

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΑΡΙΘΜΟΣ 1173**

**«ΜΕΛΕΤΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ
ΣΕ ΔΙΩΡΟΦΗ ΟΙΚΙΑ ΣΤΗΝ ΠΑΤΡΑ»**

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ:

ΚΑΛΛΙΜΑΝΗΣ ΕΥΘΥΜΙΟΣ Α.Μ.:4510

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ:

ΣΤΑΘΑΤΟΣ ΗΛΙΑΣ

ΠΑΤΡΑ 2011

Πρόλογος

Στο 1^ο Κεφάλαιο της παρούσας πτυχιακής εργασίας πραγματοποιείται μια εκτενή αναφορά στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας. Αναφέρονται και αναλύονται οι κυριότερες κατηγορίες αυτών, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους, η κατάσταση που επικρατεί στην Ελλάδα αλλά και σε ολόκληρη την Ευρώπη και αφορά την χρήση τους.

Στο 2^ο Κεφάλαιο αναλύεται το φωτοβολταϊκό φαινόμενο ενώ στο 3^ο Κεφάλαιο γίνεται μια λεπτομερής ανάλυση του φωτοβολταϊκού συστήματος. Περιγράφονται αναλυτικά τα μέρη από τα οποία αποτελείται, αλλά γίνεται και αναφορά για σύστημα για τις έννοιες διασυνδεδεμένο με το δίκτυο σύστημα αλλά και για αυτόνομο.

Ακολουθεί λεπτομερής περιγραφή της ηλιακής ακτινοβολίας, των βασικών τύπων ηλιακών κυττάρων, των υλικών κατασκευής τους αλλά και των κυριότερων τρόπων που μπορούν να διαταχθούν ανάλογα με τον τρόπο που συλλέγουν και αξιοποιούν την ηλιακή ακτινοβολία.

Στο τέλος πραγματοποιείται οικονομοτεχνική μελέτη και αξιολόγηση ενός συστήματος Φωτοβολταϊκών Συλλεκτών συνδεδεμένων με το δίκτυο της ΔΕΗ σε διώροφη οικία στην ευρύτερη περιοχή της Πάτρας.

Περιεχόμενα	Σελ
Περίληψη	1
Κεφάλαιο 1^ο Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας	2
1.1 Εισαγωγή	3
1.2 Είδη Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας	4
1.2.1 Αιολική ενέργεια	4
1.2.2 Ηλιακή ενέργεια	5
1.2.3 Υδροηλεκτρική ενέργεια	5
1.2.4 Βιομάζα	5
1.2.5 Γεωθερμική ενέργεια	5
1.2.6 Ενέργεια από παλίρροιες και κύματα	6
1.3 Πλεονεκτήματα των ΑΠΕ	6
1.4 Τα μειονεκτήματα των ΑΠΕ	7
1.5 Η κατάσταση στην Ευρώπη	7
1.6 Η κατάσταση στην Ελλάδα	7
Κεφάλαιο 2^ο Ημιαγωγοί και φωτοβολταϊκό φαινόμενο	9
2.1 Χαρακτηριστικά Ημιαγωγών	10
2.2 Φωτοηλεκτρικό φαινόμενο	12
Κεφάλαιο 3^ο Ανάλυση φωτοβολταϊκού συστήματος	14
3.1 Δομή ενός φωτοβολταϊκού συστήματος	15
3.2 Η Φωτοβολταϊκή γεννήτρια	16
3.2.1 Εισαγωγή	16
3.2.2 Δομή και λειτουργία βασικής μονάδας	16
3.2.3 Εσωτερική σύνδεση των Φ.Β. βασικών μονάδων	21
3.3 Αποθήκευση ενέργειας	23
3.3.1 Εισαγωγή	23
3.3.2 Λειτουργία μπαταρίας μέσα στα Φ.Β. Συστήματα	23
3.3.3 Μπαταρίες μολύβδου-οξέος	24
3.4. Καθορισμός ισχύος και έλεγχος	28
3.4.1 Δίοδος φραγής	28
3.4.2 Αυτορρυθμιζόμενα συστήματα	29
3.4.3 Ρυθμιστής φόρτισης	29
3.4.4 Μετατροπέας DC/DC	30

3.4.5 Μετατροπέας (αναστροφέας) DC/AC	30
3.5 Εφεδρική γεννήτρια	31
Κεφάλαιο 4^ο Φωτοβολταϊκά και ηλιακή ακτινοβολία	32
4.1 Η ηλιακή ακτινοβολία Γενικά	33
4.2 Μεγέθη σχετιζόμενα με την ηλιακή ακτινοβολία	34
4.3 Οι βασικοί τύποι ηλιακών κυττάρων	36
4.4 Υλικά κατασκευής φωτοβολταϊκών κυττάρων	38
4.5 Βαθμός αυτονομίας φωτοβολταϊκών συστημάτων	40
4.6 Διατάξεις φωτοβολταϊκών πλαισίων	42
4.6.1 Επίπεδα ΦΒ πλαίσια	42
4.6.2 Συγκεντρωτικά ΦΒ πλαίσια	43
4.6.3 Μηχανισμός κίνησης	45
4.7 Εγκατάσταση φωτοβολταϊκών στις στέγες	47
4.7.1 Ανταγωνιστικές τεχνολογίες Φ/Β οροφής	47
4.7.2 Προσανατολισμός του συλλέκτη	49
4.8 Απόδοση φωτοβολταϊκού πλαισίου	50
4.8.1 Εκτίμηση ισχύς εξόδου	51
4.8.2 Οι απώλειες στα φωτοβολταϊκά συστήματα	52
4.9 Η αγορά των φωτοβολταϊκών	53
4.10 Βασικά χαρακτηριστικά Φ/Β υπομονάδων	54
4.11 Κόστος Φ/Β συστημάτων	55
4.12 Η επίδραση των περιβαλλοντικών συνθηκών στην απόδοση των Φ/Β	56
4.13 Η επίδραση των φωτοβολταϊκών στο περιβάλλον	57
Κεφάλαιο 5^ο Οικονομοτεχνική μελέτη ΦΒ Εγκατάστασης	58
5.1 Εισαγωγή	59
5.2 Παροχές και κανόνες υπολογισμών	59
5.2.1 Υπολογισμός Ηλεκτρικής Ενέργειας ΦΒ Πλαισίου	59
5.2.2 Επίδραση της θερμοκρασίας	59
5.2.3 Βαθμός Απόδοσης ΦΒ Πλαισίου	60
5.3 Αξιολόγηση Επένδυσης	61
5.4 Μελέτη ΦΒ συστήματος συνδεδεμένου στο δίκτυο	62
5.4.1 Συνδεσμολογία ΦΒ συστοιχίας και απαιτούμενη απόσταση μεταξύ των συλλεκτών	62

5.4.2 Εμβαδόν οριζόντιας έκτασης	64
5.4.3 Υπολογισμός καλωδίων στην περιοχή της DC τάσης	65
5.4.4 Ισχύς αιχμής εγκατάστασης	65
5.4.5 Ετήσια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια	66
5.5 Οικονομική αξιολόγηση επένδυσης	66
Παράρτημα	71
Βιβλιογραφία	75

Περίληψη

Η αυξανόμενη ζήτηση για ενέργεια καθιστά τις συμβατικές τεχνολογίες βασικούς συντελεστές στη «μόλυνση» του περιβάλλοντος και την εκδήλωση του φαινομένου του θερμοκηπίου, δύο φαινόμενα που σταδιακά αλλοιώνουν τις συνθήκες διαβίωσής μας. Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Α.Π.Ε.), -ήλιος, αέρας, γεωθερμία κλπ- προσφέρουν εναλλακτικές λύσεις στη παραγωγή ενέργειας και προστασίας του περιβάλλοντος, συμμετέχουν δε ολοένα και περισσότερο στην καθημερινότητα μας.

Το περιεχόμενο της πτυχιακής αυτής, πραγματεύεται με τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και πιο συγκεκριμένα, με τα φωτοβολταϊκά συστήματα και την χρήση τους. Αναλύει την χρησιμότητα τους αλλά και τις μελλοντικές προσδοκίες για τη συγκεκριμένη τεχνολογία.

Αναφέρεται εκτενώς στον τρόπο λειτουργίας τους αλλά και στα εξαρτήματα τα οποία περιλαμβάνονται σε αυτήν (ανάλογα με το ποιο σύστημα έχει επιλεγεί), αναφέρει τα είδη των Φωτοβολταϊκών Συστημάτων και επεξηγεί σε τι διαφέρουν, και με ποια κριτήρια γίνεται η επιλογή τους . Ακόμα περιγράφει το πώς βρίσκουμε τα βασικά δεδομένα για να προβούμε στην μελέτη για την οικία στην περιοχή της Πάτρας, αλλά και με ποιον τρόπο αξιοποιούμε αυτά τα δεδομένα. Επίσης, όπως προαναφέραμε, μελετά την περίπτωση χρήσης φωτοβολταϊκών σε συγκεκριμένη περιοχή, και αναλύει μέσω των μετρήσεων ποια υλικά θα χρησιμοποιηθούν, ποιο είδος θα επιλεγεί (αυτόνομα, διασυνδεδεμένα κτλ.) για να καλύψουν τις ανάγκες του . Τέλος προβαίνει σε τεχνικό-οικονομική μελέτη ούτως ώστε να δείξει το μακροπρόθεσμο κέρδος του συστήματος αυτού, όπως επίσης προβαίνει και σε κάποιες χρήσιμες προτάσεις εφαρμογής για την ελαχιστοποίηση των καταναλώσεων της οικίας .

Κεφάλαιο 1ο

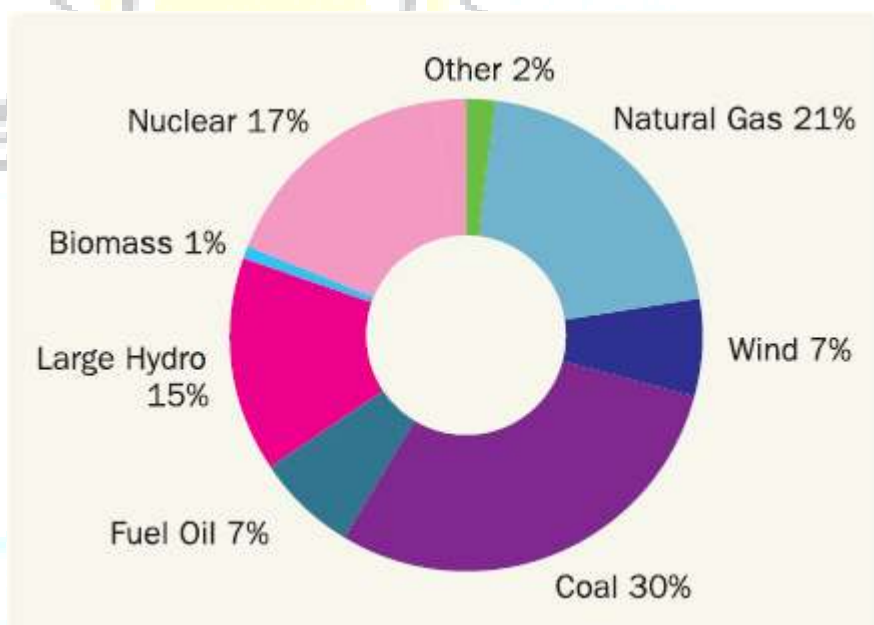


Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

1.1 Εισαγωγή

Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) είναι πηγές τα αποθέματα των οποίων ανανεώνονται φυσικά, και οι οποίες συνεπώς θεωρούνται πρακτικά ανεξάντλητες. Επίσης για την εκμετάλλευσή τους δεν απαιτείται η κατανάλωση επιπλέον ενέργειας. Στην κατηγορία αυτή, η σημασία της οποίας για τη βιωσιμότητα του πλανήτη έχει πλέον συνειδητοποιηθεί ευρέως, συγκαταλέγονται ο ήλιος, ο άνεμος, τα ποτάμια, οι οργανικές ύλες όπως το ξύλο και τα απορρίμματα οικιακής και γεωργικής προέλευσης.

Πρόκειται για τις πρώτες μορφές ενέργειας που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος. Στις αρχές του 20ου αιώνα, με καταλυτική εξέλιξη την ανακάλυψη των μεγάλων κοιτασμάτων πετρελαίου, ο κόσμος στράφηκε αποφασιστικά στη χρήση μη ανανεώσιμων πηγών, κυρίως άνθρακα και υδρογονανθράκων.



Μια πρώτη κίνηση για αναζήτηση εναλλακτικής πηγής ενέργειας έγινε με την αρχή του διαστημικού προγράμματος στα τέλη τις δεκαετίας του '60. Το υψηλό κόστος μεταφοράς κάθε επιπλέον κιλού καυσίμων ή μπαταριών σε τροχιά γύρω από τη Γη για την λειτουργία των πρώτων δορυφόρων, οδήγησε τους επιστήμονες να αναζητήσουν μη συμβατικές λύσεις στο πρόβλημα της ενέργειας. Αξιοποίησαν την ηλιακή ακτινοβολία χρησιμοποιώντας τα φωτοβολταϊκά στοιχεία τα οποία είχαν ανακαλυφθεί μια δεκαετία περίπου νωρίτερα. Αποδοτική πηγή ενέργειας, αστείρευτη και προπάντων δωρεάν, ο Ήλιος συνεχίζει ακόμα και σήμερα να τροφοδοτεί τις διαστημικές μας κατασκευές.

Δύο ήταν οι κρίσιμοι παράγοντες στην αναβίωση του ενδιαφέροντος για τις ΑΠΕ, ξεκινώντας από τα μέσα της δεκαετίας του 1970. Ο πρώτος ήταν το ζήτημα της ενεργειακής ασφάλειας: οι δύο πετρελαϊκές κρίσεις, του 1973 και του 1979-80, οδήγησαν τις βιομηχανικά

ανεπτυγμένες χώρες να αναθεωρήσουν την απόλυτη εξάρτησή τους από τα ορυκτά καύσιμα, και ιδιαίτερα το πετρέλαιο. Οι χώρες-προμηθευτές -κατά κύριο λόγο τα κράτη της Αραβικής Χερσονήσου και του Περσικού Κόλπου- δεν ήταν ποτέ απολύτως αξιόπιστοι σύμμαχοι της Δύσης. Η τελευταία τριακονταετία στην περιοχή, με την άνοδο του ισλαμικού φονταμενταλισμού που είναι από τα κύρια χαρακτηριστικά της, έχει εντείνει περαιτέρω την ενεργειακή ανασφάλεια των ανεπτυγμένων χωρών σχετικά με τις μη ανανεώσιμες πηγές.

Το δεύτερο στοιχείο που οδήγησε στην ολική επαναφορά των ΑΠΕ είναι, φυσικά, το φαινόμενο του θερμοκηπίου, το οποίο, ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια, έχει αναχθεί σε κορυφαία προτεραιότητα της διεθνούς κοινότητας. Ο ενεργειακός τομέας είναι ο κύριος υπεύθυνος για τη ρύπανση του περιβάλλοντος, καθώς σχεδόν το 95% της ατμοσφαιρικής ρύπανσης που οδηγεί στην υπερθέρμανση του πλανήτη οφείλεται στην παραγωγή, το μετασχηματισμό και τη χρήση των συμβατικών καυσίμων.

1.2 Είδη Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας

Αναλυτικά, τα κυριότερα είδη των Α.Π.Ε. είναι τα ακόλουθα:

- Αιολική ενέργεια
- Ηλιακή ενέργεια
- Υδροηλεκτρική ενέργεια
- Βιομάζα
- Γεωθερμική ενέργεια
- Ενέργεια από παλίρροιες και κύματα

1.2.1 Αιολική ενέργεια

Βασίζεται στην εκμετάλλευση της κινητικής ενέργειας του πνέοντος ανέμου θέτοντας σε κίνηση τα πτερύγια μιας γεννήτριας, ώστε να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια. Είναι μια από τις μορφές ανανεώσιμης ενέργειας η οποία γνωρίζει μεγάλη εξέλιξη λόγω του ότι σε απομακρυσμένα νησιά έχει την δυνατότητα να υπερκαλύψει την ζήτηση ή να διατεθεί για δευτερεύων βοηθητικό φορτίο. Το μειονέκτημά της είναι αυτό που φαίνεται και από την ονομασία της ,εξαρτάται δηλαδή από τον άνεμο κάτι που περιορίζει την χρήση της σε περιοχές που μπορεί να αξιοποιηθεί πλήρως

1.2.2 Ηλιακή ενέργεια

Αποτελεί τη μορφή ανανεώσιμης ενέργειας με την οποία θα ασχοληθούμε και η οποία μετατρέπει την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρική ενέργεια. Ο τεχνικός όρος της διαδικασίας αυτής είναι γνωστός ως φωτοβολταϊκό φαινόμενο και ανακαλύφθηκε το 1839 από έναν γάλλο επιστήμονα ονόματι Edmund Becquerel και είναι πιθανώς μια από τις πιο ταχύτατα αναπτυσσόμενες μορφές ανανεώσιμης ενέργειας. Πρωτίστως θα αναφερθούμε στην εξέλιξη των τεχνολογιών αυτών δίνοντας έμφαση στα φωτοβολταϊκά, για να γίνει ευκολότερα κατανοητό το εύρος της εξάπλωσης των τεχνολογιών αυτών, τα πλεονεκτήματά τους, την χρησιμότητά τους και τις μελλοντικές μελέτες για την αξιοποίηση και εξάπλωση τους.

1.2.3 Υδροηλεκτρική ενέργεια

Βασίζεται στην δυναμική ενέργεια του νερού που βρίσκεται σε ψηλότερο σημείο για την κίνηση των πτερυγίων μιας γεννήτριας. Η υδροηλεκτρική ενέργεια η οποία είναι μεν ανανεώσιμη αλλά έχει το μειονέκτημα ότι σε μερικές περιπτώσεις η κατασκευή των κατάλληλων εγκαταστάσεων για την εκμετάλλευση της αποβαίνει εις βάρος του φυσικού πλούτου της περιοχής μαζί με το γεγονός ότι συνήθως οι εγκαταστάσεις αυτές έχουν μεγάλο κόστος είναι μια βασική αιτία για το ότι δεν καλύπτει ούτε το 10% της παγκόσμιας ενεργειακής παραγωγής.

1.2.4 Βιομάζα

Με τον όρο βιομάζα αποκαλείται οποιοδήποτε υλικό παράγεται από ζωντανούς οργανισμούς όπως ξύλο και άλλα προϊόντα του δάσους, υπολείμματα καλλιεργειών, κτηνοτροφικά απόβλητα, απόβλητα βιομηχανιών τροφίμων κ.λπ. και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για παραγωγή ενέργειας. Με την χρησιμοποίηση της βιομάζας είμαστε σε θέση να καλύψουμε περίπου το 15% της παγκοσμίως απαιτούμενης ενέργειας και παρόλο που για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας απαιτείται καύση αποτελεί ουδέτερη διαδικασία όσον αναφορά το περιβάλλον. Αναπτύσσεται κυρίως κοντά σε αγροτικές περιοχές όπου η βιομάζα είναι άφθονη.

1.2.5 Γεωθερμική ενέργεια

Γεωθερμική ενέργεια ονομάζουμε τη φυσική θερμική ενέργεια της Γης που διαρρέει από το θερμό εσωτερικό του πλανήτη προς την επιφάνεια. Η μετάδοση θερμότητας πραγματοποιείται είτε με αγωγή από το εσωτερικό προς την επιφάνεια είτε με ρεύματα

μεταφοράς, που περιορίζονται όμως στις ζώνες κοντά στα όρια των λιθοσφαιρικών πλακών, λόγω ηφαιστειακών και υδροθερμικών φαινομένων.

1.2.6 Ενέργεια από παλίρροιες και κύματα

Η αξιοποίηση των παλίρροϊκών κυμάτων έχει αξιοποιηθεί σε λίγες περιπτώσεις και σε συγκεκριμένα σημεία λόγω των φυσικών περιορισμών που υφίστανται (χρειάζεται κατάλληλος τόπος με συχνή κυμάτωση περιορίζοντας έτσι την χρήση της). Βρίσκεται ακόμα σε στάδιο μελέτης. Έχουν γίνει αρκετές προσπάθειες εκμετάλλευσης της μηχανικής ενέργειας των κυμάτων και των παλίρροϊών αλλά ακόμα δεν υπάρχει συμφέρον σχέδιο.

1.3 Πλεονεκτήματα των ΑΠΕ

Τα βασικά πλεονεκτήματα της χρήσης ΑΠΕ είναι τα εξής:

- Συμβολή στη μείωση της εξάρτησης από συμβατικούς, μη ανανεώσιμους ενεργειακούς πόρους
- Συμβολή στην άμβλυνση του φαινομένου του θερμοκηπίου, καθώς συνεισφέρουν στον περιορισμό της εκπομπής των 6 αερίων του θερμοκηπίου (CO_2 , CH_4 , N_2O , HFCs, PFCs, SF_6) στην ατμόσφαιρα
- Συνεισφορά στην ενίσχυση της ενεργειακής ανεξαρτησίας και της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού σε εθνικό επίπεδο
- Αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος, εξαιτίας της γεωγραφικής τους διασποράς, με αποτέλεσμα τη δυνατότητα κάλυψης των ενεργειακών αναγκών σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο και τη συνεπακόλουθη ανακούφιση των συστημάτων υποδομής και τον περιορισμό των απωλειών από τη μεταφορά ενέργειας
- Δυνατότητα ορθολογικής αξιοποίησης των ενεργειακών πόρων, με διαφορετικές λύσεις για διαφορετικές ενεργειακές ανάγκες (για παράδειγμα χρήση ηλιακής ενέργειας για θερμότητα χαμηλών θερμοκρασιών, χρήση αιολικής ενέργειας για ηλεκτροπαραγωγή κ.ά.)
- Χαμηλό λειτουργικό κόστος που δεν επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της διεθνούς οικονομίας και ειδικότερα των τιμών των συμβατικών καυσίμων
- Συνεισφορά στην αναζωογόνηση οικονομικά και κοινωνικά υποβαθμισμένων περιοχών με τη δημιουργία θέσεων εργασίας και την προσέλκυση ανάλογων επενδύσεων (π.χ. καλλιέργειες θερμοκηπίου με τη χρήση γεωθερμικής ενέργειας).

1.4 Τα μειονεκτήματα των ΑΠΕ

Εκτός από πλεονεκτήματα υπάρχουν και μειονεκτήματα τα οποία συνεχώς προσπαθούμε να ελαττώσουμε ή και να εξαλείψουμε. Τα κυριότερα από αυτά είναι:

- Πολύ μικρός συντελεστής απόδοσης σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα, με αποτέλεσμα την μη επαρκή κάλυψη των ενεργειακών μας αναγκών.
- Άμεση εξάρτηση των περισσότερων ΑΠΕ από καιρικά φαινόμενα με αποτέλεσμα να επηρεάζεται απρόβλεπτα η παραγωγή ενέργειας.
- Δεν είναι όλες οι περιοχές κατάλληλες αφού απαιτούνται γεωγραφικές και τοπολογικές συγκεκριμένες συνθήκες.

1.5 Η κατάσταση στην Ευρώπη

Σύμφωνα με στοιχεία του 2007 η Ισπανία ήδη παράγει 17,2% του ηλεκτρισμού που καταναλώνει χρησιμοποιώντας ΑΠΕ. Ο εθνικός της στόχος για το 2010 είναι να φτάσει το 29,4%, κάτι που θεωρείται μάλλον απίθανο, σύμφωνα με τους αναλυτές της NEF (συγκεκριμένα, δίνουν πιθανότητες επιτυχίας 22%).

Η Ιταλία ήδη παράγει το 16,5% του ηλεκτρισμού της με «πράσινες» πηγές. Ο στόχος των Ιταλών για το 2010 είναι το 25%, με τη NEF να δίνει μόνο 20%. Η Γαλλία παράγει το 11,0% του ηλεκτρισμού της μέσω ΑΠΕ, με στόχο το 21% για το 2010 (επίσης θεωρείται ανέφικτος από τους αναλυτές). Τέλος, οι Γερμανοί βρίσκονται στο 10,4% και έχουν θέσει το ρεαλιστικό στόχο του 12,5% για το 2010, τον οποίο η μελέτη της NEF θεωρεί υλοποιήσιμο.

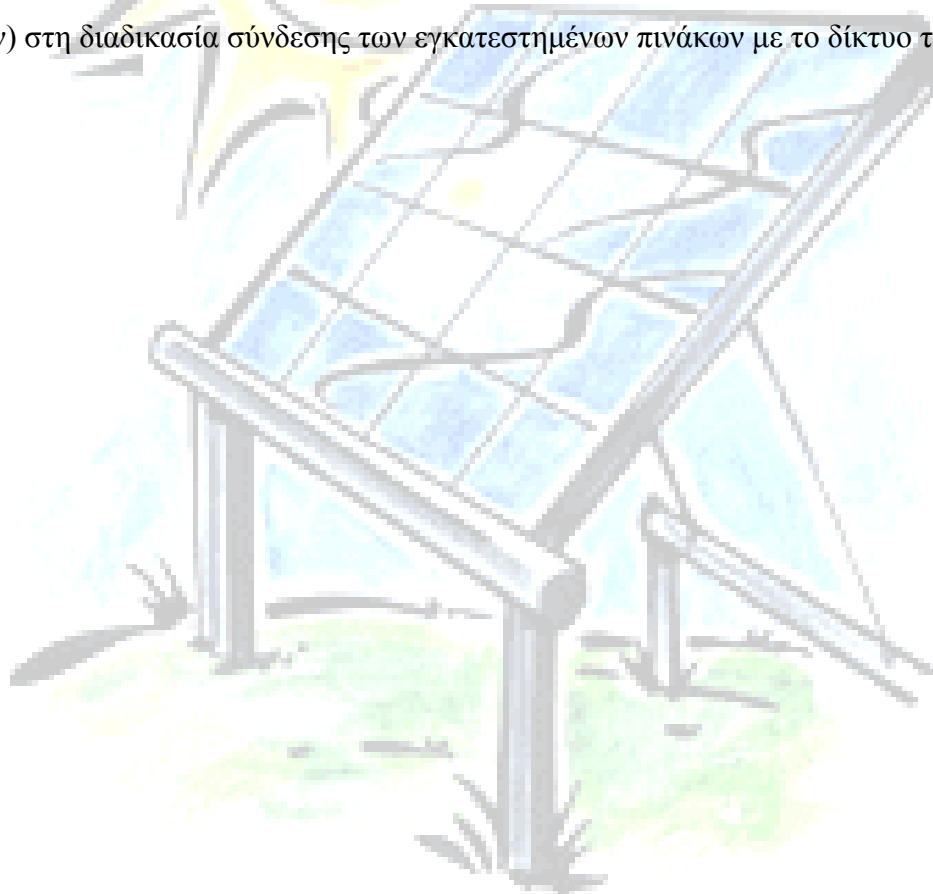
Στην ουρά της κατάταξης βρίσκεται η Βρετανία, με τις ανανεώσιμες πηγές να καλύπτουν μόλις το 4,1% της συνολικής παραγωγής. Όπως σημειώνεται στη μελέτη, ο στόχος του 10,4% για το 2010 είναι απολύτως ανέφικτος, ενώ ο στόχος του 20% για το 2020 θα επιτευχθεί μόνο με την ανάπτυξη off-shore ανεμογεννητριών.

1.6 Η κατάσταση στην Ελλάδα

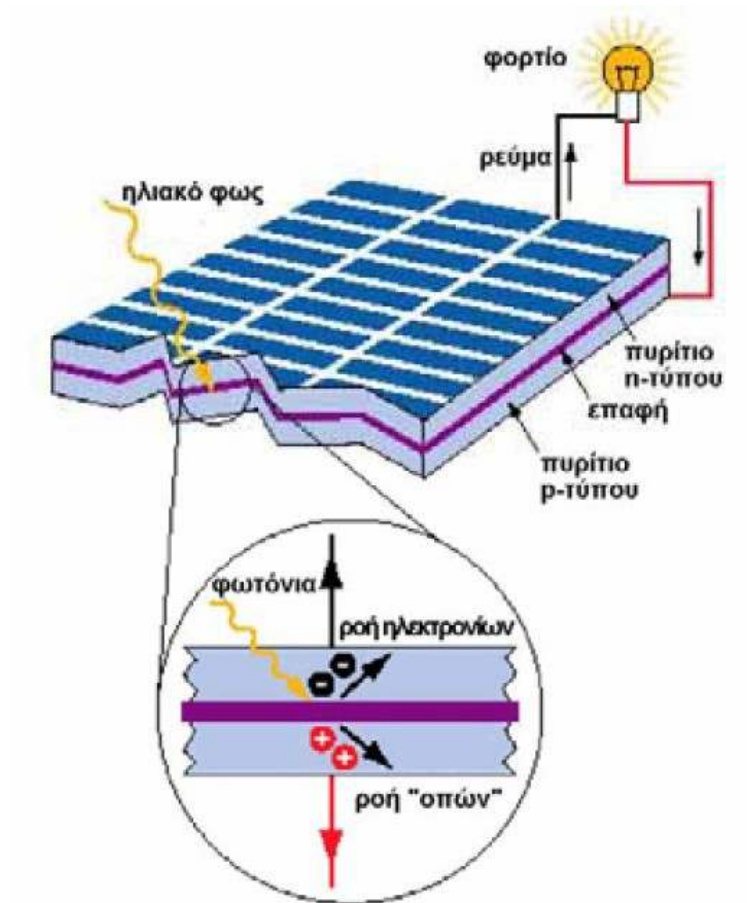
Η χώρα μας, γεωγραφικά και γεωλογικά, διαθέτει σημαντικά πλεονεκτήματα σχετικά με την εκμετάλλευση των ΑΠΕ. Έτσι, συνυπολογίζοντας τα μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα που αποτελούν περίπου το 70% του συνόλου, το ποσοστό της συνολικής ενεργειακής παραγωγής

της χώρας που προέρχεται από ΑΠΕ ανέρχεται σήμερα στο 11,5%. Ο στόχος για το 2020 είναι το ποσοστό αυτό να φτάσει το 20%. Ωστόσο, και οι τρεις κύριες μορφές ΑΠΕ στην Ελλάδα -υδροηλεκτρική, αιολική και ηλιακή (χρήση φωτοβολταϊκών πινάκων)- αντιμετωπίζουν προβλήματα στην προώθησή τους, με αποτέλεσμα 9 μήνες μετά την ψήφιση του νόμου για τις ανανεώσιμες πηγές, η αγορά να παραμένει μούδιασμένη.

Συγκεκριμένα, σχετικά με τα υδροηλεκτρικά, οι αναμενόμενες παρατεταμένες περίοδοι ξηρασίας συνεπάγονται μείωση της απόδοσης των έργων. Στο μέτωπο της αιολικής ενέργειας, τα μεγάλα έργα δεν προχωρούν, ενώ δεν υπάρχουν κίνητρα για τοποθέτηση ανεμογεννητριών από οικιακούς καταναλωτές. Όσο για το πολυαναμενόμενο Ειδικό Χωροταξικό Πλαίσιο για τις ΑΠΕ, βρίθκει ασαφειών, ιδιαίτερα όσον αφορά τις «ζώνες αποκλεισμού» όπου απαγορεύεται η εγκατάσταση ανεμογεννητριών. Τέλος, όσον αφορά τα φωτοβολταϊκά, οι ελαφρύνσεις που προσφέρει η ΔΕΗ στους καταναλωτές που τοποθετούν πίνακες θεωρούνται ανεπαρκείς, ενώ επίσης παρατηρούνται τεράστιες καθυστερήσεις (ως και 9 μηνών) στη διαδικασία σύνδεσης των εγκατεστημένων πινάκων με το δίκτυο της ΔΕΗ.



Κεφάλαιο 2ο



Ημιαγωγοί και φωτοβολταϊκό φαινόμενο

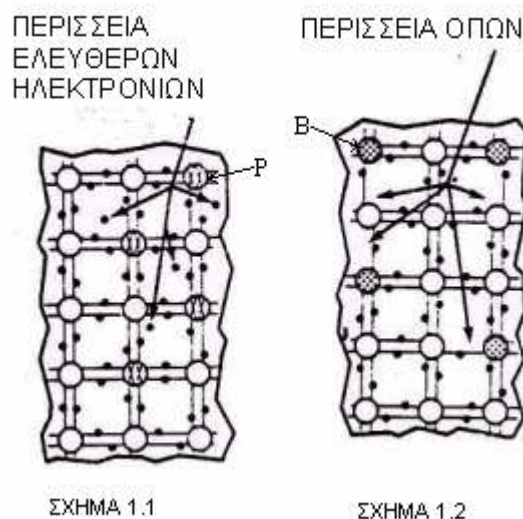
2.1 Χαρακτηριστικά Ημιαγωγών

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 (όπως και όλοι οι ημιαγωγοί) βασίζει τις ηλεκτρικές του ιδιότητες στις ειδικές χημικές ιδιότητες λόγω της κρυσταλλικής του δομής. Ένα άτομο πυριτίου έχει 14 ηλεκτρόνια κατανομημένα σε τρεις στοιβάδες. Οι δύο πρώτες έχουν 2 και 8 ηλεκτρόνια αντίστοιχα και είναι πλήρως συμπληρωμένες, ενώ η τρίτη που είναι και η εξωτερική έχει μόλις 4. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το άτομο να επιδιώκει να συμπληρώσει την εξωτερική του στοιβάδα με σύνολο 8 ηλεκτρονίων (δομή ευγενών αερίων). Για να γίνει αυτό εφικτό δημιουργεί ομοιοπολικούς δεσμούς με τέσσερα γειτονικά άτομα πυριτίου. Έτσι δημιουργείται η κρυσταλλική δομή του πυριτίου, η οποία όμως δεν είναι καλός αγωγός του ρεύματος αφού κανένα από τα ηλεκτρόνια δεν είναι ελεύθερο να μετακινηθεί όπως για παράδειγμα συμβαίνει στον χαλκό. Όταν προσδίδεται ενέργεια στο καθαρό πυρίτιο, μπορεί να σπάσουν κάποιοι δεσμοί και να ελευθερωθούν ηλεκτρόνια οπότε αφήνουν πίσω τους ένα κενό που παρουσιάζει έλλειμμα ηλεκτρικού φορτίου (δηλαδή θετικό φορτίο) και ονομάζεται οπή. Τα ηλεκτρόνια αυτά περιφέρονται στον κρύσταλλο μέχρι να επανασυνδεθούν σε κάποιον δεσμό δηλαδή να δεσμευτούν σε κάποια οπή. Ομοίως θεωρείται ότι κινούνται και οι οπές. Ελεύθερα ηλεκτρόνια και οπές αποκαλούνται φορείς ηλεκτρισμού αφού είναι ηλεκτρικά φορτισμένα και υπό την επίδραση ηλεκτρικού πεδίου η κίνησή τους γίνεται προς συγκεκριμένη κατεύθυνση δημιουργώντας ηλεκτρικό ρεύμα. Ο αριθμός των ελεύθερων οπών και ηλεκτρονίων είναι ίδιος γιατί το σπάσιμο ενός ομοιοπολικού δεσμού δημιουργεί ζεύγος ηλεκτρονίου – οπής ενώ κατά την επανασύνδεσή τους εξαφανίζονται αμφότερα. Όμως στο πυρίτιο οι φορείς αυτοί είναι πολύ λίγοι και δεν είναι συμφέρον να φτιαχτούν φωτοβολταϊκά στοιχεία μόνο από άτομα πυριτίου.

Στα φωτοβολταϊκά στοιχεία χρησιμοποιείται πυρίτιο με ατέλειες, δηλαδή πυρίτιο με κάποιο άλλο στοιχείο τοποθετημένο ανάμεσα στα άτομα του, το οποίο αλλάζει ελαφρώς τις φυσικές ιδιότητες των κρυστάλλων. Τα στοιχεία που δύναται να τοποθετηθούν προέρχονται από τις ομάδες 13 (IIIΑ) και 15 (VA) του περιοδικού πίνακα. Ένα από τα πιο διαδεδομένα στοιχεία της ομάδας 15 που χρησιμοποιούνται είναι ο φώσφορος (P) που έχει 5 αντί για 4 ηλεκτρόνια στην τελευταία του στοιβάδα. Με ένα άτομο P αντικαθιστούμε ένα άτομο ανά 1.000.000 άτομα πυριτίου, διαδικασία που αποκαλείται ντοπάρισμα ή νόθευση του πυριτίου.

Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το άτομο του P να συνδέεται με 4 δεσμούς με τα άτομα του πυριτίου και να του περισσεύει ένα αδέσμευτο ηλεκτρόνιο, το οποίο δεν συγκρατείται από ομοιοπολικό δεσμό. Αυτά τα ηλεκτρόνια για να αποδεσμευτούν χρειάζονται πολύ λιγότερη ενέργεια, οπότε ο αριθμός των ελεύθερων ηλεκτρονίων είναι πολύ μεγαλύτερος απ' ό τι πριν. Ο αριθμός των οπών είναι πολύ μικρότερος με πριν, αφού τείνουν να ενώνονται με τα ελεύθερα ηλεκτρόνια που βρίσκονται σε πλεόνασμα. Τα ηλεκτρόνια αποτελούν έτσι τους φορείς πλειονότητας. Με αυτό τον τρόπο δημιουργούνται ημιαγωγοί τύπου-n, οι οποίοι είναι πολύ καλύτεροι αγωγοί από το καθαρό πυρίτιο. Με παρόμοιο τρόπο δημιουργούνται ημιαγωγοί τύπου-p όταν το πυρίτιο ντοπάζεται με στοιχεία της ομάδας 13, με πιο διαδεδομένο το βόριο (B), οπότε και εμφανίζεται πληθώρα οπών που είναι κενές θέσεις χωρίς ηλεκτρόνια. Φορείς πλειονότητας εδώ είναι οι οπές.



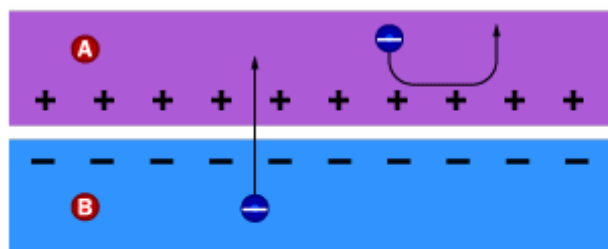
ΣΧΗΜΑ 1.1

ΣΧΗΜΑ 1.2

Το νοθευμένο υλικό (τύπου-n ή p) είναι ηλεκτρικά ουδέτερο παρά το γεγονός ότι αυξήσαμε τους φορείς του ηλεκτρικού ρεύματος (ελεύθερες οπές και ηλεκτρόνια). Το φορτίο του ηλεκτρονίου που προσθέτει το άτομο του φωσφόρου στο υλικό τύπου-n εξουδετερώνεται από το φορτίο του επιπλέον πρωτονίου που διαθέτει στον πυρήνα του, σε σχέση με το πυρίτιο. Ομοίως στο υλικό τύπου-p το φορτίο της επιπλέον οπής εξουδετερώνεται από το έλλειμμα πρωτονίων στο βόριο σε σχέση με το πυρίτιο.

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία αποτελούνται από τύπου-n και τύπου-p ημιαγωγούς ενωμένους. Τα ηλεκτρόνια επειδή είναι περισσότερα στο υλικό τύπου-n από ότι στο p, διαχέονται από το τύπου-n προς το p και ενώνονται με τις ελεύθερες οπές του p. Λόγω αυτής της μετακίνησης, στην περιοχή του n κοντά στην επαφή έχουμε έλλειψη ηλεκτρονίων και άρα παρουσιάζεται θετική φόρτιση. Με τον ίδιο μηχανισμό κινούνται και οι οπές από το p στο n, και παρουσιάζεται ομοίως στο p, μια περιοχή κοντά στην επαφή με αρνητική φόρτιση.

Δημιουργείται μια ζώνη γύρω από την επαφή που ονομάζεται ζώνη απογύμνωσης και έχει ηλεκτρικό δυναμικό παρόμοια με τους συλλέκτες ενός πυκνωτή.

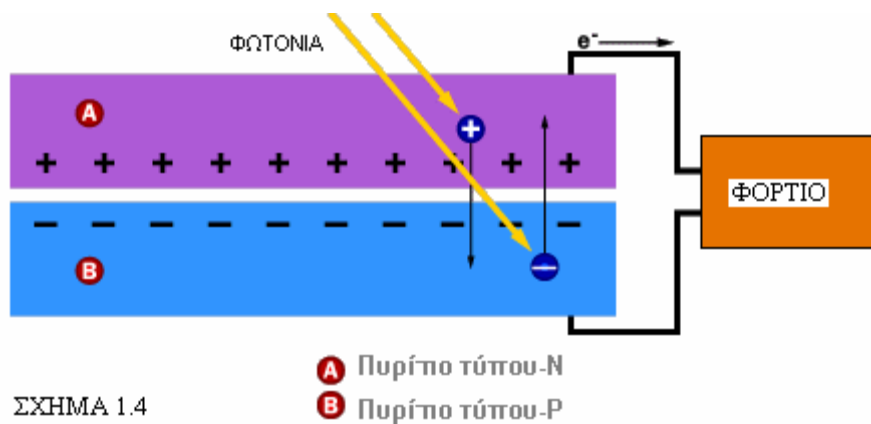


ΣΧΗΜΑ 1.3
 A Πυρίτιο τύπου-N
 B Πυρίτιο τύπου-P

Το μέγεθος της ζώνης απογύμνωσης εξαρτάται από την θερμοκρασία και την νόθευση. Δεν είναι συμμετρική αφού και η νόθευση κάθε υλικού δεν είναι συμμετρική. Το πεδίο που δημιουργείται αντιτίθεται στην περαιτέρω διάχυση των φορέων πλειονότητας και επέρχεται ισορροπία.

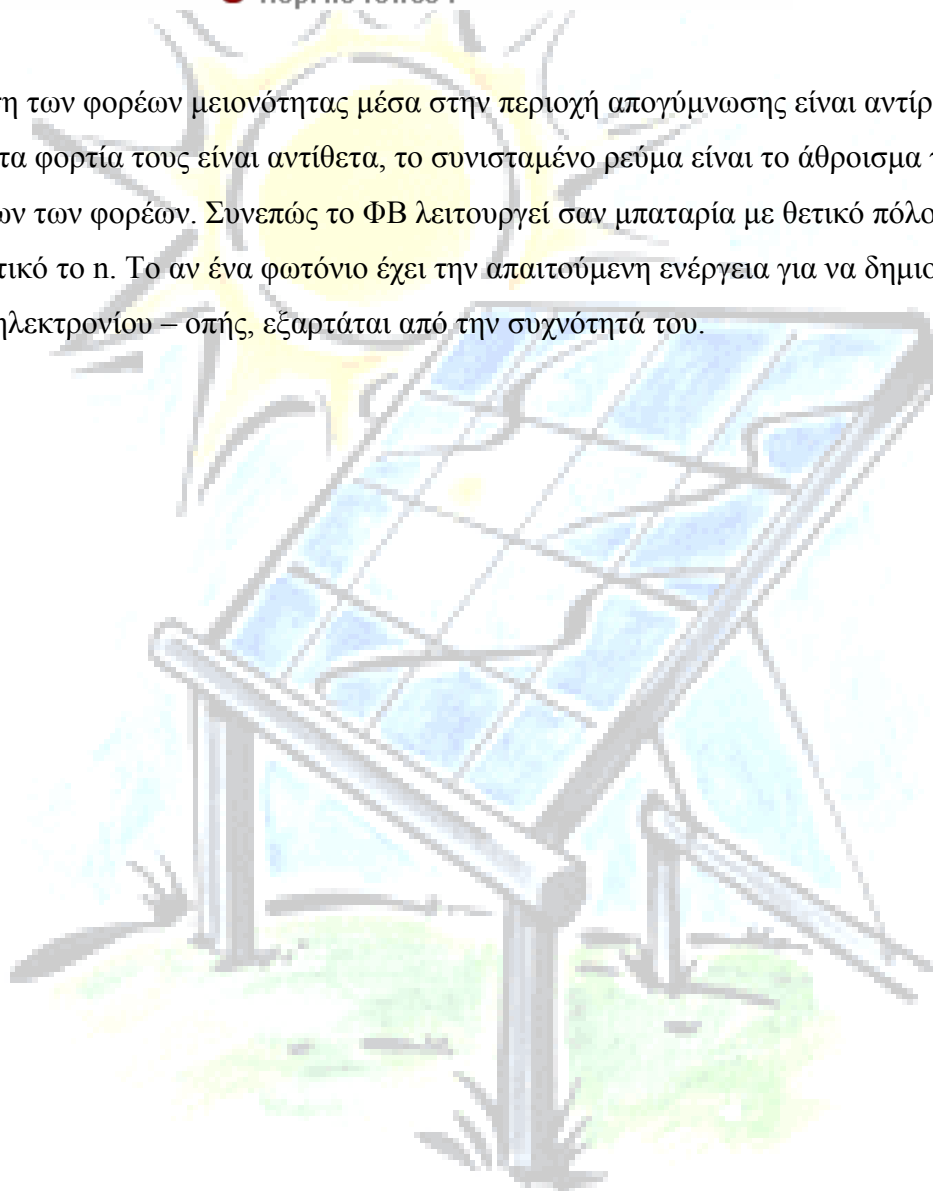
2.2 Φωτοηλεκτρικό φαινόμενο

Όταν ηλιακό φως πέσει σε κρυσταλλικό πυρίτιο, είναι δυνατόν να ανακλαστεί, να διαπεράσει τον κρύσταλλο ή να απορροφηθεί. Στην τελευταία περίπτωση, αν το φωτόνιο έχει αρκετή ενέργεια τότε μπορεί να σπάσει έναν ομοιοπολικό δεσμό και να δημιουργήσει ζευγάρι ελεύθερου ηλεκτρονίου - οπής. Με το παρακάτω παράδειγμα περιγράφεται η κίνηση των φορέων ηλεκτρισμού μέσα στο υλικό υπό την επίδραση του φωτός. Έστω ότι το φως χτυπάει το τύπου-p και το φωτόνιο έχει αρκετή ενέργεια να σπάσει έναν ομοιοπολικό δεσμό. Δημιουργείται το ζεύγος ηλεκτρονίου - οπής. Η οπή αποτελεί φορέα πλειονότητας στο υλικό τύπου -p. Το ηλεκτρόνιο όμως είναι φορέας μειονότητας και κανονικά έχει μικρή διάρκεια ζωής αφού μπορεί να συνδεθεί με κάποια από τις πλεονάζουσες οπές. Σχεδιάζουμε τα ΦΒ με τέτοιο τρόπο ώστε οι φορείς μειονότητας να έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής. Το ηλεκτρόνιο λοιπόν κινούμενο μέσα στο p, φτάνει στην περιοχή απογύμνωσης όπου και επιταχύνεται λόγω της πεδιακής δύναμης και περνά στο n υλικό. Την ίδια ακριβώς κίνηση ακολουθεί και η οπή που δημιουργείται όταν το φως χτυπάει το τύπου-p.



ΣΧΗΜΑ 1.4

Η κίνηση των φορέων μειονότητας μέσα στην περιοχή απογύμνωσης είναι αντίρροπη, αλλά επειδή τα φορτία τους είναι αντίθετα, το συνισταμένο ρεύμα είναι το άθροισμα των δύο ρευμάτων των φορέων. Συνεπώς το ΦΒ λειτουργεί σαν μπαταρία με θετικό πόλο το τύπου-p κι αρνητικό το n. Το αν ένα φωτόνιο έχει την απαιτούμενη ενέργεια για να δημιουργήσει το ζεύγος ηλεκτρονίου – οπής, εξαρτάται από την συχνότητά του.



Κεφάλαιο 3ο



Ανάλυση φωτοβολταϊκού συστήματος

3.1 Δομή ενός φωτοβολταϊκού συστήματος

Το φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται από ένα αριθμό μερών ή υποσυστημάτων:

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



Υπάρχουν δυο κύριες κατηγορίες συστημάτων, το διασυνδεδεμένο με το δίκτυο και το αυτόνομο. Η απλούστερη μορφή του δεύτερου εκ των δυο αποτελείται απλώς από μια φωτοβολταϊκή γεννήτρια, η οποία μόνη της τροφοδοτεί με ισχύ DC ένα φορτίο οποτεδήποτε υπάρχει αποτελεσματική φωτεινότητα. Αυτού του τύπου το σύστημα είναι κοινό σε εφαρμογές άντλησης. Σε άλλες περιπτώσεις το σύστημα θα περιέχει συνήθως μια φροντίδα για αποθήκευση ενέργειας από τις μπαταρίες. Κάποια μορφή ρύθμισης της ισχύος συμπεριλαμβάνεται συχνά, όπως στην περίπτωση όταν απαιτείται ρεύμα AC στην έξοδο από το σύστημα. Σε μερικές περιπτώσεις το σύστημα περιέχει μια εφεδρική γεννήτρια.

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

3.2 Η Φωτοβολταϊκή γεννήτρια

3.2.1 Εισαγωγή

Η καρδιά του συστήματος είναι η φωτοβολταϊκή γεννήτρια. Αυτή αποτελείται από φωτοβολταϊκές βασικές μονάδες, οι οποίες είναι εσωτερικώς συνδεδεμένες για να σχηματίσουν μια μονάδα παραγωγής ισχύος DC. Η φυσική συγκέντρωση των βασικών μονάδων με τα στοιχεία υποστήριξης τους συνήθως ονομάζεται διάταξη (Βλ. παρακάτω σχήμα)

Ηλιακό ηλεκτρικό στοιχείο



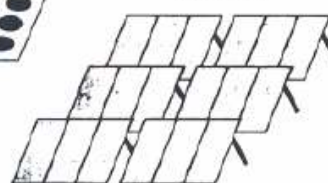
Βασική μονάδα



Πλαίσιο

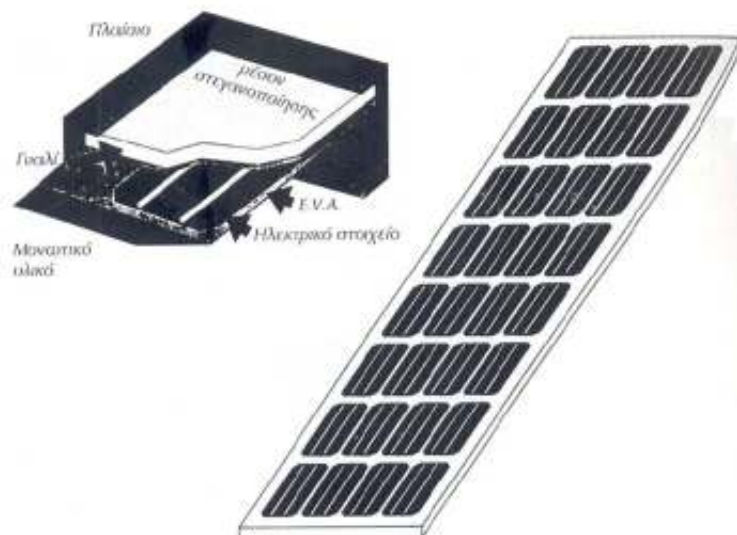


Διάταξη



3.2.2 Δομή και λειτουργία βασικής μονάδας

Όπως υπονοεί και το όνομά της, η βασική μονάδα αποτελεί τη βασική μονάδα κατασκευής της φωτοβολταϊκής γεννήτριας. Η δομή μιας βασικής μονάδας που βασίζεται πάνω σε στοιχεία κρυσταλλικού ή ημικρυσταλλικού πυριτίου παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα. Αυτός είναι ο τύπος της βασικής μονάδας, η οποία χρησιμοποιείται περισσότερο στην πράξη και θα πρέπει να εξεταστεί με περισσότερη λεπτομέρεια.



Η επιφάνεια που είναι προς τον ήλιο καλύπτεται από γυάλινο κάλυμμα ειδικών προδιαγραφών που είναι ανθεκτικό στις καιρικές συνθήκες και στην υπεριώδη ακτινοβολία. Προφυλάσσει τις κυψέλες και τις ηλεκτρικές επαφές από την βροχή, το χαλάζι και το χιόνι που μπορούν να προκαλέσουν διάβρωση. Κάτω από το γυάλινο κάλυμμα, τα ηλιακά κύτταρα εγκλείονται με θερμική διεργασία μέσα σε διαφανή ερμητικά σφραγισμένη πολυμερή μεμβράνη (E.V.A. = Ethylene Vinyl Acetate), ώστε να μειωθεί το ποσοστό της ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας. Πάνω και κάτω από την επιφάνεια του πυριτίου υπάρχουν ηλεκτρικές επαφές από υλικό μικρής θερμικής αντίστασης που το συνδέουν με το εξωτερικό κύκλωμα. Τέλος, το φωτοβολταϊκό πλαίσιο ασφαλιζεται μέσα σε μια μεταλλική θήκη αλουμινίου.

Συνήθως τα ηλιακά στοιχεία σε μια βασική μονάδα συνδέονται μεταξύ τους σε σειρά. Αυτό οφείλεται στα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του κάθε ηλιακού στοιχείου. Ένα τυπικό (διαμέτρου 4 ιντσών) ηλιακό στοιχείο κρυσταλλικού πυριτίου ή ένα (10 cm*10 cm) πολυκρυσταλλικό στοιχείο θα παρέχουν κάτω από κανονικές συνθήκες ισχύ μεταξύ 1 και 1,5 Watt, εξαρτώμενη από την απόδοση του ηλιακού στοιχείου. Αυτή η ισχύς παρέχεται συνήθως υπό τάση 0,5 ή 0,6 V. Από τη στιγμή που υπάρχουν πολύ λίγες εφαρμογές, οι οποίες εκτελούνται σε αυτή την τάση, η άμεση λύση είναι να συνδεθούν τα ηλιακά στοιχεία σε σειρά.

Ο αριθμός των ηλεκτρικών στοιχείων μέσα σε μια βασική μονάδα ρυθμίζεται από την τάση της βασικής μονάδας. Η ονομαστική τάση λειτουργίας του συστήματος συνήθως πρέπει να ταιριάζει με την ονομαστική τάση του υποσυστήματος αποθήκευσης. Οι περισσότερες εκ των φωτοβολταϊκών βασικών μονάδων, που κατασκευάζονται βιομηχανικά έχουν, επομένως, σταθερές διατάξεις, οι οποίες μπορούν να συνεργασθούν ακόμη και με μπαταρίες των 12Volt.

Προνοώντας για κάποια υπέρταση προκειμένου να φορτιστεί η μπαταρία και να αντισταθμιστεί χαμηλότερη έξοδος, κάτω από συνθήκες χαμηλότερες των κανονικών, έχει βρεθεί ότι μια ομάδα των 33 έως 36 ηλιακών στοιχείων σε σειρά συνήθως εξασφαλίζουν αξιόπιστη λειτουργία.

Έτσι η ισχύς των βασικών μονάδων πυριτίου συνήθως κυμαίνεται μεταξύ 40 και 60 W. Οι παράμετροι της βασικής μονάδας καθορίζονται από τον κατασκευαστή κάτω από τις ακόλουθες κανονικές συνθήκες:

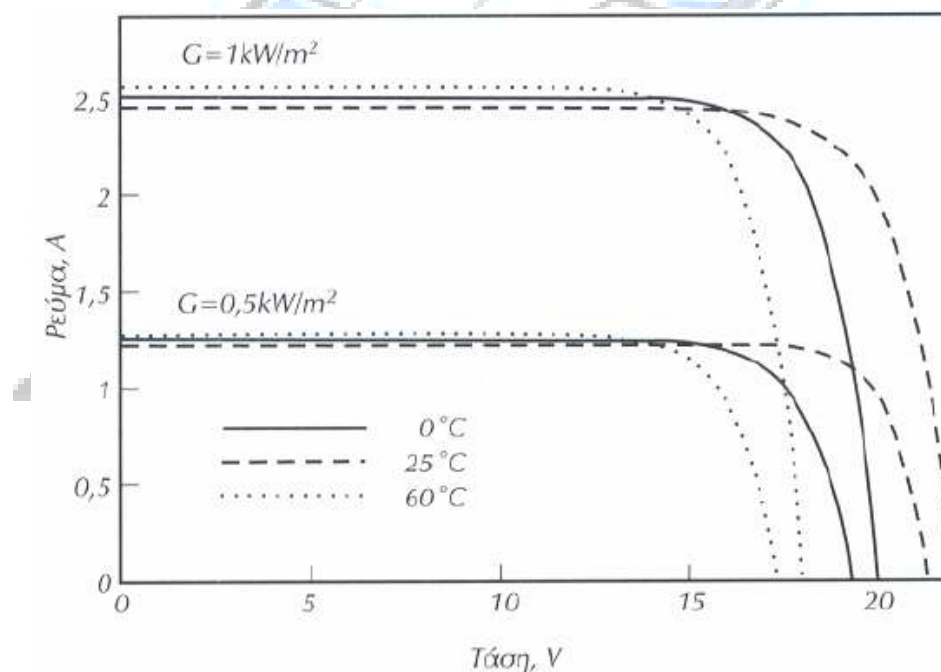
Ακτινοβολία 1 kW/m^2

Φασματική κατανομή AM 1.5

Θερμοκρασία ηλιακού στοιχείου 25°C

Πράγματι, αυτές είναι οι ίδιες συνθήκες με αυτές που χρησιμοποιούνται για να χαρακτηρισθούν τα ηλιακά στοιχεία. Η ονομαστική έξοδος συνήθως ονομάζεται ισχύς κορυφής μιας βασικής μονάδας και εκφράζεται σε watt κορυφής (W).

Τα τρία περισσότερο σημαντικά ηλεκτρικά χαρακτηριστικά μιας βασικής μονάδας είναι το ρεύμα βραχυκυκλώματος, η τάση ανοικτού κυκλώματος και το σημείο μέγιστης ισχύος σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία και την ακτινοβολία. Αυτές οι χαρακτηριστικές μοιάζουν με τη χαρακτηριστική I-V ενός ηλιακού στοιχείου, ωστόσο μερικές συγκεκριμένες ιδιομορφίες χρειάζεται να διασαφιστούν.



Η πιο σημαντική είναι η εξάρτηση της τάσης από τη θερμοκρασία η οποία ελαττώνεται με την αύξηση αυτής. Η μείωση της τάσης ενός φωτοκύτταρου πυριτίου είναι τυπικά 2.3 mV ανά $^\circ\text{C}$. Ο συντελεστής τάσης μιας βασικής μονάδας είναι επομένως

αρνητικός και πολύ μεγάλος από τη στιγμή που συνδέονται σε σειρά 33 έως 36 ηλιακά στοιχεία. Ο συντελεστής ρεύματος, από την άλλη πλευρά, είναι θετικός και μικρός +6 $\mu\text{A}/^\circ\text{C}$ περίπου ανά τετραγωνικό εκατοστό της βασικής μονάδας. Συνεπώς, μόνο η μεταβολή τάσης σε σχέση μ' αυτή της θερμοκρασίας λαμβάνεται υπόψη για πρακτικούς κυρίως υπολογισμούς ενώ για κάθε βασική μονάδα αποτελούμενη από n_c ηλιακά στοιχεία συνδεδεμένα σε σειρά ισούται προς:

$$dV_{oc}/dT = -2.3 * n_c \text{ mV}/^\circ\text{C} \quad (1)$$

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η τάση καθορίζεται από τη θερμοκρασία λειτουργίας των ηλιακών στοιχείων, η οποία διαφέρει από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Όπως και για καθένα ηλιακό στοιχείο, το ρεύμα βραχυκυκλώματος I_{sc} μιας βασικής μονάδας είναι ανάλογο προς την ακτινοβολία και επομένως θα ποικίλλει κατά τη διάρκεια της ημέρας κατά τον ίδιο τρόπο. Εφόσον η τάση είναι μια λογαριθμική συνάρτηση του ρεύματος, θα εξαρτάται επίσης λογαριθμικά και από την ακτινοβολία. Κατά τη διάρκεια της ημέρας επομένως η τάση θα μεταβάλλεται λιγότερο από ότι το ρεύμα. Στο σχεδιασμό της Φ.Β. γεννήτριας είναι συνηθισμένο να παραμελείται η μεταβολή της τάσης και να λαμβάνεται το ρεύμα βραχυκυκλώματος ανάλογο προς την ακτινοβολία.

$$I_{sc} (G) = I_{sc} (\text{σε } 1 \text{ kW}/\text{m}^2) \chi G (\text{σε } \text{kW}/\text{m}^2) \quad (2)$$

Η λειτουργία μιας βασικής μονάδας θα πρέπει να βρίσκεται όσο το δυνατόν πιο κοντά στο σημείο μέγιστης ισχύος. Είναι ένα σημαντικό γνώρισμα της χαρακτηριστικής της βασικής μονάδας, το ότι η τάση του σημείου μέγιστης ισχύος V_m είναι σχεδόν ανεξάρτητη από την ακτινοβολία. Η μέση τιμή αυτής της τάσης κατά τη διάρκεια της ημέρας μπορεί να εκτιμηθεί στο 80% της τάσης ανοικτού κυκλώματος κάτω από κανονικές συνθήκες ακτινοβολίας. Αυτή η ιδιότητα είναι χρήσιμη για τη σχεδίαση της μονάδας ελέγχου της ισχύος της συσκευής.

Ο χαρακτηρισμός της βασικής Φ.Β. μονάδας συμπληρώνεται με τη μέτρηση της θερμοκρασίας ενός κανονικά λειτουργούντος ηλιακού στοιχείου (NOCT) (Normal Operating Cell Temperature), οριζόμενης ως η θερμοκρασία του ηλιακού στοιχείου, όταν η βασική μονάδα λειτουργεί κάτω από τις ακόλουθες συνθήκες σε ανοικτό κύκλωμα:

Ακτινοβολία 0.8 kW/m^2

Φασματική κατανομή AM 1.5

Θερμοκρασία περιβάλλοντος 20°C

Ταχύτητα ανέμου 1 m/s

Η Θερμοκρασία κανονικής λειτουργίας ηλεκτρικού στοιχείου (NOCT) (συνήθως μεταξύ 42°C και 46 °C) χρησιμοποιείται τότε για να καθορίσει τη θερμοκρασία του ηλιακού ηλεκτρικού στοιχείου T_c κατά τη διάρκεια της λειτουργίας βασικής μονάδας. Συνήθως υποθέτουμε ότι η διαφορά μεταξύ T_c και θερμοκρασίας περιβάλλοντος T_a , εξαρτάται γραμμικά από την ακτινοβολία G_r κατά τον ακόλουθο τρόπο:

$$T_c := T_a + \frac{(N_o - 20) \cdot G_r}{0.8} \quad (3)$$

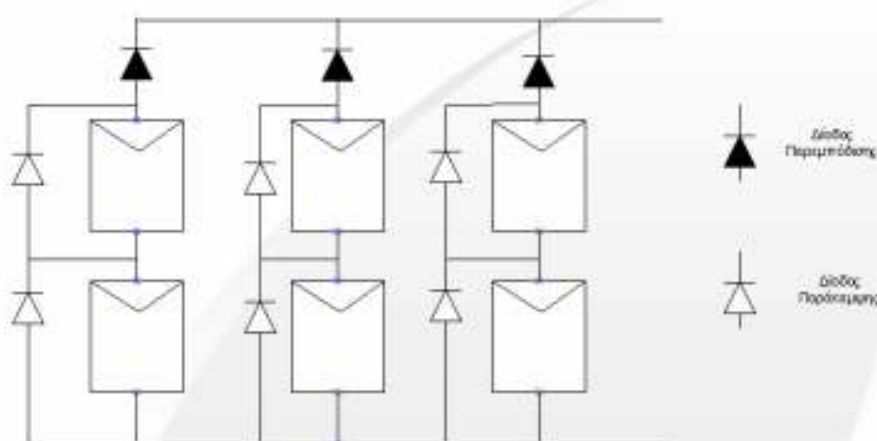
Το ρεύμα βραχυκυκλώματος καθορίζεται από την παραπάνω εξίσωση(2). Η θερμοκρασία λειτουργίας του ηλεκτρικού στοιχείου βρέθηκε χρησιμοποιώντας την εξίσωση (3) και η τιμή του αποτελέσματος χρησιμοποιείται τότε για να βρεθεί η τάση ανοικτού κυκλώματος χρησιμοποιώντας την (1). Αυτές οι παράμετροι στη συνέχεια παρέχουν τη μέγιστη ισχύ της βασικής μονάδας κάτω από ορισμένες συνθήκες λειτουργίας.

Συνοψίζοντας, ένα χαρακτηριστικό Φ/Β κύτταρο πυριτίου παράγει περίπου συνεχές ρεύμα της τάξεως των 0,5 - 0,6 Volt σε ανοικτό- κύκλωμα, χωρίς κάποιο αρχικό φορτίο. Η έξοδος ρεύματος (ισχύος) ενός Φ/Β κυττάρου εξαρτάται από την αποδοτικότητα και το μέγεθος (της περιοχής της επιφάνειας), και είναι ανάλογη της έντασης του ηλιακού φωτός που χτυπά την επιφάνεια του κυττάρου. (U.S. Department of Energy). Ακόμα και κατά τις περιόδους συννεφιάς, ένα φωτοβολταϊκό κύτταρο εξακολουθεί να παράγει ηλεκτρική ενέργεια, έχοντας όμως κατά πολύ μειωμένη απόδοση. Από την άλλη μεριά, σε περιόδους καύσωνα η απόδοση ενός φωτοβολταϊκού κυττάρου ελαττώνεται επίσης αισθητά. Αυτό οφείλεται στο γεγονός, ότι, σε σχετικά υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος, το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που μετατρέπεται από το φωτοβολταϊκό κύτταρο σε ηλεκτρικό ρεύμα μειώνεται σημαντικά, πιο συγκεκριμένα, ο βαθμός απόδοσης ενός ηλιακού κυττάρου είναι ίσος με τη μονάδα στους 20°C, σε περίπτωση αύξησης της θερμοκρασίας, έχουμε μείωση της απόδοσης κατά 0.002-0.003 ανά βαθμό °C.

Το τελευταίο αποτελεί και ένα βασικό μειονέκτημα των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Σε μια κατάσταση αιχμής, επίσης, αν ένα χαρακτηριστικό εμπορικό Φ/Β κύτταρο με μια περιοχή επιφάνειας 160 cm² παράγει περίπου μέγιστη ισχύ 2 Watt και κάποια άλλη στιγμή μειωθεί η ένταση του ηλιακού φωτός στο 40 τοις εκατό της μέγιστης έντασης του, τότε αυτό το κύτταρο θα παράγει περίπου 0,8 Watts (U.S. Department of Energy).

3.2.3 Εσωτερική σύνδεση των Φ.Β. βασικών μονάδων

Ένα σχηματικό διάγραμμα μιας Φ.Β. γεννήτριας που αποτελείται από αρκετές βασικές μονάδες παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα. Επιπρόσθετα, πέρα από τις φωτοβολταϊκές βασικές μονάδες η γεννήτρια περιέχει διόδους παράκαμψης και παρεμπόδισης. Αυτές οι διόδους προστατεύουν τη βασική μονάδα και αποτρέπουν τη γεννήτρια από το να ενεργεί ως ένα φορτίο στο σκοτάδι.



Οι βασικές μονάδες συνδέονται σε σειρά για να σχηματίσουν ταινίες, στις οποίες ο αριθμός των βασικών μονάδων N_s καθορίζεται από την επιλεγμένη τάση DC που υπάρχει στους αγωγούς διέλευσης και ο αριθμός των παράλληλων ταινιών N_p δίνεται από το ρεύμα που απαιτείται από τη γεννήτρια. Για τη γεννήτρια στο παραπάνω Σχήμα έχουμε $N_s=2$ και $N_p=3$. Η τάση εξόδου επομένως θα μπορούσε να είναι διπλάσια της τάσης της βασικής μονάδας και το ρεύμα αυτής τρεις φορές μεγαλύτερο από αυτό της βασικής μονάδας. Αυτή η ανάλυση προϋποθέτει ότι όλες οι βασικές μονάδες είναι όμοιες. Πρακτικά οι βασικές μονάδες (και τα ηλιακά στοιχεία) δεν είναι όμοια και οι παράμετροι τους παρουσιάζουν ένα συγκεκριμένο βαθμό διαφοροποίησης για δυο κυρίως λόγους

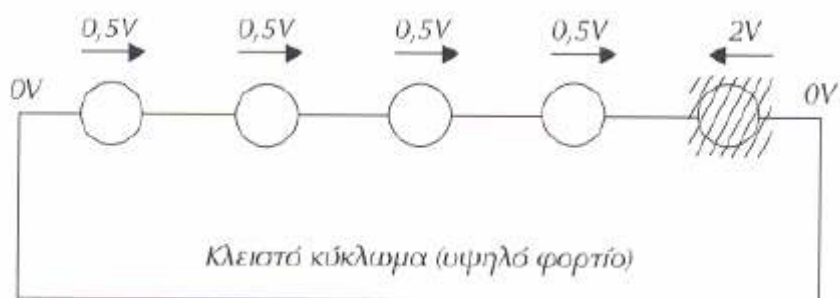
- Τα ηλιακά στοιχεία και οι βασικές μονάδες ποικίλλουν σε ποιότητα, καθώς αυτή είναι αποτέλεσμα της διαδικασίας της βιομηχανοποίησης. Γενικότερα το ρεύμα που παράγεται από εμπορικές βασικές μονάδες παρουσιάζει μεγαλύτερη διαφοροποίηση από την τάση.
- Διαφορετικές λειτουργικές συνθήκες ίσως υπάρχουν σε διαφορετικά τμήματα της Φ.Β. διάταξης. Για παράδειγμα, μπορεί να υπάρχει διαφορετική καθαρότητα των διαφόρων τμημάτων της Φ.Β. γεννήτριας ή μερικές βασικές μονάδες ίσως σκιάζονται από ένα σύννεφο το οποίο καλύπτει μόνο ένα μέρος της σειράς.

Αυτή η διαφοροποίηση των παραμέτρων ενός στοιχείου έχει δυο σημαντικά αποτελέσματα. Πρώτα η ισχύς εξόδου της γεννήτριας είναι μικρότερη από το άθροισμα των

τιμών που αντιστοιχούν σε όλες τις βασικές μονάδες του συστήματος. Αυτό προκαλεί απώλειες λόγω της κακής προσαρμογής. Αυτές οι απώλειες μπορούν να ελαχιστοποιηθούν βραχυκυκλώνοντας τις βασικές μονάδες πριν την εσωτερική σύνδεσή τους και σχηματίζοντας σειρές από βασικές μονάδες με όμοιες τιμές του ρεύματος βραχυκυκλώματος.

Κατά δεύτερον, υπάρχει η δυνατότητα υπερθέρμανσης του "φτωχότερου" ηλεκτρικού στοιχείου μιας σειράς. Σε μερικές περιπτώσεις ένα στοιχείο μπορεί να λειτουργεί ως "φορτίο" για τα άλλα στοιχεία που ενεργούν ως "γεννήτριες". Συνεπώς, αυτό το στοιχείο καταναλώνει ενέργεια και η θερμοκρασία του αυξάνεται. Εάν η θερμοκρασία του ηλεκτρικού στοιχείου αυξηθεί πάνω από ένα όριο (85-100 °C), τα στερεωτικά υλικά μπορεί να πάθουν βλάβη και αυτό θα μειώσει την αποτελεσματικότητα όλης της βασικής μονάδας. Αυτό ονομάζεται σχηματισμός "ζεστής κηλίδας" (Hot Spot).

Αυτό το φαινόμενο εμφανίζεται στο παρακάτω Σχήμα που παρουσιάζει ένα στοιχείο το οποίο δεν παράγει ρεύμα μέσα σε μια ταινία, αυτό μπορεί να συμβεί, για παράδειγμα, όταν το στοιχείο σκιάζεται. Είναι γνωστό ότι ένα ηλεκτρικό στοιχείο στο σκοτάδι ενεργεί ως μια δίοδος. Η σκίαση ενός ηλεκτρικού στοιχείου, το μετατρέπει σε μια δίοδο κάτω από ανάστροφη πόλωση, μηδενίζοντας μ' αυτόν τον τρόπο την παραγωγή ρεύματος από όλη την ταινία. Ακόμη περισσότερο, το σκιασμένο στοιχείο θα καταναλώσει όλη την παραγόμενη ισχύ των φωτισμένων στοιχείων στην ταινία, η οποία μπορεί να είναι σημαντική, εάν η ταινία είναι μεγάλη.



Η κοινή τεχνική που χρησιμοποιείται για να απαλύνει αυτό το φαινόμενο είναι η χρησιμοποίηση διόδων παράκαμψης, οι οποίες συνδέονται στα άκρα ομάδας αρκετών στοιχείων μιας ταινίας. Αυτό περιορίζει την ισχύ, που καταναλώνεται σ' αυτή την ομάδα, και παρέχει μια οδό χαμηλής αντίστασης για το ρεύμα της βασικής μονάδας.

3.3 Αποθήκευση ενέργειας

3.3.1 Εισαγωγή

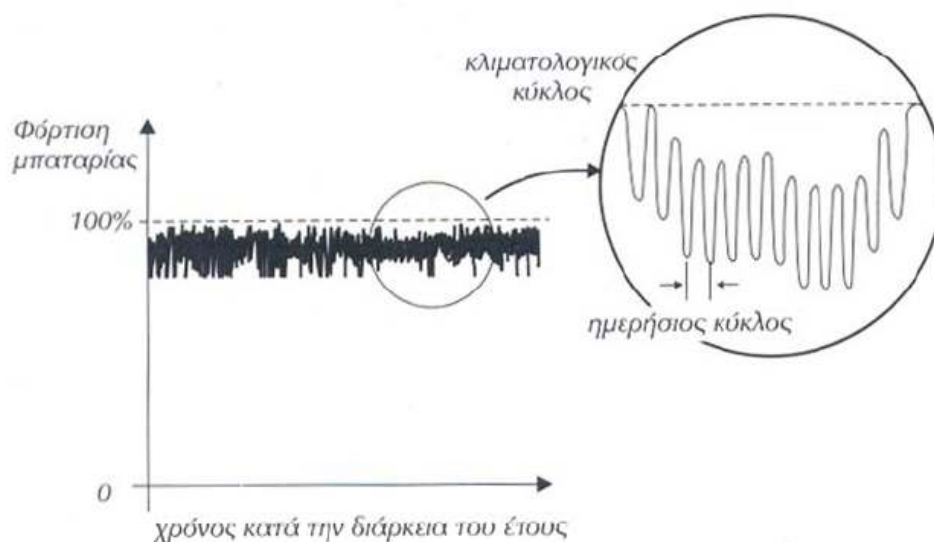
Από τη στιγμή που η τροφοδοτούμενη ηλιακή ενέργεια είναι ουσιαστικά μεταβαλλόμενη στο χρόνο, στα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα συνήθως γίνεται πρόβλεψη για αποθήκευση ενέργειας.

Παρ' όλο που μια ποικιλία μεθόδων αποθήκευσης της ενέργειας είναι υπό μελέτη, η πλειονότητα των αυτόνομων Φ.Β. συστημάτων σήμερα χρησιμοποιεί ως μέσον αποθήκευσης τη μπαταρία. Σημαντική εξαίρεση αποτελούν τα συστήματα άντλησης νερού, στα οποία η αποθήκευση του αντλούμενου νερού είναι η προτιμότερη διέξοδος. Οι μπαταρίες στην περισσότερο κοινή χρήση τους είναι ως επί το πλείστον μπαταρίες μολύβδου-οξέος, λόγω της ευκολίας απόκτησης τους και της σχέσης κόστους-απόδοσης. Τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά τους θα αναλυθούν παρακάτω. Οι μπαταρίες νικελίου-καδμίου χρησιμοποιούνται κυρίως σε μικρότερες εφαρμογές, λόγω της αντοχής τους, μηχανικής και ηλεκτρικής και λόγω του υψηλού τους κόστους ανά ποσότητα αποθηκευμένης ενέργειας. Γι' αυτό το λόγο έχει σταματήσει την ευρύτερη χρήση τους στα φωτοβολταϊκά συστήματα.

3.3.2 Λειτουργία μπαταρίας μέσα στα Φ.Β. Συστήματα

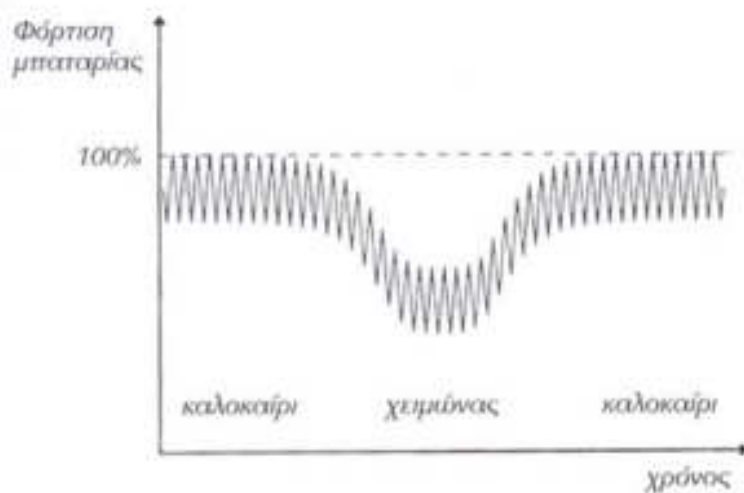
Οι μπαταρίες στα ΦΒ συστήματα λειτουργούν κάτω από συγκεκριμένες, συνθήκες, οι οποίες πρέπει να έχουν προβλεφθεί κατά τη σχεδίαση του συστήματος, καθώς αυτές επηρεάζουν τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας και την αποτελεσματικότητα της λειτουργίας της. Το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό τους είναι η κυκλική τους λειτουργία με διαφορετική κανονικότητα (παρακάτω σχήμα).

Κατά τον ημερήσιο κύκλο η μπαταρία φορτίζεται κατά τη διάρκεια της ημέρας και εκφορτίζεται στη διάρκεια της νύκτας. Το βάθος της εκφόρτισης κατά τον ημερήσιο κύκλο για τα συστήματα χωρίς εφεδρική πηγή είναι πάντοτε σχετικά μικρό. Επάνω στον ημερήσιο κύκλο υπερτίθεται ο κλιματολογικός κύκλος ανάλογα με τις μεταβαλλόμενες καιρικές συνθήκες. Αυτός ο κύκλος συμβαίνει οποτεδήποτε το ημερήσιο φορτίο ξεπερνά τη μέση παροχή ενέργειας από την ΦΒ γεννήτρια.



Σε συστήματα, στα οποία η αξιοπιστία δεν είναι η υπέρτατη σπουδαιότητα, η μπαταρία ίσως να ενεργεί ως ένας εποχιακός αποθηκευτής. Σ' αυτή την περίπτωση ο κύκλος κλίματος εκτείνεται πάνω σ' ένα σημαντικό τμήμα της εποχής (παρακάτω σχήμα).

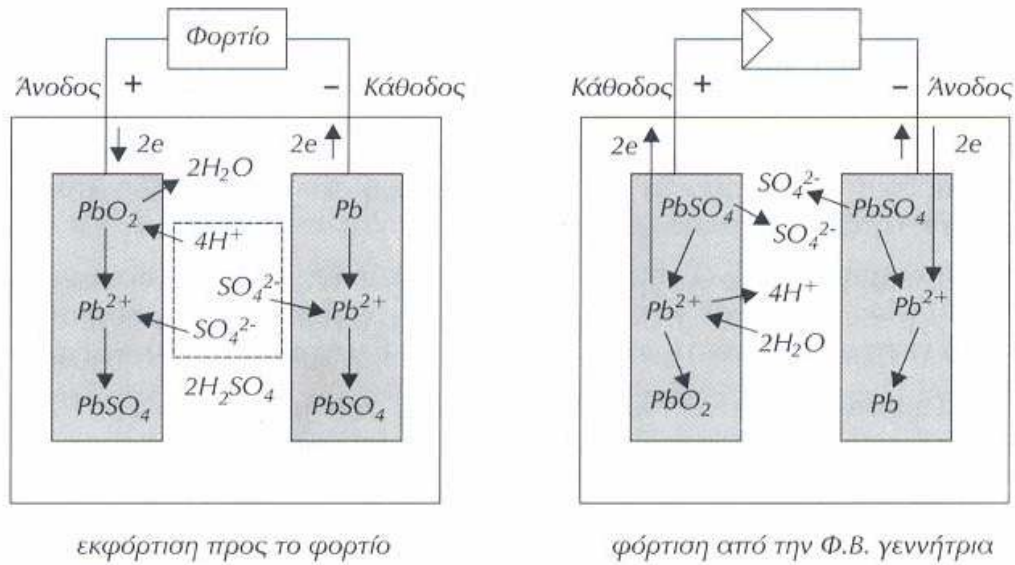
Οι λεπτομέρειες της κυκλικής λειτουργίας εξαρτώνται από την επιθυμητή αξιοπιστία του συστήματος και από τη σχέση μεταξύ της ικανότητας αποθήκευσης και του μεγέθους της ΦΒ γεννήτριας.



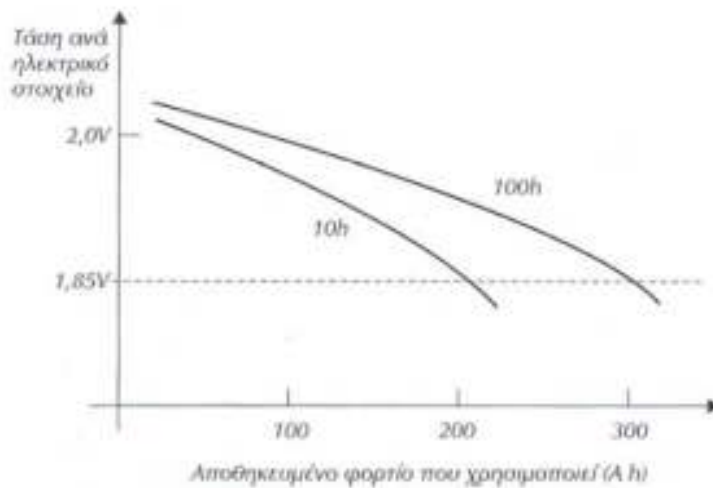
3.3.3 Μπαταρίες μολύβδου-οξέος

Με απλοποιημένους όρους η μπαταρία μολύβδου-οξέος περιλαμβάνει δύο ηλεκτρόδια μολύβδου και διοξειδίου του μολύβδου και τον ηλεκτρολύτη του θεικού οξέος διαλυμένο με νερό. Στις πρακτικές κατασκευές τα ηλεκτρόδια σχηματίζονται από πλέγμα μολύβδου (μερικές φορές σε μορφή κράματος με ασβέστιο ή αντιμόνιο), όπου το ενεργό υλικό φέρεται με τη μορφή μιας πορώδους δομής, η οποία προσφέρει μια μεγάλη περιοχή επιφάνειας για χημικές αντιδράσεις με τον ηλεκτρολύτη.

Οι χημικές αντιδράσεις που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια λειτουργίας της μπαταρίας παρουσιάζονται στο Σχήμα που ακολουθεί. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας φόρτισης το οξείδιο του μολύβδου σχηματίζεται στην κάθοδο και το θειικό οξύ ελευθερώνεται μέσα στον ηλεκτρολύτη.



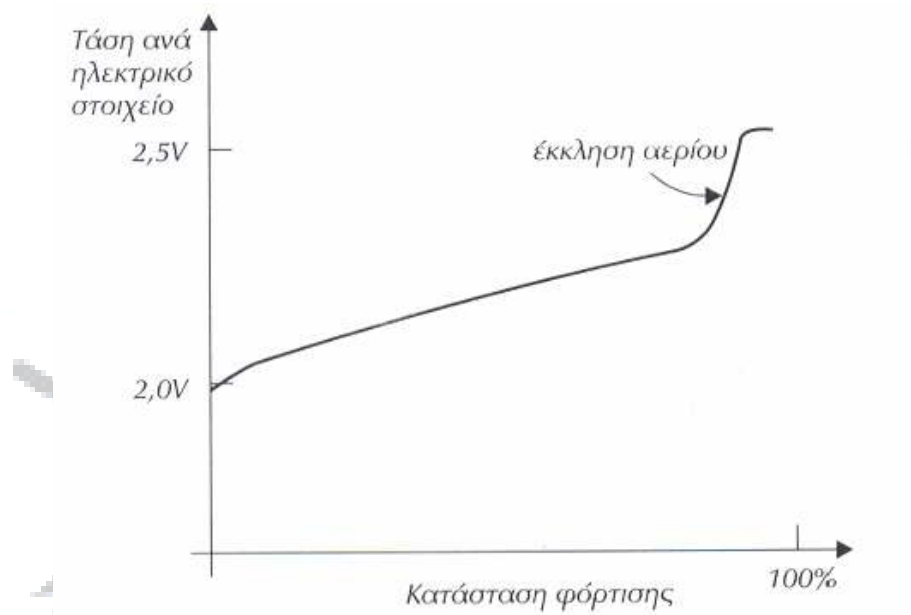
Κατά τη διάρκεια της εκφόρτισης σχηματίζεται ο θειικός μολύβδος και στα δύο ηλεκτρόδια και το θειικό οξύ απομακρύνεται από τον ηλεκτρολύτη. Μια τυπική συμπεριφορά της τάσης κατά τη διάρκεια της εκφόρτισης μιας μπαταρίας μολύβδου-οξέος παρουσιάζεται στο Σχήμα που ακολουθεί.



Φαίνεται ότι η χωρητικότητα της μπαταρίας ελαττώνεται εμφανώς, όταν εκφορτίζεται με έντονο ρυθμό. Για παράδειγμα, μια μπαταρία με μια ονομαστική χωρητικότητα που έχει προσδιοριστεί με εκφόρτιση στις 10 ώρες, μπορεί να αυξήσει εμφανώς τη χωρητικότητά της όταν η εκφόρτιση διαρκέσει 100 ώρες μια διάρκεια, η οποία χρησιμοποιείται σε πολλές φωτοβολταϊκές εφαρμογές. Αυτό το χαρακτηριστικό πρέπει να ληφθεί υπόψη, όταν

σχεδιάζεται η αποθήκευση ενέργειας ενός Φ.Β. συστήματος, γιατί πολλά λειτουργούν κάτω από διαφορετικές συνθήκες από αυτές που καθορίζουν οι κατασκευαστές της μπαταρίας.

Η συμπεριφορά της τάσης κατά τη διάρκεια φόρτισης παρουσιάζεται στο σχήμα:



Μετά από μια σχετικά αργή αύξηση έως τα 2.35 V περίπου ανά στοιχείο υπάρχει μια απότομη αύξηση τάσης που συνοδεύεται από έκκλιση αερίου-γένεση υδρογόνου και οξυγόνου στα ηλεκτρόδια. Αυτές οι χημικές αντιδράσεις συνεπάγονται ποικίλες διαδικασίες (δηλητηρίαση), οι οποίες συνοδεύουν τη λειτουργία της μπαταρίας και μειώνουν τη διάρκεια ζωής της ή αυξάνουν τις απαιτήσεις συντήρησης. Η έκκλιση αερίου αυξάνει την ανάγκη για συντήρηση και ίσως παρουσιάζει έναν κίνδυνο ασφαλείας. Μέσα σε μέτρια επίπεδα, αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πλεονέκτημα γιατί ελαττώνει τη στρωμάτωση του ηλεκτρολύτη.

Η επαναλαμβανόμενη ανάπτυξη και διάλυση του μολύβδου, του οξειδίου του μολύβδου και του θειικού άλατος με διαφορετικούς ειδικούς όγκους συνοδεύεται από μηχανικές τάσεις στα ηλεκτρόδια. Αυτές οι τάσεις, στη συνέχεια, έχουν αποτέλεσμα την απόρριψη ενεργού υλικού από τα ηλεκτρόδια. Το φαινόμενο αυτό μπορεί να συμβεί και κάποια άλλη στιγμή κατά τη διάρκεια της έντονης έκκλισης αερίου.

Η θείωση είναι ένας σχηματισμός μεγάλων κρυστάλλων θειικού μολύβδου στις πλάκες, οι οποίες εμποδίζουν τις αμφίδρομες χημικές αντιδράσεις. Αυτό το φαινόμενο συμβαίνει κυρίως όταν η μπαταρία παραμένει σε μια κατάσταση χαμηλής φόρτισης για εκτεταμένες χρονικές περιόδους.

Η λειτουργία της μπαταρίας τείνει να υποβοηθά μια μη ομοιόμορφη κατανομή του ηλεκτρολύτη, στην οποία ο ηλεκτρολύτης με την υψηλότερη πυκνότητα συγκεντρώνεται στο

κάτω μέρος του δοχείου της μπαταρίας. Αυτή η στρωματοποίηση του ηλεκτρολύτη ενισχύει την οξειδωση και τη θείωση του κάτω μέρους του αρνητικού ηλεκτροδίου, μπορεί ωστόσο να αποφευχθεί με μια κανονική εβδομαδιαία υπερφόρτωση στη διάρκεια της οποίας η έκκληση αερίου χρησιμοποιείται για την ανάδευση του ηλεκτρολύτη.

Μια καλή πρακτική είναι να δίνεται στις μπαταρίες μια αντισταθμιστική φόρτιση στο τέλος μιας περιόδου, όταν η μπαταρία θα έχει λειτουργήσει σε κατάσταση χαμηλού φορτίου (κανονικά στο τέλος του χειμώνα). Αυτή το πρόσθετο φορτίο, το οποίο για λίγο υπερφορτώνει τη μπαταρία εξασφαλίζει ότι όλα τα στοιχεία είναι πλήρως επαναφορτισμένα.

Διάβρωση ηλεκτροδίου συμβαίνει ιδιαίτερα με την ανάπτυξη του θετικού μολύβδινου πλέγματος και επιταχύνεται με υψηλές θερμοκρασίες. Η σχεδίαση της αποθηκευτικής ικανότητας της μπαταρίας πρέπει επίσης να εξασφαλίζει ότι ο ηλεκτρολύτης δεν θα παγώνει κατά τη διάρκεια της λειτουργίας της σε τοποθεσίες, που η θερμοκρασία μπορεί να πέσει σε χαμηλά επίπεδα. Αυτό μπορεί να αποφευχθεί με τη διατήρηση μιας σχετικά υψηλής πυκνότητας του ηλεκτρολύτη είτε με μια υψηλή κατάσταση φόρτισης ή ακόμη και με την αύξηση της πυκνότητας του ηλεκτρολύτη πάνω από το συνηθισμένο μέτρο.

Μολονότι ειδικές Φ.Β. μπαταρίες είναι τώρα διαθέσιμες στην αγορά, οι περισσότερες μπαταρίες, οι οποίες συνήθως εγκαθίστανται στα Φ.Β. συστήματα, είναι αυτές που αρχικά προορίζονται για συμβατικές εφαρμογές ή προσαρμοσμένες για να ταιριάζουν στη συγκεκριμένη μέθοδο λειτουργίας του Φ.Β. Συστήματος. Οι τρεις βασικές τάξεις των μπαταριών μολύβδου οξέος καταγράφονται στον παρακάτω πίνακα.

Βασικοί τύποι των μπαταριών εμπορίου μολύβδου-οξέος

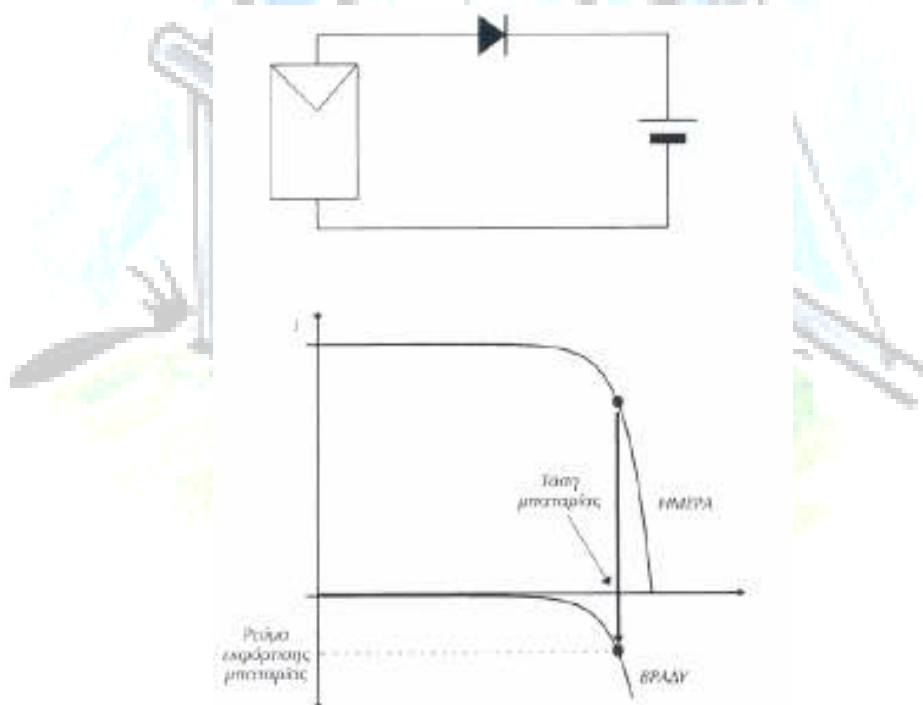
Τύπος	Χαρακτηριστικά
SLI	Χαμηλή αντίσταση Επαναφόρτισης Χαμηλό κόστος
Έλξης	Υψηλή αντίσταση επαναφόρτισης Υψηλή κατανάλωση νερού Συχνή συντήρηση
Στάσιμη αποθήκευση	Μέτρια αντίσταση στην επαναφόρτιση Χαμηλή κατανάλωση νερού

3.4. Καθορισμός ισχύος και έλεγχος

Ποικίλες ηλεκτρονικές διατάξεις χρησιμοποιούνται για να αντιμετωπίσουν τη μεταβλητότητα της ισχύος εξόδου από την Φ.Β. γεννήτρια, για να αποφευχθεί η δυσλειτουργία του συστήματος ή για να μετατραπεί η παραγόμενη DC ισχύς από την Φ.Β. γεννήτρια σε AC.

3.4.1 Δίοδος φραγής

Γνωρίζουμε ότι ένα ηλιακό στοιχείο στο σκοτάδι συμπεριφέρεται ως μια δίοδος. Ομοίως η χαρακτηριστική μιας φωτοβολταϊκής γεννήτριας το βράδυ μπορεί να ληφθεί μετατοπίζοντας τη συνήθη χαρακτηριστική της με φως κατά μήκος του άξονα ρεύματος, έως ότου αυτή περάσει την αρχή του. Χωρίς ιδιαίτερες προφυλάξεις αυτός ο τρόπος της νυκτερινής λειτουργίας της φωτοβολταϊκής γεννήτριας θα ανοίγει το δρόμο για την εκφόρτιση της μπαταρίας. Η απλούστερη λύση είναι να διαχωριστεί η γεννήτρια και η μπαταρία με μια δίοδο φραγής (παρακάτω σχήμα). Όταν η τάση στη μπαταρία υπερβαίνει την τάση στη γεννήτρια, η δίοδος πολώνεται αντίστροφα και αποτρέπει την εκφόρτιση της μπαταρίας. Κατά τη διάρκεια της ημερήσιας λειτουργίας, επομένως, θα υπάρξει μια πτώση τάσης κατά μήκος της διόδου φραγής, η οποία θα μπορούσε να ληφθεί υπόψη κατά το σχεδιασμό του συστήματος.



Στα συστήματα που χρησιμοποιούν σύγχρονες ΦΒ βασικές μονάδες, στις οποίες η αντίσταση σειράς είναι χαμηλή και η χαρακτηριστική I-V προσεγγίζει την ιδανική καμπύλη,

το ρεύμα εκφόρτισης της μπαταρίας μέσω της Φ.Β. γεννήτριας το βράδυ μπορεί να είναι πολύ μικρό. Η ισχύς που χάνεται στη δίοδο φραγής κατά τη διάρκεια της ημερήσιας λειτουργίας ίσως να ξεπερνά τις απώλειες κατά τη νυκτερινή εκφόρτιση. Γι' αυτό το λόγο η δίοδος φραγής μερικές φορές παραλείπεται από τη σχεδίαση του κυκλώματος.

3.4.2 Αυτορρυθμιζόμενα συστήματα

Στα μικρά συστήματα η σύνδεση της μπαταρίας με την ΦΒ γεννήτρια μέσω μιας διόδου φραγής εμπλοκής παρέχει την απλούστερη λύση. Αυτός ο συνδυασμός στηρίζεται στη σωστή επιλογή του σημείου λειτουργίας της ΦΒ γεννήτριας για να ταιριάζει στις απαιτήσεις φόρτισης της μπαταρίας. Η συνήθης λειτουργία του συστήματος λαμβάνει χώρα μεταξύ της τάσης που έχει η μπαταρία κάτω από την ελάχιστη επιτρεπόμενη κατάσταση της φόρτισης και της τάσης αυτής σε πλήρες φορτίο, προνοούνται περιπτώσεις όπως η πτώση τάσης κατά μήκος της διόδου φραγής. Εάν η τάση λειτουργίας της σειράς τεθεί στο άνω όριο τάσης αυτής της περιοχής, τότε μια ελαφρά αύξηση στην τάση της μπαταρίας απότομα ελαττώνει το ρεύμα φόρτισης από την ΦΒ γεννήτρια και προφυλάσσει την μπαταρία από υπερφόρτωση. Θα δώσουμε επομένως έμφαση στο ότι η απλότητα της σχεδίασης σ' αυτά τα συστήματα παρουσιάζει σοβαρά μειονεκτήματα στην πρακτική λειτουργία. Το γεγονός ότι δεν υπάρχει προστασία εκφόρτωσης της μπαταρίας, μπορεί να έχει άσχημο αντίκτυπο στη διάρκεια ζωής της μπαταρίας. Η σχεδίαση του συστήματος είναι πολύ ευαίσθητη στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος και σε πολλές περιπτώσεις θα μπορούσε να παρουσιάσει πολύ αναποτελεσματική λειτουργία. Γι' αυτούς τους λόγους συστήνεται συνήθως η αυτορρύθμιση, μόνο δηλαδή στις περιπτώσεις εκείνες που οι δαπάνες του συστήματος πρέπει να κρατηθούν στο απόλυτο ελάχιστο.

3.4.3 Ρυθμιστής φόρτισης

Πάντα πρέπει να λαμβάνονται μέτρα για να προληφθεί η υπερβολική εκφόρτιση και υπερφόρτιση των μπαταριών. Ποικίλοι τύποι ρυθμιστών φόρτισης είναι διαθέσιμοι και καλύπτουν αυτό το ρόλο. Στις μικρές εφαρμογές (έως 100 W περίπου) ένας ρυθμιστής παράκαμψης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να καταναλώνει την ανεπιθύμητη ισχύ από τη γεννήτρια. Μια κοινή εφαρμογή είναι να χρησιμοποιηθεί ένα τρανζίστορ παράλληλα με την ΦΒ γεννήτρια, το οποίο τίθεται σε αγωγιμότητα και εκτρέπει το ρεύμα από τη μπαταρία πάνω από μια κρίσιμη τιμή τάσης.

Στις μεγάλες εφαρμογές συνιστάται να αποσυνδέουμε τη μπαταρία από τη γεννήτρια με τη βοήθεια ενός ρυθμιστή σειράς. Αυτός μπορεί να είναι ένας ηλεκτρομηχανικός

διακόπτης (για παράδειγμα ένας ηλεκτρονόμος) ή μια διάταξη στερεάς κατάστασης (διπολικό τρανζίστορ, MOSFET κλπ.). Τα προηγούμενα υλικά έχουν το πλεονέκτημα ότι δεν καταναλώνουν ενέργεια, αλλά η αξιοπιστία τους είναι μικρή σε τοποθεσίες με πολύ σκόνη ή άμμο. Η μπαταρία ίσως πρέπει να προστατεύεται από την υπερβολική εκφόρτιση με έναν περιοριστή φορτίου. Αυτή η διάταξη εισάγεται μεταξύ του φορτίου και της μπαταρίας και ενεργεί ως ένας διακόπτης, ο οποίος ανοίγει, όταν η φόρτιση της μπαταρίας προσεγγίζει ένα ελάχιστο αποδεκτό επίπεδο.

3.4.4 Μετατροπείας DC/DC

Η αστάθεια της ισχύος εξόδου από την ΦΒ γεννήτρια συνεπάγεται ότι χωρίς τη λήψη ειδικών μέτρων η γεννήτρια θα λειτουργεί συχνά εκτός του μέγιστου σημείου ισχύος. Οι σχετιζόμενες απώλειες μπορούν να αποφευχθούν με τη χρήση ενός παρακολουθητή μέγιστου σημείου ισχύος (MPP), ο οποίος εξασφαλίζει ότι υπάρχει πάντοτε μια μέγιστη μεταφορά ενέργειας από τη γεννήτρια προς την μπαταρία.

Για την περίπτωση που η ΦΒ γεννήτρια τροφοδοτεί με ισχύ ένα φορτίο αντίστασης R η μεταφερόμενη ισχύς είναι σημαντικά κάτω από την P_{max} , τη μέγιστη ισχύ της ΦΒ γεννήτριας. Ένας μετατροπείας DC/DC θα μετασχηματίσει την τάση στο φορτίο σε μια τιμή:

$$V_R := \sqrt{P_{max}R}$$

εξασφαλίζοντας έτσι μια μέγιστη μεταφορά ισχύος. Η χρήση του παρακολουθητή MPP είναι συνήθως δικαιολογημένη στα συστήματα με ισχύ κορυφής μεγαλύτερη από 1 kWp.

3.4.5 Μετατροπείας (αναστροφείας) DC/AC

Αυτό είναι ένα τυπικό ηλεκτρονικό εξάρτημα, που χρησιμοποιείται σε πολλές διαφορετικές εφαρμογές. Η ισχύς εισόδου είναι η DC ισχύς από τη φωτοβολταϊκή γεννήτρια ή μπαταρία και η έξοδος είναι AC ισχύς, που χρησιμοποιείται για να τρέξουν οι AC εφαρμογές ή για να τροφοδοτηθεί μέσα στο δίκτυο κατανάλωσης. Η απόδοση των αναστροφείων συνήθως εξαρτάται από το ρεύμα στο φορτίο που είναι μέγιστο στην ονομαστική ισχύ εξόδου. Μπορεί να φτάνει το 95% αλλά είναι μικρότερη (75 -80%), εάν ο αναστροφείας λειτουργεί υπό μερικό φορτίο.

Η πλειονότητα των αναστροφείων για ΦΒ εφαρμογές μπορούν να ταξινομηθούν μέσα σε τρεις κύριες κατηγορίες. Αναστροφείς μεταβλητής συχνότητας: χρησιμοποιούνται για αυτόνομες εφαρμογές ισχύος, σχεδόν αποκλειστικώς στα συστήματα ΦΒ άντλησης.

Οι υπόλοιπες δυο κύριες κατηγορίες αναστροφών ταιριάζουν στη σύνδεση δικτύου ΦΒ ισχύος για βιομηχανικά συγκροτήματα. Αυτομεταγόμενοι αναστροφείς σταθερής συχνότητας, οι οποίοι είναι ικανοί να τροφοδοτήσουν ένα απομονωμένο δίκτυο διανομής και εάν εξοπλισθεί με ειδικό παραλληλισμένο έλεγχο, ένα δίκτυο τροφοδοτούμενο και από άλλες παράλληλες πηγές ισχύος. Αναστροφείς γραμμής μεταγωγής σταθερής συχνότητας που είναι ικανοί να τροφοδοτήσουν το δίκτυο μόνο όταν η συχνότητα δικτύου ορίζεται από άλλη πηγή ισχύος συνδεδεμένη παράλληλα. Ο αναστροφέας δεν θα εργασθεί, εάν μια τέτοια εξωτερική συχνότητα αναφοράς λείπει (π.χ. κατά τη διάρκεια γενικής διακοπής του δικτύου).

3.5 Εφεδρική γεννήτρια

Η βεβαιότητα της κάλυψης των αναγκών του φορτίου κάθε χρονική στιγμή, ενισχύεται, ειδικά στα απομονωμένα συστήματα με την ύπαρξη περισσότερων από μιας πηγών ισχύος. Συνήθως αυτή είναι μια γεννήτρια ντίζελ, αφού παρέχει περισσότερο προβλεπόμενη ισχύ στη ζήτηση. Για παράδειγμα η γεννήτρια ντίζελ μπορεί να χρησιμοποιηθεί όταν υπάρχουν παρατεταμένες ημέρες συννεφιάς και η αποθηκευμένη ενέργεια δεν επαρκεί για την κάλυψη των αναγκών. Οι γεννήτριες ντίζελ είναι σύγχρονοι μεταλλάκτες που είναι άμεσα συνδεδεμένοι σε μια μηχανή ντίζελ. Ρυθμίζοντας τη ροή του καυσίμου στη μηχανή ελέγχεται η ταχύτητα λειτουργίας, η οποία καθορίζει τη συχνότητα της τάσης εξόδου. Το κόστος λειτουργίας της εξαρτάται από την κατανάλωση καυσίμου, ενώ το κόστος συντήρησης εξαρτάται άμεσα από τον αριθμό των ωρών λειτουργίας και το φορτίο της γεννήτριας. Συχνές εκκινήσεις των γεννητριών ντίζελ αυξάνουν τη μηχανική φθορά. Για την ελαχιστοποίηση αυτού του κόστους θα πρέπει να ακολουθούνται οι ακόλουθοι κανόνες για τη στρατηγική λειτουργίας της γεννήτριας. Μετά την εκκίνηση η γεννήτρια ντίζελ θα πρέπει να λειτουργήσει τουλάχιστον για μια ελάχιστη χρονική περίοδο, που τυπικά υπερβαίνει τα είκοσι λεπτά. Με αυτό τον τρόπο ελαχιστοποιείται η μηχανική φθορά της γεννήτριας.

Η γεννήτρια ντίζελ δε θα πρέπει να λειτουργεί κάτω από ένα ελάχιστο όριο ισχύος για παρατεταμένη χρονική περίοδο. Συνήθως το ελάχιστο φορτίο είναι το 40% της ονομαστικής ισχύος. Αυτό συμβαίνει για την αποφυγή της στίλβωσης των κυλίνδρων της μηχανής και επειδή σε χαμηλά φορτία η γεννήτρια παρουσιάζει πολύ χαμηλό βαθμό απόδοσης και μεγάλη κατανάλωση καυσίμου.

Κεφάλαιο 4ο



Φωτοβολταϊκά και ηλιακή ακτινοβολία

4.1 Η ηλιακή ακτινοβολία Γενικά

Είναι ευρέως γνωστό ότι η μεγαλύτερη πηγή ενέργειας που διαθέτει ο άνθρωπος είναι ο ήλιος. Είναι μία τεράστια και σχεδόν διαρκής πυρηνική αντίδραση που μεταφέρει τεράστια ποσά ενέργειας (περίπου $2,1 \cdot 10^{15}$ kWh per day) στη γη σε μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

Η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια είναι ενέργεια που περιλαμβάνει ακτίνες X, ακτίνες γάμμα, φως και χαμηλής συχνότητας ραδιοκύματα. Μετατρέπεται από άλλες μορφές και πηγές ενέργειας, είτε φυσικά, όπως από τις πυρηνικές αντιδράσεις του ηλίου, είτε μέσω ανθρώπινων συσκευών όπως από τη λάμπα και από πηγές θέρμανσης, από μεταβιβαστές και από πυρηνικούς αντιδραστήρες. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία συγκροτείται από ηλεκτρικά και κάθετα μαγνητικά κύματα. Αυτά τα ενεργητικά κύματα έχουν την ικανότητα να μεταφέρουν ηλεκτρική και θερμική ενέργεια σε πάρα πολύ μεγάλες αποστάσεις.

Παρά το γεγονός ότι η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στα όρια της ατμόσφαιρας είναι παντού σταθερή, δεν συμβαίνει το ίδιο με αυτή που φτάνει στο έδαφος, η ισχύς της οποίας σπάνια ξεπερνά τα 1000Watt ανά τετραγωνικό μέτρο. Αυτή εξαρτάται από την εποχή του έτους, την ώρα της ημέρας, την παρουσία νεφών, ομίχλης και σκόνης, ενώ εξασθενεί όσο μεγαλύτερη είναι η γωνία πρόσπτωσης της στην επιφάνεια του εδάφους και συνεπώς μεγαλύτερη η διαδρομή της μέσα στην ατμόσφαιρα. Ο τελευταίος αυτός παράγοντας είναι και ο σημαντικότερος για τη διαμόρφωση της μέσης έντασης της ηλιακής ενέργειας που φτάνει στο έδαφος. Γι' αυτό άλλωστε, το γεωγραφικό πλάτος και το υψόμετρο μιας περιοχής παίζουν τόσο σπουδαίο ρόλο στη διαμόρφωση του καιρού σε αυτήν, καθώς επίσης και των εποχών στα δύο ημισφαίρια της γης. Όσο πιο κοντά στον ισημερινό βρίσκεται αυτή, τόσο μικραίνει η διαδρομή της ηλιακής ακτινοβολίας και αυξάνει η γωνία πρόσπτωσης έως τις 90° , με αποτέλεσμα οι συνέπειες της να γίνονται πιο έντονες.

Από αυτή την άποψη, η Ελλάδα είναι μία από τις πλέον ευνοημένες περιοχές του πλανήτη μας. Ο συνδυασμός του γεωγραφικού πλάτους και της υψηλής ηλιοφάνειας έχει ως αποτέλεσμα να προσπίπτουν ημερησίως, κατά μέσο όρο, 4,3kWh ηλιακής ενέργειας σε κάθε τετραγωνικό μέτρο οριζόντιας επιφάνειάς της (Βλ παρακάτω σχήμα).

Στο μεγαλύτερο τμήμα της Ελλάδας, η ηλιοφάνεια διαρκεί περισσότερες από 2700 ώρες το χρόνο. Στη δυτική Μακεδονία και την Ήπειρο εμφανίζει τις μικρότερες τιμές της, κυμαινόμενη από 2200 ως 2300 ώρες, ενώ στη Ρόδο και τη νότια Κρήτη ξεπερνά τις 3100 ώρες ετησίως. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να είναι δυνατή, σε όλη την ελληνική επικράτεια, η οικονομική επωφελής εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας για θερμικές χρήσεις, όπως

είναι η ευρεία διάδοση των ηλιακών θερμικών συστημάτων, γνώριμοι ως ηλιακοί θερμοσίφωνες.



4.2 Μεγέθη σχετιζόμενα με την ηλιακή ακτινοβολία

Το φάσμα συχνοτήτων της ηλιακής ακτινοβολίας περιλαμβάνει συχνότητες με μήκος κύματος από 0,3 έως 0,7 μm , με μέγιστο ενεργειακό περιεχόμενο στην περιοχή των 0,5 μm .

Η συνολική ενέργεια στη μονάδα του χρόνου (ισχύς) που προέρχεται από μια πηγή ακτινοβολίας και προσπίπτει σε μια μοναδιαία επιφάνεια, αποτελεί την *πυκνότητα ισχύος (Irradiance)* ή *ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας* και μετράται σε W/m^2 , θα συμβολίζεται δε γενικά με το γράμμα **G**. Η τιμή της σε ορισμένη ώρα και σημείο στην επιφάνεια της γης εξαρτάται έντονα από την θέση του ήλιου στον ουρανό αλλά και τις μετεωρολογικές συνθήκες. Για το λόγο αυτό ο σχεδιασμός των Φ/Β συστημάτων στην πράξη βασίζεται σε στατιστικά δεδομένα μετρήσεων της πυκνότητας της ηλιακής ακτινοβολίας στην περιοχή της θέσης εγκατάστασης.

Όταν η ηλιακή ακτινοβολία εισέρχεται στην ατμόσφαιρα της γης, ένα μέρος της απορροφάται από τα μόρια του αέρα, τα σύννεφα κλπ., ένα άλλο διαχέεται εντός της ατμόσφαιρας και ένα τρίτο προσπίπτει απευθείας στην επιφάνεια του συλλέκτη (*απευθείας ή*

ακτινική ακτινοβολία). Η συνολική ακτινοβολία (*global radiation*) που φθάνει στην επιφάνεια του συλλέκτη είναι το άθροισμα της ακτινικής ή άμεσης ακτινοβολίας (*beam ή direct radiation*), που προσπίπτει επί αυτού απευθείας και της διάχυτης ακτινοβολίας (*diffuse radiation*), που προέρχεται από αυτήν που διαχέεται στην ατμόσφαιρα. Επί πλέον, όταν ο συλλέκτης εγκαθίσταται με κλίση προς το οριζόντιο επίπεδο, προστίθεται και ένα μικρό σχετικά ποσοστό προερχόμενο από ανάκλαση σε παρακείμενα αντικείμενα (*albedo radiation*). Το μεγαλύτερο ποσοστό της ενέργειας, ιδίως σε όχι πολύ βόρειες περιοχές, προέρχεται από την ακτινική ακτινοβολία, σημαντική όμως είναι και η συμβολή της διάχυτης.

Συμβατικά, ως στοιχείο χαρακτηρισμού της επίδρασης που έχει η ύπαρξη της ατμόσφαιρας, όταν δεν υπάρχουν σύννεφα, λαμβάνεται το μήκος της διαδρομής της ηλιακής ακτινοβολίας στην γήινη ατμόσφαιρα, μέχρι την στάθμη της θάλασσας και ονομάζεται *αέριος μάζα (air mass)-AM*.

Η πυκνότητα της ηλιακής ακτινοβολίας στο διάστημα κυμαίνεται σε μικρά όρια περί μέση τιμή $G_{sc}=1353\text{W/m}^2$, ονομάζεται *ηλιακή σταθερά* και σημειώνεται ως *AM0*.

Το μήκος της αέριας μάζας, αν αγνοηθεί η καμπυλότητα της γης, ισούται με το πάχος του στρώματος της ατμόσφαιρας δια του συνημίτονου της *ζενιθιακής γωνίας* θ_z , δηλαδή της γωνίας που σχηματίζει η ευθεία γη-ήλιος με την κατακόρυφο (ζενίθ) στο συγκεκριμένο σημείο.

Ηλιακή ακτινοβολία που σημειώνεται *AM1,5* με πυκνότητα περίπου 1000W/m^2 , η οποία αντιστοιχεί σε μία μέγιστη ακτινοβολία που δέχεται μία κάθετη προς αυτή επιφάνεια υπό τις πιο ευνοϊκές συνθήκες (μεσημέρι καλοκαιριού, καθαρή και ξερή ατμόσφαιρα), ονομάζεται *ακτινοβολία ενός ήλιου* και χρησιμοποιείται για την έκφραση της *ισχύος αιχμής (peak)- W_p* των Φ/Β στοιχείων, η οποία και λαμβάνεται ως η *ονομαστική ισχύς αναφοράς αυτών*.

Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας εκτός της ατμόσφαιρας, η οποία εξαρτάται από την κίνηση της γης περί τον ήλιο, μπορεί να υπολογίζεται με ακρίβεια, με βάση γεωμετρικές σχέσεις. Αντίθετα η μείωση που υφίσταται η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας κατά την διαδρομή της στην ατμόσφαιρα, εξαρτάται από την κατάστασή της και αποτελεί στατιστικό μέγεθος.

4.3 Οι βασικοί τύποι ηλιακών κυττάρων

Οι βασικότεροι τύποι ηλιακών κυττάρων είναι:

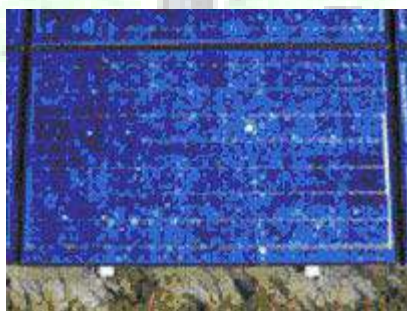
- Μονό-κρυσταλλικά ηλιακά κύτταρα (x-Si) πυριτίου.
- Πολύ-κρυσταλλικά ηλιακά κύτταρα (P-Si) πυριτίου.
- Άμορφα ηλιακά κύτταρα (a-Si) πυριτίου.

Οι κυψέλες μονοκρυσταλλικού πυριτίου έχουν κοπή από ένα κυλινδρικό κρύσταλλο πυριτίου. Το πυρίτιο πρέπει να είναι πολύ υψηλής καθαρότητας και να έχει τέλεια δομή κρυστάλλου. Αυτού του είδους οι ηλιακές κυψέλες έχουν και την μεγαλύτερη απόδοση, δηλαδή μετατρέπουν μεγαλύτερο ποσοστό της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρισμό. Η κατασκευή τους όμως είναι πιο πολύπλοκη γιατί απαιτεί την κατασκευή του μονοκρυσταλλικού πυριτίου με αποτέλεσμα υψηλότερο κόστος κατασκευής.



Πλαίσιο μονοκρυσταλλικού πυριτίου

Οι ηλιακές κυψέλες πολυκρυσταλλικού πυριτίου 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 πλαισίου με την διαδικασία χύτευσης. Η διαδικασία κατασκευής τους είναι απλούστερη από εκείνη των μονοκρυσταλλικών ηλιακών κυψελών με αποτέλεσμα χαμηλότερο κόστος παραγωγής. Όμως, παρουσιάζουν μικρότερη απόδοση από τις ηλιακές κυψέλες μονοκρυσταλλικού πυριτίου που οφείλεται στις ατέλειες στη δομή του κρυστάλλου ως αποτέλεσμα της διαδικασίας χύτευσης.



Πλαίσιο πολυκρυσταλλικού πυριτίου

Το άμορφο πυρίτιο ανήκει σε μια από τις τεχνολογίες λεπτού υμενίου (thin film technology). Οι ηλιακές κυψέλες αυτής της κατηγορίας αποτελούνται από ένα λεπτό στρώμα πυριτίου που έχει εναποτεθεί ομοιόμορφα σε κατάλληλη βάση. Σαν βάση μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια μεγάλη ποικιλία υλικών από δύσκαμπτα μέχρι ελαστικά με αποτέλεσμα 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 η μικρότερη των κρυσταλλικών. Το φθηνό όμως κόστος κατασκευής τους τα κάνει ιδανικά σε εφαρμογές όπου δεν απαιτείται υψηλή απόδοση.



Πλαίσιο άμορφου πυριτίου

Σήμερα, με τα νέα ημιαγώγιμα υλικά και τις τεχνικές σχεδίου των κυττάρων έχει γίνει δυνατό για τα λεπτής μεμβράνης Φ/Β κύτταρα να συναγωνίζονται την απόδοση μετατροπής με άλλες τεχνολογίες, με πολύ μικρότερο κόστος. Πολλοί πιστεύουν ότι τα κύτταρα αυτά είναι η υπέρβαση των Φ/Β που περιμέναμε για να γίνει η ηλιακή τεχνολογία οικονομικά εφικτή. Οι αποδόσεις στην κορυφή των 5-10%, και το άμεσο μελλοντικό κόστος να κυμαίνεται από 1 ως 2 ευρώ για τη μέγιστη ισχύ τους, κάνει την τεχνολογία αυτή πολύ ελκυστική και πρακτική, όταν την ίδια στιγμή τα κόστη για τις άλλες τεχνολογίες κυμαίνονται από 3 ως 10 ευρώ.

Ο παρακάτω πίνακας απεικονίζει την απόδοση των τριών συνηθέστερων τύπων ηλιακών κυψελών

Υλικό της ηλιακής κυψέλης	Απόδοση ηλιακής κυψέλης
Μονοκρυσταλλικό πυρίτιο	13-16%
Πολυκρυσταλλικό πυρίτιο	12-14%
Άμορφο πυρίτιο	6-8%

Η διαδικασία παραγωγής του κρυσταλλικού πυριτίου έχει πολλά και ενεργοβόρα βήματα. Η διαδικασία παραγωγής των Φ/Β γεννητριών λεπτών μεμβρανών χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερη δυνατότητα αυτοματισμού της παραγωγής και οικονομία πρώτων υλών,

λόγω του μικρού πάχους των ενεργών υλικών. Τα ηλιακά κύτταρα λεπτών μεμβρανών εγκλείονται σε ερμητικά σφραγισμένη συσκευασία για προστασία από την υγρασία. Η επιστροφή των υλικών γίνεται κατ' αρχήν σε ολόκληρη την επιφάνεια της ηλιακής γεννήτριας (συνήθως σε κατάλληλα προετοιμασμένη γυάλινη επιφάνεια) και κατόπιν με ακτίνες λέιζερ, αφαιρούνται λεπτές λωρίδες υλικού και δημιουργούνται τα ηλιακά κύτταρα που ύστερα συνδέονται ηλεκτρικά μεταξύ τους και συνθέτουν την Φ/Β γεννήτρια.

4.4 Υλικά κατασκευής φωτοβολταϊκών κυττάρων

Τα φωτοβολταϊκά κύτταρα μπορούν να κατασκευαστούν με πολλούς τρόπους, αλλά και με διάφορα υλικά. Το πιο διαδεδομένο υλικό κατασκευής όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω είναι το πυρίτιο (Silicon), κάτι λογικό, αφού η έρευνα στα ημιαγώγιμα υλικά που απαρτίζουν τα φωτοβολταϊκά κύτταρα για πολλά χρόνια είχε επικεντρωθεί σε αυτό. Φωτοβολταϊκά κύτταρα όμως κατασκευάζονται και από συνδυασμούς άλλων υλικών, όπως γαλλίου-Αρσενίου (GaAs), καδμίου-τελλουρίου (CdTe) και χαλκού-ινδίου-δισεληνίου (CuInSe₂ ή CIS). Έτσι, παρέχεται μια μεγάλη γκάμα φωτοβολταϊκών που διαφέρουν τόσο σε κόστος, όσο και σε βαθμό απόδοσης, στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζονται τα κόστη, οι μέσες αποδόσεις των βασικότερων υλικών που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των ηλιακών κυττάρων, καθώς και τα κόστη συναρμολόγησης ανά τεχνολογία Φ/Β.

Ανάλογα με την τεχνολογία κατασκευής τους, τα φωτοβολταϊκά κύτταρα μπορούν να διακριθούν σε δύο διαφορετικές ομάδες. Η πρώτη ομάδα, η οποία χρησιμοποιείται συνήθως σε οικιακές εφαρμογές, χρησιμοποιεί την τεχνολογία thick film και υλοποιεί τα φωτοβολταϊκά από συνδυασμό διακριτών κυττάρων, ενώ η δεύτερη ομάδα χρησιμοποιεί την τεχνολογία των λεπτών μεμβρανών (thin film).

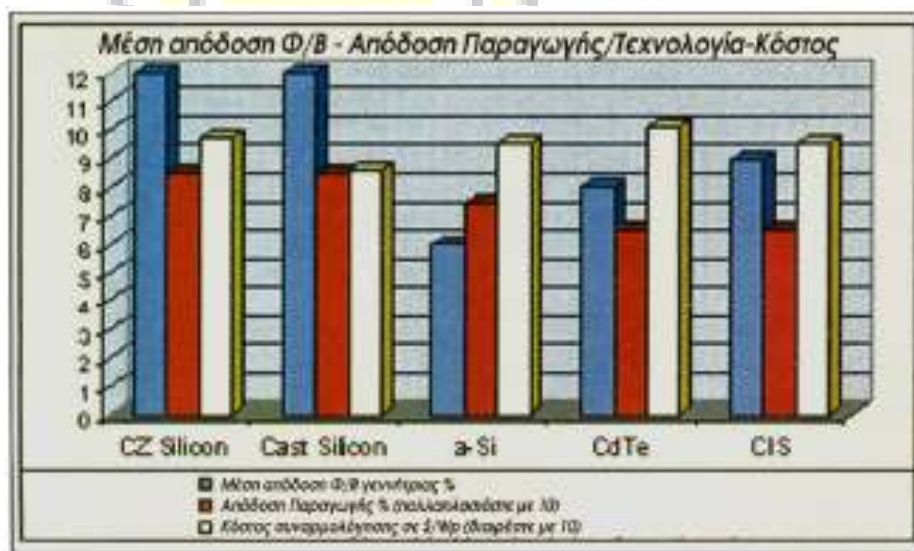
Η απόδοση της thick film μπορεί να πλησιάσει αυτές που χρησιμοποιούνται στα ηλιακά κελιά που είναι εκατοντάδες ως πολλές εκατοντάδες μικρά σε πάχος. Αυτές οι προσεγγίσεις βασίζονται γενικά στην τεχνολογία του πυριτίου. Η απόδοση της λεπτής Φ/Β μεμβράνης συνήθως πλησιάζει αυτές που χρησιμοποιούν ενεργά ημιαγώγιμα υλικά σε πάχος περίπου 10μm ή και λιγότερα. Τα πιο κοινά υλικά για αυτά τα ηλιακά κελιά είναι το άμορφο πυρίτιο και τα μείγματα όπως κάδμιο-τελλούριο, χαλκός-ίνδιο-γάλλιο και δισελήνιο. Υπάρχουν επίσης υβριδικές προσεγγίσεις όπως ο συνδυασμός κελιών με κρυσταλλικό και άμορφο πυρίτιο.

Γίνονται επίσης προσπάθειες για την εξέλιξη των thin film ηλιακών στοιχείων κρυσταλλικού πυριτίου. Υπό το φως αυτών των διαφορετικών Φ/Β τεχνολογιών, η διαφορά

μεταξύ της χοντρής και της λεπτής μεμβράνης μπορεί καμιά φορά να φαίνεται μηδαμινή. Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει μερικές τυπικές δραστηριότητες για τις περισσότερες κοινές προσεγγίσεις λεπτής μεμβράνης.

Πίνακας: Απόδοση μετατροπής ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρισμό

Thin-film PV απόδοση μετατροπής (% της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρισμό κάτω από κανονικές συνθήκες).		
Υλικά	Κότταρα	Υπομονάδες
Άμορφο πυρίτιο	12-13	7-8
CdTe	15-16	9-10
CuInSe₂	18-19	10-12
Si film	16-17	10



Δίνεται ο παρακάτω πίνακας με συγκριτικά στοιχεία ανάμεσα στις Φ/Β γεννήτριες κρυσταλλικού πυριτίου και λεπτών μεμβρανών

	Κρυσταλλικό Si	Λεπτή μεμβράνη
Πάχος ηλιακών στοιχείων	200-350μm	2-10μm
Χρήση πρώτων υλών	Υψηλή	Χαμηλή
Διαδικασία παραγωγής	Πολλών βημάτων	Ολοκληρωμένη παραγωγή
Αρχική επένδυση εξοπλισμού ολοκληρωμένης γραμμής παραγωγής(>10MW_p/έτος)	3-8 Ευρώ/Wp	0,5-3 Ευρώ/Wp
Απόδοση Φ/Β γεννητριών	12-16%	4-10%
Συνήθης εγγύηση από τους κατασκευαστές για την ισχύ των Φ/Β γεννητριών	20-25 χρόνια	5-10 χρόνια

Σύμφωνα με τον πίνακα, το κόστος αρχικής επένδυσης σε γραμμή παραγωγής Φ/Β είναι σημαντικό. Για να προχωρήσει λοιπόν μία επιχείρηση σε επένδυση θα πρέπει να

διαγράφεται κάποια αγορά Φ/Β, η οποία θα απορροφήσει τα προϊόντα της τουλάχιστον για 10 χρόνια, ώστε να αποσβεστεί η επένδυση και να υπάρχει κέρδος.

Επίσης, με βάση πάντα τον πίνακα, όσον αφορά την ανάγκη πρώτης ύλης για την τεχνολογία των λεπτών μεμβρανών, εδώ πλεονεκτεί σε σχέση με το κρυσταλλικό πυρίτιο, διότι χρειάζεται ελάχιστο υλικό. Η ανάγκη κατασκευής ηλιακών στοιχείων στο άμεσο μέλλον, θα οδηγήσει στην αναγκαία ανακύκλωση υλικών απαραίτητων για τις φωτοβολταϊκές γεννήτριες και αυτό διότι κατά πρώτον ενδείκνυται για περιβαλλοντικούς λόγους (καθώς ορισμένα από τα στοιχεία είναι τοξικά, Cd, Te, Se, As), και κατά δεύτερον, διότι η ετήσια αγορά φωτοβολταϊκών αναμένεται να ξεπεράσει πριν το 2005 τα 500MWp

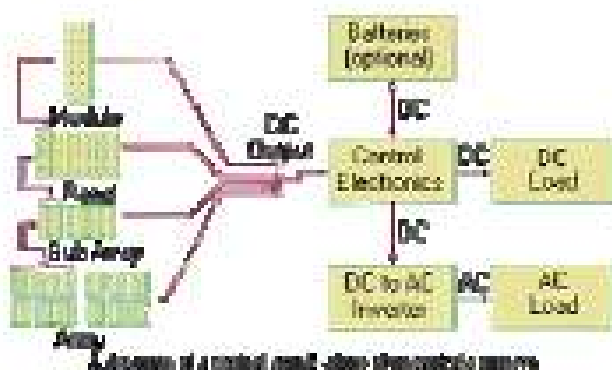
4.5 Βαθμός αυτονομίας φωτοβολταϊκών συστημάτων

Ανάλογα με τη διάταξη υπάρχουν τρεις βασικοί τύποι φωτοβολταϊκών συστημάτων:

- Τα αυτόνομα ή μη διασυνδεδεμένα με το δίκτυο Φ/Β συστήματα
- Τα διασυνδεδεμένα με το δίκτυο Φ/Β συστήματα
- Τα υβριδικά Φ/Β συστήματα

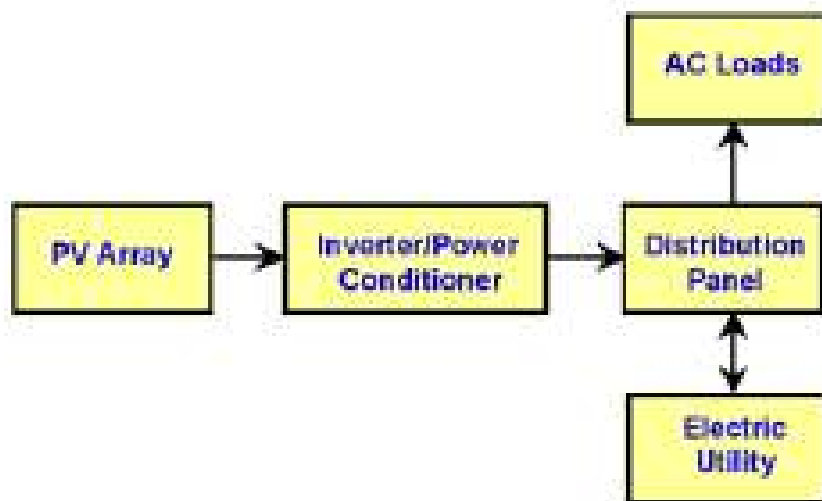
Όταν μια διάταξη είναι εγκατεστημένη, με όλα τα συστήματα ηλεκτρικών καλωδίων, ηλεκτρικών συνδέσμων, και τα μέσα αποθήκευσης ενέργειας (μπαταρίες), τότε έχουμε ένα Φ/Β σύστημα που έχει μορφοποιηθεί για πρακτική χρήση. Η ισχύς που παραδίνεται από μία Φ/Β διάταξη έχει τάση συνεχούς ρεύματος DC. Ένας ρυθμιστής φόρτισης χρησιμοποιείται για να ελέγχει το ποσό του φορτίου που αποταμιεύεται στους συσσωρευτές (μπαταρίες). Η αποθήκευση ενέργειας στις μπαταρίες γίνεται προκειμένου να υπάρχει διαθέσιμη ενέργεια κατά τη διάρκεια της νύχτας ή, ακόμα, τις ημέρες κατά τις οποίες η ηλιοφάνεια είναι περιορισμένη και δεν επαρκεί για την κάλυψη των προβλεπόμενων αναγκών. Ο μετατροπέας χρησιμοποιείται για να μετατρέψει το συνεχές ρεύμα DC των μπαταριών στο κατάλληλο εναλλασσόμενο ρεύμα AC και στη συχνότητα που απαιτείται για τις ηλεκτρικές συσκευές, τα φώτα, κτλ. Ένα τέτοιο σύστημα συνήθως αναφέρεται ως αυτόνομο σύστημα (stand-alone, SA), λόγω της χρήσης της συχνότητας, του εναλλάκτη ρύθμισης φορτίου και των συσσωρευτών ενέργειας. Ένα από τα μεγαλύτερα έξοδα που εμπλέκονται σε ένα Φ/Β σύστημα, πέρα από τη διάταξη από μόνη της, είναι και οι μπαταρίες. Μερικοί κατασκευαστές σε βιομηχανικό βαθμό υποστηρίζουν ότι ο κύκλος ζωής των μπαταριών κυμαίνεται περίπου στα 10 χρόνια. Παρ' όλα αυτά, υπάρχουν μπαταρίες και μεμονωμένα ηλιακά κύτταρα που είναι ακριβά. Το ετήσιο κόστος τους είναι υψηλό, με τη συνηθισμένη συντήρηση, και με

αναπόφευκτη την αντικατάστασή τους.



Σε μερικά Φ/Β συστήματα, οι μπαταρίες δεν χρειάζονται ή δεν επιθυμούνται. Ένα ιδιόκτητο σπίτι, παραδείγματος χάριν, μπορεί να χρησιμοποιήσει την τοπική επιχείρηση ηλεκτρισμού για τις Φ/Β του ανάγκες αποθήκευσης ενέργειας, αντί να χρησιμοποιεί μπαταρίες, χρησιμοποιώντας έναν σύγχρονο μετατροπέα. Ο σύγχρονος μετατροπέας τοποθετείται μεταξύ της Φ/Β διάταξης και της επιχείρησης ηλεκτρισμού που δίνει την ενέργεια. Ο μετατροπέας μετατρέπει τη συνεχή τάση DC από την Φ/Β διάταξη σε εναλλασσόμενη AC, στην κατάλληλη τάση και συχνότητα, και τροφοδοτεί αυτή την τάση μέσω του μετρητή ενέργειας στις γραμμές της επιχείρησης ηλεκτρισμού. Καθώς, ο μετατροπέας τάσης συγχρονίζεται με τη συχνότητα του δικτύου του εναλλασσόμενου AC ρεύματος, η ποσότητα της μετρούμενης ποσότητας ενέργειας ελαττώνεται ή σταματά, ή στις περιπτώσεις που η απαιτούμενη ενέργεια στο σπίτι είναι πολύ χαμηλή, η μετρούμενη ποσότητα στην πραγματικότητα αντιστρέφεται. Όταν η ακτινοβολία του ήλιου είναι ισχυρή, η ενέργεια επιστρέφει στην επιχείρηση ηλεκτρισμού. Το βράδυ ή τις μέρες με συννεφιά, η ενέργεια ανακτάται από την εταιρία ηλεκτροδότησης. Για αυτό το λόγο, η επιχείρηση ηλεκτρισμού παρέχει την αποθηκευμένη ενέργεια και περιορίζει την ανάγκη συσσώρευσης ενέργειας (αποθήκευσης σε μπαταρία). Τα συστήματα που κάνουν χρήση της ενέργειας του ηλεκτρικού δικτύου ισχύος για αποθήκευση ενέργειας, πολύ συχνά αναφέρονται ως utilityinteractive UI.

Σήμερα, πολλές εταιρίες παροχής ενέργειας πληρώνουν ένα μικρό ποσό στους καταναλωτές για την παραπάνω χρήση της ενέργειάς τους.



4.6 Διατάξεις φωτοβολταϊκών πλαισίων

Δύο είναι οι κύριες κατηγορίες διατάξεων φωτοβολταϊκών πλαισίων ανάλογα με τον τρόπο που συλλέγουν και αξιοποιούν την ηλιακή ακτινοβολία:

- επίπεδα φωτοβολταϊκά πλαίσια
- συγκεντρωτικά φωτοβολταϊκά πλαίσια

4.6.1 Επίπεδα ΦΒ πλαίσια

Πρόκειται για τον πιο κοινό τύπο φωτοβολταϊκών πλαισίων. Τα πλαίσια μπορούν είτε να είναι μόνιμα σε μια σταθερή γωνία κλίσης είτε να είναι κινητά και να ακολουθούν την κίνηση του ήλιου. Απορροφούν και την διάχυτη και την άμεση ακτινοβολία. Η σημαντικότητα του παραπάνω φαίνεται από το γεγονός ότι ακόμα και με καθαρό ουρανό η διάχυτη ακτινοβολία είναι το 10 με 20% της συνολικής, σε επίπεδη επιφάνεια. Σε μερικώς συννεφιασμένες μέρες το ποσοστό αυτό φτάνει το 50% και σε τελείως συννεφιασμένες μέρες φτάνει το 100%. Τα πιο απλά επίπεδα πλαίσια είναι σε σταθερή θέση. Τα πλεονεκτήματα των σταθερών πλαισίων είναι ότι δεν έχουν κινητά μέρη, πρακτικά δεν υπάρχει ανάγκη για επιπλέον εξοπλισμό, και είναι σχετικά ελαφριά. Αυτά τα χαρακτηριστικά τα κάνουν κατάλληλα για να χρησιμοποιηθούν σε μια σειρά από περιπτώσεις, όπως είναι και οι στέγες των σπιτιών. Ο προσανατολισμός των πλαισίων αυτών ώστε να αποδίδουν ικανοποιητικά πρέπει να είναι προς το Νότο και η κλίση $(\varphi + 15^\circ) \pm 5^\circ$ όπου φ είναι το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής.

Τα επίπεδα πλαίσια με μηχανισμό κίνησης επιτυγχάνουν μεγαλύτερη απορρόφηση ακτινοβολίας ανά μονάδα επιφάνειας αφού μπορούν και έχουν την βέλτιστη γωνία κλίσης και προσανατολισμού κάθε χρονική στιγμή. Όμως έχουν επιπλέον κόστος και βάρος λόγω του μηχανισμού κίνησης. Βρίσκοντας μια ισορροπία μεταξύ των δύο μπορεί να γίνει η σωστή επιλογή για την κάθε περίπτωση.



Εγκατάσταση επίπεδων ΦΒ διατάξεων

4.6.2 Συγκεντρωτικά ΦΒ πλαίσια

Ο κύριος λόγος χρήσης τέτοιων συστημάτων είναι η ικανότητά τους να χρειάζονται λιγότερες ηλιακές κυψέλες από τα επίπεδα συστήματα για την παραγωγή της ίδιας ισχύος. Οι κυψέλες αποτελούν το πιο ακριβό τμήμα ενός συστήματος μετρώντας το κόστος ανά μονάδα επιφάνειας. Για το σύστημα συγκέντρωσης της ακτινοβολίας χρησιμοποιούνται φθηνά υλικά, όπως είναι πλαστικά κάτοπτρα και μεταλλικές θήκες, που συλλέγουν την ηλιακή ενέργεια από μια συγκριτικά μεγάλη επιφάνεια και την εστιάζουν σε μια μικρότερη επιφάνεια στην οποία βρίσκεται η κυψέλη.

Αρκετά είναι τα πλεονεκτήματα των συγκεντρωτικών συστημάτων έναντι των επίπεδων. Έχουν αυξημένη ισχύ εξόδου και η απόδοση του συστήματος είναι μεγαλύτερη έχοντας ταυτόχρονα μικρότερο μέγεθος κυψελών ή μικρότερο αριθμό κυψελών. Το πόσο θα αυξηθεί η απόδοση εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό απ' το σχήμα της κυψέλης και από το υλικό που είναι κατασκευασμένη. Ακόμα, η δυνατότητα χρήσης μικρών κυψελών αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα διότι είναι πιο δύσκολο να παραχθούν κυψέλες μεγάλης επιφάνειας με μεγάλη απόδοση απ' ότι μικρής επιφάνειας.

Απ' την άλλη πλευρά, υπάρχουν αρκετά μειονεκτήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν στο μέλλον. Για παράδειγμα τα απαιτούμενα οπτικά του συστήματος είναι σημαντικά πιο ακριβά από τα καλύμματα των επίπεδων συστημάτων. Επιπλέον, δεν μπορούν να εκμεταλλευτούν

την διάχυτη ακτινοβολία, δηλαδή ακόμη και σε μία ηλιόλουστη μέρα χάνεται το 20% της ακτινοβολίας, οπότε χρειάζεται να ακολουθούν την κίνηση του ήλιου καθ' όλη την διάρκεια της μέρας και συνολικά του έτους. Άρα, για την επίτευξη μεγαλύτερης απόδοσης πρέπει ο μηχανισμός κίνησης να είναι μεγαλύτερης ακρίβειας από αυτούς που χρησιμοποιούνται στα επίπεδα συστήματα.

Για την συγκέντρωση του φωτός χρησιμοποιούνται οι ανακλαστές και οι φακοί με πιο διαδεδομένο τον φακό FRESNEL που έχουν διατομή σαν δόντι πριονιού για να συγκεντρώσουν το εισερχόμενο φως. Όμως, δεν υπάρχει φακός που να μπορεί να μεταφέρει το 100% του προσπίπτοντος φωτός αλλά συνήθως μεταφέρεται 90-95% ή και λιγότερο (λόγω απορρόφησης και ανακλάσεως).

Ένα άλλο πρόβλημα είναι αυτό της υπερθέρμανσης των κυψελών που παράγεται από την μεγάλη συγκέντρωση ακτινοβολίας που γενικά είναι επιθυμητή. Η θερμοκρασία των κυψελών πρέπει να διατηρείται σε χαμηλά επίπεδα διότι με την αύξηση όχι μόνο μειώνεται η απόδοσή τους αλλά και μακροπρόθεσμα μπορεί να διαταραχθεί η σταθερότητα στη λειτουργία τους ή ακόμα και να καταστραφούν πρόωρα. Μια από τις πιο σημαντικές προσπάθειες για διατήρηση χαμηλής θερμοκρασίας αποτελεί η ελαχιστοποίηση της ηλεκτρικής αντίστασης των επαφών που μεταφέρουν το ρεύμα στο εξωτερικό κύκλωμα. Αυτό επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας επαφές μεγαλύτερης επιφάνειας, το οποίο έχει όμως σαν αποτέλεσμα να προκαλείται σκίαση στην κυψέλη. Γι' αυτό υπάρχουν δύο λύσεις. Η μια είναι η τοποθέτηση πρισματικού καλύμματος πάνω από την επαφή οπότε το φως που θα προσέπιπτε στην επαφή, τώρα προσπίπτει στο πρίσμα, εκτρέπεται και διοχετεύεται στην κυψέλη. Η άλλη λύση είναι να τοποθετηθούν και οι δύο επαφές πίσω από την κυψέλη το οποίο όμως απαιτεί πολύ καλής ποιότητας υλικό πυριτίου.



Εγκατάσταση συγκεντρωτικών ΦΒ διατάξεων

4.6.3 Μηχανισμός κίνησης

Ένα σημαντικό πρόβλημα που αντιμετωπίζει ο σχεδιαστής μιας διάταξης είναι το αν θα στερεωθούν σε σταθερές θέσεις ή οι προσανατολισμοί τους θα ακολουθούν (ιχνηλατούν) την κίνηση του ηλίου. Στις περισσότερες διατάξεις οι βασικές μονάδες στερεώνονται σ' ένα σταθερό κεκλιμένο επίπεδο με την πρόσοψη προς τον ισημερινό. Αυτό έχει την αρετή της απλότητας, δηλαδή κανένα κινούμενο τμήμα και χαμηλό κόστος. Η άριστη γωνία κλίσης εξαρτάται κυρίως από το γεωγραφικό πλάτος, την αναλογία της διάχυτης ακτινοβολίας στην τοποθεσία και το είδος του φορτίου. Η δεύτερη επιλογή είναι να στηρίζονται οι διατάξεις πάνω σε κινητά μέρη με σκοπό την παρακολούθηση της κίνησης του ήλιου, ώστε να

επιτυγχάνεται πάντα κάθετη γωνία ανάμεσα στις ακτίνες του ήλιου και στο επίπεδο του ΦΒ πλαισίου. Τότε μόνο έχουμε την επίτευξη της μεγαλύτερης απόδοσης.

Ο μηχανισμός κίνησης του φωτοβολταϊκού πλαισίου μπορεί να επιτρέπει την κίνηση σε έναν ή σε δύο άξονες. Τα συστήματα ενός άξονα είναι σχεδιασμένα να ακολουθούν την πορεία του ήλιου από την ανατολή στη δύση. Χρησιμοποιούνται κυρίως με συστήματα επίπεδων φωτοβολταϊκών πλαισίων και μερικές φορές με συστήματα συγκεντρωτικών φωτοβολταϊκών πλαισίων. Τα συστήματα δύο αξόνων όχι μόνο κάνουν την παραπάνω λειτουργία, αλλά και παρακολουθούν την μεταβολή της απόκλισης του ήλιου κατά την διάρκεια του έτους.



Μηχανισμός κίνησης

Στερεώνοντας τη διάταξη πάνω σε σύστημα με δύο άξονες παρακολούθησης του Ηλίου, μπορεί να συλλεχθεί μέχρι 40% περισσότερη ηλιακή ενέργεια κατά τη διάρκεια ενός έτους, σε σύγκριση με την εγκατάσταση σταθερής κλίσης. Κάτι τέτοιο όμως αυξάνει την πολυπλοκότητα και έχει ως αποτέλεσμα μια χαμηλότερης αξιοπιστίας και υψηλότερου κόστους συντήρηση. Η μονού άξονα παρακολούθηση (ιχνηλάτηση) είναι λιγότερο σύνθετη αλλά παρουσιάζει μικρότερο κέρδος. Ο προσανατολισμός μπορεί να ρυθμίζεται χειροκίνητα, εκεί που η προσφορά εργασίας είναι διαθέσιμη, αυξάνοντας έτσι τις όποιες απολαβές. Έχει υπολογιστεί ότι σε κλίματα με ηλιοφάνεια μια διάταξη επίπεδης κινούμενης πλάκας που έχει κατάλληλη ρύθμιση ώστε να στρέφεται προς τον ήλιο δυο φορές την ημέρα και να παίρνει την κατάλληλη κλίση τέσσερις φορές το χρόνο, μπορεί να συλλαμβάνει το 95% της ενέργειας, που συλλέγετε με ένα σύστημα δυο αξόνων παρακολούθησης πλήρως αυτοματοποιημένο.

Το σύστημα παρακολούθησης είναι ιδιαίτερα σημαντικό στα συστήματα, που λειτουργούν κάτω από συγκεντρωμένο ηλιακό φως. Η δομή αυτών των συστημάτων εκτείνεται από έναν απλό σχεδιασμό βασισμένο πάνω σε πλευρικούς ενισχυτικούς καθρέπτες μέχρι τα συγκεντρωτικά συστήματα, τα οποία χρησιμοποιούν υπερσύγχρονες οπτικές

τεχνικές, για να αυξήσουν την είσοδο φωτός προς τα ηλιακά στοιχεία κατά μερικές τάξεις του μεγέθους

4.7 Εγκατάσταση φωτοβολταϊκών στις στέγες

Η παραγωγή της δυναμικής ηλεκτρικής ενέργειας από την ενσωμάτωση Φ/Β στα κτίρια είναι τεράστια. Αν η απαίτηση ηλεκτρικής ενέργειας από αρκετές χώρες είναι να συμπληρώνεται από τη χρήση Φ/Β, κρίνεται απαραίτητο να ενσωματωθούν τέτοια συστήματα στους φακέλους των οικοδομών. Αρκετές μεγάλες κατασκευές όπως τα πολυκαταστήματα, τα δημόσια κτίρια και τα περισσότερα σπίτια χρησιμοποιούν ποσότητες κεραμικών προϊόντων στις οροφές τους. Τέτοια εμβαδά θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σε μια πολύ-λειτουργική διαμόρφωση, κάνοντάς τα χρήσιμα στη συνεισφορά της ενέργειας που χρησιμοποιείται στα κτίρια ή για την εξαγωγή της στο ηλεκτρικό δίκτυο.

Η ενσωμάτωση των φωτοβολταϊκών στις οικιακές, αλλά και στις εμπορικές οροφές προσφέρουν την μεγαλύτερη δυναμική αγορά για τα Φ/Β ειδικά στις ανεπτυγμένες χώρες. Πολυάριθμα προγράμματα για Φ/Β οροφών επιχειρούν να παρακινήσουν τη γενική αγορά για μεγαλύτερη δεκτικότητα και για μείωση κόστους. Τα τελευταία πέντε χρόνια η παραγωγή ηλιακών κυττάρων έχει αυξηθεί ραγδαία παγκοσμίως ακολουθώντας διεθνή προγράμματα και εφαρμογή ενσωματωμένων Φ/Β συστημάτων σε κτίρια.

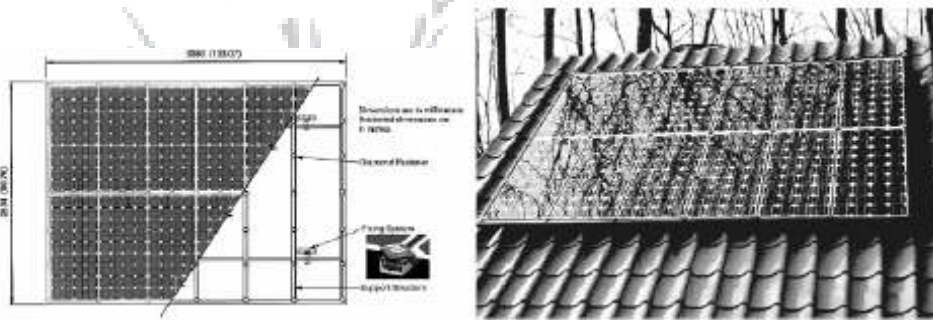
4.7.1 Ανταγωνιστικές τεχνολογίες Φ/Β οροφής

Τα συστήματα φωτοβολταϊκών οροφής βασίζονται σε στάνταρ υπομονάδες που εξελίχθηκαν για να εξασφαλίσουν γρήγορες λύσεις για την υλοποίηση εθνικών κεφαλαιοποιημένων προγραμμάτων. Αυτές οι λύσεις είναι χωρισμένες σε δύο κατηγορίες που είναι οι εξής:

- Συστήματα φωτοβολταϊκών οροφής εγκατεστημένα σε επικλινείς οροφές.

Για επικλινείς οροφές, υπάρχουν ποικιλόμορφα συστήματα αναχωρητών διαθέσιμα σε αλουμίνιο, που αναπτύχθηκαν για να επιτρέψουν ελασματοποίηση διαφορετικών τύπων για να γαντζωθούν στην οροφή των κτιρίων. Η διάθεση του συστήματος αλουμινίου φτιάχνεται απ' ευθείας στη δομή της οροφής είτε λαμβάνοντας την ελασματοποίηση που αντικαθιστά τα κεραμίδια της οροφής είτε χρησιμοποιώντας ένα μεταλλικό σύστημα αγκίστρωσης που φτιάχνεται κάτω από τα ήδη υπάρχον κεραμίδια. Στην πρώτη περίπτωση, οι μεμβράνες και οι στεγανοποιημένοι δίσκοι χρησιμοποιούνται για να εξασφαλίσουν φράγματα κατά του καιρού,

που δημιουργούν ένα αναπόσπαστο μέρος του συνολικού ενσωματωμένου συστήματος Φ/Β που είναι μέσα στην οροφή. Στην τελευταία περίπτωση οι ελασματοποιήσεις έχουν εγκατασταθεί σαν μια μετασκευή με την τελική κατασκευή να καταλαμβάνει μια επίπεδη επιφάνεια πάνω από τα ήδη υπάρχον κεραμίδια. Το πλεονέκτημα αυτών των συστημάτων είναι ότι χρησιμοποιούν βίδες για να φτιάξουν την αλουμινένια κατασκευή που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μεταβολή της κλίσης, μεταξύ 20-50° ως προς τον ορίζοντα.



- Συστήματα φωτοβολταϊκών οροφής εγκατεστημένα σε επίπεδες οροφές.

Υπάρχουν πολλά παραδείγματα Φ/Β και συστήματα με βάση για επίπεδες οροφές. Το άνοιγμα των κλασικών υπομονάδων ή των ιδιοκτησιακών υπομονάδων, είναι σε μέγεθος είτε μεγαλύτερο είτε μικρότερο από την κλασική υπομονάδα. Γενικά, οι υπομονάδες φτιάχνονται σε αλουμινένια κατασκευή η οποία διαδοχικά πρέπει να αγκιστρωθεί στην επίπεδη κατασκευή οροφής. Ένα καινοτομικό παράδειγμα ενός τέτοιου συστήματος αναπτύχθηκε για ανάγλυφες βάσεις σε επίπεδες οροφές σε σταθερά τσιμεντένια οικοδομήματα για να επιτευχθεί η αντίσταση του ισχυρού ανέμου. Τέτοια συστήματα είναι περιορισμένης χρήσης αλλά μπορούν να παρέχουν λύσεις στη χρήση των Φ/Β σε επίπεδες οροφές σε βιομηχανικές μονάδες, σε εργοστάσια, σε νοσοκομεία και πιθανόν σε σχολεία. Το πλεονέκτημα αυτών των συστημάτων οφείλεται στο χαμηλό κόστος της κατασκευής της βάσης και της εύκολης εγκατάστασης. Σε μερικά από τα συστήματα που είναι διαθέσιμα στην αγορά, τα πλαίσια αλουμινίου χρησιμοποιούνται απευθείας στην κατασκευή της οροφής. Μικρότερη διάθεση υπομονάδων φτιάχνονται σε αλουμινένια πλαίσια με σφήνες και κάνουν στεγανά με ελαστικές ασφάλειες.



4.7.2 Προσανατολισμός του συλλέκτη

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια για να έχουν την μέγιστη απόδοση, θα πρέπει να δέχονται συνεχώς την μέγιστη ακτινοβολία. Οι ηλιακές ακτίνες θα πρέπει να προσπίπτουν πάντα κάθετα στην επιφάνεια του γιατί τότε έχουν την μεγαλύτερη πυκνότητα στην μονάδα επιφανείας και δεν ανακλώνται στην γυάλινη επικάλυψη του πλαισίου. Ωστόσο, ο ήλιος κινείται κατά την διάρκεια της ημέρας και για να επιτευχθεί η μέγιστη απόδοση του πλαισίου, θα πρέπει το φωτοβολταϊκό πλαίσιο να παρακολουθεί συνεχώς την κίνηση του ήλιου, όπως είδαμε σε προηγούμενη ενότητα. Οπότε, η αποδοτική λειτουργία των φωτοβολταϊκών συστημάτων εξαρτάται κατά μεγάλο βαθμό από τη σωστή τοποθέτηση και διάταξη των πλαισίων. Αυτό για πρακτικούς λόγους δεν είναι εύκολο. Ωστόσο, επιλέγοντας τον καταλληλότερο σταθερό προσανατολισμό για το φωτοβολταϊκό πλαίσιο, θα υπάρξουν ικανοποιητικά αποτελέσματα απόδοσης. Στη συνέχεια, ορίζονται οι γωνίες που βοηθούν στον ορισμό του κατάλληλου προσανατολισμού:

- Γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας ω .

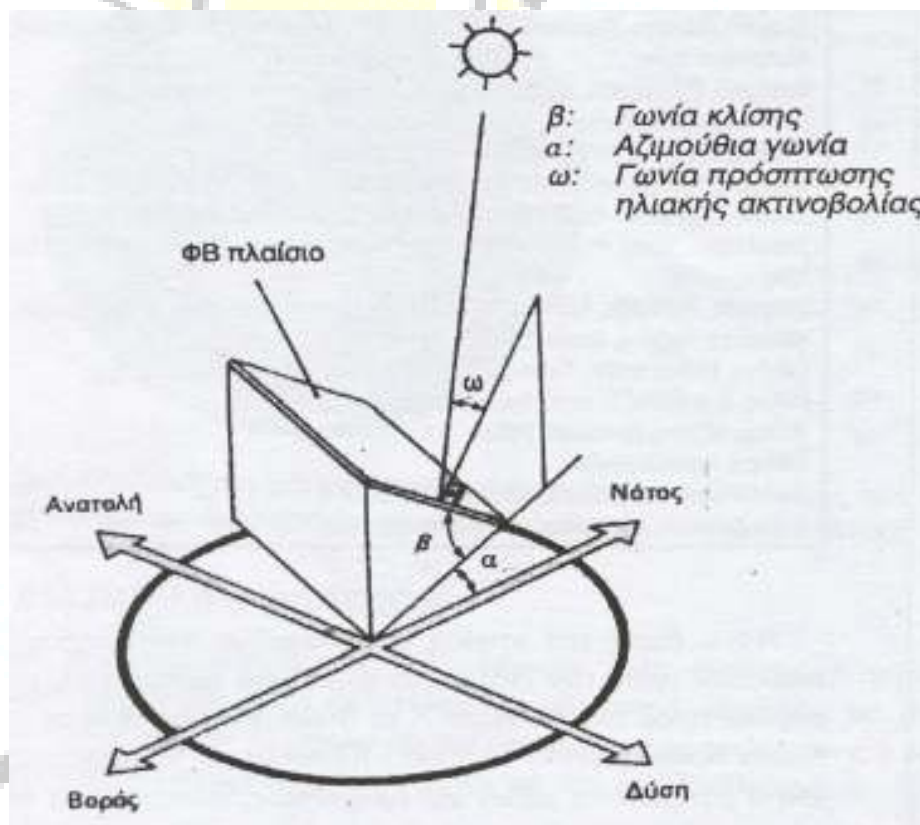
Η γωνία ω ορίζεται ως η γωνία μεταξύ της ακτινικής συνιστώσας της ακτινοβολίας που προσπίπτει σε μια επιφάνεια και της καθέτου στην επιφάνεια αυτή.

- Προσανατολισμός του πλαισίου (β), αζιμούθια γωνία επιφάνειας (α).

Ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία κάθε συστήματος που εκμεταλλεύεται την ηλιακή ακτινοβολία είναι ο προσανατολισμός του φωτοβολταϊκού πλαισίου σε σχέση με την κατεύθυνση της ηλιακής ακτινοβολίας. Όπως η θέση του ήλιου στον ουρανό, έτσι και ο

προσανατολισμός ενός επίπεδου στην επιφάνεια της γης περιγράφεται από δύο γωνίες, την κλίση (β) και την αζιμούθια γωνία επιφάνειας (α), όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.

Η κλίση του πλαισίου (β) είναι η διεδρη γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στο επίπεδο του πλαισίου και στον ορίζοντα και μπορεί να πάρει τιμές από 0° μέχρι 180° . Η αζιμούθια γωνία επιφάνειας του πλαισίου (α) είναι η γωνία που σχηματίζεται πάνω στο οριζόντιο επίπεδο ανάμεσα στην προβολή της κατακόρυφου του πλαισίου και στον τοπικό μεσημβρινό βορρά-νότου. Παίρνει τιμές από -180° μέχρι $+180^\circ$. Έχουν κατασκευαστεί μηχανικές διατάξεις που επαναπροσανατολίζουν συνεχώς το πλαίσιο (π.χ. με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή ή φωτοκύτταρων), ώστε η επιφάνεια του να αντικρίζει πάντα κάθετα τον ήλιο. Οι διατάξεις όμως αυτές είναι πολύπλοκες και δαπανηρές. Έτσι, η χρήση τους δικαιολογείται μόνον σε περιπτώσεις ειδικών εφαρμογών.



4.8 Απόδοση φωτοβολταϊκού πλαισίου

Το κάθε Φ/Β πλαίσιο παρουσιάζει τα δικά του χαρακτηριστικά (απόδοση, τάση, ισχύ κτλ.) που προφανώς διαμορφώνονται από τα αντίστοιχα μεγέθη των χωριστών ηλιακών κυττάρων που περιέχει. Επομένως, ο συντελεστής απόδοσης του Φ/Β πλαισίου 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/B πλαίσιο επί ένα ορισμένο χρονικό διάστημα, προς την ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται επί το ίδιο χρονικό διάστημα. Δηλαδή:

$$n_{\pi} = P_{\pi}(W) / H(W/m^2) * S(m^2) = E(kWh) / \Pi(kWh/m^2) * S(m^2),$$

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 μόνο από τη μέση απόδοση των ηλιακών κυττάρων (n), αλλά και από τον συντελεστή κάλυψης του πλαισίου (σ_{κ}), που ορίζεται ως ο λόγος της συνολικής ενεργού επιφάνειας των ηλιακών κυττάρων, δηλαδή της επιφάνειας του ημιαγωγού όπου γίνεται η απορρόφηση και μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας, προς τη συνολική επιφάνεια του Φ/B πλαισίου. Ισχύει η σχέση:

$$n_{\pi} = n * \sigma_{\kappa}$$

όπου η τιμή του σ_{κ} εξαρτάται κυρίως από το σχήμα και την πυκνότητα της τοποθέτησης των ηλιακών κυττάρων πάνω από το Φ/B πλαίσιο. Συνήθως κυμαίνεται από περίπου 0,78, για κυκλικά κύτταρα σε παράλληλες στοιχισμένες σειρές, και φτάνει μέχρι σχεδόν 1,00 (πρακτικά μέχρι 0.98), για τα μεγαλύτερου κόστους τετραγωνικά ή εξαγωνικά ηλιακά κύτταρα.

Πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό ενός φωτοβολταϊκού συστήματος, λοιπόν, είναι ο βαθμός απόδοσης. Ο βαθμός απόδοσης εξαρτάται άμεσα από την εκτιθέμενη επιφάνεια στην ηλιακή ακτινοβολία. Έτσι, είναι λογικό, όσο αυξάνεται η επιφάνεια του φωτοβολταϊκού, τόσο να αυξάνεται και ο βαθμός απόδοσής του, αφού περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία θα προσπέσει σε αυτό. Γι' αυτό, κατά την αγορά ενός φωτοβολταϊκού συστήματος θα πρέπει πάντα να ελέγχουμε τον βαθμό απόδοσης σε σχέση με την επιφάνεια.

4.8.1 Εκτίμηση ισχύς εξόδου

Η απόδοση των Φ/B υπομονάδων και οι συστοιχίες εκτιμώνται γενικά σύμφωνα με τη μέγιστη έξοδο συνεχούς ισχύος τους (σε Watt) κάτω από πρότυπες καταστάσεις δοκιμής (Standard Test Conditions STC). Οι πρότυπες καταστάσεις δοκιμής καθορίζονται από μια υπομονάδα (κύτταρο) που λειτουργεί σε θερμοκρασία των 25°C (77 F), και συναφές ακτινοβολούμενο ηλιακό επίπεδο 1000 W/m² και υπό μάζα αέρα 1,5 φασματικής διανομής.

Δεδομένου ότι αυτές οι συνθήκες είναι όχι πάντα χαρακτηριστικές για το πώς οι Φ/B υπομονάδες και οι διατάξεις λειτουργούν στο πεδίο, η πραγματική απόδοση εκτιμάται ότι είναι συνήθως 85 έως 90 τοις εκατό της πρότυπης δοκιμαστικής κατάστασης (STC). Οι σημερινές φωτοβολταϊκές υπομονάδες είναι εξαιρετικά ασφαλείς και αξιόπιστα προϊόντα, με

ελάχιστα ποσοστά αποτυχίας και με προβαλλόμενη διάρκεια ζωής 20 έως 30 έτη. Οι περισσότεροι σημαντικοί κατασκευαστές προσφέρουν τις εγγυήσεις των είκοσι ή περισσότερων ετών για τη διατήρηση ενός υψηλού ποσοστού ονομαστικής ισχύς εξόδου της συσκευής (U.S. Department of Energy).

Η εκτίμηση και η αποτίμηση της απόδοσης των Φ/Β κυττάρων ουσιαστικά απαιτεί τη μέτρηση του ρεύματος ως λειτουργία της ηλεκτρικής τάσης, της θερμοκρασίας, της έντασης, της ταχύτητας του ανέμου και της ακτινοβολίας του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Οι περισσότερο αξιοσημείωτες παράμετροι είναι η απόδοση η της Φ/Β μετατροπής, που ορίστηκε ως η μέγιστη ηλεκτρική ισχύς P_{max} που παράγεται από τα Φ/Β κύτταρα που χωρίζονται από την επικείμενη ενέργεια φωτονίων P_{in} , που μετριέται σε σχέση με τις πρότυπες καταστάσεις δοκιμής (STC).

Οι πρότυπες καταστάσεις δοκιμής (STC) συνδυάζουν την ακτινοβολία μιας θερινής ημέρας, την θερμοκρασία κυττάρου/υπομονάδας μιας χειμερινής ημέρας και το ηλιακό ηλεκτρομαγνητικό φάσμα μιας ανοιξιάτικης μέρας. Αυτές οι καταστάσεις μέτρησης προφανώς δεν αντιπροσωπεύουν τις πραγματικές καταστάσεις λειτουργίας των Φ/Β συσκευών στην περιοχή της εγκατάστασης. Για το βέλτιστο σχέδιο των Φ/Β συστημάτων, είναι επιθυμητό να μετρηθούν οι μακροπρόθεσμες αποδόσεις τους στην περιοχή της εγκατάστασης.

4.8.2 Οι απώλειες στα φωτοβολταϊκά συστήματα

Στον υπολογισμό της επιφάνειας των Φ/Β συλλεκτών παίρνουμε συνήθως υπ' όψιν τη θερμοκρασία και τη ρυπαρότητα, πρέπει όμως να λάβουμε υπ' όψιν και τις μικρές ηλεκτρικές απώλειες στους αγωγούς που συνδέουν τα Φ/Β πλαίσια στις Φ/Β συστοιχίες, καθώς και στις συνδέσεις τους με τα άλλα μέρη του Φ/Β συστήματος (διατάξεις ρύθμισης, προστασίας και ελέγχου, συσσωρευτές κτλ.) Πρόσθετες, και μάλιστα σημαντικότερες απώλειες μπορεί να οφείλονται στη λειτουργία αυτών των άλλων μερών του συστήματος, και κυρίως στη φόρτιση και εκφόρτιση των συσσωρευτών. Όσον αφορά την τιμή του συντελεστή απόδοσης των Φ/Β πλαισίων που χρησιμοποιείται στους υπολογισμούς, αναφέρεται στις συνθήκες τάσης έντασης που αντιστοιχούν στη μέγιστη δυνατή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Είναι όμως πολύ πιθανό, ιδίως όταν το σύστημα δεν έχει αξιόπιστο ρυθμιστή ισχύος, ότι κατά τη λειτουργία του θα υπάρχει μια αξιόλογη απόκλιση από τις ιδανικές αυτές συνθήκες, με αποτέλεσμα την εμφάνιση της αντίστοιχης απώλειας στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Επομένως, κατά τον υπολογισμό της απαιτούμενης επιφάνειας των Φ/Β συλλεκτών ενός συστήματος, πρέπει να γίνεται πρόβλεψη, ανάλογα με την περίπτωση, και για την

κάλυψη όλων αυτών των απωλειών, που μπορεί να είναι της τάξεως του 20-30% της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας ή και περισσότερο. Τέλος, λόγω της φθοράς στα Φ/Β πλαίσια και στα άλλα μέρη του συστήματος, αναμένεται ότι με την πάροδο του χρόνου θα παρουσιάζεται μια μικρή βαθμιαία πτώση στην ποσότητα της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, που συνήθως υπολογίζεται στο 1-2% για κάθε χρόνο.

4.9 Η αγορά των φωτοβολταϊκών

Τα τελευταία χρόνια η ετήσια αύξηση των πωλήσεων Φ/Β, ήταν εντυπωσιακή και έφτασε το 38% το 1997 και το 25% το 2000. Τα τρία τελευταία χρόνια είχαμε διπλασιασμό των πωλήσεων και όλα δείχνουν ότι η τεχνολογία Φ/Β εισέρχεται στη φάση της εμπορικής εκμετάλλευσης. Από την άλλη πλευρά, στην Ελλάδα οι πωλήσεις Φ/Β, αν εξαιρέσουμε επιδεικτικά και ερευνητικά προγράμματα δεν ξεπερνούν τα 100kW ετησίως. Στις εμπορικά βιώσιμες εφαρμογές των Φ/Β συστημάτων συγκαταλέγονται οι αυτόνομες εφαρμογές σε απομακρυσμένες από το δίκτυο ηλεκτρισμού περιοχές, όπως σε απομονωμένες κατοικίες, εγκαταστάσεις αναμεταδοτών του ΟΤΕ, εταιριών κινητής τηλεφωνίας και ραδιοφωνικών σταθμών. Σημαντική εξάπλωση γνωρίζουν στην Ελλάδα τα Φ/Β στην ηλεκτροδότηση φάρων και σημαντήρων στα λιμάνια όλης της χώρας. Η υπηρεσία φάρων του πολεμικού ναυτικού έχει εγκαταστήσει πάνω από 890 Φ/Β συστήματα σε όλη την Ελλάδα συνολικής ισχύος 64KWp έχοντας ηλεκτροδοτήσει με Φ/Β σχεδόν όλους τους φάρους. Από στοιχεία του 1998 προκύπτει, ότι από τα 157.8MWp των διακινηθέντων Φ/Β γεννητριών ανά τον κόσμο, το 85.5% αυτών ήταν κρυσταλλικού πυριτίου (μονό- ή πολύκρυσταλλικό). Ένα ποσοστό 13% αφορούσε Φ/Β γεννήτριες άμορφου πυριτίου, 0.14% CdTe(Τελλουριούχου Καδμίου) και 0.01% CIS (Δισελινιούχου Ινδικού Χαλκού) κλπ. Η αγορά στο μεγαλύτερο της μέρος κινείται από προγράμματα που προσφέρουν κίνητρα για την αγορά και εγκατάσταση Φ/Β συστημάτων.

Οι μεγάλες επιχειρήσεις που ασχολούνται με την παραγωγή Φ/Β γεννητριών, ενώ διατηρούν και επεκτείνουν το δυναμικό παραγωγής τους σε κρυσταλλικό πυρίτιο, έχουν ήδη επενδύσει σε μια τουλάχιστον από τις τεχνολογίες των λεπτών μεμβρανών. Η ωριμότερη τεχνολογία από αυτές είναι του άμορφου πυριτίου, η οποία είναι εμπορικό προϊόν εδώ και 10 χρόνια. Οι επόμενες τεχνολογίες Φ/Β που βρίσκονται στα πρώτα βήματα της εμπορικής εκμετάλλευσης είναι το CdTe και το CIS/CIGS. Τα τελευταία υλικά βρίσκονται στο στάδιο της πιλοτικής γραμμής παραγωγής. Η πρόοδος όσον αφορά την απόδοση του άμορφου

πυριτίου (a-Si) είναι στάσιμη, αλλά έχει αποκτηθεί εμπειρία στην κατασκευή γεννητριών μεγάλης επιφάνειας, οι οποίες είναι συγχρόνως κατάλληλες για ενσωμάτωση σε κτίρια.

4.10 Βασικά χαρακτηριστικά Φ/Β υπομονάδων

Τα βασικά κλειδιά πίσω από την επίγεια αγορά Φ/Β είναι η απόδοση της υπομονάδας, η τιμή πώλησης της και η αξιοπιστία της. Η σταθεροποιημένη απόδοση μετατροπής των Φ/Β υπομονάδων (άμορφου πυριτίου) a-Si, χαρακτηριστικά κυμαίνεται μεταξύ 6-8% ενώ οι αποδόσεις των κρυστάλλινων Φ/Β υπομονάδων πυριτίου συνήθως κυμαίνονται μεταξύ του 11-14%. Η τιμή πώλησης των Φ/Β a-Si είναι συνήθως περίπου 10-20% λιγότερο από αυτό των κρυστάλλινων υπομονάδων πυριτίων σε ευρώ/Wp. Εντούτοις, η συνολική τιμή μερικών Φ/Β συστημάτων (σε ευρώ/Wp) μπορεί να είναι χαμηλότερη στις κρυστάλλινες υπομονάδες πυριτίου από ότι στις υπομονάδες άμορφου πυριτίου a-Si ειδικά εάν το κόστος ισοζυγίου (ισορροπίας) του συστήματος είναι υψηλό. Ενώ οι Φ/Β κρυστάλλινες υπομονάδες πυριτίου έχουν ένα αποδεδειγμένο αρχείο αξιοπιστίας με πολλές διατάξεις που λειτουργούν περισσότερο από δύο δεκαετίες στο πεδίο, η αξιοπιστία των πρόσφατων υπομονάδων λεπτής μεμβράνης δεν έχει αποδειχθεί ακόμα δεδομένου ότι οι υπομονάδες έχουν τεθεί σε λειτουργία στο πεδίο μόνο για μερικά χρόνια. Αυτήν την περίοδο το μέγεθος των Φ/Β a-Si αντιπροσωπεύουν μόνο το 11% της συνολικής αγοράς. Με στόχο τα Φ/Β a-Si να συλλάβουν ένα μεγαλύτερο ποσοστό της αγοράς, η σταθεροποιημένη απόδοση πρέπει να βελτιωθεί, το κόστος κατασκευής θα χαμηλώσει και η μακροπρόθεσμη αξιοπιστία θα βελτιωθεί. Σαφώς, περισσότερη έρευνα και ανάπτυξη απαιτούνται για να βεβαιώσουν ότι όλες οι Φ/Β υπομονάδες λεπτής μεμβράνης μπορούν να αντέξουν για εκτεταμένες περιόδους (> 20 έτη) σε δύσκολο περιβάλλον όπως οι διατάξεις υψηλών ηλεκτρικών τάσεων που λειτουργούν στα τροπικά κλίματα.

Τέλος, ενώ τα φορτία των Φ/Β υπομονάδων a-Si έφθασαν περίπου τα 40MWp το 2001, η περαιτέρω έρευνα, η ανάπτυξη και η εφαρμοσμένη μηχανική θα απαιτήσει αύξηση της απόδοσης, χαμηλότερο κόστος κατασκευής και βελτίωση της αξιοπιστίας προκειμένου να βεβαιωθεί ότι τα φωτοβολταϊκά a-Si θα διαδραματίσουν έναν σημαντικό ρόλο στην παραγωγή ενέργειας στο μέλλον.

4.11 Κόστος Φ/Β συστημάτων

Το κόστος, συνήθως, των Φ/Β συστημάτων εκφράζεται σε ευρώ ανά εγκαταστημένο βατ αιχμής (ευρώ/Wp). Η κυριότερη συνιστώσα του κόστους ενός Φ/Β συστήματος είναι το κόστος των Φ/Β πλαισίων. Το κόστος των Φ/Β πλαισίων κρυσταλλικού πυριτίου κυμαίνεται στα 5ευρώ/Wp. Σε σχέση με την επιφάνεια που καλύπτουν, το κόστος κυμαίνεται στα 587ευρώ/m². Μια γενική διάκριση στο κόστος των Φ/Β συστημάτων, αφορά τα αυτόνομα και τα διασυνδεδεμένα με το δίκτυο συστήματα. Το κόστος είναι συνήθως χαμηλότερο για τα τελευταία και η διαφορά οφείλεται στην αποφυγή του κόστους για το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας. Επίσης, η μεγαλύτερη κλίμακα εφαρμογής των διασυνδεδεμένων συστημάτων επιδρά θετικά στο κόστος ανά Wp. Από υπολογισμούς προκύπτει ότι η κατανομή του κόστους για ένα αυτόνομο Φ/Β σύστημα έχει ως εξής:

Φ/Β πλαίσια 50-70%

Σύστημα συσσωρευτών 15-25%

Αντιστροφείς-Μετατροπείς 10-15%

Υποδομή στήριξης 10-15%

Σχεδιασμός εγκατάσταση 8-12%

Η διάρκεια ζωής των Φ/Β πλαισίων μπορεί να φτάσει τα 20 χρόνια, χωρίς ιδιαίτερη συντήρηση. Οι συσσωρευτές όπως φαίνεται παραπάνω αντιπροσωπεύουν το 15-25% του κόστους αρχικής επένδυσης του Φ/Β συστήματος, ενώ προβλέπεται αντικατάστασή τους 3-5 φορές στα 20 χρόνια ζωής του όλου συστήματος. Το κόστος των συσκευών ελέγχου και μετατροπής ισχύος αντιπροσωπεύει το 10 με 15% του συνολικού κόστους. Η κατασκευή προβλέπεται να έχει θετικές επιπτώσεις στο συνολικό κόστος ενός Φ/Β συστήματος.

Στην Ελλάδα, το κόστος των αυτόνομων Φ/Β συστημάτων συμπεριλαμβανομένου του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας και των εξόδων εγκατάστασης, είναι της τάξεως των 8.200 με 9.400 ευρώ ανά kWp (συμπερ/νου Φ.Π.Α.). Το κόστος διασυνδεδεμένων με το δίκτυο Φ/Β συστημάτων, είναι της τάξεως των 7.350 ευρώ ανά kWp. Πρόσφατες εκτιμήσεις σχετικά με το κόστος παραγόμενης ενέργειας από τα Φ/Β ανέρχεται στα 0,44 ευρώ/ kWh για διασυνδεδεμένο σύστημα και στα 0,65 ευρώ/ kWh για αυτόνομο σύστημα, για συστήματα μεγέθους μερικών kWp. Όσον αφορά, το πρόβλημα της ηλεκτροδότησης στα περισσότερα νησιά του Ελλαδικού χώρου είναι έντονο, το κόστος ηλεκτροπαραγωγής κατά τις ώρες αιχμής είναι δύο και τρεις φορές μεγαλύτερο από το μέσο κόστος. Αυτό δείχνει ότι η χρήση Φ/Β συστημάτων στα νησιά πιθανόν να αποτελέσει ανταγωνιστική πρόταση στο μέλλον και

πιθανόν την πλέον συμφέρουσα λύση σε περιπτώσεις ενίσχυσης του τοπικού δικτύου της ΔΕΗ.

4.12 Η επίδραση των περιβαλλοντικών συνθηκών στην απόδοση των Φ/Β

Για να λειτουργήσουν οι φωτοβολταϊκές συσκευές επιτυχώς κατά τη διάρκεια μιας αναμενόμενης διάρκειας ζωής 30 ετών, απαιτείται έρευνα σε όλες τις πτυχές αυτών των συσκευών. Οι εκτιμήσεις ισχύος των Φ/Β συσκευών δεν δίνουν συνήθως μια ακριβή ένδειξη της υπαίθριας απόδοσής τους. Τα αποτελέσματα ερευνών, επίσης, έδειξαν ότι οι μετεωρολογικές συνθήκες θα μπορούσαν να προκαλέσουν μέχρι και μείωση 18% της πιθανής ισχύς των υπομονάδων. Η θερμοκρασία και η ηλιακή ακτινοβολία είναι οι δύο βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση των Φ/Β συσκευών. Άλλοι περιβαλλοντικοί παράγοντες όπως ο αέρας, η βροχή, η κάλυψη σύννεφων και η διανομή του ηλιακού φάσματος, με τον ένα τρόπο ή με τον άλλο, επηρεάζουν τη θερμοκρασία στην οποία οι συσκευές λειτουργούν ή την επικείμενη ηλιακή ακτινοβολία των συσκευών.

Οι Φ/Β υπομονάδες λειτουργούν συνήθως σε θερμοκρασία περιβάλλοντος 25°C, σε περίπτωση που θα λειτουργούσαν σε θερμοκρασίες πάνω από την ενδεικτική τιμή τότε μπορεί να χανόταν περισσότερο από το 14% της δυναμικής της παραγωγικής τους ενέργειας. Χαρακτηριστικά όπως είδαμε στο κεφάλαιο 3, η ονομαστική λειτουργική θερμοκρασία των κυττάρων (NOCT) μιας μονής κρυσταλλικής υπομονάδας πυριτίου υπερβαίνει τους 44°C.

Η επιρροή της ηλιακής ακτινοβολίας διαφέρει για τις διάφορες παραμέτρους εξόδου. Η επίδραση μπορεί να εξηγηθεί καλύτερα λαμβάνοντας υπ' όψιν την διαφορά του ρεύματος και της ηλεκτρικής τάσης που δημιουργείται από την ηλιακή ακτινοβολία. Παρατηρείται, μια γραμμική αύξηση στο ρεύμα που οφείλεται στην αυξανόμενη παραγωγή ηλεκτρονίων (λόγω της αυξανόμενης ροής των φωτονίων). Η αύξηση της θερμοκρασίας επιδρά στην αποτελεσματικότητα των ηλιακών κυττάρων και πιο συγκεκριμένα στα κρυσταλλικά ηλιακά κύτταρα, όπου συμβαίνουν τα εξής:

- Αύξηση της ταλάντωσης της κρυσταλλικής δομής, με αποτέλεσμα το ήλεκτρο-φωτόνιο να διασκορπιστεί,
- Μείωση της φόρτισης της κινητικότητας του φορέα,
- Μείωση στην ένωση p-n της ενσωματωμένης τάσης και της ικανότητας της ένωσης να διαχωρίσει τα ηλεκτρόνια από τις οπές στα ζευγάρια των παράγωγων φωτονίων.

4.13 Η επίδραση των φωτοβολταϊκών στο περιβάλλον

Τα φωτοβολταϊκά μπορούν να επηρεάσουν το περιβάλλον σε τρεις φάσεις:

1. κατά τη διάρκεια της διαδικασίας κατασκευής τους,
2. κατά τη διάρκεια της λειτουργίας τους και
3. ως αποτέλεσμα της ανάρμοστης διάθεσης των σπασμένων ή ξεπερασμένων υπομονάδων.

Η επεξεργασία κατασκευής των περισσότερων Φ/Β υπομονάδων απαιτεί τη χρήση μερικών τοξικών υλικών, και τα κατάλληλα Φ/Β συστήματα και οι διαδικασίες πρέπει να καθιερώνονται για να ελαχιστοποιήσουν τον κίνδυνο για τους υπαλλήλους. Στην επεξεργασία α-Si/a-SiGe διαδοχικών υπομονάδων, τα BP Solar χρησιμοποιούν τοξικά αέρια. Το αέριο υλικό πρόσμιξης για τα θετικά στρώματα είναι λιγότερο τοξικό. Εάν υπάρξει διαρροή στις γραμμές αερίου, τότε θα αναφλεχθεί, και το αέριο υλικό πρόσμιξης θα οξειδωθεί. Όλα τα αέρια εξάτμισης περνούν μέσω ενός κιβωτίου και η σκόνη συλλέγεται σε ένα χώρο διάθεσης. Η σκόνη αποτελείται κυρίως από το διοξείδιο πυριτίων που λιώνεται με τα μικρά ποσά οξειδίων του γερμανίου, του βορίου και του φωσφόρου. Η διαδικασία που χρησιμοποιείται από την BP Solar για την κατασκευή των υπομονάδων α-Si δεν χρησιμοποιεί οποιοδήποτε διαλύτη, οξέα ή άλλες υγρές χημικές ουσίες (εκτός από τα απορρυπαντικά στο νερό για τον καθαρισμό των υποστρωμάτων). Δεδομένου ότι όλες οι υπομονάδες διαμορφώνονται και αλληλοσυνδέονται, εκτελούνται χρησιμοποιώντας τα λέιζερ, δεν υπάρχουν επιβλαβές προϊόντα αποβλήτων ή εκροές που παράγονται στην κατασκευαστική διαδικασία. Επιπλέον, δεδομένου ότι οι Φ/Β υπομονάδες α-Si δεν περιέχουν οποιαδήποτε τοξικά υλικά, δεν υπάρχει κανένας περιβαλλοντικός κίνδυνος που συνδέεται με τη θραύση υπομονάδων, φωτιές ή τη μακροπρόθεσμη διάθεση σε επιχωματώσεις σκουπιδιών.

Κεφάλαιο 5ο



Οικονομοτεχνική Μελέτη ΦΒ εγκαταστασης

5.1 Εισαγωγή

Η παρούσα μελέτη αφορά την τεχνο-οικονομική αξιολόγηση συστήματος Φωτοβολταϊκών Συλλεκτών συνδεδεμένων με το δίκτυο της ΔΕΗ.

5.2 Παροχές και κανόνες υπολογισμών

5.2.1 Υπολογισμός Ηλεκτρικής Ενέργειας ΦΒ Πλαισίου

Λαμβάνοντας υπόψιν τους συντελεστές μείωσης της απόδοσης, η μέγιστη αποδιδόμενη ηλεκτρική ενέργεια, που παράγουν Ν ΦΒ πλαίσια επί ένα χρονικό διάστημα, δίνεται από τη σχέση:

$$E_{m\Pi} = E_{HA} * N * S_{\Pi} * \eta_{\Pi} * \sigma_{\alpha} * \sigma_{\kappa} * \sigma_{\mu}$$

όπου:

E_{HA} : ενέργεια προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας

S_{Π} : επιφάνεια ΦΒ πλαισίου

η_{Π} : βαθμός απόδοσης ΦΒ πλαισίου $\eta_{\Pi} = \eta_{STC} * \sigma_{\gamma} * \sigma_{\delta} * \sigma_{\theta} * \sigma_{\rho}$

η_{STC} : βαθμός απόδοσης ΦΒ πλαισίου σε πρότυπες συνθήκες ελέγχου STC

$\sigma_{\gamma} / \sigma_{\rho} / \sigma_{\theta} / \sigma_{\delta}$: συντελεστής γήρανσης/ρύπανσης/θερμοκρασίας/διόδου

$\sigma_{\alpha} / \sigma_{\kappa} / \sigma_{\mu}$: συντελεστής ανομοιογένειας/καλωδιώσεων/απωλειών μεταφοράς ενέργειας

5.2.2 Επίδραση της θερμοκρασίας

Η απόδοση των Φ/Β στοιχείων επηρεάζεται σημαντικά από τη θερμοκρασία. Ο συντελεστής απόδοσης που δίνεται για τα ηλιακά στοιχεία ή για τα Φ/Β πλαίσια αντιστοιχεί σε μια συμβατική θερμοκρασία 20°C, που συχνά, τους θερινούς μήνες διαφέρει αξιόλογα από την πραγματική θερμοκρασία του στοιχείου. Έχει μετρηθεί ότι λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχονται αλλά και λόγω των ηλεκτρικών απωλειών που πραγματοποιούνται πάνω τους, στις αντιστάσεις σειράς, τα ηλιακά στοιχεία αποκτούν κατά τη λειτουργία τους θερμοκρασία μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία του αέρα του περιβάλλοντος κατά 25 ως 30 °C, ανάλογα με την ταχύτητα του ανέμου. Για τη διόρθωση του παραπάνω σφάλματος χρησιμοποιείται ο αδιάστατος συντελεστής σ_{θ} που ορίζεται ως εξής:

$$\sigma_{\theta} = 1 - ((t_a + 30) - 25) 0.04$$

όπου:

t_a : η μέση μηνιαία θερμοκρασία αέρα

5.2.3 Βαθμός Απόδοσης ΦΒ Πλαισίου

Το πηλίκο της μέγιστης αποδιδόμενης ηλεκτρικής ισχύος προς την προσπίπτουσα ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας, ονομάζεται βαθμός απόδοσης η_{π} του ΦΒ πλαισίου.

$$\eta_{\pi} = \frac{P_{m\pi}}{P_{HA}}$$

όπου:

$P_{m\pi}$: μέγιστη αποδιδόμενη ηλεκτρική ισχύς ΦΒ πλαισίου

P_{HA} : ισχύς προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας

Αν η ισχύς της ηλιακής ακτινοβολίας δίνεται ανά μονάδα επιφάνειας, δηλαδή σε m^2 , η σχέση του βαθμού απόδοσης γίνεται

$$\eta_{\pi} = \frac{P_{m\pi}}{P_{HA} \cdot S_{\pi}}$$

όπου:

$P_{m\pi}$: μέγιστη αποδιδόμενη ηλεκτρική ισχύς ΦΒ πλαισίου

P_{HA} : ισχύς προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας

S_{π} : επιφάνεια ΦΒ πλαισίου

Ο βαθμός απόδοσης η_{π} του ΦΒ πλαισίου επηρεάζεται από τους εξής παράγοντες:

- Γήρανση

Η απόδοση του ΦΒ πλαισίου μειώνεται λόγω της αλλοίωσης των υλικών κατασκευής των ΦΒ στοιχείων. Για τη διαχρονική μείωση της απόδοσης λαμβάνουμε το *συντελεστή γήρανσης* $\sigma_{\gamma} = 0,90$.

- Ρύπανση επιφάνειας

Η απόδοση του ΦΒ πλαισίου μειώνεται λόγω της ρύπανσης της επιφάνειας του από την επικάλυψη σκόνης, φύλλων, χιονιού, αλατιού από τη θάλασσα, εντόμων, ακαθαρσιών κλπ. Γι' αυτό λαμβάνουμε ένα *συντελεστή ρύπανσης* σ_{ρ} με τις ακόλουθες τιμές:

0,95 για πλαίσια που καθαρίζονται συχνά, 0,90 για πλαίσια ελαφρώς σκονισμένα, 0,80 για πλαίσια ακάθαρτα.

- Δίοδος αντεπιστροφής

Η δίοδος αντεπιστροφής ΔA , που εμποδίζει την εκφόρτιση του ηλεκτρικού συσσωρευτή διαμέσου του ΦΒ πλαισίου, όταν αυτό δεν φωτίζεται, προκαλεί απώλειες ενέργειας της τάξης του 1%. Οι απώλειες αυτές λαμβάνονται υπόψιν με τον *συντελεστή απωλειών διόδου* $\sigma_{\delta} = 0,99$.

Στους υπολογισμούς των ΦΒ συστημάτων, ο βαθμός απόδοσης η_{STC} του ΦΒ πλαισίου, που δίνεται σε πρότυπες συνθήκες ελέγχου STC, θα πρέπει να πολλαπλασιάζεται με το γινόμενο των συντελεστών μείωσης της απόδοσης ($\sigma_{\gamma} * \sigma_{\delta} * \sigma_{\theta} * \sigma_{\rho}$).

5.3 Αξιολόγηση Επένδυσης

Η οικονομική αξιολόγηση της ΦΒ εγκατάστασης γίνεται με βάση τους εξής οικονομικούς συντελεστές

- α) τη καθαρά παρούσα αξία και
- β) τον εσωτερικό συντελεστή απόδοσης της εγκατάστασης.

Η έντοκη περίοδος αποπληρωμής καθορίζει το έτος από το οποίο αρχίζει η επένδυση να χαρακτηρίζεται βιώσιμη. Στους παρακάτω πίνακες δίνονται η μέση ηλιακή ακτινοβολία και η μέση παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια

ΠΙΝΑΚΑΣ 1 : ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ - ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

ΟΝΟΜΑ ΠΟΛΗΣ	:	ΠΑΤΡΑ		
ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΠΛΑΤΟΣ	:	38.0°		
ΚΛΙΣΗ ΣΥΛΛΕΚΤΗ	:	0.0°		
ΜΗΝΑΣ	ΗΜΕΡΕΣ	ΘΕΡΜ/ΣΙΑ ΑΕΡΑ (°C)	ΗΛ.ΑΚΤΙΝ. ΑΝΑ ΗΜΕΡΑ (KWh/m2)	ΗΛ.ΑΚΤΙΝ. ΑΝΑ ΜΗΝΑ (KWh/m2)
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	31	11.0	1.97	61.11
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	28	12.0	2.57	71.94
ΜΑΡΤΙΟΣ	31	13.0	3.58	111.11
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	30	16.0	4.56	136.94
ΜΑΙΟΣ	31	20.0	6.13	190.00
ΙΟΥΝΙΟΣ	30	25.0	6.90	206.94
ΙΟΥΛΙΟΣ	31	27.0	7.00	216.94
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	31	27.0	6.39	198.06
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	30	24.0	4.87	146.11
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	31	20.0	3.29	101.94
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	30	16.0	2.23	66.94
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	31	13.0	1.68	51.94
ΣΥΝΟΛΟ				1560.00

ΠΙΝΑΚΑΣ 2 : ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ

ΜΗΝΑΣ	ΗΜΕΡΕΣ	ΗΛ.ΑΚΤΙΝ./ΜΗΝΑ (KWh) (KWh)	ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΗΛ. ΕΝΕΡΓΕΙΑ (KWh)	ΠΑΡΑΓ. ΕΝΕΡΓ/ΗΜΕΡΑ
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	31	61.11	233.30	7.53
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	28	71.94	273.49	9.77
ΜΑΡΤΙΟΣ	31	111.11	420.56	13.57
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	30	136.94	511.64	17.05
ΜΑΙΟΣ	31	190.00	697.46	22.50

ΙΟΥΝΙΟΣ	30	206.94	742.78	24.76
ΙΟΥΛΙΟΣ	31	216.94	771.59	24.89
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	31	198.06	704.41	22.72
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	30	146.11	526.81	17.56
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	31	101.94	374.22	12.07
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	30	66.94	250.11	8.34
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	31	51.94	196.61	6.34
ΣΥΝΟΛΟ		1560.00	5702.96	

5.4 Μελέτη ΦΒ συστήματος συνδεδεμένου στο δίκτυο

Το ΦΒ σύστημα που είναι συνδεδεμένο στο δίκτυο περιλαμβάνει τη ΦΒ συστοιχία, το μετατροπέα τάσεως DC-AC (inverter) και δυο μετρητές για την εξερχόμενη και εισερχόμενη ηλεκτρική ενέργεια.

Η επιθυμητή επιφάνεια εγκατάστασης ΦΒ συστοιχίας είναι $S_2=40.00 \text{ m}^2$. Επιλέγεται συλλέκτης τύπου BP 3230 N της hp solar με διαστάσεις πλαισίου $1,667\text{m} * 1\text{m}$. Διαιρώντας την επιφάνεια S_2 δια την επιφάνεια του ΦΒ βρίσκουμε 23,9 άρα 23 ΦΒ πλαίσια. Όμως λόγω της διάταξης της συγκεκριμένης επιφάνειας και επιλογής του αναστροφέα που θα δούμε σε επόμενη ενότητα πρέπει τα ΦΒ να συνδεθούν σε 2 στοιχειοσειρές. Οι στοιχειοσειρές συνδέονται παράλληλα και συνεπώς πρέπει να είναι συμμετρικές ώστε να έχουμε σωστή προσαρμογή. Άρα ο αριθμός των συλλεκτών που θα εγκαταστήσουμε είναι $N=22$.

Επιλέγεται γωνία κλίσης $\beta = 0.00^\circ$ για απλότητα της κατασκευής και μικρότερο κόστος. Η αύξηση της απόδοσης του ΦΒ που θα έδινε μια πιθανή κλίση δεν θα αντιστάθμιζε το επιπλέον κόστος αφού η εγκατάσταση είναι μικρής ισχύος. Αποτελεί την συνηθέστερη επιλογή για οικιακούς παραγωγούς. Μιας και η κατασκευή είναι ακίνητη επιλέγεται νότιος προσανατολισμός.

5.4.1 Συνδεσμολογία ΦΒ συστοιχίας και απαιτούμενη απόσταση μεταξύ των συλλεκτών

Βασική μας επιδίωξη είναι το σύστημα να λειτουργεί κάθε φορά στο σημείο μέγιστης ισχύος ΣΜΙ με αντίστοιχη τάση η οποία εξαρτάται από την τάση εισόδου της διάταξης που ακολουθεί την ΦΒ συστοιχία. Εφόσον στην έξοδο της ΦΒ συστοιχίας πρόκειται να συνδεθεί ένας μετατροπέας τάσης DC-AC για την σύνδεση της συστοιχίας με το δίκτυο της ΔΕΗ αυτός πρέπει να έχει κατάλληλα χαρακτηριστικά:

α. Τάση εισόδου V_{in}

Η τάση εισόδου του μετατροπέα τάσης πρέπει να είναι ίση με την μέγιστη τάση εισόδου της ΦΒ συστοιχίας $V_{m\Sigma}$

β. Τάση εξόδου

Η τάση εξόδου του μετατροπέα πρέπει να είναι ίση με την φασική τάση του δικτύου της ΔΕΗ αν ο μετατροπέας είναι μονοφασικός ή ίση με την πολική τάση αν είναι τριφασικός.

γ. Τάση ανοικτού κυκλώματος V_{ocin}

Η τάση ανοικτού κυκλώματος του μετατροπέα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την τάση ανοικτού κυκλώματος της ΦΒ συστοιχίας κατά ένα συντελεστή ίσο με $k=1.15$ για εγκαταστάσεις σε υψόμετρο μικρότερο των 800μ.

δ. Η ΔΕΗ απαιτεί σε κάθε ΦΒ σταθμό παραγωγής την ύπαρξη προστασίας απόξευξης μέσω του μετατροπέα τάσεως DC-AC, έτσι ώστε ο σταθμός να αποσυνδέεται σε περίπτωση έλλειψης τάσης από το δίκτυο της ΔΕΗ (φαινόμενο νησιδοποίησης) ή όταν η τάση και η συχνότητα του ρεύματος αποκλίνει από τα παρακάτω όρια:

Τάση : από +15% έως -20% επί της ονομαστικής τιμής

Συχνότητα : $\pm 0.5\text{Hz}$ της ονομαστικής.

ε. Να διαθέτει κατάλληλη ηλεκτρονική διάταξη που ονομάζεται ρυθμιστής ισχύος (MPPT) η οποία επιβάλλει την προσαρμογή του σημείου λειτουργίας του συστήματος στο σημείο της μέγιστης ισχύος (ΣΜΙ).

Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκε ένας μονοφασικός μετατροπέας τάσεως της εταιρείας SMA ο SB 5000TL-20 που πληρεί τις παραπάνω προϋποθέσεις. Έχει δύο εισόδους με τάση μεταξύ των τιμών 125-440V στην οποία λειτουργεί η διάταξη MPPT. Έτσι θεωρώντας ότι σε κάθε είσοδο θα συνδεθούν 11 συλλέκτες σε σειρά έχουμε για την κάθε είσοδο από μία στοιχείο σειρά με τάση:

Αριθμός πλαισίων σε σειρά: $N_s = 11$ πλαίσια.

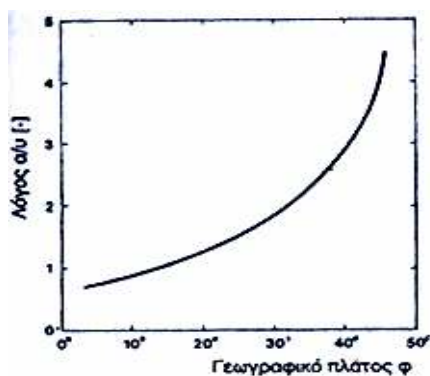
Τάση εισόδου στον μετατροπέα : $N_s \cdot V_{mppt} = 29.20 \cdot 11 = 321$ δηλ $125 < 321 \text{ V} < 440\text{V}$

Μέγιστη τάση στοιχειοσειράς : $N_s \cdot V_{ocp} = 36,40 \cdot 11 = 400 \text{ V} \cdot 1,15 = 460 \text{ V} < 550 \text{ V}$ που είναι η μέγιστη τάση εισόδου στον μετατροπέα

Κατά την τοποθέτηση των ΦΒ πλαισίων της συστοιχίας απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή, γιατί δεν πρέπει η μια σειρά πλαισίων να σκιάζει αισθητά την επόμενη. Η ελάχιστη απόσταση μεταξύ δυο γειτονικών σειρών ΦΒ πλαισίων υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$\varepsilon = \alpha + \gamma \cdot \text{syn}\beta = 1.67 \text{ (m)}$$

Η ελεύθερη απόσταση α προκύπτει από τον λόγο α/ν , που υπολογίζεται από το διάγραμμα του σχήματος με βάση το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής εγκατάστασης της ΦΒ συστοιχίας,



Σχήμα 59: Καμπύλη του λόγου της ελεύθερης απόστασης a μεταξύ δύο γειτονικών σειρών ΦΒ πλαισίων προς την επικάλυψη του ύψους u , σε συνάρτηση με το γεωγραφικό πλάτος φ του τόπου.

και ο υπολογισμός της επικάλυψης του ύψους της κατασκευής στήριξης γίνεται από τη σχέση:

$$u = \gamma \cdot \eta \mu \beta - \delta = 0.00 \text{ m}$$

όπου:

$\gamma = 1.67$: μήκος ΦΒ πλαισίων σε m

$\beta = 0.00^\circ$: γωνία κλίσης ΦΒ πλαισίων σε ($^\circ$)

δ : υψομετρική διαφορά ανάμεσα στα στηρίγματα δύο σειρών ΦΒ πλαισίων ($\delta = 0$ για στήριξη στο ίδιο επίπεδο) σε m

5.4.2 Εμβαδόν οριζόντιας έκτασης

Το εμβαδόν της οριζόντιας έκτασης που απαιτείται για την τοποθέτηση των ΦΒ πλαισίων ή συστοιχιών, δίνεται από τη σχέση:

$$S_E = S_0 \frac{\varepsilon}{\gamma \cdot \sigma \nu \eta \beta} \quad (m^2) \quad S_E = 36.74 \quad (m^2)$$

όπου:

S_0 : Εμβαδόν οριζόντιας προβολής όλων των ΦΒ πλαισίων σε m^2

$$S_0 = S_{\Pi} \cdot N \cdot \sigma \nu \eta \beta$$

όπου:

S_{Π} : Εμβαδόν ΦΒ πλαισίου σε m^2

N : Αριθμός ΦΒ πλαισίων

ε : ελάχιστη απόσταση μεταξύ δυο γειτονικών σειρών ΦΒ πλαισίων σε m

γ : μήκος ΦΒ πλαισίου σε m

β : γωνία κλίσης πλαισίων σε ($^\circ$)

5.4.3 Υπολογισμός καλωδίων στην περιοχή της DC τάσης

Όπως φαίνεται από το σχέδιο κάτοψης δώματος (Σχ 1) το μήκος σύνδεσης των στοιχειοσειρών No1 , No2 είναι συνολικά 18 m και 15 m αντίστοιχα μέχρι την είσοδο του μετατροπέα και θεωρώντας μία αποδεκτή πτώση τάσης $\Delta V/V=0,01$ έχουμε για τα καλώδια σύνδεσης της κάθε στοιχειοσειράς:

Στοιχειοσειρά No1:

Διατομή σύνδεσης των πλαισίων μεταξύ τους (μήκος 15μ)

$$S = 2\rho \cdot l \cdot I_{m\Pi} / [(\Delta V/V) \cdot V_{m\Pi}] = 2 \cdot 0,017 \cdot 15 \cdot 7,90 / [(0,01 \cdot 29,20)] = 13,79 \text{ mm}^2$$

επιλέγεται διατομή 16 mm²

Διατομή σύνδεσης από την έξοδο της στοιχειοσειράς μέχρι τον μετατροπέα (μήκος 3μ)

$$S = 2\rho \cdot l \cdot I_{m\Sigma} / [(\Delta V/V) \cdot V_{m\Sigma}] = 2 \cdot 0,017 \cdot 3 \cdot 7,90 / [(0,01 \cdot 11 \cdot 29,20)] = 0,25 \text{ mm}^2$$

επιλέγεται διατομή 1,50 mm²

Στοιχειοσειρά No 2:

Διατομή σύνδεσης των πλαισίων μεταξύ τους (μήκος 12μ)

$$S = 2\rho \cdot l \cdot I_{m\Pi} / [(\Delta V/V) \cdot V_{m\Pi}] = 2 \cdot 0,017 \cdot 12 \cdot 7,90 / [(0,01 \cdot 29,20)] = 11,03 \text{ mm}^2$$

επιλέγεται διατομή 16 mm²

Διατομή σύνδεσης από την έξοδο της στοιχειοσειράς μέχρι τον μετατροπέα (μήκος 3μ)

$$S = 2\rho \cdot l \cdot I_{m\Sigma} / [(\Delta V/V) \cdot V_{m\Sigma}] = 2 \cdot 0,017 \cdot 3 \cdot 7,90 / [(0,01 \cdot 11 \cdot 29,20)] = 0,25 \text{ mm}^2$$

επιλέγεται διατομή 1,50 mm²

5.4.4 Ισχύς αιχμής εγκατάστασης

Η υπολογιζόμενη ισχύς αιχμής της εγκατάστασης είναι το γινόμενο της ισχύος αιχμής συλλέκτη επί τον αριθμό συλλεκτών της εγκατάστασης:

$$P = 0.23 \cdot 22 = 5.06 \text{ KW}_p$$

5.4.5 Ετήσια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια

Η ετήσια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια για το 1^ο έτος υπολογίζεται από τη σχέση:

$$E_{m\Sigma} = E_{HA} \cdot N \cdot P_{p\Pi} \cdot \sigma_\gamma \cdot \sigma_\rho \cdot \sigma_\theta \cdot \sigma_\delta \cdot \sigma_\alpha \cdot \sigma_\kappa \cdot \sigma_\mu \Rightarrow$$

$$E_{m\Sigma} = 5702.96 \text{ kWh/έτος}$$

όπου:

$$E_{HA} = 1560.00 \text{ : ετήσια ενέργεια προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας (kWh/m}^2 \text{ έτος)}$$

- $N = 22$: αριθμός ΦΒ πλαισίων
 $P_{p\Pi} = 0.23$: ισχύς αιχμής ΦΒ πλαισίου
 $\sigma_{\gamma} = 0.97$: συντελεστής γήρανσης
 $\sigma_{\rho} = 0.9$: συντελεστής ρύπανσης για πλαίσια ελαφρώς σκονισμένα
 $\sigma_{\delta} = 0.99$: συντελεστής απωλειών διόδου
 $\sigma_{\theta} = 0.00$: συντελεστής θερμοκρασίας $\sigma_{\theta} = 1 - ((t_a + 30) - 25) \cdot 0,04$
 (t_a μέση μηνιαία θερμοκρασία αέρα)
 $\sigma_{\alpha} = 0.98$: συντελεστής ανομοιογένειας πλαισίων
 $\sigma_{\kappa} = 0.98$: συντελεστής καλωδιώσεων σύνδεσης πλαισίων
 $\sigma_{\mu} = 0.92$: συντελεστής απωλειών μεταφοράς ενέργειας από την έξοδο της ΦΒ συστοιχίας μέχρι την κατανάλωση.

5.5 Οικονομική αξιολόγηση επένδυσης

Η οικονομική αξιολόγηση της επένδυσης του ΦΒ συστήματος γίνεται με βάση τα εξής οικονομικά στοιχεία:

Συνολικό κόστος αγοράς ΦΒ συλλεκτών	9460.00 ευρώ
Συνολικό κόστος εγκατάστασης συλλεκτών	2200.00 ευρώ
Κόστος inverter	2500.00 ευρώ
Κόστος συστήματος ελέγχου & προστασίας	0.00 ευρώ
Κόστος μετρητή ΔΕΗ	850.00 ευρώ
Κόστος γραμμής μεταφοράς προς το δίκτυο της ΔΕΗ	0.00 ευρώ
Συνολικό κόστος εγκατάστασης	15010.00 ευρώ
Ποσοστό επιδότησης για το είδος της επιχείρησης	0.00 %
Διάρκεια Δανείου	12 χρόνια
Ετήσιο κόστος συντήρησης της εγκατάστασης	500.00 ευρώ
Τιμή αγοράς KWh από τη ΔΕΗ	0.55 ευρώ
Ρυθμός αύξησης της τιμής αγοράς ρεύματος	0.00 %
Ετήσιο εισόδημα από παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας	3136,63 ευρώ
Διάρκεια ζωής εγκατάστασης	25 χρόνια

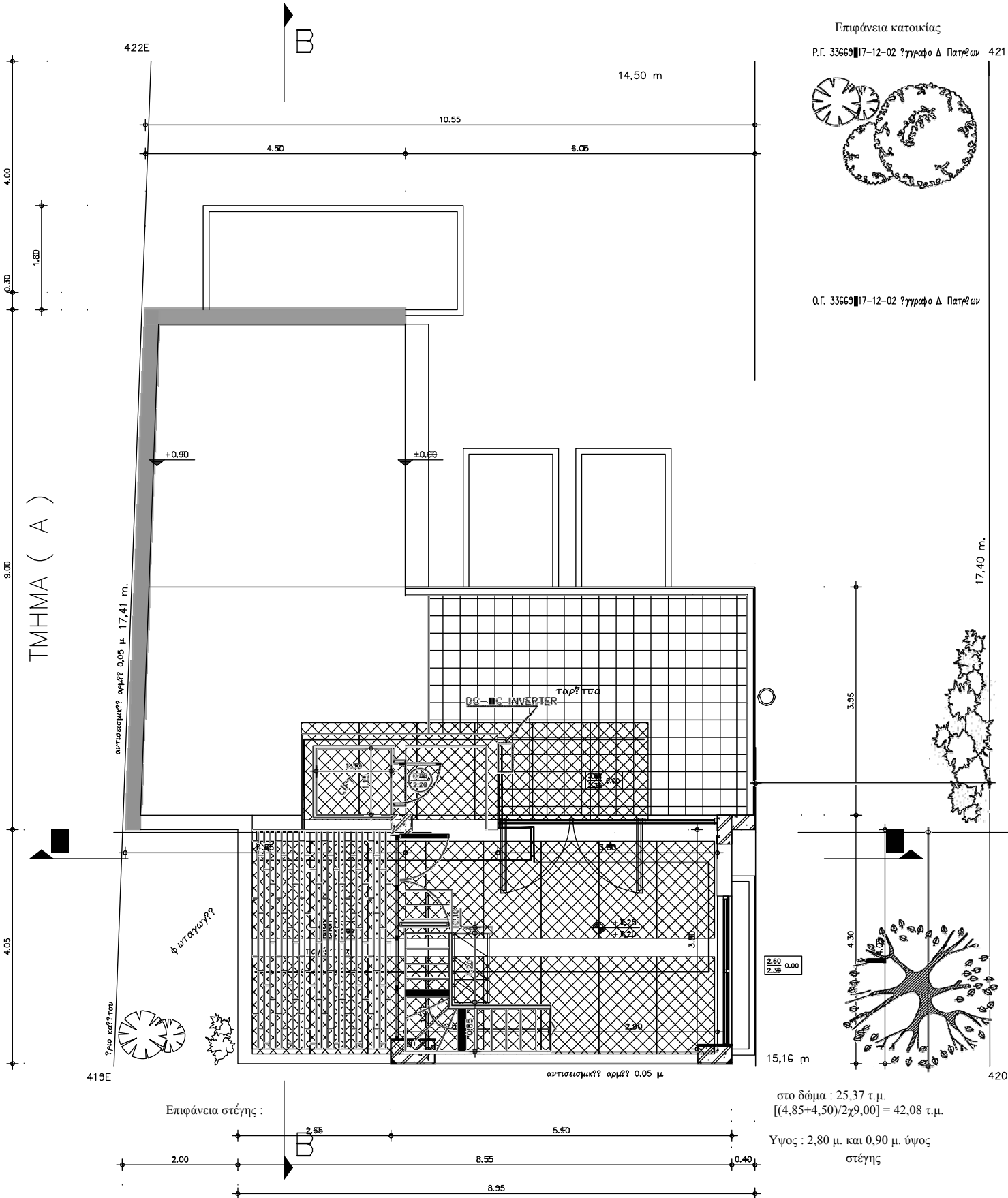
Από τα στοιχεία αυτά υπολογίζεται η απόσβεση επένδυσης που χαρακτηρίζει τη βιωσιμότητα της ΦΒ εγκατάστασης:

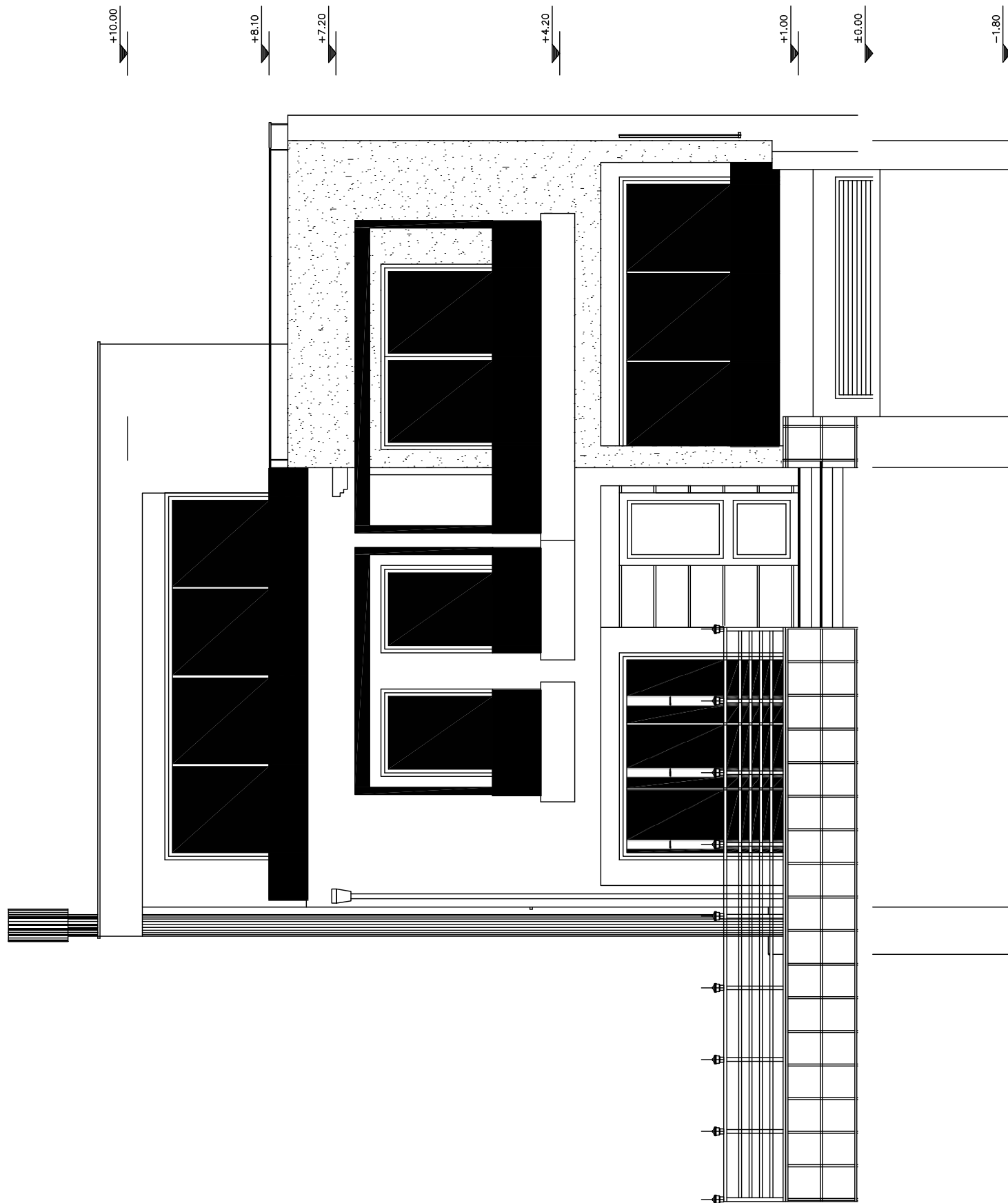
Απόσβεση επένδυσης

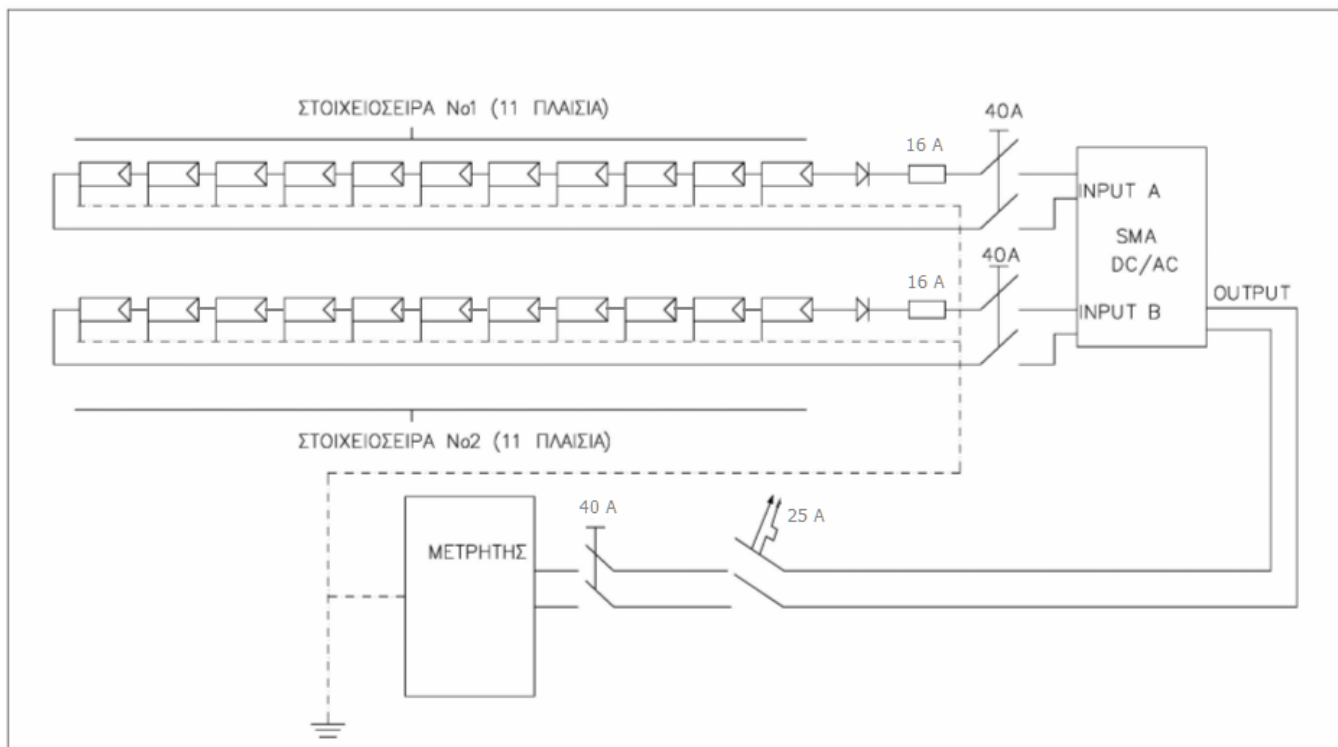
5 χρόνια

Τέλος παρατίθενται τα σχέδια πρόσοψης, κάτοψης που φαίνονται και τα ΦΒ, καθώς επίσης και το ηλεκτρικό σχέδιο.

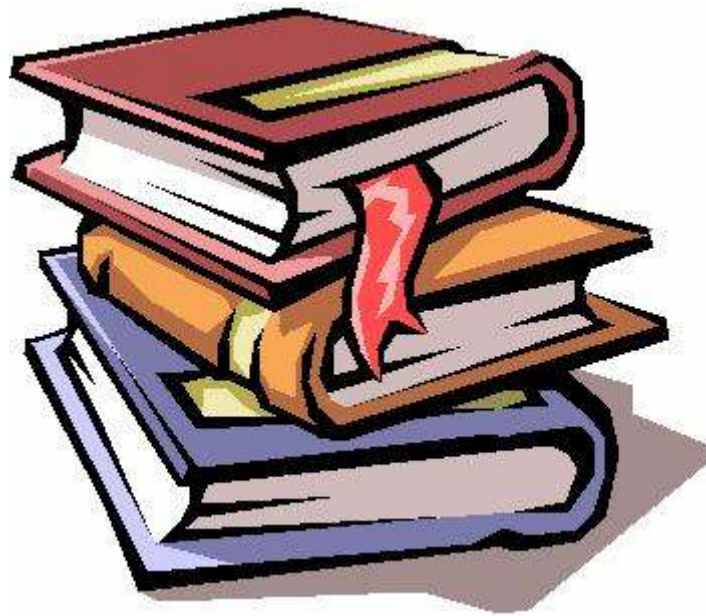








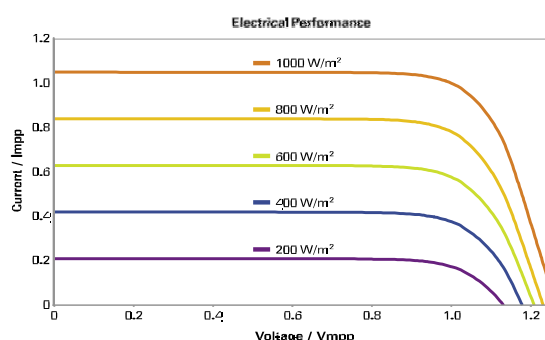
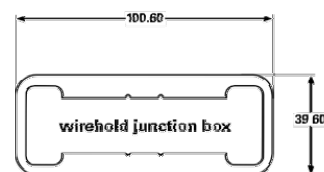
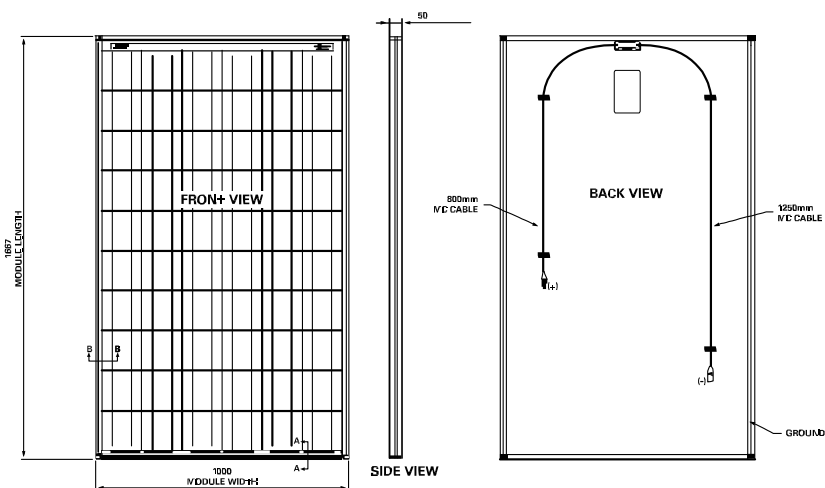
Παράρτημα



Παρατίθενται τα φυλλάδια του κατασκευαστή για τον ηλιακό συλλέκτη BP3230N και τον αναστροφέα SB5000TL

230 Watt Photovoltaic Module of Poly 3-Series BP 3230 N

Module Diagram



Mechanical Characteristics

Solar cells:	60 polycrystalline silicon cells (156 mm x 156 mm) in series using low loss interconnects
Front cover:	High transmission 3.2 mm ARC glass
Encapsulant:	EVA
Back cover:	White polyester
Frame:	Silver anodised aluminium
Diodes:	IntegraBus™ with 6 Schottky diodes
Junction Box:	Potted; certified to meet UL1703 flammability test
Output cables:	3.3 mm ² cable with weatherproof Multi-Contact III connectors. Asymmetrical cable lengths 1250 mm (-) and 800 mm (+).
Dimensions:	1667 mm x 1000 mm x 50 mm
Weight:	19.4 kg

Electrical Module Performance

Maximum Power (P_{max}):	230 W
Tolerance:	+/-3 %
Module efficiency:	13.8 %
Efficiency reduction @ 200 W/m²:	97 % +/-3 %
	STC 800 W/m ² NOCT
Voltage at P_{max} (V_{mpp}):	29.2 V 26.0 V
Current at P_{max} (I_{mpp}):	7.9 A 6.3 A
Short circuit current (I_{sc}):	8.7 A 7.0 A
Open circuit voltage (V_{oc}):	36.4 V 33.1 V
Limiting reverse current:	8.7A
Temperature coefficient of I_{sc}:	(0.065±0.015)%/K
Temperature coefficient of V_{oc}:	-(0.36 ±0.05)%/K
Temperature coefficient of P_{max}:	-(0.5±0.05)%/K
NOCT:	47±2 °C
Maximum series fuse rating:	15 A
Maximum system voltage:	1000 V TÜV SC II 1000 V IEC 61215
Maximum parallel strings w/o fuse:	1 string

Warranty and certification

- Free from defects in materials and workmanship for 5 years.
- 90 % power output over 12 years.
- 80 % power output over 25 years.

IEC 61215 extended wind load 2400 Pa and 5400 Pa snow load in endmounting, hailstone impact test, damp heat test.

According IEC 61730-1 and IEC 61730-2 May 07
TÜV Rheinland as Safety Class II (IEC 60364) equipment for use in systems up to 1000 V.

Listed by Underwriter's Laboratories for electrical and fire safety (Class C fire rating).

Manufactured in ISO 9001 and ISO 14001 certified factories.

Values in accordance with EN 60904-3 (STC).

All solar modules are individually tested prior to shipment, the typical power degradation during the first few days of deployment (LID effect), is incorporated in our factory measurement. All values are in accordance with EN 50380.

Sunny Boy 3000TL / 4000TL / 5000TL



Υψηλή απόδοση

- Μέγιστος βαθμός απόδοσης 97 %
- Τεχνολογία πολλαπλών στοιχειοσειρών*
- Χωρίς μετασχηματιστή με τοπολογία H5
- Διαχείριση σκίασης με το σύστημα OptiTrac Global Peak

Ασφάλεια

- Ενσωματωμένος ηλεκτρονικός διακόπτης απόζευξης φορτίου DC ESS

Ευκολία

- Εύκολη πρόσβαση στην περιοχή σύνδεσης
- Καλωδίωση χωρίς εργαλεία
- Ενιαίο σύστημα σύνδεσης DC SUNCLIX

Καλύτερη επικοινωνία

- Εύκολη ρύθμιση στις προδιαγραφές κάθε χώρας
- Τεχνολογία *Bluetooth*® στο βασικό εξοπλισμό
- Οθόνη γραφικών
- Ρελέ πολλαπλών λειτουργιών στο βασικό εξοπλισμό

Sunny Boy 3000TL / 4000TL / 5000TL

Η νέα γενιά Sunny Boy χωρίς μετασχηματιστή

Ευέλικτοι στην επικοινωνία, φιλικό προς το χρήστη και πιο αποδοτικοί από ποτέ, αυτή η σειρά μετατροπέων Sunny Boy θέτει νέα πρότυπα στην τεχνολογία μετατροπέων. Μοντέρνα οθόνη γραφικών, εμφάνιση ημερήσιων τιμών ακόμα και μετά τη δύση του ηλίου, απλό σύστημα τοποθέτησης και ασύρματη επικοινωνία εγκαταστάσεων με *Bluetooth*. Οι συσκευές της νέας γενιάς εκπληρώνουν κάθε επιθυμία. Με το νέο σύστημα διαχείρισης σκίασης OptiTrac Global Peak και μέγιστο βαθμό απόδοσης 97 %, αυτοί οι μετατροπέες εξασφαλίζουν βέλτιστη ενεργειακή απόδοση. Ως συσκευές πολλαπλών στοιχειοσειρών χωρίς μετασχηματιστή, οι μετατροπέες Sunny Boy 4000TL και 5000TL προσφέρουν μέγιστη ευελιξία κατά το σχεδιασμό της εγκατάστασης – και αποτελούν την πρώτη επιλογή για φωτοβολταϊκά συστήματα με ιδιαίτερη σχεδίαση.

Βιβλιογραφία

1. CHAPIN, D. M., FULLER, C.S and PEARSON, G. L., A new p-n junction photocell for converting solar radiation electrical power, J. Appl. Phys.23; 1954: 676-677.
2. DOSTROVSKY, I. Energy and the Missing Resource, Cambridge University Press Cambridge, 1988.
3. ΚΑΠΕ, Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία, Εφαρμογές στην Ελλάδα, 2001, ΕΠΕ 3.3.10.
4. EGIDO, M. A. and LORENZO, E., The sizing of stand-alone pv systems: a review and a proposed new method, Solar Energy Materials and Solar Cells 26, 1992: 51-69.
5. Γελεγένης –Αξαόπουλος «Πηγές Ενέργειας – Συμβατικές και Ανανεώσιμες», έκδοση Σύγχρονη εκδοτική.
6. Κωνσταντίνος Π. Μπίθας «Οικονομική θεώρηση περιβαλλοντικής προστασίας»
7. Χαρίκλεια Αθανασοπούλου «Οικονομική Ελευθερία και Προστασία του Περιβάλλοντος», εκδόσεις Σάκκουλα.
8. **National Instruments. LabVIEW Basics I: Introduction Course Manual.** USA : National Instruments, 2003.
9. **The Modbus Organization.** [Ηλεκτρονικό] www.modbus.org
10. **Ντοκόπουλος Πέτρος.** Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις Καταναλωτών. *Θεσσαλονίκη :* εκδόσεις ΖΗΤΗ, 2005.
11. **SMA Hellas.** [Ηλεκτρονικό] www.SMA-Hellas.com
12. **Golden A/S.** [Ηλεκτρονικό] www.gma.gr
13. **P. Romanos et al,** PV Hybrid Building Systems using EIB Glasgow : 16th European PV Conference, 2000
14. Scharmer, K, Greif, J.: The European Solar Radiation Atlas, Vol. 1: Fundamentals and maps.
15. Stokes et al., 2004 M. Stokes, M. Rylatt and K. Lomas, A simple model of domestic lighting demand, Energy and Buildings 36 (2004), pp. 103–116.
16. Κ. Καγκαράκης 1992, Φ/Β Τεχνολογία
17. Αργύρης Νομικός, Ο οικολογικός δρόμος της ενέργειας, Τεχνική εκλογή τεύχος 413, Μάιος 2001
18. Χ. Πρωτογερόπουλος, Σ. Τσελεπής, Α. Ζαχαρίου, (Μάρτιος 2001), Επιδεικτικό Έργο Εγκατάστασης Φωτοβολταϊκών Πλαισίων σε Κτίριο του ΚΑΠΕ, συνολικής Ισχύος 5 kWp

19. Σ. Τσελέπης, Αύγουστος 2001, Τεχνική Επιθεώρηση τεύχος 112, Τεχνολογίες παραγωγής φωτοβολταϊκών γεννητριών κρυσταλλικού πυριτίου και λεπτών μεμβρανών και η τρέχουσα κατάσταση στην αγορά φωτοβολταϊκών
20. ΑΡΙΣΤΕΙΔΗ ΘΑΝΑΣΟΥΛΑ, ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ, «Χρήση Ήπιων Μορφών Ενέργειας σε Αγροτικές Περιοχές-Η περίπτωση Φ/Β σταθμού μικρής ισχύος στο Ν. Ηλείας», Αθήνα, Οκτώβριος 2010
21. ΜΠΟΥΥΝΟΒΑΣ ΑΝΔΡΕΑΣ-ΔΗΜΗΤΡΗΣ Διπλωματική Εργασία, «Μελέτη για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκού συστήματος σε μονοκατοικία στον Νομό Ηρακλείου Κρήτης»