσης

| | BLUETOOTH (ΑΣΥΡΜΑΤΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ) | ΚΑΛΩΔΙΩΣΗ RS485 |
|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Συνήθεις εφαρμογές | Κυρίως σε μικρές και μεσαίες φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις | Σε μεσαίες και μεγάλες φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις |
| Πλεονεκτήματα | Εξοικονόμηση κόστους | Υψηλή ταχύτητα και αξιοπιστία |
| Αριθμός συμμετεχόντων συσκευών | Έως και 50 ανά δίκτυο | Εως 50 ανά δίαυλο RS485 |
| Επιτήρηση εγκατάστασης και μετατροπείς | Bluetooth | |
| Εμβέλεια | Έως 100 m σε ελεύθερο χώρο ανάμεσα σε μεμονωμένες συσκευές | 1200 m ανά δίαυλο RS485 |

| | BLUETOOTH (ΑΣΥΡΜΑΤΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ) | ΚΑΛΩΔΙΩΣΗ RS485 |
|------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|----------------------------|
| Αριθμός συσκευών εμφάνισης δεδομένων (π.χ. Sunny Beam ή Sunny WebBox) | Έως τέσσερις ανά δίκτυο (ανάλογα με τον αριθμό συνδρομητών) | Μία ανά δίαυλο RS485 |

6.4.1 Ασύρματης διασύνδεσης

Με την χρήση του Bluetooth δημιουργείται με ευκολία ασύρματο δίκτυο, χωρίς να υπάρχει οικονομική επιβάρυνση σε εργασίες όπως διάτρηση τοίχων, σοβάτισμα ή βάψιμο. Αποτελεί την ιδανική λύση για εγκαταστάσεις όπως στέγες ιδιωτικών κατοικιών. Προσφέρει επεκτασιμότητα και ευελιξία στην επιτήρηση της εγκατάστασης. Χάρη στην έξυπνη δικτύωση του Bluetooth υπάρχει δυνατότητα ενσωμάτωσης μέχρι έως και 50 συσκευών σε ένα δίκτυο. Επίσης υπάρχει μεγάλη εμβέλεια μεταξύ των συσκευών. Λόγω της ιδιαιτερότητας κατασκευής του Bluetooth, να αλλάζει συχνά συχνότητες καθώς επίσης και στην αποστολή δεδομένων σε μικρές μονάδες, η ασύρματη σύνδεση είναι ιδιαίτερα σταθερή

6.4.2 Ενσύρματης διασύνδεσης

Ο δίαυλος πεδίου RS485 αποτελεί την πλέον κλασική λύση στον τομέα ενσύρματης επικοινωνίας. Το γεγονός ότι χρησιμοποιείται εδώ και πολλά χρόνια, είναι και η ζωντανή απόδειξη της αξίας του για αμέτρητες εγκαταστάσεις. Μέσω ενός δίαυλου επικοινωνίας (κοινώς μορφή αλυσίδας), γίνεται η σύνδεση όλων των συσκευών. Στο τέρμα αυτής της αλυσίδας, συλλέγονται όλα τα δεδομένα και ενημερώνει αξιόπιστα σχετικά με την κατάσταση της ηλιακής εγκατάστασης. Το μεγάλο πλεονέκτημα είναι πως μπορούμε να καλωδιώσουμε έως και 1200 μέτρα και να υπάρχει αξιοπιστία δεδομένων, ακόμη και σε ιδιαιτέρως ευαίσθητα περιβάλλοντα χωρίς απώλεια ισχύος. Γιατί ιδιαιτέρως στα μεγάλα φωτοβολταϊκά συστήματα, οι φορείς αξιοποίησης της εγκατάστασης επιζητούν μέγιστη ασφάλεια και αξιοπιστία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ

7.1 Λόγοι για να συντηρήσουμε την επένδυσή μας

- Διασφαλίζεται η αδιάλειπτη λειτουργία και η υψηλή παραγωγικότητα της εγκατάστασης μέσω της άμεσης διάγνωσης και του εντοπισμού τυχούσας βλάβης ή δυσλειτουργίας.
- Μειώνεται η πιθανότητα πρόκλησης ατυχημάτων με αποτέλεσμα να προστατεύεται η σωματική ακεραιότητα και η ανθρώπινη ζωή (από κινδύνους όπως π.χ. η ηλεκτροπληξία λόγω ασυνέχειας ισοδυναμικού βρόχου).
- Επιβραδύνεται η διαδικασία φθοράς/γήρανσης του εξοπλισμού. (Σε ορισμένες περιπτώσεις πρόκειται για μη αναστρέψιμη διαδικασία, με συνέπεια μόνιμη απώλεια κερδών και υψηλό κόστος αποκατάστασης.)
- Αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για να ισχύουν οι εγγυήσεις του εξοπλισμού.
- Αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για να αποζημιωθείτε από τον ασφαλιστικό σας φορέα, σε περιπτώσεις αξίωσης αποζημιώσεων για ασφαλιζόμενα γεγονότα (π.χ. κλοπές, φυσικές καταστροφές, μηχανολογικές βλάβες).
- Το μακροχρόνιο όφελος από τη συντήρηση είναι μεγαλύτερο από το κόστος της.
- Μειώνεται στο ελάχιστο ο χρόνος ενασχόλησής σας με την εγκατάσταση.
- Αυξάνεται η μεταπωλητική αξία της εγκατάστασης, σε περίπτωση παρουσίας συμβολαίων συντήρησης από πιστοποιημένη εταιρία
- Το 80% των βλαβών που εμφανίζονται οφείλονται είτε στην πλήρη απουσία συντήρησης, είτε στην κακή συντήρηση.
- Προβλέπεται από το νόμο (άρθρο 5, ΦΕΚ 470) με σκοπό την ασφάλεια και την αξιοπιστία της ηλεκτρολογικής εγκατάστασης.

7.2 Προληπτική Συντήρηση Φωτοβολταϊκών Πάρκων

Τα σκέλη στα οποία θα πρέπει να γίνεται η προληπτική συντήρηση είναι τα εξής

7.2.1 Ηλεκτρολογικός έλεγχος

- Φωτοβολταϊκών στοιχείων
- Στοιχειοσειρών
- Ηλεκτρικών Πινάκων
- Inverter
- Καλωδιώσεων
- Γειώσεων και αντικεραυνικής προστασίας
- Συστημάτων ασφαλείας και επιτήρησης

7.2.2 Μηχανολογικός έλεγχος

- Λίπανση τυχόν κινούμενων μερών
- Έλεγχος συσφίξεων
- Έλεγχος βάσεων στήριξης για τυχόν φθορές

7.2.3 Καθημερινός έλεγχος παραγόμενης ισχύος

- Ημερήσιες αναφορές παραγόμενης ισχύος
- Έγκαιρη διάγνωση σφαλμάτων

7.2.4 Αντικατάσταση αναλώσιμων

- Πυροσβεστικά μέσα
- Ασφάλειες
- Διακοπτικό υλικό
- Λαμπτήρες
- Μπαταρίες συναγερμού κ.λ.π.

7.2.5 Καθαρισμός Φ/Β πλαισίων

Η εκτέλεση περιοδικών καθαρισμών των Φωτοβολταϊκών πλαισίων είναι αναγκαία. Πρέπει να γίνεται πλύση αυτών με απιονισμένο νερό και ειδικών λεπτίνων βουρτσών, που δεν προκαλούν φθορές στην επιφάνεια των πλαισίων. Είναι απαραίτητο να ληφθούν όλες οι απαιτούμενες παράμετροι, ώστε να αποφευχθεί η απότομη θερμοκρασιακή μεταβολή στην επιφάνεια των πλαισίων και να αποτραπεί η ενδεχόμενη θράυση τους.



Εικόνα 49: Διαδικασία καθαρισμού ΦΒ πάνελ

7.2.6 Χλοοκοψία

Πρόκειται για μια υπηρεσία που είναι απαραίτητη για την εύρυθμη λειτουργία της Φ/Β σας εγκατάστασης. Η τακτική χλοοκοψία διασφαλίζει αυξημένη παθητική πυρασφάλεια, εύκολη προσβασιμότητα, αποφυγή ανεπιθύμητων φωτοσκιάσεων, ενώ αναδεικνύει την εγκατάστασή σας ως μια απόλυτα προσεγμένη επένδυση. Είναι απαραίτητο να γίνονται 1 ή 2 χλοοκοψίες τον χρόνο, σε χρονικές περιόδους όπου παρατηρείται αυξημένη φυτοφυία (άνοιξη και φθινόπωρο).



Εικόνα 50: Ο χώρος πέριξ των συστοιχιών πρέπει να είναι καθαρισμένος

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ – ΜΕΛΕΤΗ Φ/Β ΠΑΡΚΟΥ

8.1. Τα τέσσερα στάδια σχεδίασης ενός ΦΒ πάρκου

Για να φτάσουμε στο τελικό στάδιο υλοποίησης ενός φωτοβολταϊκού πάρκου πρέπει αρχικά να γίνουν οι παρακάτω απαιτούμενες ενέργειες-μελέτες.

Χώρος εγκατάστασης : Είναι πολύ σημαντική η επιλογή του κατάλληλου χώρου για την εγκατάσταση ενός φωτοβολταϊκού πάρκου. Με την σωστή επιλογή αποφεύγουμε τα αδειοδοτικά κωλύματα και μεγιστοποιείται έτσι η οικονομική απόδοση του έργου, τόσο κατά την κατασκευή όσο και κατά την λειτουργία (έλεγχος πρόσβασης, εγγύτητας δικτύου, πιθανών σκιάσεων κτλ.).

Οικονομοτεχνική σκοπιμότητα : Είναι απαραίτητο να γίνει σωστή έρευνα για την οικονομοτεχνική σκοπιμότητα του έργου. Υπάρχουν εξειδικευμένα πακέτα λογισμικού ανάλυσης των μετεωρολογικών δεδομένων καθώς και προσομείωσης της λειτουργίας μιας εγκατάστασης (simulation), τα οποία δίνουν την δυνατότητα της παραγόμενης ενέργειας του σταθμού.

Σύνταξη φακέλων : Η εγκατάσταση ενός φωτοβολταϊκού σταθμού είναι μια πολυσύνθετη διαδικασία, η οποία έχει ως βασικά προαπαιτούμενα την αδειοδότηση και έγκριση διαφόρων δημοσίων υπηρεσιών, όπως για παράδειγμα της Ρ.Α.Ε., του ΛΑΓΗΕ, του ΔΕΔΔΗΕ κτλ. Περιλαμβάνει επίσης, τη σύνταξη και έγκριση ποικίλων μελετών όπως: Προμελέτη και Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων, Τεχνική Μελέτη Λειτουργίας του Σταθμού, Άδεια ή εξαίρεση από την Άδεια Παραγωγής, Λειτουργίας και Εγκατάστασης.

Σχεδιασμός και χωροθέτηση : Πριν την εγκατάσταση του εξοπλισμού είναι απαραίτητο να μελετηθούν, να σχεδιαστούν και να χωροθετηθούν, μέχρι την τελευταία λεπτομέρεια, όλες οι κύριες αλλά και βοηθητικές διατάξεις που απαρτίζουν ένα φωτοβολταϊκό σταθμό (αντιστροφείς, συστήματα στήριξης, συνδεσμολογία των πάνελς, διατομές καλωδίων, σύστημα συναγερμού κτλ.). Με αυτόν τον τρόπο, αποφεύγουμε τυχόν σχεδιαστικά λάθη που θα μπορούσαν να οδηγήσουν στη μειωμένη απόδοση της επένδυσής σας ή στη δυσκολία της εκτέλεσής/συντήρησής της.

8.2. Παραδοχές Προσφοράς

Οι παραδοχές πάνω στις οποίες βασίζεται η πρόσφορα είναι ο ακόλουθες:

- Η εγκατάσταση του έργου πραγματοποιείται σε ελεύθερο χώρο (γήπεδο).
- Στερέωση συστήματος στήριξης με έμπηξη πασσάλων εντός του εδάφους (ramming).
- Κλήση του εδάφους περίπου 15%.
- Κατά την διαστασιολόγηση των πάνελ, δεν προέκυψαν τεχνητά ή φυσικά εμπόδια, τα οποία πιθανόν να προκαλούσαν σκίαση, η οποία θα μείωνε την απόδοση του πάρκου.
- Ο χώρος διαθέτει οδούς πρόσβασης βαρέων οχημάτων.
- Το σημείο διασύνδεσης με το δίκτυο χαμηλής τάσης βρίσκεται στα όρια του οικοπέδου και είναι διαθέσιμο.
- Οι άδειες για την κατασκευή και την διασύνδεση του πάρκου είναι σε ισχύ έως και την ολοκλήρωση της κατασκευής.
- Η ποιότητα του εδάφους, τα ανεμολογικά δεδομένα και οι επικρατούσες καιρικές συνθήκες της εν λόγω περιοχής, καθώς και η επί τόπου αυτοψία από τους μηχανικούς της κατασκευάστριας εταιρείας, θα καθορίσουν την τελική επιλογή του τρόπου στήριξης.

8.3. Φωτοβολταϊκά PANEL

Η φωτοβολταϊκή γεννήτρια θα αποτελείται από panel τεχνολογίας πολυκρυσταλλικού πυριτίου του οίκου SUNTECH. Η προμελέτη στην οποία έχει στηριχθεί η παρούσα προσφορά έχει κάνει χρήση τεμαχίων του τύπου SUNTECH, ισχύος 227Wp έκαστο.

Το φωτοβολταϊκό στοιχείο SUNTECH αποτελείται από 60 πολυκρυσταλλικές κυψέλες πυριτίου. Η ανοχή ισχύος είναι της τάξης του + 5W.

Το πλαίσιο αποτελείται από ένα ανθεκτικό στην παραμόρφωση και τη διάβρωση κράμα αλουμινίου, χάρη στο οποίο τα στοιχεία είναι σταθερά και έχουν πολλές δυνατότητες τοποθέτησης.

Η μετωπική πλευρά των στοιχείων αποτελείται από ηλιακό γυαλί, το οποίο έχει προενταθεί με θερμική επεξεργασία. Το γυαλί αυτό εξασφαλίζει

αφενός υψηλή φωτοδιαπερατότητα και αφετέρου προστατεύει τις ηλιακές κυψέλες από την επίδραση εξωγενών περιβαλλοντικών παραγόντων, όπως χαλάζι, χιόνι και πάγο. Η παρουσία μιας πολυεστερικής μεμβράνης στην πίσω πλευρά εξασφαλίζει ικανοποιητική μόνωση και μεγάλη διάρκεια ζωής.

Το κουτί διασύνδεσης στην πίσω πλευρά διαθέτει διόδους bypass, οι οποίες μειώνουν τον κίνδυνο υπερθέρμανσης μεμονωμένων ηλιακών κυψελών (φαινόμενο hot-spot). Η σύνδεση περισσότερων φωτοβολταϊκών στοιχείων σε σειρά επιτυγχάνεται εύκολα με τη βοήθεια ενός προσυναρμοσμένου ηλιακού καλωδίου μήκους 1.1 m με ηλιακό βύσμα. Τα Φ/Β πλαίσια συνδέονται μεταξύ τους εν σειρά σχηματίζοντας στοιχειοσειρές των 24 περίπου πλαισίων (πάνελς). Σε κάθε τραπέζι αντιστοιχούν τρεις στοιχειοσειρές. Θα εγκατασταθούν συνολικά 7 τραπέζια τα οποία χωρίζονται σε τέσσερις σειρές με απόσταση περίπου 7 μέτρων μεταξύ τους.

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία SUNTECH SOLAR έχουν πιστοποιηθεί με βάση τα ισχύοντα ευρωπαϊκά και διεθνή πρότυπα IEC/EN 61215 και IEC/EN 61730 και πληρούν τις απαιτήσεις της κατηγορίας προστασίας II. Η εγγύηση απόδοσης ανέρχεται, βάσει των όρων εγγύησης της εταιρίας, για 5 χρόνια στο 95 %, για 12 χρόνια στο 90% και για 25 χρόνια στο 80 % της ελάχιστης μετρημένης απόδοσης.

Η κατασκευή τους είναι πιστοποιημένη κατά ISO9001 και ISO14001.

Ο τύπος που θα χρησιμοποιηθεί τελικά θα προσδιοριστεί κατά τη φάση της Μελέτης Εφαρμογής

Τα βασικά χαρακτηριστικά του SUNTECH SOLAR 270Wp είναι τα εξής:

- Τύπος κυψέλης: MAIN – isotex κυψέλες (πολυκρυσταλλικές πλήρως τετραγωνισμένες 15,6 x 15.6 cm²)
- Ονομαστική ισχύς: 225 Wp (ανοχές +5W)
- Τάση ανοιχτού κυκλώματος: 36.7 V
- Ρεύμα βραχυκύκλωσης: 8,15 A
- Συντελεστής θερμοκρασίας Ισχύος Mpp: -0,47 %/ K
- Διαστάσεις / Βάρος: 1665 x 991 x 50 mm / 22.5 kgr
- Πιστοποιήσεις: IEC 61215 και IEC61730, CE

8.4. INVERTER

Η μετατροπή του συνεχούς ρεύματος (DC) που παράγουν τα φωτοβολταϊκά panel σε εναλλασσόμενο (AC), κατάλληλο για την τροφοδότηση της Χαμηλής Τάσης του Δικτύου, θα πραγματοποιείται από συνδυασμό μονοφασικών inverter στοιχειοσειράς (string inverter) του οίκου SMA.

Τα βασικά χαρακτηριστικά του SMA Sunny Tripower 17000TL, ο οποίος χρησιμοποιείται στην παρούσα μελέτη, είναι τα εξής:

- Μέγιστος συντελεστής απόδοσης (κατά IEC61683): 98.2 %
- Ευρωπαϊκός συντελεστής απόδοσης: 97.8 %
- Διαστάσεις / βάρος: 665 x 690 x 265mm / 65 kg
- Κατάλληλος για υπαίθρια τοποθέτηση (κατηγορία προστασίας IP 65)
- Θερμοκρασία λειτουργίας: -25 έως +60 °C
- Ονομαστική AC ισχύς / τάση εξόδου: 17000 W
- Συχνότητα δικτύου: 50/60/ Hz
- Διακόπτες ισχύος DC: ενσωματωμένος
- Θύρες επικοινωνίας: RS485
- Χώρα κατασκευής: Γερμανία
- Εγγύηση προϊόντος: 5 έτη

Οι inverter ικανοποιούν όλες τις απαιτήσεις ασφαλείας σύμφωνα με τον «Οδηγό Σύνδεσης Φωτοβολταϊκών Σταθμών στο Δίκτυο Χαμηλής Τάσης της ΔΕΗ. Για την προστασία κατά του φαινομένου της νησιδοποίησης (islanding) οι inverter εναρμονίζονται με το πρότυπο DIN VDE 0126-1-1 (2.06).

Ο συγκεκριμένος τύπος inverter μπορεί να αντικατασταθεί από ισοδύναμο ή άλλο κατά τη φάση της Μελέτης Εφαρμογής.

Με την προτεινόμενη αρχιτεκτονική όλοι οι αντιστροφείς θα τοποθετηθούν όσο το δυνατόν πλησιέστερα στα φωτοβολταϊκά πλαίσια για να αποφεύγονται υπερβολικές απώλειες συνεχούς ρεύματος. Επίσης οι αντιστροφείς θα προστατεύονται από τον ήλιο και την υπερβολική θέρμανση γιατί ως γνωστόν η απόδοση των inverter μειώνεται με τη θερμοκρασία. Να τονιστεί όμως ότι ο συγκεκριμένος τύπος υλικού έχει θερμοκρασία λειτουργίας μέχρι τους 60⁰C, ενώ το σύστημα ψύξης του είναι ιδιαίτερα εξελιγμένο (integrated cooling). Η ομαδοποίηση των πάνελ έχει γίνει ώστε να αντιστοιχεί ένας αντιστροφέας σε κάθε τραπέζι.

8.4.1. Τεχνικά χαρακτηριστικά Sunny Tripower17000TL

Είσοδος (DC)

- Μέγιστη ισχύς DC (@ $\cos \varphi = 1$):17410 W
- Μέγιστη τάση εισόδου 1000 V
- Εύρος τάσης MPP / Ονομαστική τάση εισόδου:400 V – 800 V / 600 V
- Ελάχιστη τάση εισόδου / Τάση έναρξης τροφοδοσίας:150 V / 188 V
- Μέγιστο ρεύμα εισόδου στην είσοδο A / είσοδο:33 A / 11 A
- Μέγιστο ρεύμα εισόδου ανά στοιχειοσειρά στην είσοδο A² / είσοδο B²:40 A / 12,5 A
- Αριθμός ανεξάρτητων εισόδων MPP / στοιχειοσειρών ανά είσοδο MPP:2 / A:5, B:1

Έξοδος (AC)

- Ονομαστική ισχύς (@ 230 V, 50 Hz):17000 W
- Μέγιστη φαινόμενη ισχύς AC:17000 VA
- Ονομαστική τάση AC: 3 / N / PE, 220 / 380 V
3 / N / PE, 230 / 400 V
3 / N / PE, 240 / 415 V
- Εύρος ονομαστικής τάσης AC:160 V – 280 V
- Συχνότητα δικτύου AC/Εύρος: 50 Hz, 60 Hz / -6 Hz ... +5 Hz
- Ονομαστική συχνότητα δικτύου/Ονομαστική τάση δικτύου 50 Hz / 230 V
- Μέγιστο ρεύμα εξόδου:24,6 A
- Συντελεστής ισχύος σε ονομαστική ισχύ:1
- Ρυθμιζόμενος συντελεστής μετατόπισης:
 - 0 με υπερδιέγερση
 - 0 με υποδιέγερση

- Φάσεις τροφοδοσίας/Φάσεις σύνδεσης:3 / 3

Βαθμός απόδοσης

- Μέγιστος βαθμός απόδοσης/Ευρωπαϊκός βαθμός απόδοσης:98,2 %/97,8 %

Διατάξεις προστασίας

- Αποζεύκτης εισόδου
- Επιτήρηση σφάλματος γείωσης / Επιτήρηση δικτύου
- Απαγωγοί υπέρτασης DC (τύπου II)
- Προστασία αντίστροφης πολικότητας DC/Αντοχή σε βραχυκύκλωμα AC/
- Γαλβανική απομόνωση
- Μονάδα επιτήρησης ρεύματος διαρροής ευαίσθητη σε όλους τους τύπους ρεύματος
- Κατηγορία προστασίας (κατά το πρότυπο IEC 62103)
- Κατηγοραί υπέρτασης (κατά το πρότυπο IEC 60664-1) I / III

8.4.2. Γενικά χαρακτηριστικά Sunny Tripower 17000TL

- Διαστάσεις (Π/Υ/Β):665 / 690 / 265 mm(26,2 / 27,2 / 10,4 in)
- Βάρος:59 kg (130,07 lb)
- Εύρος τιμών θερμοκρασίας λειτουργίας:-25 °C ... +60 °C (-13 °F ... +140 °F)
- Εκπομπή θορύβου, τυπική:51 dB(A)
- Ιδιοκατανάλωση (νύχτα):1 W
- Τοπολογία / Σύστημα ψύξης:Χωρίς μετασχηματιστή / OptiCool

- Κατηγορία προστασίας (κατά το πρότυπο IEC 60529):IP65
- Κλιματική κατηγορία (κατά το πρότυπο IEC 60721-3-4):4K4H
- Μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή σχετικής υγρασίας (χωρίς συμπύκνωση):100 %

8.4.3. Εξοπλισμός

- Σύνδεση DC / Σύνδεση AC SUNCLIX / Ελατηριωτός συνδετήρας
- Οθόνη Γράφημα
- Διεπαφή: RS485, *Bluetooth*®, Speedwire/Webconnect
- Ρελέ πολλαπλών λειτουργιών / Power Control Module
- Εγγύηση: 5 χρόνια
- Πιστοποιητικά και άδειες (περισσότερα κατόπιν αιτήματος):AS 4777, BDEW 2008, C10/11:2012, CE,CEI 0-16, CEI 0-21, EN 504381G59/3, IEC 61727 (MEA/PEA), IEC 62109-1/2, NEN EN 50438, PPC, PPDS,RD 1699, RD 661/2007, SI4777, UTE C15-712-1, VDE 0126-1-1,VDE-AR-N 4105

8.5. Σύστημα Τηλεμετρίας : SMA Sunny WebBox & Sunny SensorBox INVERTER

Μέσω του συστήματος τηλεμετρίας επιτυγχάνεται πλήρη παρακολούθηση της λειτουργίας του σταθμού. Το Sunny WebBox είναι η κεντρική μονάδα επικοινωνίας του ΦΣ. Το Sunny WebBox συλλέγει διαρκώς (μέσω καλωδίων data) όλα τα στοιχεία από τους αντιστροφείς καθώς και από τους αισθητήριες (sensors) ακτινοβολίας και θερμοκρασίας και τα αποστέλλει, μέσω ασύρματου modem, σε απομακρυσμένο υπολογιστή, παρέχοντας τη δυνατότητα ελέγχου της τρέχουσας κατάστασης και λειτουργίας του πάρκου. Ως πολυλειτουργικός καταγραφέας δεδομένων δίνει επιπρόσθετα πολλές δυνατότητες για τις ενδείξεις, την καταχώρηση και την περαιτέρω επεξεργασία των δεδομένων της εγκατάστασης.

8.5.1. Χαρακτηριστικά SMA Sunny WebBox:



Εικόνα 51: Το Sunny WebBox

- Συνεχής επιτήρηση του Φ/Β σταθμού
- Έγκαιρη αναγνώριση σφαλμάτων λειτουργίας
- Καταγραφή των ενεργειακών αποδόσεων
- Αποθήκευση δεδομένων για την αξιολόγηση
- Διάγνωση και διαμόρφωση της εγκατάστασης με κάθε Η/Υ
- Αυτόματη μετάδοση δεδομένων σε ρυθμιζόμενα χρονικά διαστήματα
- Επεξεργασία δεδομένων και γραφική απεικόνιση στο διαδίκτυο

8.5.2. Χαρακτηριστικά SMA Sunny SensorBox



Εικόνα 52: Το SMA Sunny SensorBox

- Λεπτομερής ανάλυση απόδοσης του φωτοβολταϊκού συστήματος

- Καταγραφή ηλιακής ακτινοβολίας και θερμοκρασίας μονάδας
- Προαιρετικά: Καταγραφή της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος και της ταχύτητας του αέρα
- Απλή εγκατάσταση στη φωτοβολταϊκή γεννήτρια
- Συμβατό με το Sunny WebBox
- Απλή ενσωμάτωση στα υπάρχοντα συστήματα μέσω διεπαφής RS485
- Αξιολόγηση των δεδομένων σε έναν H/Y ή στον δικτυακό τόπο Sunny Portal
- Αυτόματος υπολογισμός του ποσοστού απόδοσης μέσω του δικτυακού τόπου Sunny Portal
- **Εταιρία κατασκευής: SMA**
- **Χώρα κατασκευής: Γερμανία**
- **Εγγυήσεις:** Εγγύηση 5 χρόνων με δυνατότητα επέκτασης (κατασκευαστής)

8.6. Σύστημα στήριξης

Τα συστήματα στήριξης (Schletter FS) είναι εξ ολοκλήρου κατασκευασμένα από αλουμίνιο, για την καλύτερη αντιδιαβρωτική προστασία της όλης κατασκευής.

Η στήριξη του συστήματος θα πραγματοποιηθεί με την χρήση πασσάλων από γαλβανισμένο χάλυβα. Οι εν λόγω πάσσαλοι θα τοποθετηθούν με τη βοήθεια κατάλληλου μηχανήματος έμπηξης (ramming machine).

8.7. Καλωδιώσεις - Συνδεσμολογία

Ένα από τα πιο σημαντικά στοιχεία της όλης εγκατάστασης είναι ο τρόπος σύνδεσης των πάνελ με τα ηλεκτρικά στοιχεία της διάταξης. Οι διαδρομές των καλωδίων ξεκινούν από τα στεγανά κιβώτια σύνδεσης στο πίσω μέρος κάθε πλαισίου. Καθώς τα πάνελ παράγουν συνεχές ρεύμα, τα καλώδια αυτά έχουν πολικότητα και θα πρέπει να δοθεί προσοχή στην ορθή σύνδεσή τους. Καθώς οι απώλειες στο συνεχές ρεύμα θα μπορούσαν να είναι μεγάλες, κύριο μέλημά μας είναι οι αποστάσεις μέχρι τους αντιστροφείς να είναι όσο το δυνατόν μικρότερες.

Καθώς ένας αριθμός από πάνελ συνδέεται σε σειρά μεταξύ τους, κρίνεται ιδιαίτερα χρηστική η δυνατότητα που διαθέτουν τα πάνελ, να μπορούν να συνδέονται με στεγανούς συνδετήρες χωρίς την απαίτηση χρήσης εργαλείων, πράγμα που συντομεύει κατά πολύ τις διαδικασίες εγκατάστασης αλλά και τις πιθανότητες βλαβών ή κακής λειτουργίας από οξείδωση ή κακή εφαρμογή.

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια συνδεδεμένα σε σειρά αποτελούν μια στοιχειοσειρά. Σε κάθε στοιχειοσειρά (strings) πριν την σύνδεσή της επί των αντιστροφών θα εγκατασταθούν **αποζεύκτες με ασφάλεια υπερταχείας τήξεως για να προστατευτεί το κύκλωμα DC**. Επιπρόσθετα για την απαγωγή επαγωγικών τάσεων, βραχυκυκλωμάτων και ατμοσφαιρικών ηλεκτρικών εκκενώσεων θα εγκατασταθεί υλικό **για τη προστασία υπερτάσεων στη πλευρά DC** τύπου SPD για μέγιστο ρεύμα 20kA (8-20μsec).

Οι αντιστροφείς θα προστατεύονται από τον ήλιο και την υπερβολική θέρμανση γιατί ως γνωστόν η απόδοση των inverter μειώνεται με τη θερμοκρασία. Να τονιστεί όμως ότι ο συγκεκριμένος τύπος υλικού έχει θερμοκρασία λειτουργίας μέχρι τους 60°C, ενώ το σύστημα ψύξης του είναι ιδιαίτερα εξελιγμένο (integrated cooling).

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των καλωδίων έχουν υπολογισθεί βάσει της πτώσης τάσης, των απωλειών και του κόστους εγκατάστασης. Οι διατομές όλων των καλωδίων και στην πλευρά συνεχούς (DC) και στην πλευρά AC έχουν υπολογιστεί θεωρώντας ως όριο απωλειών το 1% αντιστοίχως. Ειδικότερα θα χρησιμοποιηθούν 7 πίνακες DC, ένας σε κάθε τραπέζι. Δυο υποπίνακες AC ο ένας για τα τέσσερα πρώτα τραπέζια και ο άλλος για τα υπόλοιπα τρία. Τέλος ο γενικός πίνακας AC που θα βρίσκεται σε προκατασκευασμένο οικίσκο, στον οποίο θα συνδέονται οι AC υποπίνακες και με τη σειρά του αυτός, στο ρολόι της ΔΕΗ. Για την σύνδεση κάθε τραπέζιού με τον πίνακα DC χρησιμοποιείται ηλιακό καλώδιο 6mm². Και του κάθε πίνακα DC με τον inverter, ηλιακό καλώδιο 10mm². Για κάθε ένα από τα 7 τραπέζια απαιτούνται περίπου 90 – 100 μέτρα ηλιακού καλωδίου 6mm² και 5 μέτρα ηλιακού καλωδίου 10mm². Οι τέσσερις πρώτοι αντιστροφείς συνδέονται στον πρώτο υποπίνακα AC και οι υπόλοιποι τρεις στον δεύτερο. Για την σύνδεση τους χρησιμοποιείται καλώδιο 4x10mm². Θα χρειαστούν περίπου 100 – 110 μέτρα καλωδίου 4x10mm² για όλο το πάρκο. Από κάθε πίνακα υποπίνακα AC αναχωρεί καλώδιο 4x35mm² προς τον γενικό πίνακα DC. Υπολογίζεται ότι θα χρειαστούν 90 – 100 μέτρα τέτοιου καλωδίου. Από τον οικίσκο του γενικού πίνακα DC αναχωρούν τρία μονοπολικά καλώδια 120 mm² και ένα μονοπολικό 70 mm² προς τον μετρητή της ΔΕΗ. Υπολογίζεται ότι θα χρειαστούν περίπου 15 – 20 μέτρα καλωδίου 120mm² και 5 – 7 μέτρα 70mm², εφόσον ο οικίσκος τοποθετηθεί όσο το δυνατόν πιο κοντά στο σημείο τοποθέτησης του μετρητή. Τέλος οπουδήποτε υπάρχουν διαδρομές καλωδίων μέσα στο πάρκο αυτές θα γίνονται σε βάθος 50cm περίπου και πάντα εντός πλαστικών σωλήνων σπιράλ κατάλληλης διατομής. Αφού τοποθετηθούν τα καλώδια εντός σπιράλ θα τοποθετηθεί επάνω στα σπιράλ μικρή στρώση άμμου και στη συνέχεια χώμα.

8.8. Γειώσεις & Αντικεραυνική Προστασία

Η εγκατάσταση θα προστατεύεται από σύστημα αντικεραυνικής προστασίας, στο οποίο θα περιλαμβάνονται μέριμνα για την απαγωγή των υπερτάσεων, καθώς και γειώσεις κατάλληλες για την ανίχνευση ρευμάτων βραχυκυκλώσεως προς το έδαφος, από ένα σημείο των σειρών. Για την γείωση του συστήματος θα κατασκευασθεί συνδυασμός από τρίγωνα γείωσης και θεμελιακές γειώσεις έτσι ώστε να επιτευχθεί αντίσταση γείωσης μικρότερη του 1Ω . Όλα τα τρίγωνα γείωσης θα διασυνδεθούν μεταξύ τους σε μορφή κλειστού βρόγχου με αγωγό χαλκού χωρίς μόνωση 50mm^2 ο οποίος θα εγκατασταθεί εντός του εδάφους. Επιπλέον σε όλους τους οικίσκους που στεγάζουν ηλεκτρολογικό εξοπλισμό μέσης τάσης θα εγκατασταθούν πλέγματα δαριγκ εντός των δαπέδων καθώς και ισοδυναμικές συνδέσεις. Η μέθοδος γείωσης των εγκαταστάσεων θα είναι αυτή που εφαρμόζει η ΔΕΗ, δηλ. η ουδετέρωση.

8.9. Διαχείριση και παρακολούθηση έργου

Σε οποιοδήποτε κατασκευαστικό έργο και ιδιαίτερα στο συγκεκριμένο απαιτείται ιδιαίτερη μέριμνα όσον αφορά:

- Τη διαχείριση του εξοπλισμού
- Στη διασύνδεση των επιμέρους τμημάτων προκειμένου να επιτύχουμε τη μέγιστη δυνατή απόδοση του συστήματος
- Την επίβλεψη όλων των συνεργείων
- Την αυστηρή τήρηση προδιαγραφών και της ποιότητας για όλο το έργο

Η πλήρης ευθύνη οργάνωσης και επίβλεψης του εργοταξίου ανήκει αποκλειστικά και μόνο στην κατασκευαστική εταιρεία.

8.10. Σύνολο υλικών και εργασίες

- **Φωτοβολταϊκά στοιχεία SUNTECH solar**
 - Εγγύηση προϊόντος : 10 έτη, (Standard Test Conditions), Διαστ. $1665 \times 991 \times 50\text{mm}$, Βάρος : 22,5 kg, Ονομαστική ισχύς 225Wp (αποκλ. +5W)
 - **Τεμάχια 444**

- **Inverter SMA, Sunny Tripower 12000TL και 17000TL**
 - Εύρος λειτουργ. θερμ. -25°C έως 60°C, Ηλ/νικός Αποζεύκτης DC (ESS), Ονομ. ισχύς εισόδου 10000, Κάρτα μετάδοσης Data RS485, Διαστ. 468x613x242mm , Βαθμός απόδοσης : 98,2%, Protection Class : IP65 Ένδειξη οθόνης LCD
 - **6 τεμάχια 17000TL και 1 τεμάχιο 12000TL**

- **SMA WebBox, Data Recording System**
 - Sunny Boy Control, Κάρτα μετάδοσης Data RS485, Memory Card 1GB, Modem, Σύστημα επιτήρησης Sunny Web Box
 - **Τεμάχια 1**

- **Sunny Sensor Box**
 - Θερμοκρασίας Περιβάλλοντος, Ηλιακής Ακτινοβολίας, Αισθητήρες Θερμοκρασίας Φ/Β στοιχείων
 - **Τεμάχια 1**

- **Βάσεις Στήριξης SCHLETTER**
 - Βαθμός εξωτερικής προστασίας IP 65, σύστημα αυτόνομης στήριξης σταθερών βάσεων της Γερμανικής εταιρείας από αναδυόμενο αλουμίνιο με πιστοποίηση TUV, αντοχή σε ανεμοπιέσεις μέχρι 145 km/h

- **Πίνακες DC**
 - **Τεμάχια 7**

- **Πίνακες AC**
 - **Τεμάχια 2**

- **Μηχανολογικές Εργασίες**
 - Έμπηξη πασσάλων, Συναρμολόγηση συστήματος στήριξης και Τοποθέτηση πάνελ.
- **Ηλεκτρολογικές Εργασίες**
 - Κατασκευή DC/AC/DATA κυκλωμάτων και κατασκευή δικτύου γειώσεων.
- Έργα πολιτικού μηχανικού (χωματουργικά εξομάλυνσης και διάνοιξης χανδακιών και οικοδομικά κατασκευής περίφραξης έως 300 m.
- Συναγερμός(σύστημα παρακολούθησης του Φ/Β πάρκου).
- Προκατασκευασμένος οικίσκος

8.11. Οικονομική Προσφορά

ΓΕΝΙΚΟ ΣΥΝΟΛΟ 213.500,00€

Στην ανωτέρω τιμή δεν συμπεριλαμβάνεται:

- Φ.Π.Α. 23% στα υλικά και στις εργασίες
- Τα υλικά που απαλλάσσονται από τον Φ.Π.Α. Σύμφωνα με τον αντίστοιχο νόμο είναι:
 1. Τα πάνελ
 2. Οι μετατροπείς ισχύος (inverter)
 3. Οι βάσεις στήριξης
- ερμαρίου τοποθέτησης του μετρητή της ΔΕΗ
- ΙΚΑ εργατών που απαιτούνται

Ισχύς προσφοράς : Ένας (1) μήνας

Εγγύηση Φ/Β Η εταιρεία SUNTECH solar παρέχει εγγύηση προϊόντος δέκα (10)

Παρέχεται επίσης εγγύηση απόδοσης για 20 έτη.

Εγγύηση Η εταιρεία SMA (Γερμανίας) δίδει πέντε (5) χρόνια εγγύηση

Inverters : των Inverters. Η εγγύηση αυτή είναι επεκτάσιμη στα 20 έτη (με πρόσθετο κόστος).

Στη παρούσα προσφορά δόθηκε ιδιαίτερη μέριμνα και προσοχή, στη διαστασιολόγηση των καλωδίων των inverter, όσο και της ασφάλειας . Στόχος ο μέγιστος βαθμός απόδοσης του έργου τόσο με την ελαχιστοποίηση των απωλειών των καλωδιώσεων όσο και με την βέλτιστη διαστασιολόγηση των inverter. Επίσης τηρηθήκαν όλοι οι νόμοι ασφάλεια και προστασίας του έργου . Η προσφορά μπορεί να συγκριθεί μόνο με ίδια υλικά πάνελ, inverter, βάσεων και η/μ εξοπλισμού.

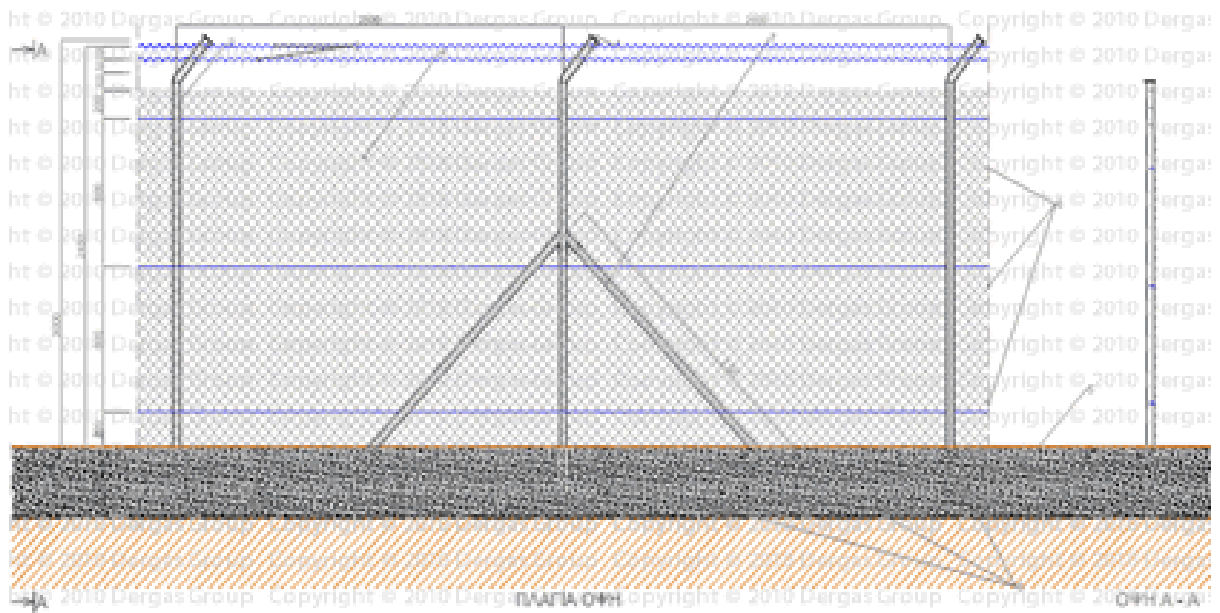
8.12. Συμπληρωματικά έργα και χωματουργικές εργασίες

8.12.1. Διάνοιξη χαντακιών για την όδευση των καλωδίων.

Οι υπόγειες οδεύσεις ακολουθούν το σχεδιασμό της χωροθέτησης του σταθμού και αποτελούνται από σκάμματα διαστάσεων 0.40x0.80μ (ΠxB) που έχουν ως σκοπό την διασύνδεση των κατασκευών που απαρτίζουν την εγκατάσταση μεταξύ τους. Με την ολοκλήρωση των εργασιών εντός των σκαμμάτων ακολουθεί η επίχωση τους με τα ίδια τα προϊόντα εκσκαφής καθώς και με άμμο, ενώ γίνεται και πλήρης αποκατάσταση της επιφάνειας

8.12.2. Περίφραξη οικοπέδου (300m)

Κατασκευή περίφραξης με σωλήνα γαλβανιζέ 1 & 1/4” ύψους 3 m, δίκτυ 14mm ύψους 2,0m, με τρεις σειρές αγκαθωτό σύρμα και πάκτωση σωλήνα εντός οπής 20x30cm με σεναζ 20x20 cm ανά 2,5m.



Εικόνα 53: Πλάγια όψη περίφραξης

8.13. Σύστημα ασφαλείας

Το σύστημα ασφαλείας περιλαμβάνει:

1. Πίνακα ασφαλείας 8-16 ζωνών μάρκας ROEL η Honeywell 6-12 ζωνών.
2. Πληκτρολόγιο LCD 2 σειρών
3. Φωτοκύτταρα 100 μέτρων τετραπλής δέσμης τεμάχια 2
4. Φωτοκύτταρα 150 μέτρων τετραπλής δέσμης τεμάχια 2
5. Τροφοδοτικό 3 A με μπαταρία για την τροφοδοσία τους.
6. Σειρήνα Αυτόνομη 108db στο 1 μέτρο.
7. Μπαταρίες 2x7AmpH & 1x2,3AmpH για την σειρήνα.
8. Τηλεκοντρόλ με 2 πομπούς.

8.14. Κλειστό κύκλωμα τηλεόρασης

Το κλειστό κύκλωμα περιλαμβάνει:

- DVR μάρκας @hua 4 Καναλιών Video -4 Καναλιών ήχου με H264 ENCODING, PENTAPLEX ,Δικτυακό ,συμβατό με κινητά ,υποστηρίζει σκληρό δίσκο μέχρι 2 TB,3 εξόδους ,Ψύξη χωρίς ανεμιστήρα, έλεγχο καμερών με ptz μέσω internet κ.λ.π.
- Σκληρό δίσκο 1 TB
- Κάμερες (2) μάρκας NOVA MINI SPEED DOME 10X για εξωτερική χρήση με κάμερα Samsung, με εύρος περιστροφής 360° & εύρος κλίσης 0-90° και (2) σταθερές VF-600/IRD-3 520TVL 4-9mm View angle: 62° - 30° (manual); Resolution: 520TVL;Range of IR illumination: up to 30m; Hermetic, IP65; Metal housing
- Τροφοδοτικό 24V με μπαταρία για το DVR & 12V για τις κάμερες.
- Μπαταρίες 2x7amph

8.15. Σύστημα περιμετρικού φωτισμού

Ο περιμετρικός φωτισμός του πάρκου θα γίνεται με 6 προβολείς ιωδίνης 500W ο καθένας ,με ανιχνευτή κίνησης ,που θα είναι τοποθετημένοι σε γαλβανισμένους ιστούς 4 μ ,στις γωνίες και στα μέσα των μεγάλων πλευρών του πάρκου.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Κατά την εκπόνηση της παρούσας πτυχιακής εργασίας έγινε κατανοητή η σπουδαιότητα της χρησιμοποίησης της ηλιακής ενέργειας αλλά και η πολυπλοκότητα των χρησιμοποιούμενων διατάξεων που είναι απαραίτητα για την παραγωγή και χρησιμοποίησή της.

Η απόδοση των ΦΒ πάνελ συνεχώς αυξάνεται με την εμφάνιση νέων τεχνολογιών και την εξέλιξη των υπαρχουσών τεχνολογιών. Η μετατροπή του συνεχούς ρεύματος που παράγουν οι συστοιχίες σε εναλλασσόμενο πραγματοποιείται με τη χρήση inverters με πολύ υψηλή απόδοση και με ικανότητα παραγωγής καλής ποιότητας ημιτονοειδούς τάσης.

Είναι δυνατή η παρακολούθηση της απόδοσης των συστοιχιών σε 24ωρη βάση με τα εξελιγμένα συστήματα τηλεμετρίας και παρακολούθησης έτσι ώστε να αποφεύγεται και η περίπτωση δολιοφθοράς.

Το κόστος ενός Φ/Β πάρκου είναι αρκετά υψηλό αλλά η απόσβεση γίνεται συνήθως μέσα σε 5 χρόνια, οπότε η επένδυση θεωρείται αποδοτική.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Σωκράτης Ν. Καπλάνης, Μηχανική των φωτοβολταϊκών συστημάτων, Εκδόσεις Ιων, 2004
- Hamakawa, Yoshihiro, Thin - film solar cells : Next generation photovoltaics and its applications, , Εκδόσεις Springer, c2004
- Ι. Ε. Φραγκιαδάκης, Φωτοβολταϊκά συστήματα, Εκδόσεις Ζήτη, 2006
- Antonio Martí, Antonio Luque, Next generation photovoltaics : High efficiency through full spectrum utilization, Bristol ; Philadelphia : Institute of Physics, c2004
- S. R. Wenham...[et al, Applied photovoltaics, Εκδόσεις Earthscan publication, 2007
- https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Electron_shell_014_Silicon_-_no_label.svg
- <http://www.selasenergy.gr/fundamentals.php>
- https://rizosdimitris.blogspot.gr/2012/04/blog-post_27.html
- <http://www.helapco.gr/>
- <http://www.fotovoltaika.gr/solar-panel-pv-1.html>
- <http://www.selasenergy.gr/history.php>
- http://exikonomisi.blogspot.gr/2007/11/blog-post_14.html
- <http://saveplanet.gr/>
- <http://www.mechanicalsolutions.gr/en/products/fotoboltaika-21>
- https://en.wikipedia.org/wiki/Photovoltaic_system
- <https://sites.google.com/site/photovoltaicssystems93/eide-photoboltaiekon-systematon>
- <http://www.sunshine-energy.gr/%CF%80%CF%81%CE%BF%CF%8A%CF%8C%CE%BD%CF%84%CE%B1/%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CF%8A%CE%BA%CE%AC-%CF%80%CE%BB%CE%B1%CE%AF%CF%83%CE%B9%CE%B1-%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CF%8A%CE%BA%CE%AC-%CF%83%CF%85%CF%83%CF%84%CE%AE%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B1>
- http://greenenergyplus.blogspot.gr/2011/12/blog-post_5655.html
- <http://www.afpasolar.com/upfiles/File/pdf/fotmeg.pdf>

- <https://renewables.messaritis.gr>
- <https://renewables.messaritis.gr/pid/fainomeno-pid/>
- <http://portal.tee.gr>
- <http://www.iqsolarpower.com/inverter/>
- <http://www.electrologos.gr/news/271>
- <http://nefeli.lib.teicrete.gr>
- https://www.4green.gr/data/fotovoltaika/news/preview_news/91096.asp
- <http://energypress.gr/news/apantiseis-stis-pio-syhnes-erotiseis-giata-fotovoltaika-kai-net-metering>
- <https://el.wikipedia.org>