



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ
ΤΜΗΜΑ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ

520
ΑΥΤ

ΔΟΜΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΤΟΥ
ΒΑΣΙΛΕΙΟΥ Σ. ΠΑΠΑΒΑΣΙΛΕΙΟΥ

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: ΑΓΓΕΛΟΠΟΥΛΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ
ΙΟΥΛΙΟΣ 2012 ΑΙΓΑΛΕΩ

ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ
ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ
ΤΜΗΜΑ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ**

**ΔΟΜΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ**

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ:

ΜΕΛΗ:

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΤΟΥ
ΒΑΣΙΛΕΙΟΥ Σ. ΠΑΠΑΒΑΣΙΛΕΙΟΥ**

**ΙΟΥΛΙΟΣ 2012
ΑΙΓΑΛΕΩ**

2

**ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ
ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ**

Περίληψη

Η συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία χωρίζεται σε τέσσερα μέρη. Στο πρώτο μέρος εξετάζουμε τις μορφές των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, αναφερόμαστε συγκεκριμένα στα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Ακόμη αναφέρουμε ιστορικά στοιχεία για την εξέλιξη των φωτοβολταϊκών συστημάτων και την τρέχουσα κατάσταση στην Ελλάδα και την Ευρωπαϊκή ένωση.

Στο δεύτερο μέρος εξετάζουμε τα τεχνικά και δομικά στοιχεία μιας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης όπου περιγράφονται αναλυτικά το φωτοβολταϊκό φαινόμενο τα μέρη του φωτοβολταϊκού συστήματος, η λειτουργία και η ηλεκτρική του συμπεριφορά και τα είδη. Συγκεκριμένα περιγράφονται τα φωτοβολταϊκά πλαίσια, οι συσσωρευτές, ο ελεγκτής φορτιστής, τα inverters, περιγράφονται ακόμη τα φωτοβολταϊκά συστήματα εντός και εκτός δικτύου και τέλος τα κινητά συστήματα στήριξης (trackers).

Στο τρίτο μέρος ασχολούμαστε κυρίως με τον έλεγχο μιας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης. Μια φ/β εγκατάσταση μπορεί να μας ενημερώσει σε διάφορες περιπτώσεις όπως είναι οι περιπτώσεις ασφάλειας (αντικλεπτική προστασία), για την κατάσταση της όπου μπορούμε να ελέγξουμε την ενέργεια που παράγεται και πως αυτή κατανέμεται. Τέλος αναφέρουμε τους τρόπους που μπορούμε να μοντελοποιήσουμε το φ/β μας σύστημα.

Στο τέταρτο και τελευταίο μέρος ασχολούμαστε με το νομικό πλαίσιο που υπάρχει γύρω από την εγκατάσταση ενός φ/β συστήματος. Ακόμη αναφέρονται τα οικονομικά στοιχεία από τις επενδύσεις των φωτοβολταϊκών συστημάτων και τα κίνητρα καθώς επίσης και ο χρόνος απόσβεσης της επένδυσης σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα.

Περιεχόμενα

Περίληψη	3
Μέρος 1 ^ο	6
1.1 Σύντομη περιγραφή Α.Π.Ε.	6
1.2 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα ΦΒ Συστημάτων	8
1.3 Ιστορικά στοιχεία	10
1.4 Κατάσταση στην Ελλάδα και στην Ε.Ε	11
Μέρος 2 ^ο	14
2.1 Εισαγωγή από τα ηλεκτρονικά	14
2.2 Φ/Β φαινόμενο	17
2.3 Μέρη Φ/Β Συστήματος	20
2.3.1 ΦΒ στοιχεία	20
2.3.2 Ηλεκτρική συμπεριφορά φωτιζόμενου ΦΒ στοιχείου	21
2.3.3 Είδη Φ/Β Στοιχείων	22
2.3.4 Συνθήκες ελέγχου των χαρακτηριστικών των ΦΒ στοιχείου. Ισχύς αιχμής	25
2.3.5 Βαθμός απόδοσης ΦΒ στοιχείου	26
2.4 Φ/Β πλαίσια	27
2.4.1 Περιγραφή Φ/Β πλαισίου	27
2.4.2 Λειτουργία Φ/Β πλαισίου	28
2.4.3 Συχνά προβλήματα Φ/Β πλαισίων	29
2.4.4 Ισχύς αιχμής ΦΒ πλαισίου	31
2.4.5 Βαθμός απόδοσης ΦΒ πλαισίου	31
2.4.6 Προσανατολισμός και διάταξη ΦΒ πλαισίων	34
2.5 Ηλεκτρικοί συσσωρευτές	39
2.5.1 Περιγραφή	39
2.5.2 Λειτουργία	39
2.5.3 Συσσωρευτής Μολύβδου-θειικού οξέος	40
2.5.4 Σύνδεση συσσωρευτών	41
2.5.5 Χρόνος ζωής συσσωρευτή	42
2.5.6 Επιλογή βάθους φόρτισης	42
2.5.7 Έλεγχος κατάστασης φόρτισης	43
2.5.8 Αυτοεκφόρτιση συσσωρευτή	45
2.5.9 Ρεύμα φόρτισης συσσωρευτή	46
2.5.10 Απόδοση ενέργειας και φορτίου	46
2.5.11 Η επίδραση της θερμοκρασίας λειτουργίας στον χρόνο ζωής του συσσωρευτή	46
2.5.12 Συντελεστής γήρανσης του συσσωρευτή	49
2.6 Ελεγκτής φόρτισης	50
2.6.1 Περιγραφή	50
2.6.2 Κριτήρια επιλογής ελεγκτή φόρτισης	51
2.7 Μετατροπείς τάσης (Inverters)	52
2.7.1 Μετατροπέας συνεχούς τάσης σε συνεχή (DC-DC converter)	52
2.7.2 Μετατροπέας συνεχούς τάσης σε εναλλασσόμενη (DC-AC inverter)	52
2.7.3 Μετατροπέας εναλλασσόμενης τάσης σε συνεχή (AC-DC)	54
2.8 Φ/Β συστοιχία	55
2.8.1. Περιγραφή	55
2.8.2 Βαθμός απόδοσης ΦΒ συστοιχίας	56
2.8.3 Επιφάνεια ΦΒ συστοιχίας	56
2.8.4 Ισχύς αιχμής ΦΒ συστοιχίας	57
2.9 Σχεδιασμός ΦΒ συστοιχίας	58
2.10 ΦΒ συστήματα Εκτός δικτύου (Stand alone ή Off grid)	60
2.10.1 Αυτόνομα ΦΒ συστήματα χωρίς αποθήκευση	60
2.10.2 Αυτόνομα ΦΒ συστήματα με αποθήκευση	60
2.11 ΦΒ συστήματα συνδεδεμένα στο δίκτυο	60
2.12 Κινητά Συστήματα Στήριξης	61

2.12.1 Περιγραφή.....	61
2.12.2 Διάκριση ανάλογα με trackers	61
2.12.3 Πλεονεκτήματα	62
2.12.4 Μειονεκτήματα.....	62
Μέρος 3 ^ο	64
3.1 Απομακρυσμένος έλεγχος Φ/Β Συστήματος.....	64
3.2 Πλεονεκτήματα.....	64
3.3 Ασφάλεια και αντικλεπτική προστασία.....	65
3.4 Έλεγχος της διανομής ενέργειας	65
3.5 Μοντελοποίηση του συστήματος.....	65
3.6 Μεγέθη προς έλεγχο	66
3.7 Απαιτήσεις Λογισμικού.....	66
3.8 Απαιτήσεις hardware.....	67
3.9 Συλλογή δεδομένων	68
Μέρος 4 ^ο	70
4.1 Νομικό πλαίσιο για την ανάπτυξη Φ/Β συστημάτων	70
4.1.1. Εισαγωγή	70
4.1.2 Διαδικασίες Αδειοδότησης Φ/Β Εγκαταστάσεων.....	72
4.1.3 Συστήματα ισχύος μέχρι 20 kWp.....	72
4.1.4 Συστήματα ισχύος μεταξύ 20-150 kWp.....	72
4.1.5. Συστήματα ισχύος από 150 έως 2000KW	75
4.1.6 Συστήματα ισχύος μεγαλύτερης από 2.000 kWp	78
4.1.7 Διαδικασίες Σύνδεσης Φ/Β Εγκαταστάσεων με το Δίκτυο.....	80
4.2 Οικονομικές συνθήκες στην επένδυση Φ/Β συστημάτων.....	83
4.2.1 Εισαγωγή.....	83
4.2.2 Κίνητρα για ανάπτυξη οικιακών ΦΒ Συστημάτων	84
4.2.3 Χρόνος απόσβεσης επένδυσης σε ΦΒ Σύστημα	86

Μέρος 1^ο

1.1 Σύντομη περιγραφή Α.Π.Ε.

Ως Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) ορίζονται οι ενεργειακές πηγές (ο ήλιος, το νερό, ο άνεμος, η βιομάζα, κλπ.), οι οποίες υπάρχουν σε αφθονία στο φυσικό μας περιβάλλον. Είναι οι πρώτες μορφές ενέργειας που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος, σχεδόν αποκλειστικά, μέχρι τις αρχές του 20ου αιώνα, οπότε και στράφηκε στην εντατική χρήση του άνθρακα και των υδρογονανθράκων. Κάποιες μορφές ΑΠΕ παρουσιάζονται παρακάτω.

Αιολική Ενέργεια: η κινητική ενέργεια που παράγεται από τη δύναμη του ανέμου και μετατρέπεται σε μηχανική ή / και σε ηλεκτρική ενέργεια

Υδραυλική Ενέργεια: αξιοποιεί τις υδατοπτώσεις, με στόχο την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή και το μετασχηματισμό της σε μηχανική ενέργεια

Βιομάζα: είναι αποτέλεσμα της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας, που μετασχηματίζει την ηλιακή ενέργεια με μία σειρά διεργασιών των φυτικών οργανισμών χερσαίας ή υδρόβιας προέλευσης.

Γεωθερμική Ενέργεια: η θερμική ενέργεια που προέρχεται από το εσωτερικό της γης και εμπεριέχεται σε φυσικούς ατμούς, σε επιφανειακά ή υπόγεια θερμά νερά και σε θερμά ξηρά πετρώματα

Ηλιακή Ενέργεια: αξιοποιείται μέσω τεχνολογιών που εκμεταλλεύονται και τη θερμότητα και τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα του ήλιου.

Ειδικότερα, οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας, διακρίνονται σε:

Ενεργητικά Ηλιακά Συστήματα: μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε θερμότητα

Παθητικά Ηλιακά και Υβριδικά Συστήματα: αφορούν κατάλληλες αρχιτεκτονικές λύσεις και χρήση κατάλληλων δομικών υλικών για τη μεγιστοποίηση της απ' ευθείας εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας για θέρμανση, κλιματισμό ή φωτισμό.

Φ/Β Ηλιακά Συστήματα (Φ/Β): μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια άμεσα σε ηλεκτρική ενέργεια

Το ενδιαφέρον για την ευρύτερη αξιοποίηση των ΑΠΕ, καθώς και για την ανάπτυξη αξιόπιστων και οικονομικά αποδοτικών τεχνολογιών παρουσιάστηκε αρχικά μετά την πρώτη πετρελαϊκή κρίση του 1979 και παγιώθηκε την τελευταία δεκαετία, μετά τη συνειδητοποίηση των παγκόσμιων περιβαλλοντικών προβλημάτων. Τα πλεονεκτήματα των ΑΠΕ και κυρίως η ουσιαστική συμβολή τους στην ενεργειακή απεξάρτηση της ανθρωπότητας από τους εξαντλήσιμους ενεργειακούς πόρους, επιτάσσουν τη στρόφη σε τέτοιου είδους πηγές ενέργειας.

Για πολλές χώρες, οι ΑΠΕ αποτελούν μία σημαντική εγχώρια πηγή ενέργειας, με μεγάλες δυνατότητες ανάπτυξης σε τοπικό και εθνικό επίπεδο. Συνεισφέρουν σημαντικά στο ενεργειακό τους ισοζύγιο, συμβάλλοντας στη μείωση της εξάρτησης από το ακριβό και εισαγόμενο πετρέλαιο και στην ενίσχυση της ασφάλειας του ενεργειακού τους εφοδιασμού. Παράλληλα, συντελούν και στην προστασία του περιβάλλοντος, καθώς έχει πλέον διαπιστωθεί ότι ο ενεργειακός τομέας είναι ο πρωταρχικός υπεύθυνος για τη ρύπανση του περιβάλλοντος καθώς από αυτόν οφείλεται σχεδόν το 95% της ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Στην συνέχεια θα επεκταθούμε στην τεχνολογία των ΦΒ Συστημάτων εξετάζοντας τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα από την χρήση τους παραθέτοντας κάποια ιστορικά στοιχεία και τέλος παρουσιάζοντας την κατάσταση που επικρατεί όσο αναφορά την ανάπτυξή τους στην χώρα μας καθώς και στην Ευρωπαϊκή Ένωση.

1.2 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα ΦΒ Συστημάτων

Για την χρησιμοποίηση Φ/Β Συστημάτων θα μπορούσαμε να ξεχωρίσουμε κάποια βασικά πλεονεκτήματα:

Καταρχάς η ηλιακή ενέργεια είναι μια καθαρή, ανεξάντλητη, ήπια και ανανεώσιμη ενεργειακή πηγή και η βαθμιαία αύξηση των μικρών ηλεκτροπαραγωγών μπορεί να καλύψει αποτελεσματικά τη διαρκή αύξηση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία σε διαφορετική περίπτωση θα έπρεπε να καλυφθεί με μεγάλες επενδύσεις για σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής.

Η παραγωγή ηλεκτρισμού από μικρούς παραγωγούς μπορεί να περιορίσει επίσης την ανάγκη επενδύσεων σε νέες γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Το κόστος μιας νέας γραμμής μεταφοράς είναι πολύ υψηλό, αν λάβουμε υπόψη μας πέρα από τον τεχνολογικό εξοπλισμό και θέματα που σχετίζονται με την εξάντληση των φυσικών πόρων και τις αλλαγές στις χρήσεις γης.

Επίσης, η μέγιστη παραγωγή ηλιακού ηλεκτρισμού συμπίπτει χρονικά με τις ημερήσιες αιχμές της ζήτησης (ιδίως τους καλοκαιρινούς μήνες), βοηθώντας έτσι στην εξομάλυνση των αιχμών φορτίου, στην αποφυγή black out ,με ότι αυτά συνεπάγονται και στη μείωση του συνολικού κόστους της ηλεκτροπαραγωγής, δεδομένου ότι η κάλυψη αυτών των αιχμών είναι ιδιαίτερα δαπανηρή.

Όσο αναφορά τα Φ/Β συστήματα ως κατασκευές μπορούμε να παραθέσουμε τα παρακάτω πλεονεκτήματα.

Παράγουν μηδενική ρύπανση καθώς δεν χρησιμοποιούν κανενός είδους καύσιμο. Η λειτουργία τους είναι εντελώς αθόρυβη, μπορούν να λειτουργήσουν αξιόπιστα και χωρίς την παρουσία χειριστή, καθώς χρειάζονται ελάχιστη συντήρηση, και αυτό τα κάνει ιδανικά για να εγκατασταθούν και να λειτουργούν σε απομακρυσμένες περιοχές και βέβαια χωρίς προβλήματα κάτω από όλες τις καιρικές συνθήκες. Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να αναφέρουμε ότι η χώρα μας λόγω του υψηλού δείκτη ηλιοφάνειας αποτελεί ιδανικό μέρος για ανάπτυξη και επέκταση επενδυτών στον τομέα των Φ/Β συστημάτων. Επίσης μπορούν να εγκατασταθούν πάνω σε ήδη υπάρχουσες κατασκευές, όπως είναι π.χ. η στέγη ενός σπιτιού ή η πρόσοψη ενός κτιρίου, Προσφέρουν ακόμα ευελιξία στις εφαρμογές καθώς λειτουργούν άριστα τόσο ως αυτόνομα συστήματα, όσο και ως αυτόνομα υβριδικά συστήματα όταν συνδυάζονται με άλλες πηγές ενέργειας (συμβατικές ή ανανεώσιμες) και συσσωρευτές για την αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας. Επιπλέον, ένα μεγάλο πλεονέκτημα του Φ/Β συστήματος είναι ότι μπορεί να διασυνδεθεί με το δίκτυο ηλεκτροδότησης (διασυνδεδεμένο σύστημα), καταργώντας με τον τρόπο αυτό την ανάγκη για εφεδρεία και δίνοντας επιπλέον τη δυνατότητα

στον χρήστη να πουλήσει τυχόν πλεονάζουσα ενέργεια στον διαχειριστή του ηλεκτρικού δικτύου.

Τέλος θα μπορούσαμε να αναφέρουμε ότι τα Φ/Β μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δομικά υλικά παρέχοντας τη δυνατότητα για καινοτόμους αρχιτεκτονικούς σχεδιασμούς, καθώς διατίθενται σε ποικιλία χρωμάτων, μεγεθών, σχημάτων και μπορούν να παρέχουν ευελιξία και πλαστικότητα στη φόρμα, ενώ δίνουν και δυνατότητα διαφορικής διαπερατότητας του φωτός ανάλογα με τις ανάγκες του σχεδιασμού. Αντικαθιστώντας άλλα δομικά υλικά συμβάλλουν στη μείωση του συνολικού κόστους μιας κατασκευής και ακόμα παρέχουν κύρος στο χρήστη τους και βελτιώνουν το image των επιχειρήσεων που τα επιλέγουν.

Σαν παράγοντες οι οποίοι αποτρέπουν την χρήση Φ/Β συστημάτων θα μπορούσαμε να αναφέρουμε το υψηλό αρχικό κόστος της επένδυσης το οποίο όμως υποσκελίζεται από το σχεδόν μηδενικό κόστος συντήρησης. Μια γενική ενδεικτική τιμή είναι 6000 Ευρώ ανά εγκατεστημένο κιλοβάτ (kW) ηλεκτρικής ισχύος. Λαμβάνοντας υπόψη ότι μια τυπική οικιακή κατανάλωση στην Ελλάδα απαιτεί από 1,5 έως 3,5 κιλοβάτ, το κόστος της εγκατάστασης δεν είναι αμελητέο. Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να πούμε ότι η ανάπτυξη τέτοιων συστημάτων προμοδοτείται από τις εκάστοτε κυβερνήσεις με χρηματοδοτήσεις το ύψος των οποίων αλλάζει διαρκώς.

Ακόμα ο βαθμός απόδοσης τους κυμαίνεται στο 17% ανάλογα με το είδος των στοιχείων που χρησιμοποιούνται, βαθμός ο οποίος είναι ακόμα χαμηλός παρόλη την ανάπτυξη της τεχνολογίας των ηλιακών κυψελών τα τελευταία χρόνια.

1.3 Ιστορικά στοιχεία

Η πρώτη γνωριμία του ανθρώπου με το Φ/Β φαινόμενο έγινε το 1839 όταν ο Γάλλος φυσικός Edmond Becquerel (1820 - 1891) ανακάλυψε το Φ/Β φαινόμενο κατά την διάρκεια πειραμάτων του με μια ηλεκτρολυτική επαφή φτιαγμένη από δύο μεταλλικά ηλεκτρόδια.

Το επόμενο σημαντικό βήμα έγινε το 1876 όταν οι Adams (1836 - 1915) και ο φοιτητής του Day παρατήρησαν ότι μια ποσότητα ηλεκτρικού ρεύματος παραγόταν από το σελήνιο (Se) όταν αυτό ήταν εκτεθειμένο στο φως.

Το πρώτο ηλιακό κελί ήταν γεγονός στα εργαστήρια της Bell το 1954 από τους Chapin, Fuller και Pearson. Η απόδοση του ήταν 6% εκμετάλλευση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας.

Τέσσερα χρόνια μετά, το 1958 η τεχνολογία των Φ/Β συστημάτων προσαρτάται στον χώρο των διαστημικών εφαρμογών όταν τοποθετήθηκε ένα αυτόνομο Φ/Β σύστημα στον δορυφόρο Vanguard I . Το σύστημα αυτό λειτούργησε επιτυχώς για 8 ολόκληρα χρόνια και ήταν ένα από τα πρώτα Φ/Β συστήματα.

Από το χρονικό αυτό σημείο και μετά, τα Φ/Β συστήματα άρχισαν να ενσωματώνονται σταδιακά σε διάφορες εφαρμογές και η τεχνολογία να βελτιώνεται συνεχώς.

Το 1962 η μεγαλύτερη ΦΒ εγκατάσταση στον κόσμο γίνεται στην Ιαπωνία από την Sharp, σε έναν φάρο. Η εγκατεστημένη ισχύς του συστήματος είναι 242 Wp.

Τα Φ/Β ξεκίνησαν να κάνουν την εμφάνιση τους αλλά λόγω του υψηλού κόστους παραγωγής η εφαρμογή τους ήταν δυνατή μόνο σε ειδικές περιπτώσεις αυτόνομων συστημάτων. Η έρευνα όμως προχωρούσε και η απόδοση των ΦΒ συνεχώς βελτιωνόταν. Κυριότερος πελάτης των Φ/Β τις δεκαετίες που ακολούθησαν είναι η NASA. Η πρώτη εγκατάσταση Φ/Β που φτάνει στα επίπεδα του 1MW γίνεται στην Καλιφόρνια το 1980 από την ARCO Solar χρησιμοποιώντας ταυτόχρονα και σύστημα παρακολούθησης της τροχιάς του ηλίου 2 αξόνων (dual-axis trackers).

Το 1999 η εταιρία Spectrolab σε συνεργασία με το NREL αναπτύσσουν ένα Φ/Β στοιχείο με απόδοση 32,3%. Το στοιχείο αυτό είναι συνδυασμός τριών υλικών (στρώσεων) και ειδικό για εφαρμογές σε συγκεντρωτικά συστήματα CPV. Την ίδια χρονιά το ρεκόρ στην απόδοση των Thin Films φτάνει στο 18.8%. Η παραγωγή όλων των τεχνολογιών των ΦΒ πάνελ φτάνει συνολικά τα 200 MW.

Από το 2004 μαζική είσοδος μεγάλων εταιρειών στον χώρο των ΦΒ φέρνει την μαζική παραγωγή και αυτή με την σειρά της την τιμή των διασυνδεδεμένων συστημάτων στα 6,5 ευρώ/Wp. Η Γερμανία και η Ιαπωνία κυριαρχούν στην κατασκευή ΦΒ πάνελ και πλέον σε όλες τις αναπτυγμένες χώρες αρχίζουν, είτε με

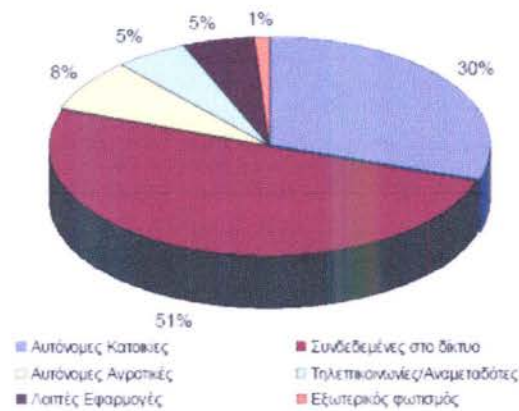
παραγωγή εξοπλισμού είτε με κατασκευή ΦΒ εγκαταστάσεων, να υιοθετούν τις τεχνολογίες των Φ/Β και να τις παγιώνουν στην συνείδηση των επενδυτών αλλά και των καταναλωτών ενέργειας.



Εικόνα 1. Εγκατάσταση Φ/Β συστήματος σε στέγη

1.4 Κατάσταση στην Ελλάδα και στην Ε.Ε

Όσο αφορά την κατάσταση στην χώρα μας παρ' όλες τις ιδανικές συνθήκες που επικρατούν για την ανάπτυξη τέτοιου είδους τεχνολογιών, έχουμε μείνει πίσω συγκριτικά με τις υπόλοιπες ευρωπαϊκές χώρες, Μόλις τα τελευταία χρόνια ξεκίνησε στην Ελλάδα η πιο συστηματική ανάπτυξη των Φ/Β που την φέρνει σήμερα στην 15η θέση στην Ευρώπη σε εγκατεστημένη ισχύ. Η εγκατεστημένη ισχύς Φ/Β συστημάτων φτάνει σήμερα τα 200 MW, ενώ αναμένεται να διπλασιαστεί τα επόμενα 5 χρόνια (πηγή: ΚΑΠΕ). Τα μεγέθη αυτά είναι μηδαμινά σε σχέση με τις δυνατότητες που υπάρχουν στον ελληνικό χώρο Τα Φ/Β συστήματα επιδοτούνται από το Ελληνικό κράτος μέσω επενδυτικών νόμων και αναπτυξιακών προγραμμάτων. Τα κίνητρα αυτά έχουν ήδη δείξει τα πρώτα αποτελέσματα, και πλέον βλέπουμε τη δημιουργία Φ/Β πάρκων σε πολλές περιοχές της χώρας, και την εγκατάσταση Φ/Β συστημάτων σε καινούργια ή και παλιότερα σπίτια Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην χώρα μας από ΦΒ συστήματα ξεκίνησε συστηματικά το 1999 σε σταθμούς βάσης εταιρειών σταθερής τηλεφωνίας και σε εγκαταστάσεις φάρων από την υπηρεσία φάρων του Πολεμικού Ναυτικού. Το μεγαλύτερο μερίδιο στην αγορά ΦΒ συστημάτων στην Ελλάδα το κατέχουν τα συνδεδεμένα με το δίκτυο συστήματα (περίπου 50%) ενώ τα αυτόνομα συστήματα καταλαμβάνουν περίπου το 30%.

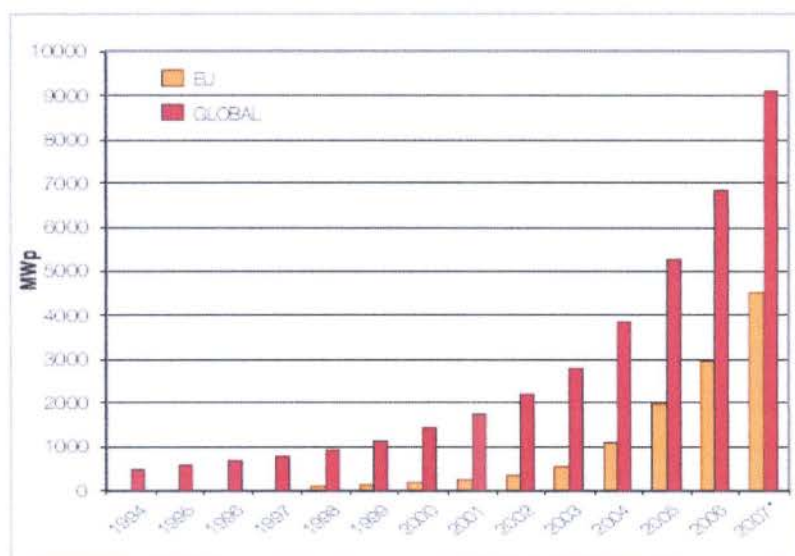


Διάγραμμα 1. Κατανομή Αυτόνομων και Διασυνδεδεμένων συστημάτων

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θέσει ως στόχο της για το 2020 το 20% της κατανάλωσης ενέργειας να προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές. Ως προς την ηλιοθερμική ενέργεια η Ελλάδα ήταν πρωτοπόρος χώρα στην Ευρώπη τις τελευταίες δεκαετίες με περίπου ένα εκατομμύριο εγκατεστημένους ηλιακούς θερμοσίφωνες, που συμβάλουν σημαντικά στην εξοικονόμηση ενέργειας και στην προστασία του περιβάλλοντος, αξιοποιώντας το ανεξάντλητο ηλιακό δυναμικό. Τώρα μένει να γίνει το ίδιο και ως προς την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Οι προϋποθέσεις μάλιστα για τα Φ/Β Συστήματα είναι ακόμα καλύτερες, αφού τα Φ/Β συστήματα παρουσιάζουν την μέγιστη παραγωγή ακριβώς εκείνες τις ώρες της ημέρας που και η κατανάλωση (ζήτηση) φτάνει στο μέγιστο και η ΔΕΗ ζητά από όλους τους καταναλωτές να περιορίσουν την ζήτηση ή αναγκάζεται να κάνει περικοπές.

Οι χώρες οι οποίες κατέχουν στην Ευρώπη την μερίδα του λέοντος στην παραγωγή και στην εκμετάλλευση των ΦΒ Συστημάτων είναι η Γερμανία και ακολουθούν οι Ισπανία, Ιταλία και Ολλανδία. Ειδικά στην Γερμανία προωθήθηκαν Εθνικά προγράμματα τα οποία διευκόλυναν την ανάπτυξη φβ εγκαταστάσεων σε στέγες κάτι που είχε ως αποτέλεσμα η Γερμανία να κατέχει περίπου το 71% του συνολικού μεγέθους της ευρωπαϊκής αγοράς (πηγή:ΚΑΠΕ). Από την ανάλυση των παραπάνω στοιχείων προκύπτει ότι δημιουργήθηκαν περίπου 15.000 άμεσες θέσεις εργασίας οι οποίες αφορούν υψηλής τεχνολογίας απασχόληση.

Η Ευρώπη κατέχει περίπου το 30% του μεριδίου της παραγωγής ΦΒ κυψελών το οποίο είναι το μεγαλύτερο παγκοσμίως. Ο τζίρος της συγκεκριμένης βιομηχανίας σχεδόν διπλασιάστηκε το 2007 από 5,7 σε 9,4 εκατομμύρια ευρώ επίσης οι κατά την ίδια περίοδο οι θέσεις εργασίας στην αυξήθηκαν περίπου κατά 75% (πηγή:ΚΑΠΕ). Το 2007 η συνολική εγκατεστημένη ισχύς ανέρχονταν στα 450MWp δηλαδή στο 50% της παγκόσμιας εγκατεστημένης ισχύος.

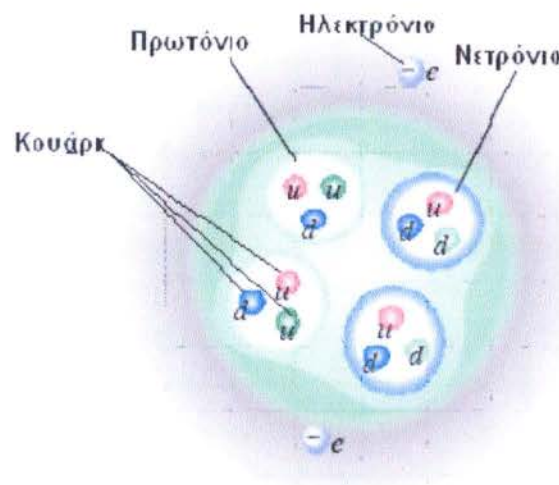


Διάγραμμα 2. Κατανομή μεριδίου παραγωγής Ευρωπαϊκής Ένωσης-Υπόλοιπου κόσμου

Μέρος 2^ο

2.1 Εισαγωγή από τα ηλεκτρονικά

Κάθε στερεό σώμα αποτελείται από άτομα, και κάθε άτομο περιλαμβάνει έναν πυρήνα γύρω από τον οποίο περιστρέφεται σε συγκεκριμένες τροχιές (στοιβάδες) ένας αριθμός ηλεκτρονίων. Ο πυρήνας περιλαμβάνει θετικό ηλεκτρικό φορτίο ίσο και αντίθετο με το αρνητικό φορτίο των ηλεκτρονίων που διατάσσονται γύρω από αυτόν. Ειδικά τα ηλεκτρόνια της εξωτερικής στοιβάδας ονομάζονται ηλεκτρόνια σθένους, από τα οποία κάθε ένα βρίσκεται σε μια συγκεκριμένη στάθμη ενέργειας.



Εικόνα 2. Η δομή του ατόμου

Ανάλογα με την ηλεκτρική τους αγωγιμότητα τα στερεά σώματα κατατάσσονται σε μονωτές αγωγούς και ημιαγωγούς. Από την άποψη της ηλεκτρικής τους συμπεριφοράς τα ηλεκτρόνια των ημιαγωγών είναι τριών ειδών

- Ηλεκτρόνια εσωτερικών στοιβάδων, τα οποία είναι τα λιγότερο ενεργά και δεν συμμετέχουν σε μηχανισμούς αγωγιμότητας.
- Ελεύθερα ηλεκτρόνια, των οποίων η ενέργεια είναι αρκετά μεγάλη ώστε να αποσπαστούν από τους δεσμούς του σώματος και τέλος

- Ηλεκτρόνια σθένους τα οποία βρίσκονται στην εξωτερική στοιβάδα του ατόμου και έχουν την δυνατότητα να κινηθούν προς τις οπές διπλανών δεσμών, οι οποίες δημιουργήθηκαν επειδή τα εκεί ηλεκτρόνια εγκατέλειψαν τις θέσεις τους, καθώς επίσης και να ανταλλάξουν θέσεις με άλλα ηλεκτρόνια σθένους γειτονικών δεσμών.

Κάθε ημιαγωγός έχει τρεις ζώνες ενέργειας.

Την εσωτερική ενεργειακή ζώνη στην οποία βρίσκονται τα ηλεκτρόνια των εσωτερικών στοιβάδων. Την ζώνη σθένους, στην οποία ανήκουν τα ηλεκτρόνια της εξωτερικής στοιβάδας και τέλος την ζώνη αγωγιμότητας στην οποία βρίσκονται τα ελεύθερα ηλεκτρόνια τα οποία είναι υπεύθυνα για το φαινόμενο της ηλεκτρικής αγωγιμότητας.

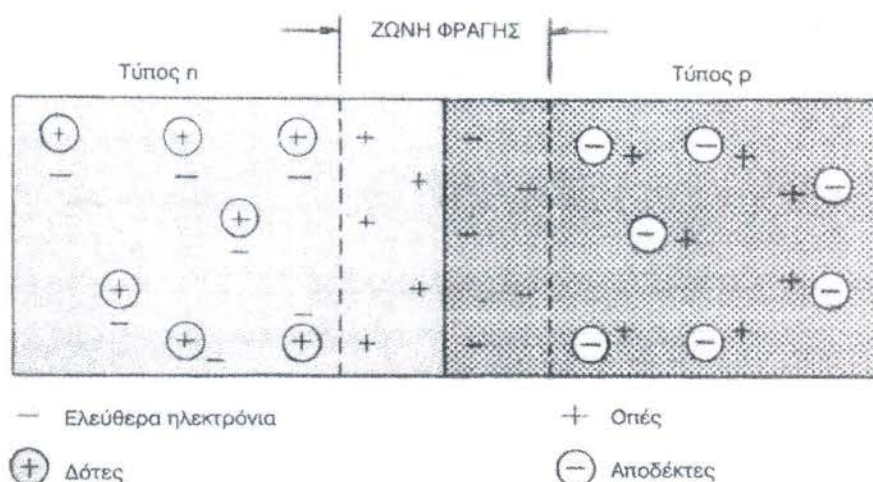
Η απόσταση ανάμεσα στην ζώνη σθένους και στην ζώνη αγωγιμότητας ονομάζεται ενεργειακό χάσμα και συμβολίζεται με E_g . Προφανώς η ελάχιστη ενέργεια που απαιτείται για να μετατραπεί ένα ηλεκτρόνιο σθένους σε ελεύθερο ηλεκτρόνιο ισούται με E_g . Τα ηλεκτρόνια σθένους μπορούν να απορροφήσουν σημαντική ποσότητα φωτός. Η απορρόφηση αυτή καθορίζεται από το μέγεθος της ενέργειας του φωτονίου ($h\nu$) σε σχέση με το ενεργειακό χάσμα E_g . Διακρίνουμε λοιπόν τρεις περιπτώσεις:

- $h\nu < E_g$. Η ενέργεια του φωτονίου είναι μικρότερη από αυτήν του ενεργειακού χάσματος οπότε το φωτόνιο δεν απορροφάται.
- $h\nu > E_g$. Η ενέργεια του φωτονίου είναι μεγαλύτερη από αυτήν του ενεργειακού χάσματος οπότε το φωτόνιο απορροφάται από ένα ηλεκτρόνιο σθένους το οποίο γίνεται πλέον ελεύθερο ηλεκτρόνιο το οποίο αφήνει πίσω του μια οπή και η περίσσεια ενέργειας μετατρέπεται σε θερμότητα.
- $h\nu = E_g$. Η ενέργεια του φωτονίου είναι ίση με αυτήν του ενεργειακού χάσματος οπότε απορροφάται από ένα ηλεκτρόνιο σθένους το οποίο όπως και παραπάνω ανεβαίνει ενεργειακά στην ζώνη αγωγιμότητας

Οπότε από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι όταν ένας ημιαγωγός φωτιστεί τα ηλεκτρόνια στην ζώνη αγωγιμότητας και οι οπές στην ζώνη σθένους αυξάνονται οπότε αυξάνεται και η αγωγιμότητα του.

Ένας ημιαγωγός τύπου N προκύπτει αν από τον αντίστοιχο καθαρό ημιαγωγό αντικατασταθούν μερικά από τα άτομα του με άτομα υλικού μεγαλύτερου σθένους. Έτσι επιτυγχάνουμε ο ημιαγωγός τύπου N να έχει ένα ελεύθερο ηλεκτρόνιο ανά άτομο πρόσμειξης, τα οποία άτομα ονομάζονται δότες καθώς έχουν περίσσεια ηλεκτρονίων σε σχέση με τον καθαρό αγωγό.

Αντίθετα ένας ημιαγωγός τύπου P προκύπτει αν από τον αντίστοιχο καθαρό ημιαγωγό αντικατασταθούν μερικά από τα άτομα του με άτομα υλικού μικρότερου σθένους. Έτσι επιτυγχάνουμε ο ημιαγωγός τύπου P να έχει μια σπή ανά άτομο πρόσμειξης, τα οποία άτομα ονομάζονται δέκτες καθώς μπορούν να δεχτούν ένα ηλεκτρόνιο σε σχέση με τον καθαρό αγωγό.



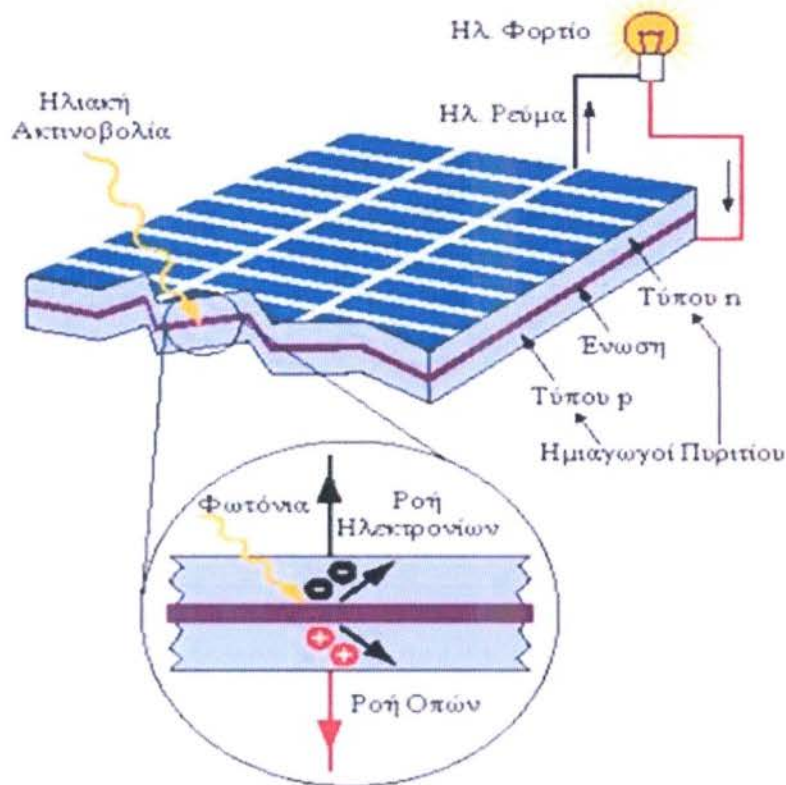
Εικόνα 3. Δίοδος επαφής PN

Στο σημείο επαφής των δύο ημιαγωγών έχουμε μετακίνηση των ηλεκτρονίων του ημιαγωγού N προς τις οπές του ημιαγωγού P. Η μετακίνηση αυτή έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία ιόντων στο σημείο της επαφής των δυο ημιαγωγών. Η διαφορά δυναμικού μεταξύ των δυο πλευρών εμποδίζει την ανταλλαγή ηλεκτρονίων-οπών και ονομάζεται ζώνη φραγής. Η ιδιότητα αυτή δίνει την δυνατότητα στην δίοδο επαφής να άγει ή να μην άγει ρεύμα αν πολωθεί ,αντίστοιχα, ορθά ή ανάστροφα με την πηγή ρεύματος.

2.2 Φ/Β φαινόμενο

Οι βασικές προϋποθέσεις για να δημιουργηθεί το Φ/Β φαινόμενο είναι δύο. Η πρώτη είναι το ημιαγωγό υλικό να έχει την χαρακτηριστική ιδιότητα της φωτοαγωγιμότητας η οποία εκφράζει και την ηλεκτρική συμπεριφορά του ημιαγωγού. Η φωτοαγωγιμότητα παρόλα αυτά δεν αρκεί για την εμφάνιση του Φ/Β φαινομένου. Τα ελεύθερα ηλεκτρόνια που εμφανίζονται με την βοήθεια των φωτονίων, με τον τρόπο που αναφέραμε παραπάνω, πρέπει να τεθούν σε κίνηση με κάποιο μηχανισμό. Ο μηχανισμός αυτός είναι το ηλεκτρικό πεδίο που δημιουργείται στο σημείο επαφής των δυο διαφορετικών υλικών του ημιαγωγού. Το πεδίο αυτό μπορεί να κινήσει τα φωτοδημιουργούμενα ελεύθερα ηλεκτρόνια. Το εύρος του συγκεκριμένου πεδίου καθορίζει ως ένα βαθμό το αποδοτικό ποσοστό του αναρροφούμενου φωτός και κατά συνέπεια το μέγεθος του αριθμού των φωτοδημιουργούμενων ελεύθερα ηλεκτρονίων. Συνοπτικά για να παρουσιαστεί Φ/Β φαινόμενο χρειάζεται η δημιουργία μιας διάταξης δυο φωτοαγώγιμων ημιαγωγικών υλικών και η έκθεσή τους στο φώς.

Σύμφωνα με αυτά που αναφέραμε στην προηγούμενη παράγραφο όταν μια δίοδος επαφής δέχεται ηλιακή ακτινοβολία κάθε φωτόνιο της ακτινοβολίας με ενέργεια $h\nu$ ίση ή μεγαλύτερη από το ενεργειακό χάσμα του ημιαγωγού έχει την δυνατότητα να απορροφηθεί από έναν χημικό δεσμό και να απελευθερώσει ένα ηλεκτρόνιο. Όσο λοιπόν διαρκεί η πρόσπτωση της ακτινοβολίας δημιουργείται μία περίσσεια ηλεκτρονίων και οπών. Όταν τα ζεύγη αυτά βρεθούν στην περιοχή της επαφής των ημιαγωγών έχουμε εκτροπή των ηλεκτρονίων προς τον ημιαγωγό N και των οπών προς τον ημιαγωγό P.



Εικόνα 4. Φ/Β φαινόμενο

Έχουμε δηλαδή την δημιουργία μιας διαφοράς δυναμικού μεταξύ των ακροδεκτών των δυο τμημάτων της διόδου όσο διαρκεί και η πρόσπτωση της ακτινοβολίας σε αυτήν. Το γεγονός αυτό ονομάζεται Φ/Β φαινόμενο. Η διάταξη αυτή λέγεται Φ/Β στοιχείο και το παραγόμενο ρεύμα φωτόρευμα.

Οι φορείς (ηλεκτρόνια-οπές) οι οποίοι συμβάλλουν στην δημιουργία φωτορεύματος είναι μέρος εκείνων που δημιουργεί το φως σε όλο τον όγκο της ημιαγωγικής διάταξης. Συνεπώς η τιμή του φωτορεύματος είναι ευθέως ανάλογη του πλήθους των απορροφούμενων ηλεκτρονίων το οποίο είναι επίσης ευθέως ανάλογο των προσπίπτόντων φωτονίων των οποίων η συνολική ενέργεια ανά μονάδα χρόνου και επιφάνειας αποτελεί την πυκνότητα ισχύος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας E (w/m^2).

Προφανώς είναι αδύνατη η μετατροπή όλης της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται το ΦΒ στοιχείο σε ηλεκτρική ενέργεια. Ένα μέρος ανακλάται στην επιφάνεια του προς την ατμόσφαιρα. Από την ακτινοβολία που εισέρχεται στο ΦΒ στοιχείο δεν μπορεί να απορροφηθεί το μέρος εκείνο το οποίο έχει ενέργεια ην μικρότερη από το ενεργειακό χάσμα E_g του ημιαγωγού. Για τα φωτόνια αυτά το στοιχείο συμπεριφέρεται σαν διάφανο σώμα, δηλαδή το μόνο που κάνουν είναι να θερμαίνουν την όλη διάταξη. Τα μόνα 'χρήσιμα' φωτόνια δηλαδή είναι αυτά τα οποία έχουν ενέργεια μεγαλύτερη ή ίση με το ενεργειακό χάσμα του υλικού του ημιαγωγού. (αν

και η περίσσεια ενέργειας των ηλεκτρονίων με μεγαλύτερη ενέργεια από E_g μετατρέπεται πάλι σε θερμότητα).

Τέλος θα πρέπει να αναφέρουμε ότι κάθε υλικό χαρακτηρίζεται από έναν συντελεστή απορρόφησης α_λ ο οποίος εξαρτάται από το μήκος κύματος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας καθώς και από το υλικό του ημιαγωγού. Προφανώς ο συντελεστής απορρόφησης μηδενίζεται πάνω από κάποια συγκεκριμένη τιμή του μήκους κύματος όπου το υλικό γίνεται διαφανές και τα φωτόνια δεν απορροφώνται από τα ηλεκτρόνια της ζώνης σθένους του ημιαγωγού.

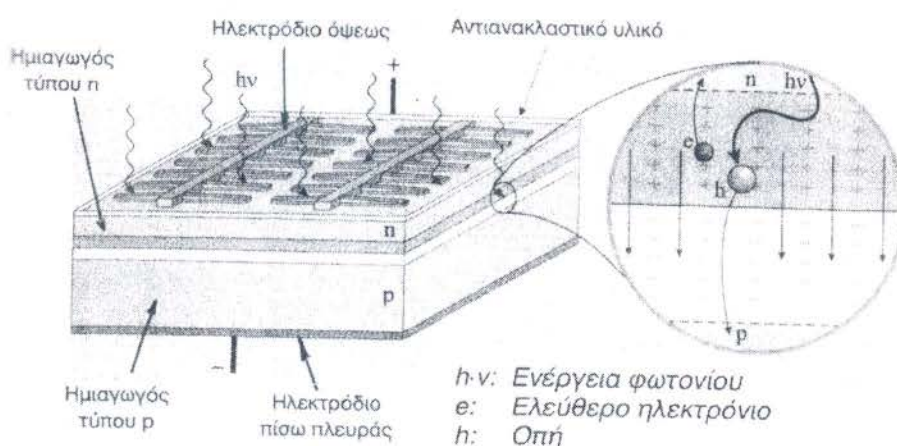
2.3 Μέρη Φ/Β Συστήματος

2.3.1 Φ/Β στοιχεία

Το πυρίτιο είναι ένα από τα πιο διαδεδομένα υλικά για την κατασκευή ΦΒ στοιχείων. Το καθαρό πυρίτιο παράγεται έπειτα από μακρά επεξεργασία στην τελευταία φάση της οποίας τήκεται και ανακρυσταλλώνεται σε κυλινδρική μονοκρυσταλλική μορφή διαμέτρου περίπου 10 εκ. και έχει πολύ υψηλή καθαρότητα.

Στην συνέχεια από τον κύλινδρο αυτό κόβονται δίσκοι πάχους μισού χιλιοστού οι οποίοι διαμορφώνονται σε δίοδους επαφής p-n με τις κατάλληλες προσμίξεις για να σχηματιστεί το ΦΒ στοιχείο.

Όπως αναφέραμε παραπάνω το ΦΒ στοιχείο αποτελεί την μικρότερη μονάδα παραγωγής ρεύματος από την ηλιακή ακτινοβολία. Κάθε ΦΒ στοιχείο έχει ένα ηλεκτρόδιο στην εμπρός και ένα στην πίσω πλευρά του. Το ηλεκτρόδιο που τοποθετείται στην μπροστινή πλευρά όπου και προσπίπτει το ηλιακό φως έχει το σχήμα αραιής μεταλλικής σχάρας σε σχήμα χτενιού ή σκελετού ψαριού και συνήθως κατασκευάζεται από κράματα αργύρου καλύπτοντας περίπου το 15% της επιφάνειας του στοιχείου. Η κατάλληλη διαμόρφωση αυτού του πλέγματος έχει ως αποτέλεσμα την αποτελεσματικότερη συλλογή του φωτορεύματος καθώς επίσης και την ελαχιστοποίηση του αποκοπτιώμενου απ' αυτό, ποσοστού του προσπίπτοντος φωτός. Το πίσω ηλεκτρόδιο καλύπτει όλη την έκταση του ΦΒ στοιχείου και για λόγους κόστους και βάρους αποτελείται από ένα λεπτό και πυκνό μεταλλικό πλέγμα. Τέλος η επιφάνεια του ΦΒ στοιχείου καλύπτεται από ένα στρώμα ανακλαστικού υλικού, όπως διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2) διοξείδιο του τιτανίου (TiO_2) αζωτούχο πυρίτιο (Si_3N_4) κ.α. ,το οποίο υλικό περιορίζει την ανάκλαση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας κατά περίπου 5%.

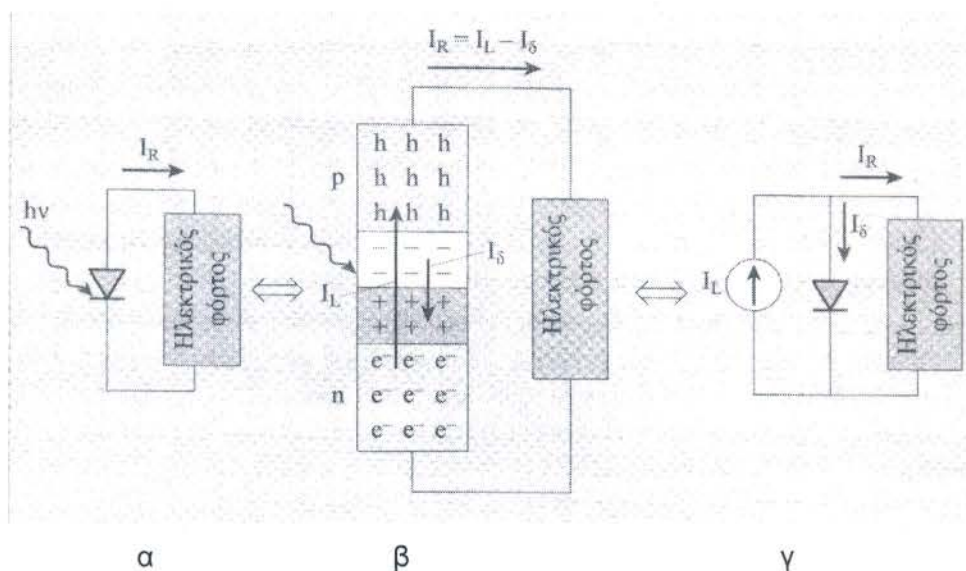


Εικόνα 5. Τρισδιάστατη απεικόνιση Φ/Β στοιχείου

2.3.2 Ηλεκτρική συμπεριφορά φωτιζόμενου Φ/Β στοιχείου

Φως δεδομένης πυκνότητας ισχύος και φάσματος δημιουργεί μέσα στο σώμα του ΦΒ στοιχείου ηλεκτρικό ρεύμα I_L του οποίου η ένταση παραμένει σταθερή καθώς αλλάζει η ωμική αντίσταση, που είναι συνδεδεμένη στα άκρα του.

Στο σχήμα α της Εικόνας 6 δίνεται η τυπική μορφή κυκλώματος που περιλαμβάνει ΦΒ στοιχείο και ωμικό καταναλωτή. Η λειτουργία του ΦΒ στοιχείου είναι ισοδύναμη με εκείνη που θα δημιουργούσε η σύνδεση μιας πηγής σταθερού ηλεκτρικού ρεύματος στα άκρα της διόδου (σχήμα β). Συμπερασματικά το ΦΒ στοιχείο είναι μια ηλεκτρική πηγή η οποία στην ιδανική της συμπεριφορά έχει την ιδιότητα να διατηρεί σταθερή την τιμή ρεύματος σε μια αντίσταση ανεξάρτητα από την τιμή της αντίστασης. Σε κάθε περίπτωση η πηγή αυτή προσαρμόζει την τάση στα άκρα της αντίστασης, ώστε το ρεύμα να παραμένει σταθερό. Το παρεχόμενο ηλεκτρικό ρεύμα είναι περίπου σταθερό για μια ευρεία περιοχή τάσεως.



Εικόνα 6. Κύκλωμα Φ/Β στοιχείου

α. Τυπικό ηλεκτρικό κύκλωμα που περιλαμβάνει Φ/Β στοιχείο

β. Αναλυτική παρουσίαση των ρευμάτων στο κύκλωμα

γ. Ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα

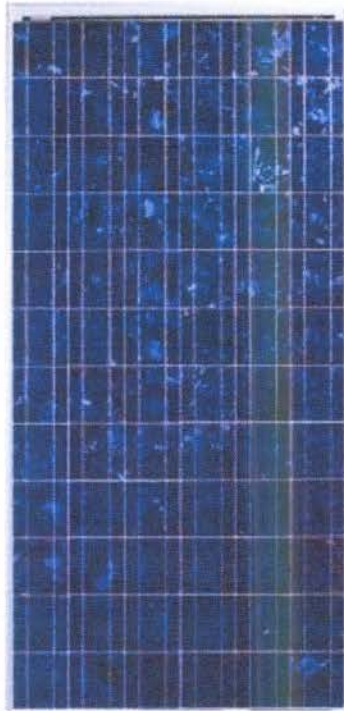
Όπως είπαμε αρχικά το πυρίτιο αποτελεί το πιο διαδεδομένο υλικό για την κατασκευή ΦΒ στοιχείων.



Εικόνα 7. Πλαίσιο μονοκρυσταλλικού πυριτίου

Αποτελούνται από μονοκρυσταλλικό υλικό το πάχος του οποίου είναι αρκετά μεγάλο (~300μm) και το χρώμα τους είναι σκούρο μπλε. Χαρακτηρίζονται από υψηλό κόστος κατασκευής και σε εργαστηριακή μορφή η απόδοση του κυμαίνεται από 21% έως 24% ενώ στην μορφή εμπορικού ΦΒ πλαισίου από 13% έως 16%.

- Φ/Β στοιχειά πολυκρυσταλλικού πυριτίου (Multicrystalline silicon)



Εικόνα 8. Πλαίσιο πολυκρυσταλλικού πυριτίου

Αποτελούνται από λεπτά επιστρώματα πάχους από 10 έως 50μm και συνήθως κόβονται σε τετραγωνικής μορφής στοιχεία. Το χρώμα τους είναι γαλάζιο και στην επιφάνεια του φαίνονται οι μονοκρυσταλλικές περιοχές. Όσο μεγαλύτερες είναι αυτές οι περιοχές τόσο μεγαλύτερη είναι και η απόδοση του στοιχείου η οποία κυμαίνεται από 17% έως 20% σε εργαστηριακή μορφή ενώ σε εμπορική μορφή πλαισίου από 10% έως 14%. Τέλος το κόστος παραγωγής τους είναι μικρότερο σε σχέση με αυτά του μονοκρυσταλλικού πυριτίου.

- Φ/Β στοιχεία Άμορφου πυριτίου(Amorphous silicon)



Εικόνα 9 Πλαίσιο άμορφου πυριτίου

Το άμορφο πυρίτιο διαφέρει από το κρυσταλλικό ενεργειακό του χάσμα κυμαίνεται από 1.2 έως 1.6 eV ενώ του κρυσταλλικού έχει σταθερή τιμή 1.1eV .Το πλεονέκτημα του είναι ότι έχει πολύ μεγαλύτερο συντελεστή απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας με αποτέλεσμα να αρκεί ένα λεπτό στρώμα λίγων μm για την κατασκευή του ΦΒ στοιχείου το οποίο συνεπάγεται μειωμένο κόστος παραγωγής. Το άμορφο πυρίτιο έχει στρεβλωμένους χημικούς δεσμούς με αποτέλεσμα να παρουσιάζει μέτριες ηλεκτρικές ιδιότητες. Η βελτίωσή του εξασφαλίζεται με προσθήκη ατόμων υδρογόνου οι οποίοι συμπληρώνουν τους ατελείς χημικούς δεσμούς και φτάνουν την απόδοσή του στο 6 % έως 8%.Το πρόβλημα της μικρής αυτής απόδοσης ξεπερνιέται με την κατασκευή διατάξεων από δύο ή τρία ΦΒ στοιχεία τα οποία είναι διαφορετικά κράματα άμορφου πυριτίου. Τα κράματα αυτά έχουν διαφορετικά ενεργειακά χάσματα. Εμπρός τοποθετείται εκείνο το κράμα που έχει το μεγαλύτερο ενεργειακό χάσμα και πίσω αυτό που έχει το μικρότερο. Έτσι τα φωτόνια χαμηλής ενέργειας απορροφώνται από το δεύτερο ή το τρίτο στρώμα περιορίζοντας έτσι κατά μεγάλο ποσοστό την θερμική μετατροπή και αυξάνοντας την απόδοση στο 10% έως 12%.

- Φ/Β στοιχειά Ταινίας(Ribbon silicon)
Αποτελείται από λεπτή ταινία πολυκρυσταλλικού πυριτίου η οποία δημιουργείται από τηγμένο υλικό. Έχει απόδοση περίπου 13% και περιορισμένη χρήση λόγω υψηλού κόστους παραγωγής.
- Φ/Β στοιχειά άλλων υλικών
Αρσενικούχου γαλλίου : Παρουσιάζει υψηλή απόδοση της τάξης του 25% καθώς και υψηλό κόστος και χρησιμοποιείται σε διαστημικές εφαρμογές.
Δισεληνοϊνδούχου χαλκού: Έχει χαμηλό κόστος κατασκευής, όπως και απόδοση, η οποία κυμαίνεται στο 8% έως 10% με την προσθήκη γαλλίου.
Θειούχου χαλκού-θειούχου καδμίου: Έχει χαμηλό κόστος κατασκευής αλλά όχι σταθερή απόδοση η οποία κυμαίνεται στο 10%.

2.3.4 Συνθήκες ελέγχου των χαρακτηριστικών των ΦΒ στοιχείου. Ισχύς αιχμής.

Τα βασικά χαρακτηριστικά που ελέγχονται κατά την κατασκευή ενός ΦΒ στοιχείου είναι η ενεργειακή απόδοση, ο παράγοντας πλήρωσης FF, το ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{sc} και η τάση του ανοιχτού κυκλώματος V_{oc} σε συγκεκριμένες συνθήκες φωτισμού και θερμοκρασίας του στοιχείου. Η γνώση των χαρακτηριστικών αυτών μεγεθών επιτρέπει τον έλεγχο αποδοτικότητας του ΦΒ στοιχείου κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες που αντιπροσωπεύουν τυπικές καταστάσεις εκμετάλλευσης της ηλιακής ακτινοβολίας. Για τον σκοπό αυτό καθορίστηκαν διεθνώς οι ακόλουθες πρότυπες συνθήκες ελέγχου των χαρακτηριστικών ενός ΦΒ στοιχείου και κατ' επέκταση ενός ΦΒ πλαισίου.(Standard Test Conditions-STC)

-Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία πυκνότητας ισχύος 1 kW/m^2 και φάσματος εκπομπής αντίστοιχο του ηλιακού με μάζα αέρα $AM = 1,5$ (για κάθετη πρόσπτωση)

-Θερμοκρασία ΦΒ στοιχείου ίση με $25^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$.

Στην πράξη τα ΦΒ στοιχειά ενός πλαισίου λειτουργούν κάτω από φυσικό ηλιακό φως του οποίου τα χαρακτηριστικά μεταβάλλονται κατά την διάρκεια της ημέρας για όλο το έτος. Επιπλέον, η αποδιδόμενη ηλεκτρική ενέργεια εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος και από τις ιδιαίτερες κλιματικές συνθήκες του τόπου εγκατάστασης.

Με βάση τις πρότυπες συνθήκες εισάγεται η έννοια της ισχύος αιχμής, P_p (peak power), της οποίας η μονάδα στο SI είναι W_p (Peak watt).

Ισχύς αιχμής ενός ΦΒ στοιχείου είναι η μέγιστη ηλεκτρική ισχύς που μπορεί να αποδώσει κάτω από τις πρότυπες συνθήκες ελέγχου

Η έννοια αυτή χρησιμοποιείται επίσης και για τον χαρακτηρισμό ενός πλαισίου ή μιας συστοιχίας και αποτελεί το χαρακτηριστικό με βάση το οποίο υπολογίζεται το μέγεθος των παραπάνω.

2.3.5 Βαθμός απόδοσης ΦΒ στοιχείου

Ένα ΦΒ στοιχείο αποδίδει μέγιστη ηλεκτρική ισχύ P_m και δέχεται ηλιακή ακτινοβολία ισχύος P_{HA} . Το πηλίκο της μέγιστης αποδιδόμενης ηλεκτρικής ισχύος προς την προσπίπτουσα ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας ονομάζεται **βαθμός απόδοσης η** .

$$\eta = P_m / P_{HA} = (I_m \cdot V_m) / P_{HA}$$

όπου I_m : ένταση ρεύματος στο σημείο μέγιστης ισχύος

V_m : τάση ρεύματος στο σημείο μέγιστης ισχύος.

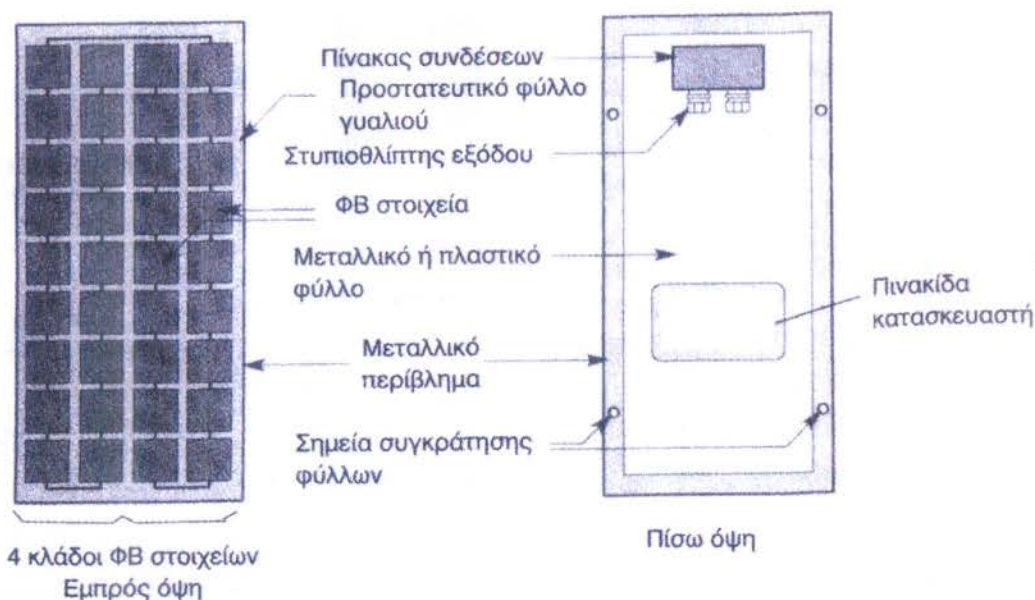
Η απόδοση του ΦΒ στοιχείου εξαρτάται από τον χρησιμοποιούμενο αγωγό, αυξάνεται με την αύξηση της πυκνότητας ισχύος της ακτινοβολίας και μειώνεται με την μείωση της ακτινοβολίας. Η ονομαστική τιμή της απόδοσης καθορίζεται από τις πρότυπες συνθήκες ελέγχου (STC).

2.4 Φ/Β πλαίσια

2.4.1 Περιγραφή Φ/Β πλαισίου

Η τάση που εκδηλώνει ένα ΦΒ στοιχείο σε κανονική ηλιακή ακτινοβολία είναι μέχρι 0.5 V και η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς δεν ξεπερνά τα 0.4W. Προφανώς αυτές οι τιμές ενέργειας δεν μπορούν να τροφοδοτήσουν τις συνηθισμένες ηλεκτρικές καταναλώσεις. Λύση σε αυτό το πρόβλημα δίνει η σύνδεση σε σειρά πολλών ΦΒ στοιχείων. Ένα σύνολο από τέτοια ΦΒ στοιχεία συνδεδεμένα σε σειρά έτσι ώστε να αποτελούν εύχρηστη σε μέγεθος μονάδα ονομάζεται Φ/Β πλαίσιο.

Τα ΦΒ πλαίσια κατασκευάζονται σε μορφή σάντουιτς. Η πίσω όψη του πλαισίου αποτελείται από ένα φύλλο αλουμινίου ή ενισχυμένου πλαστικού όπου με κατάλληλη κολλητική ουσία στερεώνονται τα ΦΒ στοιχεία. Η εμπρός όψη των στοιχείων καλύπτεται από ένα προστατευτικό φύλλο γυαλιού ή διαφανούς πλαστικού. Τα δύο αυτά φύλλα συγκρατούνται μεταξύ τους με την βοήθεια ταινίας από συνθετικό ελαστικό και συσφίγγονται με περιμετρικό ελαστικό περίβλημα. Εννοείται ότι μια τέτοια κατασκευή πρέπει να εξασφαλίζει την απαραίτητη μηχανική αντοχή, τις κατάλληλες υποδοχές στήριξης και την αυξημένη στεγανότητα για την προστασία από την υγρασία.



Εικόνα 10. Μέρη Φ/Β πλαισίου

Με στόχο την καλύτερη προσαρμογή των ΦΒ πλαισίων οι κατασκευαστικές εταιρείες προτείνουν κάποιες ενδιαφέρουσες λύσεις.



Εικόνα 11 Διάφορες εγκαταστάσεις Φ/Β Πλαισίων

2.4.2 Λειτουργία Φ/Β πλαισίου

Κάθε ΦΒ πλαίσιο πρέπει να έχει τα εξής χαρακτηριστικά: Πρέπει βασικά να μπορεί να φορτίσει έναν ηλεκτρικό συσσωρευτή ονομαστικής τάσης 12V για να είναι δυνατή η αποθήκευση της παραγόμενης ηλιακής ενέργειας και επίσης να είναι εύχρηστο στην μεταφορά, εγκατάσταση και αντικατάσταση του σε περίπτωση βλάβης. Η σύνδεσή τους όπως αναφέραμε και νωρίτερα γίνεται σε σειρά συνδέοντας το θετικό ηλεκτρόδιο του ενός στοιχείου με το αρνητικό ηλεκτρόδιο του επόμενου.

Κατά την λειτουργία του ένα ΦΒ πλαίσιο πρέπει να είναι ικανό να φορτίσει τουλάχιστον έναν συσσωρευτή μολύβδου-θειικού οξέος οι οποίοι κατέχουν την πρώτη θέση στην παγκόσμια αγορά για τους οποίους απαιτείται τάση 14.4V

Στο σύστημα ενός ΦΒ πλαισίου θα πρέπει να συμπεριλάβουμε οπωσδήποτε μια ηλεκτρονική διάταξη για τον έλεγχο των ορίων φόρτισης-εκφόρτισης του συσσωρευτή και μία δίοδο αντεπιστροφής η οποία θα εμποδίζει την εκφόρτιση του συσσωρευτή διαμέσου του ΦΒ πλαισίου όταν αυτό δεν φωτίζεται (για τους συσσωρευτές και τους ελεγκτές φόρτισης θα αναφερθούμε εκτενέστερα σε επόμενο κεφάλαιο). Για την λειτουργία των παραπάνω ηλεκτρονικών διατάξεων καθώς και των γραμμών μεταφοράς απαιτείται τάση σχεδόν 2V.

Αν λοιπόν ένα ΦΒ πλαίσιο που φωτίζεται με την τυπική ακτινοβολία μιας ηλιόλουστης μέρας, δηλαδή 1kW/m^2 και θέλει να φορτίσει έναν συνηθισμένο συσσωρευτή, το σημείο μέγιστης ισχύς του θα πρέπει να αντιστοιχεί σε τάση $14.4+2=16.4\text{V}$. Διαιρώντας λοιπόν αυτή την τάση με αυτήν ενός ΦΒ στοιχείου πυριτίου δηλαδή 0.45V βρίσκουμε ότι απαιτούνται περίπου 36 ΦΒ στοιχεία συνδεδεμένα σε σειρά για την δημιουργία ενός τυπικού ΦΒ πλαισίου.

Τα περισσότερα ΦΒ πλαίσια του εμπορίου περιλαμβάνουν 32-44 ΦΒ στοιχεία, ανάλογα με την ακριβή τάση του στοιχείου. Θα πρέπει βέβαια να αναφέρουμε ότι η τάση ενός ΦΒ στοιχείου πυριτίου μειώνεται κατά $2-2.5\text{ mV/}^\circ\text{C}$ αν το στοιχείο είναι κρυσταλλικό και κατά $1.5-1.9\text{ mV/}^\circ\text{C}$ αν το στοιχείο είναι άμορφο. Ευνόητο είναι βέβαια ότι για συσσωρευτή 24 V απαιτείται διπλάσιος αριθμός στοιχείων ανά πλαίσιο.

2.4.3 Συχνά προβλήματα Φ/Β πλαισίων

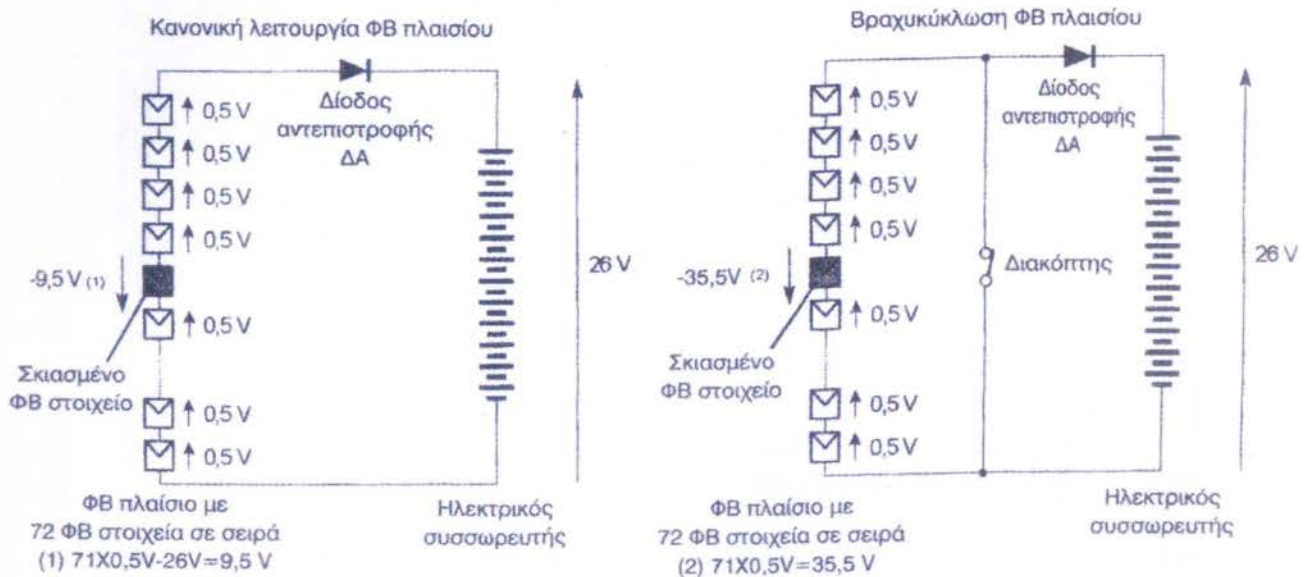
Τέλος, θα πρέπει να αναφερθούμε στους δυο μεγάλους εχθρούς των ΦΒ πλαισίων οι οποίοι είναι η υγρασία καθώς και η υπερθέρμανση η οποία ονομάζεται και κατάσταση θερμής κηλίδας.

Επειδή η απόλυτη στεγανοποίηση ενός πλαισίου είναι πολύ δύσκολη, οι κατασκευάστριες εταιρείες προβλέπουν μία οπή στον πίνακα συνδέσεων από την οποία απελευθερώνεται το νερό που παγιδεύεται μέσα στο πλαίσιο. Με αυτόν τον τρόπο μπορούμε να πούμε ότι το πλαίσιο αναπνέει.

Ο χειρότερος όμως εχθρός ενός ΦΒ πλαισίου είναι η υπερθέρμανση του.

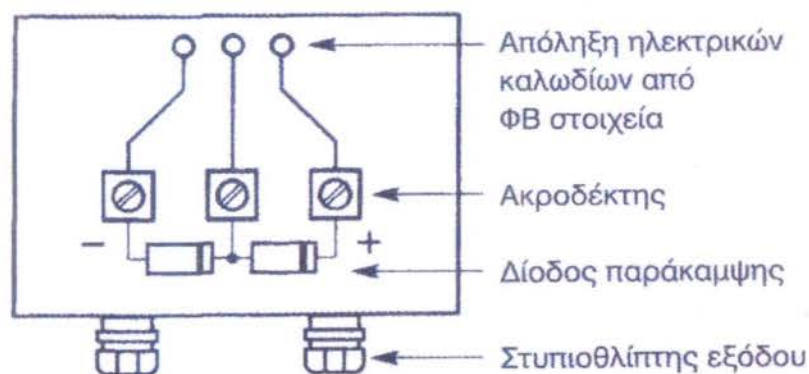
Όταν ένα στοιχείο στο ΦΒ πλαίσιο για κάποιο λόγο σκιάζεται σταματά να παράγει ηλεκτρικό ρεύμα. Επειδή όμως τα στοιχεία συνδέονται σε σειρά, αυτό σημαίνει ότι το ΦΒ στοιχείο με το μικρότερο ρεύμα βραχυκύκλωσης επιβάλλει σε όλο το πλαίσιο το δικό του ρεύμα το οποίο βέβαια τείνει στο 0. Παράλληλα το σκιασμένο στοιχείο δέχεται το άθροισμα των τάσεων όλων των άλλων στοιχείων ανάστροφα με αποτέλεσμα να αρχίζει να υπερθερμαίνεται. Αυτό βέβαια προκαλεί την καταστροφή του στοιχείου το οποίο αποκτά ένα έντονο καφέ χρώμα, αλλά μπορεί ακόμα και να

προκαλέσει πυρκαγιά στο πλαίσιο αν αυτό συνδέεται με ηλεκτρικό συσσωρευτή 24 V.



Εικόνα 12. Κατάσταση θερμικής κηλίδας

Η προστασία της εγκατάστασης εξασφαλίζεται με την παράλληλη σύνδεση μιας διόδου παράκαμψης σε κάθε ομάδα 18 ΦΒ στοιχείων σε πλαίσιο με 36 στοιχεία. Με αυτόν τον τρόπο διατηρείται η ανάστροφη τάση που θα δεχτεί το σκιασμένο στοιχείο σε τιμές κάτω των 10V. Έτσι όχι μόνο αποφεύγεται η υπερθέρμανση του στοιχείου αλλά και επιτρέπεται η συνέχεια της χρησιμοποίησης του υπόλοιπου πλαισίου.



Εικόνα 13. Συνδεσμολογία διόδου παράκαμψης

2.4.4 Ισχύς αιχμής ΦΒ πλαισίου

Η έννοια της ισχύος αιχμής όπως ορίστηκε για το ΦΒ στοιχείο ισχύει και για το ΦΒ πλαίσιο. Έτσι ισχύς αιχμής ενός ΦΒ πλαισίου ονομάζεται η μέγιστη ηλεκτρική ισχύς που αποδίδει το ΦΒ πλαίσιο κάτω από τις πρότυπες συνθήκες ελέγχου (STC).

Έτσι όταν ένα ΦΒ πλαίσιο έχει ισχύ αιχμής $P_{p\pi} = 100W_p$, σημαίνει ότι εφόσον δέχεται ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ισχύος $P_{STC} = 1 \text{ Kw/m}^2$, φάσματος αντίστοιχου του ηλιακού με μάζα αέρα $AM = 1,5$ και η θερμοκρασία του είναι 25°C τότε παράγει ηλεκτρική ισχύ $100 W_p$ (watt αιχμής)

Η ισχύς αιχμής είναι το σημαντικότερο ηλεκτρικό στοιχείο ενός ΦΒ πλαισίου με βάση την οποία το αναζητούμε στο εμπόριο προκειμένου να καλύψουμε τις ανάγκες μιας ΦΒ εγκατάστασης.

2.4.5 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.

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

όπου $P_{m\pi}$ [W]: μέγιστη αποδιδόμενη ηλεκτρική ισχύς ΦΒ πλαισίου

P_{HA} [W]: ισχύς προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας.

Αν η ισχύς της ηλιακής ακτινοβολίας P_{HA} δίνεται ανά μονάδα επιφάνειας, δηλαδή σε $[W/m^2]$ η σχέση του βαθμού απόδοσης γίνεται

$$\eta_{\pi} = P_{m\pi} / P_{HA} S_p$$

όπου S_p : επιφάνεια ΦΒ πλαισίου $[m^2]$

P_{HA} : ισχύς προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας ανά μονάδα επιφάνειας $[W/m^2]$.

Ο βαθμός απόδοσης η_{π} του ΦΒ πλαισίου μπορεί να γραφεί και ως πηλίκο της μέγιστης αποδιδόμενης ηλεκτρικής ενέργειας που παράγει το ΦΒ πλαίσιο επί ένα

χρονικό διάστημα προς την προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια επί το ίδιο χρονικό διάστημα.

$$\eta_{\pi} = E_{\text{m}\pi} / (E_{\text{HA}} S_p)$$

όπου $E_{\text{m}\pi}$ [kWh]: μέγιστη αποδιδόμενη ηλεκτρική ενέργεια ΦΒ πλαισίου

E_{HA} [kWh/m²]: ενέργεια προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας.

S_p [m²]: επιφάνεια ΦΒ πλαισίου

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

- Γήρανση

Η απόδοση ενός ΦΒ πλαισίου μειώνεται λόγω της αλλοίωσης των υλικών κατασκευής των ΦΒ στοιχείων. Για την διαχρονική μείωση της απόδοσης λαμβάνουμε τον συντελεστή γήρανσης $\sigma_{\gamma}=0.9$.

- Ρύπανση επιφάνειας

Η απόδοση ενός ΦΒ πλαισίου ιδίως εκείνου που έχει μικρή κλίση μειώνεται λόγω της ρύπανσης της επιφάνειας του από την επικάλυψη σκόνης, φύλλων, χιονιού κ.τ.λ. Η μείωση της απόδοσης είναι σημαντικότερη σε βιομηχανικές περιοχές λόγω αιθάλης γι αυτό απαιτείται περιοδικός καθαρισμός. Σε περιοχές με έντονη χιονόπτωση το ΦΒ πλαίσιο πρέπει να τοποθετείται κάθετα ή σε κλίση 45° για να μην συκρατείται το χιόνι. Για τους παραπάνω λόγους λαμβάνουμε έναν συντελεστή ρύπανσης σ_{ρ} σύμφωνα με τις παρακάτω τιμές:

$\sigma_{\rho} = 0,95$ για πλαίσια που δεν καθαρίζονται συχνά

$\sigma_{\rho} = 0,90$ για πλαίσια ελαφρώς σκονισμένα

$\sigma_{\rho} = 0,80$ για πλαίσια οριζόντια και ακάθαρτα

- Αύξηση θερμοκρασίας

Η απόδοση ενός πλαισίου επηρεάζεται σημαντικά όπως είδαμε από την θερμοκρασία των ΦΒ στοιχείων του των οποίων η μέση θερμοκρασία είναι περίπου 30°C δηλαδή ελαφρώς μεγαλύτερη από αυτήν της λειτουργίας τους σε πρότυπες συνθήκες (STC). Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιούμε συντελεστή θερμοκρασίας σ_{θ} :

$$\sigma_{\theta} = 1 - [(t_a + 30) - 25] * 0.004$$

όπου t_a [°C]: μέση μηνιαία θερμοκρασία του αέρα

- Δίοδος αντεπιστροφής

Η δίοδος αντεπιστροφής ΔΑ που όπως θα δούμε παρακάτω εμποδίζει την εκφόρτιση του ηλεκτρικού συσσωρευτή διαμέσου του ΦΒ πλαισίου όταν αυτό δεν φωτίζεται, προκαλεί απώλειες της τάξης του 1%. Οι απώλειες αυτές λαμβάνονται υπόψη με τον συντελεστή απωλειών δίοδου $\sigma_{\delta} = 0,99$.

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι:

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

- Λαμβάνοντας υπόψιν τους τέσσερις συντελεστές μείωσης της απόδοσης η μέγιστη ηλεκτρική ενέργεια που παράγει το ΦΒ πλαίσιο επί ένα χρονικό διάστημα, δίνεται από την σχέση

$$E_{m\pi} = E_{HA} * S_{\pi} * \eta_{STC} * \sigma_{\delta} * \sigma_{\theta} * \sigma_{\rho} * \sigma_{\gamma} = E_{HA} * S_{\pi} * \eta_{\pi} \quad [kWh]$$

Όπου E_{HA} [kWh/m^2] : ενέργεια προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας.

S_{π} [m^2] : επιφάνεια ΦΒ πλαισίου

η_{π} : Πραγματικός βαθμός απόδοσης ΦΒ πλαισίου

- Αν γνωρίζουμε μόνο την ισχύ αιχμής $P_{r\pi}$ ενός πλαισίου η μέγιστη αποδιδόμενη ηλεκτρική ενέργεια που παράγει το ΦΒ πλαίσιο επί ένα χρονικό διάστημα δίνεται από την σχέση :

$$E_{m\pi} = E_{HA} [P_{r\pi} / P_{STC}] * \sigma_{\delta} * \sigma_{\theta} * \sigma_{\rho} * \sigma_{\gamma} \quad [kWh]$$

$P_{r\pi}$ [kWh] : Ισχύς αιχμής ΦΒ πλαισίου

P_{STC} [kW/m^2] : Ισχύς προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στις πρότυπες συνθήκες ελέγχου ($P_{STC} 1 kW/m^2$)

- Επειδή τα ΦΒ στοιχεία που χρησιμοποιούνται στα ΦΒ πλαίσια είναι τετράγωνα ή τετράγωνα με κομμένες τις γωνίες (εξαγωνικά), ελαχιστοποιείται η μη

αξιοποιήσιμη επιφάνεια του ΦΒ πλαισίου και δεν χρησιμοποιούμε τον συντελεστή κάλυψης σ_k ο οποίος φτάνει μέχρι σχεδόν την μονάδα. Η αρχική μορφή των ΦΒ στοιχείων ήταν κυκλική με αποτέλεσμα να μένει ανεκμετάλλευτο το 20% της επιφάνειας του ΦΒ πλαισίου. Στις περιπτώσεις αυτές λαμβάναμε $\sigma_k = 0.8$.

2.4.6 Προσανατολισμός και διάταξη ΦΒ πλαισίων

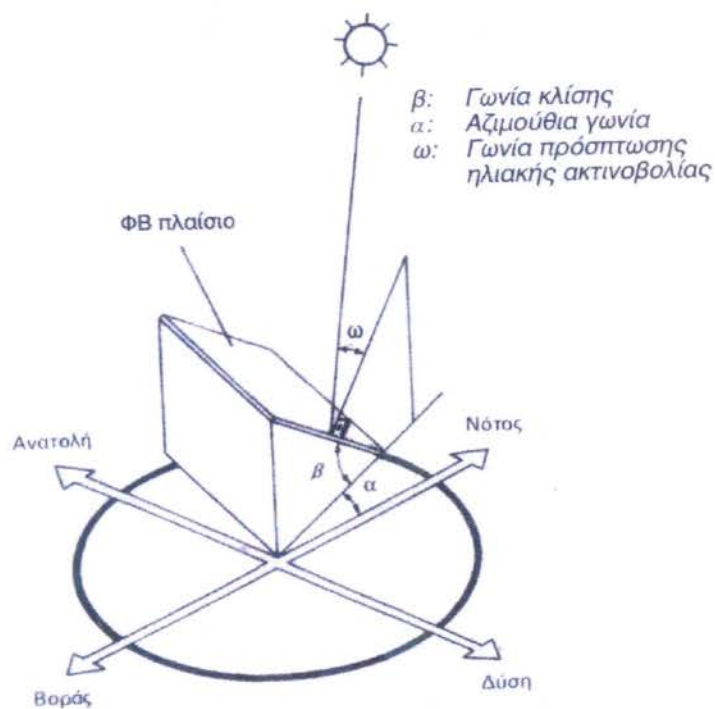
Η σωστή τοποθέτηση των ΦΒ πλαισίων αποτελεί βασικό παράγοντα για την αποδοτική λειτουργία όλου του συστήματος. Ο προσανατολισμός του ΦΒ πλαισίου στην επιφάνεια της γης χαρακτηρίζεται από την γωνία κλίσης και την αζιμούθια γωνία.

-Γωνία κλίσης

Είναι η γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στο επίπεδο του Φ/Β πλαισίου και στο οριζόντιο επίπεδο και δείχνει πόσο γέρνει το πλαίσιο.

-Αζιμούθια γωνία α

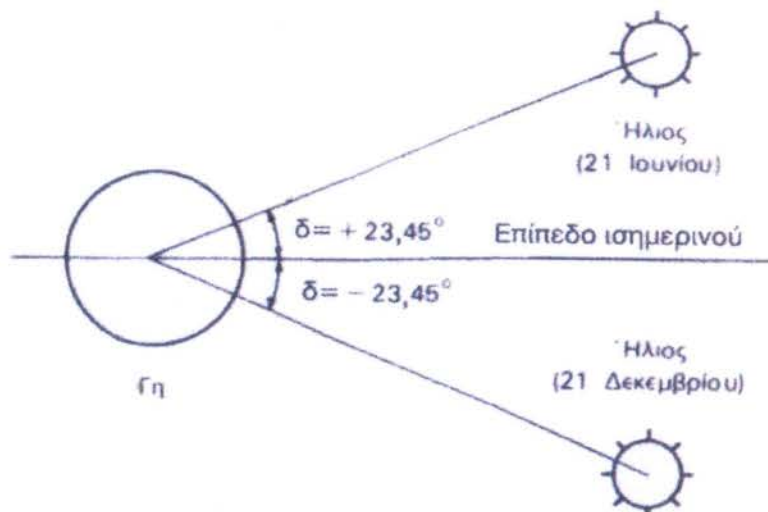
Είναι η γωνία που σχηματίζεται πάνω στο οριζόντιο επίπεδο ανάμεσα στην προβολή της κατακόρυφου του ΦΒ πλαισίου και στον νότο. Η γωνία $\alpha=0$ αντιστοιχεί σε τοποθέτηση του πλαισίου προς τον νότο, η γωνία $\alpha=90$ προς την δύση, η γωνία $\alpha=-90$ προς την ανατολή και η γωνία $\alpha=-180$ προς τον βορρά. Στο βόρειο ημισφαίριο τα ΦΒ πλαίσια θα πρέπει να τοποθετούνται προς τον νότο δηλαδή με $\alpha=90$ ενώ στο νότιο προς τον βορρά δηλαδή με $\alpha=-180$



Εικόνα 14. Γωνίες Προσανατολισμού Φ/Β πλαισίου στην επιφάνεια της γης

Όπως ξέρουμε η ένταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε μια επιφάνεια είναι μέγιστη όταν η επιφάνεια αυτή είναι κάθετη προς την κατεύθυνση της ακτινοβολίας. Όταν έχουμε δηλαδή $\omega=0^\circ$. Η συνθήκη αυτή εξασφαλίζεται με χρήση αυτοματισμών οι οποίοι θα εξεταστούν στο επόμενο κεφάλαιο.

Λόγω της μεταβολής της απόκλισης δ του ήλιου στην διάρκεια του έτους, η βέλτιστη γωνία κλίσης των Φ/Β πλαισίων είναι διαφορετική για κάθε εποχή.



Εικόνα 15. Μέγιστη απόκλιση του ήλιου κατά το θερινό και χειμερινό ηλιοστάσιο.

Αν η τοποθέτηση των πλαισίων δεν καθορίζεται από την κλίση της επιφάνειας στην οποία τοποθετούνται (οροφές τοίχοι κτλ.) η βέλτιστη γωνία κλίσης β στο βόρειο ημισφαίριο εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος φ του τόπου και την επιθυμητή περίοδο λειτουργίας του συστήματος.

Βέλτιστη γωνία κλίσης $\Phi\beta$ πλαισίων για το βόρειο ημισφαίριο

$\beta = \varphi$ για όλη την διάρκεια του χρόνου

$\beta = \varphi + 15^\circ$ για καλύτερη απόδοση τον χειμώνα

$\beta = \varphi - 15^\circ$ για καλύτερη απόδοση το καλοκαίρι

$\beta = \varphi - 15$ σε περιοχές με υγρό κλίμα όπου μεγάλο μέρος της ακτινοβολίας διαχέεται στον ουρανό λόγω των σταγονιδίων νερού στην ατμόσφαιρα

$\beta = 5^\circ - 10^\circ$ σε περιοχές κοντά στον ισημερινό ($\varphi \leq 20^\circ$)

$\beta = 0^\circ$ σε περιοχές με πολύ μικρή ηλιοφάνεια

Κατά την τοποθέτηση των $\Phi\beta$ πλαισίων μίας συστοιχίας απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή γιατί δεν πρέπει η μία σειρά πλαισίων να σκιάζει την επόμενη. Ο υπολογισμός της ελάχιστης απόστασης μεταξύ δυο διαδοχικών σειρών γίνεται με τον ακόλουθο τρόπο:

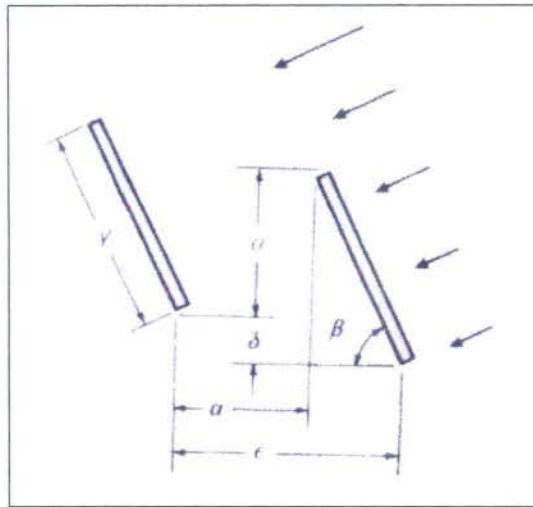
Βήμα α) Υπολογίζουμε την επικάλυψη του ύψους της κατασκευής στήριξης

$$u = \gamma * \eta\mu\beta - \delta \quad [m]$$

όπου γ [m] : μήκος $\Phi\beta$ πλαισίων

β [°] : γωνία κλίσης $\Phi\beta$ πλαισίων

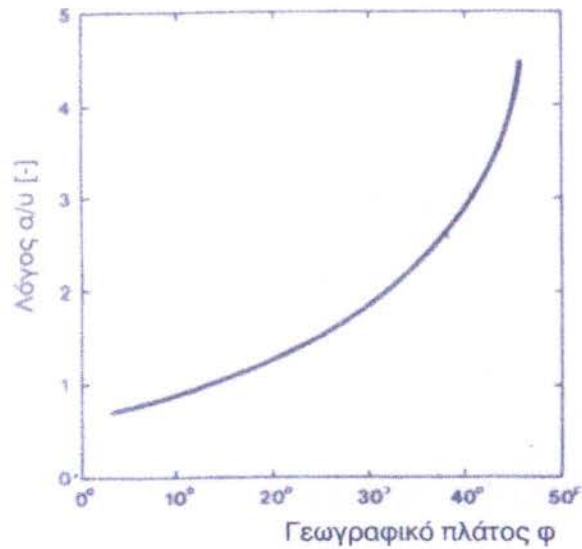
δ [m]: υψομετρική διαφορά ανάμεσα στα στηρίγματα δυο σειρών($\delta=0$ για στήριξη στο ίδιο επίπεδο).



Εικόνα 16. Διάταξη Φ/Β πλαισίων σε παράλληλες σειρές

Βήμα β) Υπολογίζουμε την ελεύθερη απόσταση μεταξύ δυο γειτονικών σειρών

Η ελεύθερη απόσταση α προκύπτει από τον λόγο α/u τον οποίο υπολογίζουμε από το παρακάτω διάγραμμα



Διάγραμμα 3. Καμπύλη του λόγου της ελεύθερης απόστασης α μεταξύ 2 γειτονικών σειρών Φ/Β πλαισίων προς την επικάλυψη του ύψους u σε συνάρτηση με το γεωγραφικό πλάτος ϕ του τόπου

Βήμα γ) Υπολογισμός της ελάχιστης απόστασης μεταξύ δυο σειρών από τον παρακάτω τύπο

$$E = \alpha + \gamma * \text{συν}\beta \text{ [m]}$$

Επίσης κατά την εγκατάσταση ενός ΦΒ συστήματος θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν και η απόσταση των πλαισίων από εμπόδια (δέντρα κτίρια) τα οποία πιθανόν να προκαλέσουν ανεπιθύμητα σκίαση (η οποία μπορεί να μειώσει έως και 80% την απόδοση του πλαισίου).

Ένας πρακτικός τρόπος για να αποφύγουμε την σκίαση των πλαισίων είναι να εξασφαλίσουμε ότι η ελάχιστη απόσταση αυτών και των εμποδίων είναι διπλάσια του ύψους του εμποδίου. ($L_{\min}=2H$)

2.5 Ηλεκτρικοί συσσωρευτές

2.5.1 Περιγραφή

Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από ένα ΦΒ σύστημα θα πρέπει να μπορεί να χρησιμοποιηθεί όχι μόνο απευθείας αλλά και σε χρόνο μεταγενέστερο της παραγωγής της ,για παράδειγμα κατά την διάρκεια της νύχτας. Για την ικανοποίηση αυτής της ανάγκης έχει υιοθετηθεί η χρήση ηλεκτρικών συσσωρευτών σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τον ήλιο. Προς το παρόν από πλευράς κόστους, αποταμίευσης ενέργειας ανά μονάδα όγκου και όγκου της διάταξης η χρησιμοποίηση τέτοιου είδους συσσωρευτών αποτελεί την πλέον αποδοτική και συμφέρουσα λύση στο πρόβλημα της αποθήκευσης της ηλιακής ενέργειας. Η έρευνα στον τομέα των συσσωρευτών έχει οδηγήσει σε βελτιωμένους τύπους με εξαιρετικά βελτιωμένα τεχνικά χαρακτηριστικά. Η αρχή λειτουργίας των συσσωρευτών στηρίζεται στην αντιστρεπτότητα των χημικών δράσεων στα ηλεκτρόδια τους.

2.5.2 Λειτουργία

Στην βασική του μορφή ένα στοιχείο ηλεκτρικού συσσωρευτή αποτελείται από δυο μεταλλικά ηλεκτρόδια, συνήθως, με την μορφή επίπεδων πλακών, εμβαπτισμένα σε ορισμένο διάλειμμα ηλεκτρολύτη, ο οποίος αντιδρά με τις πλάκες. Κατά το στάδιο της φόρτισης του μια ηλεκτρική πηγή συνεχούς τάσεως συνδέεται στα άκρα του και δημιουργεί στο εσωτερικό του ηλεκτρικό πεδίο το οποίο κινεί τα ευκίνητα ιόντα του ηλεκτρολύτη προς τις αντίθετα πολωμένες πλάκες του συσσωρευτή όπου και αποδίδουν το φορτίο τους. Αποτέλεσμα των χημικών αντιδράσεων που συμβαίνουν στα μεταλλικά ηλεκτρόδια είναι η αλλοίωση της δομής τους, σε βάθος μερικών μικρών, μετατρέπόμενα σε νέα διαφορετικά μεταξύ τους σώματα. Τα αλλοιωμένα ηλεκτρόδια εμφανίζουν διαφορετικά ηλεκτροχημικά δυναμικά ως προς το διάλυμα και η διαφορά μεταξύ τους ισούται με την ΗΕΓ του συσσωρευτή. Στην συνέχεια θα εξετάσουμε ειδικότερα τον συσσωρευτή Μολύβδου-Θειικού οξέος (Pb/H_2SO_4).

2.5.3 Συσσωρευτής Μολύβδου-θειικού οξέος

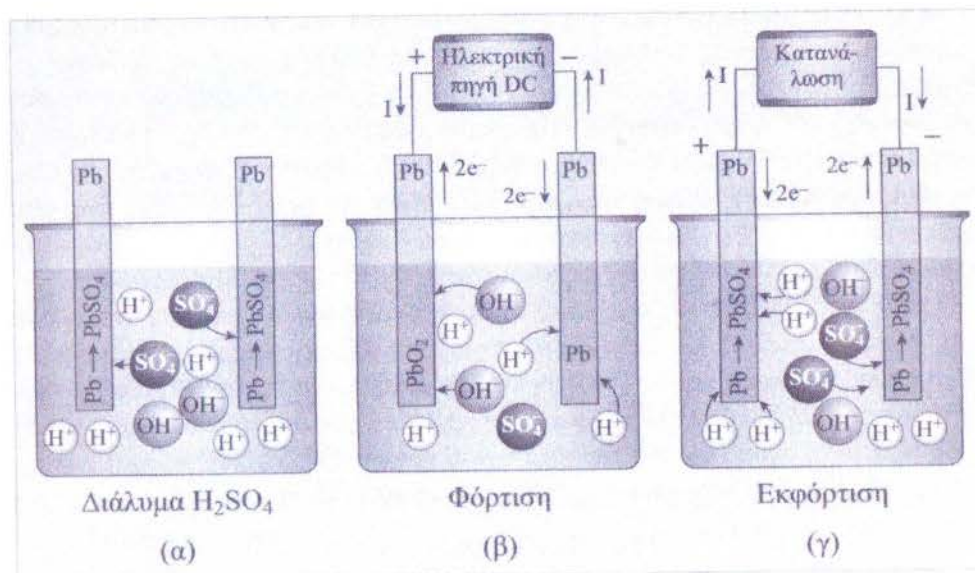
Ο συσσωρευτής Μολύβδου-Θειικού οξέος(Pb/H₂SO₄) είναι ο δημοφιλέστερος τύπος ηλεκτρικού συσσωρευτή γνωστός ήδη από τις αρχές του αιώνα. Οι βιομηχανικής και Φ/Β παραγωγής συσσωρευτές μολύβδου έχουν υψηλή μηχανική αντοχή και συνακόλουθα αυξημένη δυνατότητα για βαθιές εκφορτίσεις με δυνατότητα μεγάλων ρευμάτων, σε αντίθεση με τους κοινούς συσσωρευτές μολύβδου. Παρατεταμένη χρήση των τελευταίων σε μεγάλα ρεύματα μειώνει τον χρόνο ζωής τους. Διακρίνονται επίσης στους συσσωρευτές με ηλεκτρολύτη υγρής κατάστασης και σε αυτούς με παχύρευστο ηλεκτρολύτη (GEL) αεροστεγώς σφραγισμένους οι οποίοι δεν απαιτούν συμπλήρωση νερού. Οι τελευταίοι υπερτερούν των πρώτων επειδή δεν απαιτούν κάποιου είδους συντήρηση, έχουν την δυνατότητα χρησιμοποίησης σε κλειστούς χώρους με ευαίσθητα ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά όργανα και επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε κατασκευές υπό κλίση, χωρίς να υπάρχει κίνδυνος διαρροής του ηλεκτρολυτικού υγρού. Χαρακτηρίζονται όμως από μικρά βάθη εκφόρτισης και μικρά ρεύματα εκφόρτισης.

Τα ηλεκτρόδια των συσσωρευτών Φ/Β χρήσης κατασκευάζονται από πλάκες μολύβδου με την μορφή κυψελών. Οι κυψέλες στην αρνητική πλευρά πληρώνονται με πορώδη μόλυβδο ενώ στην θετική με φαιά οξειδία μολύβδου. Προκειμένου η ενεργός επιφάνεια κάθε μολύβδινης πλάκας να είναι αυξημένη και κατά συνέπεια και η χωρητικότητα του συσσωρευτή. Στην συνέχεια θα περιγράψουμε τις διαδικασίες φόρτισης και εκφόρτισης ενός ηλεκτρικού συσσωρευτή Μολύβδου-Θειικού οξέος.

Κατά την αρχική επαφή των μολύβδινων πλακών με το διάλυμα του θειικού οξέος ένα λεπτό επιφανειακό στρώμα των ηλεκτροδίων μετατρέπεται σε θειικό μόλυβδο. Με την πλήρωση του δοχείου του συσσωρευτή με ηλεκτρολύτη και πριν ακόμα αρχίσει η φόρτισή του ο συσσωρευτής ήδη παρουσιάζει τάση στους πόλους του.

Η φόρτιση του συσσωρευτή γίνεται με εφαρμογή συνεχούς τάσεως στους πόλους του συσσωρευτή έτσι ώστε το σύστημα να διαρρέεται από ορισμένο ρεύμα. Γενικά συνιστάται η φόρτιση με χαμηλό ρεύμα. Κατά την διάρκεια της φόρτισης ο θειικός μόλυβδος διασπάται και σχηματίζεται οξείδιο του μολύβδου στο θετικό ηλεκτρόδιο και μεταλλικός μόλυβδος στο αρνητικό ηλεκτρόδιο. Άρα κατά την φόρτιση άρα κατά την φόρτιση αυξάνεται η περιεκτικότητα του θειικού οξέος στο διάλυμα. Η εκφόρτιση του συσσωρευτή γίνεται όταν τα άκρα του συνδεθούν με έναν καταναλωτή οπότε στις επιφάνειες των ηλεκτροδίων το οξείδιο του μολύβδου και ο μεταλλικός μόλυβδος μετατρέπονται σε θειικό μόλυβδο. Άρα κατά την εκφόρτιση ενός συσσωρευτή ελαττώνεται η περιεκτικότητα του θειικού οξέος στο διάλυμα.

Άρα η παρακολούθηση της περιεκτικότητας του θειικού οξέος στο διάλυμα εκφραζόμενη με την μεταβολή της πυκνότητάς του αποτελεί ένα πολύ καλό τρόπο ελέγχου της κατάστασης φόρτισης του συσσωρευτή.



Εικόνα 17. Διαδικασίες φόρτισης και εκφόρτισης ηλεκτρικού συσσωρευτή
α. Αρχικές διαδικασίες κατά την εισαγωγή του ηλεκτρολύτη
β. Διαδικασία φόρτισης
γ. Διαδικασία εκφόρτισης

2.5.4 Σύνδεση συσσωρευτών

Οι συσσωρευτές που διατίθενται στο εμπόριο αποτελούνται από 2-βोलτα στοιχεία σε σειρά συνδεδεμένα, ως ολοκληρωμένες μονάδες, με ονομαστικές τάσεις 6V 12V ή 24V. Ένας συσσωρευτής ονομαστικής τάσης 12V ο οποίος κατασκευάζεται από έξι 2-βोलτα στοιχεία χωρητικότητας C το καθένα συνδεδεμένα σε σειρά, έχει συνολική χωρητικότητα επίσης C.

Αν 2 συσσωρευτές ονομαστικής τάσης 12 V και χωρητικότητας C συνδεθούν σε σειρά, η νέα διάταξη έχει ονομαστική τάση 24V αλλά η χωρητικότητα της παραμένει C .

Αν όμως συνδεθούν παράλληλα τότε η συστοιχία έχει ονομαστική τάση 12V και χωρητικότητα 2C.

2.5.5 Χρόνος ζωής συσσωρευτή

Οι συσσωρευτές δεν πρέπει να υφίστανται παρατεταμένη φόρτιση σε υψηλή για αυτούς τάση ούτε να εκφορτίζονται κάτω από ένα όριο. Αυτός ο κανόνας καθορίζει και τον χρόνο ζωής ενός συσσωρευτή. Ο χρόνος ζωής των συσσωρευτών εκφράζεται σε κύκλους λειτουργίας, καθένας από τους οποίους περιλαμβάνει τις διαδοχικές λειτουργίες εκφόρτισης και φόρτισης του. Η ονομαστική χωρητικότητα C ενός συσσωρευτή μειώνεται όσο αυξάνουν οι κύκλοι λειτουργία του (N_k). Το ποσό της αποθηκευμένης ηλεκτρικής ενέργειας που προσφέρεται από τον συσσωρευτή λέγεται βάθος εκφόρτισης ($\beta_{εκ}$). Το γινόμενο του βάθους εκφόρτισης επί τους κύκλους λειτουργίας παραμένει σταθερό.

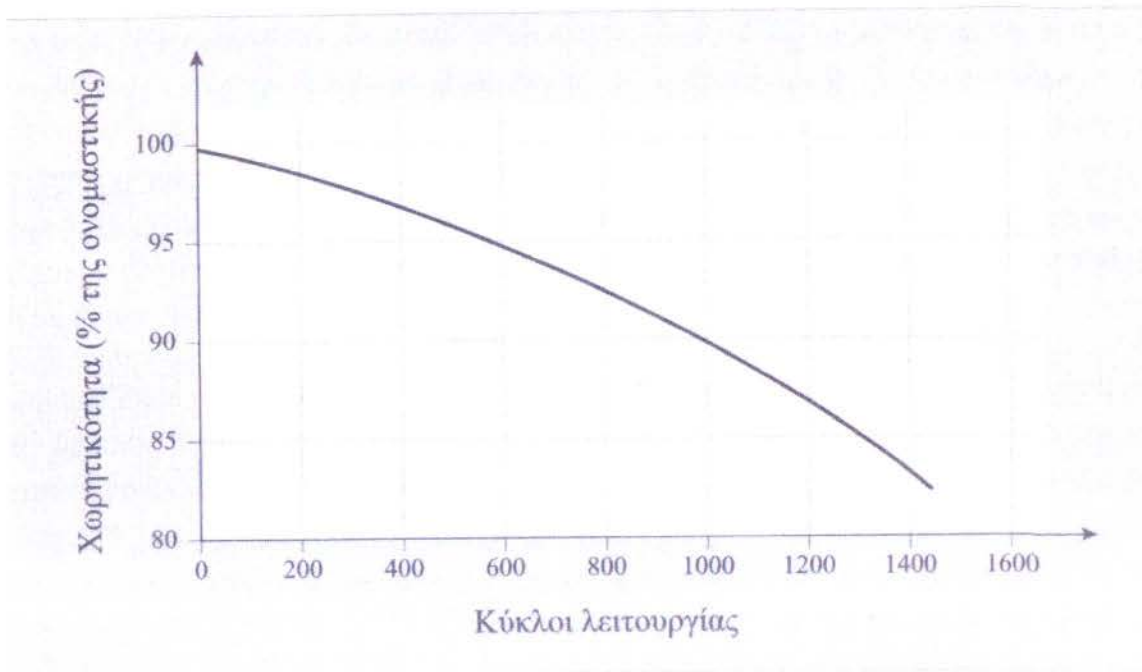
$$\beta_{εκ} * N_k = \text{σταθερό.}$$

Για τους ΦΒ συσσωρευτές (βαθείας εκφόρτισης) το γινόμενο αυτό είναι 1200 ενώ για τους κοινούς συσσωρευτές είναι 120 (εμπειρικός κανόνας).

Έτσι σε έναν ηλεκτρικό συσσωρευτή Pb/H_2SO_4 έχουμε $N_k = 4.500$ κύκλους λειτουργίας για $\beta_{εκ} = 0.2$ (δηλαδή προσφέρεται το 20% της αποθηκευμένης ηλεκτρικής ενέργειας) οι κύκλοι λειτουργίας θα μειωθούν στο μισό αν διπλασιαστεί το βάθος εκφόρτισης. ($N_k = 2250$, $\beta_{εκ} = 0.4$). Εδώ θα πρέπει ενδεικτικά να πούμε ότι η διάρκεια ζωής ενός συσσωρευτή ΦΒ τεχνολογίας που λειτουργεί με βάθος εκφόρτισης $\beta_k = 0.25$ έως 0.3 μπορεί να υπερβεί τα 10 χρόνια.

2.5.6 Επιλογή βάθους φόρτισης

- $B_k = 0.4$ για 1-3 ημέρες αυτονομίας
- $B_k = 0.6$ για 4-6 ημέρες αυτονομίας
- $B_k = 0.8$ για 7-10 ημέρες αυτονομίας
- $B_k = 0.2-0.3$ για θερμοκρασία περιβάλλοντος $< 0^\circ C$



Εικόνα 18. Μείωση χωρητικότητας συσσωρευτή συναρτήσει κύκλων λειτουργίας.

2.5.7 Έλεγχος κατάστασης φόρτισης

Ο έλεγχος κατάστασης φόρτισης ενός ηλεκτρικού συσσωρευτή γίνεται με την εξέταση δύο βασικών χαρακτηριστικών, της πυκνότητας του ηλεκτρολύτη και της πολικής τάσης.

Η εξέταση της πυκνότητας ενός ηλεκτρολύτη γίνεται με το πυκνόμετρο. Το όργανο αυτό είναι ένας σωλήνας στο άνω άκρο του οποίου υπάρχει μια ελαστική σφαίρα, ενώ εσωτερικά έχει έναν πλωτήρα με ενσωματωμένη κλίμακα πυκνότητας.



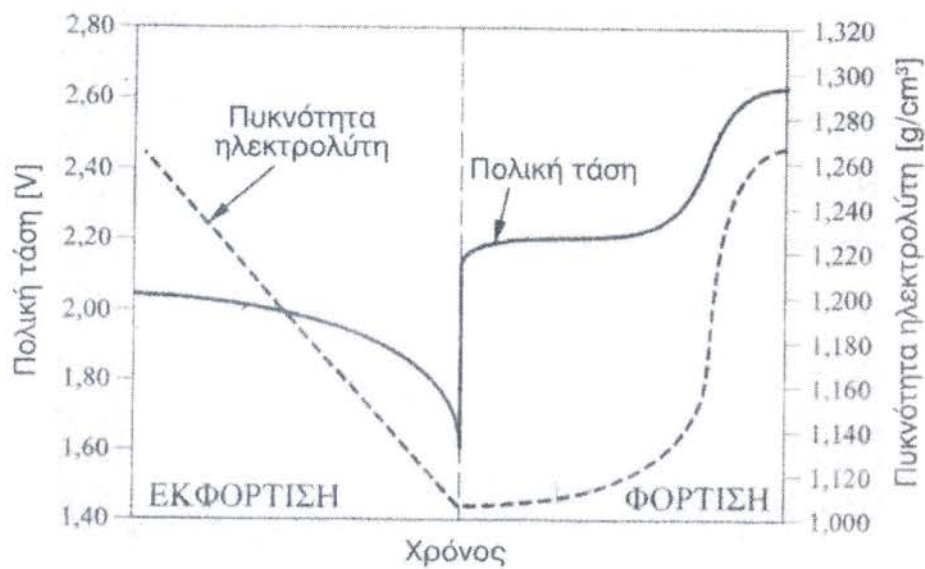
Εικόνα 19. Πλωτήρας

Η σφαίρα αυτή μας βοηθά να αναρροφήσουμε μία μικρή ποσότητα ηλεκτρολύτη μέσα στον σωλήνα του οργάνου. Η ισορροπία του πλωτήρα στην επιφάνεια του ηλεκτρολύτη μας δίνει την πυκνότητα του διαλύματος. Όταν ο συσσωρευτής είναι φορτισμένος, η πυκνότητα του ηλεκτρολύτη είναι μεγαλύτερη και ο πλωτήρας βυθίζεται λιγότερο. Αντίθετα όταν ο συσσωρευτής είναι εκφορτισμένος ο πλωτήρας βυθίζεται λιγότερο. Τέλος επειδή η πυκνότητα του ηλεκτρολύτη εξαρτάται από την θερμοκρασία, πρέπει να κάνουμε αναγωγή της ένδειξης του πυκνόμετρου ρ_t στην θερμοκρασία αναφοράς η οποία είναι οι 20°C με την βοήθεια της παρακάτω σχέσης:

$$\rho_{20} = \rho_t + 0.0007 * (t-20) \quad [\text{g/cm}^3]$$

Η πολική τάση ενός συσσωρευτή είναι ίση με την ηλεκτρεγερτική του δύναμη όταν ο συσσωρευτής δεν συνδέεται με την κατανάλωση. Δηλαδή η διαφορά δυναμικού στους πόλους του όταν το κύκλωμα είναι ανοιχτό. Η μέτρηση της πολικής τάσης γίνεται με ένα βολτόμετρο αφού έχουμε αποσυνδέσει τον συσσωρευτή από την κατανάλωση. Η μεταβολή της πυκνότητας και της πολικής τάσης ενός

ηλεκτρολύτη σε ένα στοιχείο συσσωρευτή μολύβδου-θειικού οξέος κατά τις φάσεις φόρτισης και εκφόρτισης φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Διάγραμμα 4. Μεταβολή της πυκνότητας και της πολικής τάσης

2.5.8 Αυτοεκφόρτιση συσσωρευτή

Ένας φορτισμένος συσσωρευτής εκφορτίζεται ακόμα και αν δεν είναι συνδεδεμένος με κάποια κατανάλωση (αυτοεκφόρτιση). Οφείλεται στην συνεχή δράση του θειικού οξέος στα ηλεκτρόδια κατά την οποία ο μολύβδος μετατρέπεται σε οξειδούχο μολύβδο. Η αυτοεκφόρτιση αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Τυπικοί ρυθμοί αυτοεκφόρτισης είναι οι εξής:

- Σε θερμοκρασία 5°C η αυτοεκφόρτιση είναι 5% ανά μήνα
- Σε θερμοκρασία 15°C η αυτοεκφόρτιση είναι 4% ανά μήνα
- Σε θερμοκρασία 25°C η αυτοεκφόρτιση είναι 10% ανά μήνα

2.5.9 Ρεύμα φόρτισης συσσωρευτή

Πολύ σημαντική παράμετρος για την διατήρηση του συσσωρευτή σε καλή κατάσταση είναι η ήπια φόρτισή του. Όσο μακρύτερη είναι η περίοδος φόρτισης μέχρι το άνω όριο τάσης φόρτισης (2.35 V,για 2-βολτο στοιχείο), τόσο υψηλότερη η τελική στάθμη χωρητικότητάς. Ο κανόνας που προτείνεται για λειτουργία των ΦΒ συσσωρευτών σε κανονικά πλαίσια είναι να φορτίζονται με ρυθμό το πολύ C/10(I σε A,C σε Ah)

Όπου C η ονομαστική χωρητικότητα του συσσωρευτή.

2.5.10 Απόδοση ενέργειας και φορτίου

Όταν φορτίζεται ένας συσσωρευτής ένα ποσοστό της τάξης του 10-20% της προσφερόμενης σε αυτόν ενέργειας χάνεται, θερμαίνοντας τον ηλεκτρολύτη ή προκαλώντας ηλεκτρόλυση. Έτσι ένας συσσωρευτής χαρακτηρίζεται από έναν συγκεκριμένο βαθμό απόδοσης ενέργειας, η_E . Ορίζεται ως το πηλίκο του ηλεκτρικού έργου που αποδίδει ο συσσωρευτής κατά την εκφόρτιση προς το έργο που του προσφέρθηκε κατά την προηγούμενη φόρτιση του. Τυπική τιμή του βαθμού απόδοσης ενέργειας είναι 80-85%.

$$\eta_E = W_{\text{εκφόρτισης}} / W_{\text{φόρτισης}}$$

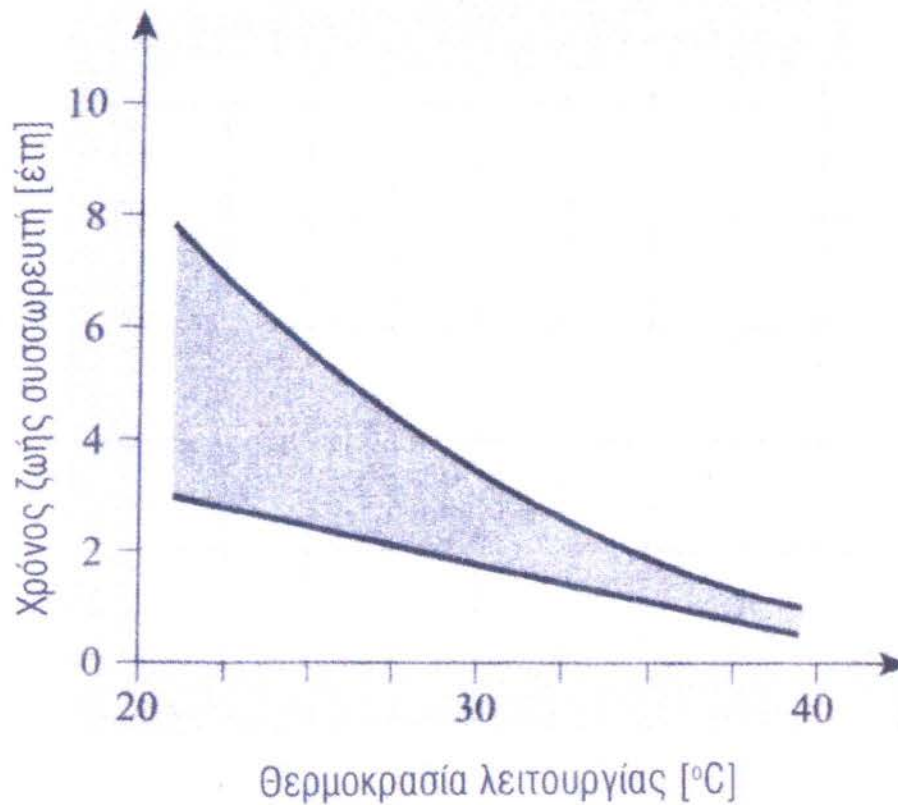
Χρησιμοποιείται επίσης και ο αντίστοιχος βαθμός απόδοσης φορτίου η_q ο οποίος ορίζεται ως ο λόγος του φορτίου κατά την εκφόρτιση προς το φορτίο κατά την φόρτιση. Η τυπική τιμή του βαθμού απόδοσης φορτίου είναι περίπου 90%.

$$\eta_q = Q_{\text{εκφόρτισης}} / Q_{\text{φόρτισης}}$$

2.5.11 Η επίδραση της θερμοκρασίας λειτουργίας στον χρόνο ζωής του συσσωρευτή

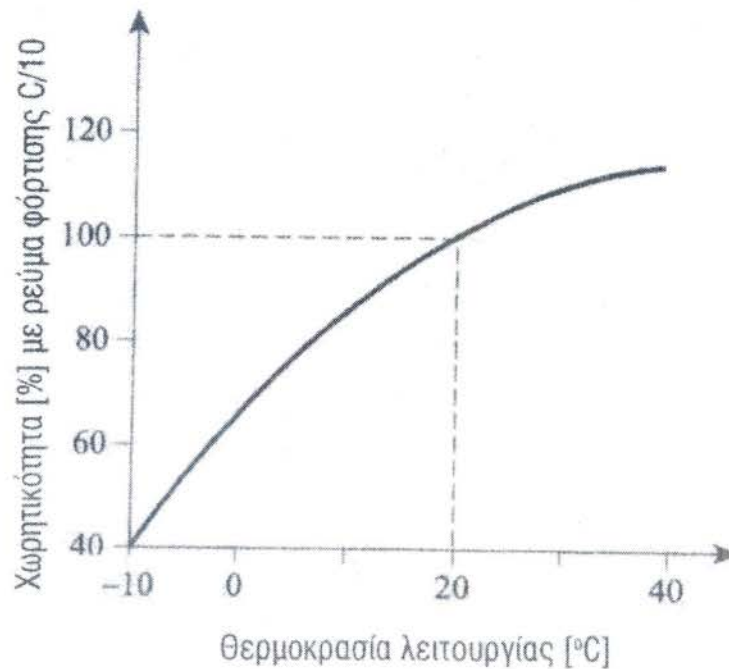
Η θερμοκρασία λειτουργίας ενός συσσωρευτή είναι μία πολύ σημαντική παράμετρος που επηρεάζει χαρακτηριστικά τον χρόνο ζωής και την χωρητικότητα

του. Θερμοκρασίες λειτουργίας πάνω από 20° C μειώνουν τον χρόνο ζωής του όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα λόγω της αυτοεκφόρτισης του.



Διάγραμμα 5. Μεταβολή χρόνου ζωής συσσωρευτή συναρτήσει της θερμοκρασίας λειτουργίας του.

Οι χαμηλές θερμοκρασίες πάλι περιορίζουν δραστικά την δυνατότητα αποθήκευσης φορτίου δηλαδή την χωρητικότητά του.



Διάγραμμα 6. Μεταβολή χωρητικότητας συσσωρευτή συναρτήσει της θερμοκρασίας λειτουργίας του

Ιδιαίτερη προσοχή χρειάζεται όταν ο συσσωρευτής λειτουργεί σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες για να αποφύγουμε το πάγωμα του ηλεκτρολύτη. Η θερμοκρασία τήξης του ηλεκτρολύτη εξαρτάται από την κατάσταση φόρτισης του συσσωρευτή.

Στον παρακάτω πίνακα βλέπουμε την αντιστοιχία της κατάστασης φόρτισης του συσσωρευτή με την θερμοκρασία τήξης του καθώς και τις αντίστοιχες τιμές της πυκνότητας του διαλύματος και της τάσης σε κενό ενός τυπικού '2-βολτου' στοιχείου.

Κατάσταση φόρτισης (SOC) (%)	Πυκνότητα ηλεκτρολύτη g/cm ³	Τάση σε κενό ανά στοιχείο (V)	Θερμοκρασία πήξης ηλεκτρολύτη (°C)
100	1,265	≥2,12	-57
75	1,225	~2,10	-37
50	1,190	~2,08	-23
25	1,155	~2,03	-16
0	1,120	≤1,95	-8

Πίνακας 1

Όπως βλέπουμε το σημείο τήξης ανεβαίνει προς το 0 όσο η κατάσταση φόρτισης μειώνεται από το 100% στο 0%. Βέβαια μπορούμε να ελέγξουμε το ελάχιστο της κατάστασης φόρτισης με έναν ελεγκτή φόρτισης τον οποίο θα εξετάσουμε στο επόμενο κεφάλαιο.

2.5.12 Συντελεστής γήρανσης του συσσωρευτή

Η χωρητικότητα του συσσωρευτή ελαττώνεται με την πάροδο του χρόνου δηλαδή με την αύξηση του αριθμού των κύκλων λειτουργίας του. Η μείωση αυτή πρέπει να ληφθεί υπόψιν κατά τον υπολογισμό της αρχικής χωρητικότητάς του ώστε να μπορεί να καλύπτει τις ημερήσιες ανάγκες των καταναλώσεων. Εμπειρικά ξέρουμε ότι η χωρητικότητα ενός συσσωρευτή στο τέλος της ζωής του πέφτει στο 80% της αρχικής ονομαστικής του χωρητικότητας. Συνεπώς ως τυπική τιμή του συντελεστή γήρανσης του συσσωρευτή λαμβάνεται η τιμή $Y_T = 0.8$.

2.6 Ελεγκτής φόρτισης

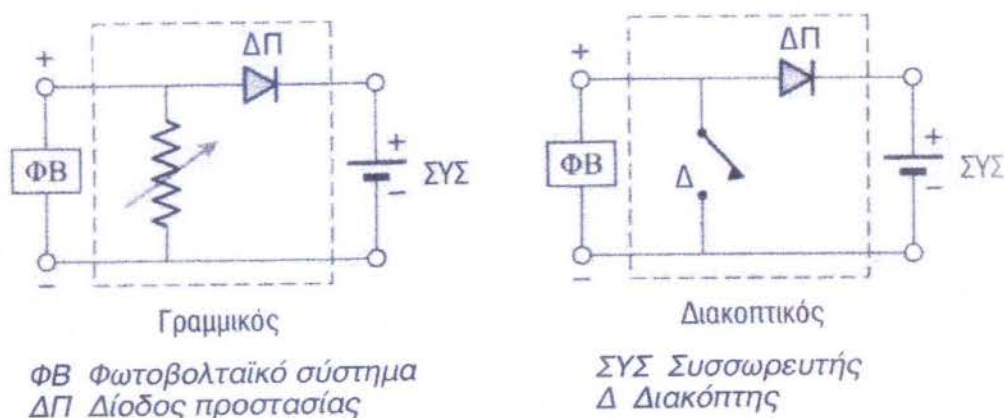
2.6.1 Περιγραφή

Η φόρτιση του ηλεκτρικού συσσωρευτή μέσω ΦΒ συστοιχίας απαιτεί συνεχή έλεγχο της κατάστασης φόρτισης. Παράλληλα επιβάλλεται ο συνεχής έλεγχος του συσσωρευτή όταν αυτός τροφοδοτεί μια κατανάλωση.

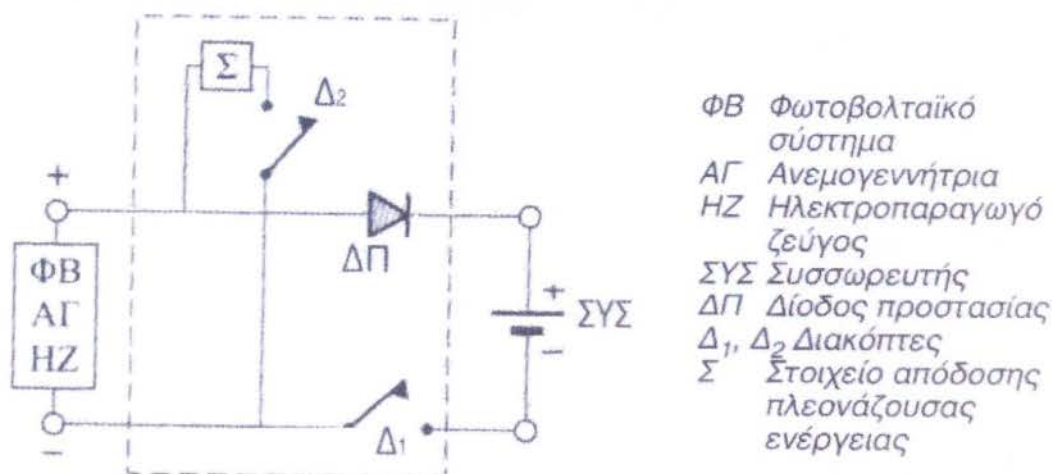
Ο ελεγκτής φόρτισης - εκφόρτισης, στην πιο απλή μορφή του εποπτεύει τις διαδικασίες φόρτισης και εκφόρτισης ώστε να απομονώνει το σύστημα αποθήκευσης αφενός από το σύστημα παραγωγής της ενέργειας, στην περίπτωση υπερφόρτισης και αφετέρου από το σύστημα της κατανάλωσης στην περίπτωση υπερφόρτισης. Και στις δυο περιπτώσεις η διακοπή αυτή προκαλείται όταν η τάση στα άκρα του συσσωρευτή ξεπεράσει προς τα πάνω και αντίστοιχα προς τα κάτω ορισμένα όρια τάσης.

Μία τέτοια μονάδα περιλαμβάνει ένα σύνολο ολοκληρωμένων συστημάτων, είτε μικροελεγκτές οι οποίοι ελέγχουν ηλεκτρικούς διακόπτες είτε ρελέ είτε ηλεκτρονικά κυκλώματα ισχύος. Σε κάθε περίπτωση πάντως στο κύκλωμα επιβάλλεται μία δίοδος για την προστασία του συστήματος αποθήκευσης.

Ειδικά για ΦΒ συστήματα τα οποία χαρακτηρίζονται ως πηγές σταθερού ρεύματος χρησιμοποιούνται διατάξεις των οποίων τα τυπικά διαγράμματα φαίνονται παρακάτω:



Εικόνα 19. Ελεγκτής φόρτισης – Παράλληλος



Εικόνα 19. Ελεγκτής φόρτισης – Σε σειρά

Χαρακτηριστικό αυτού του ρυθμιστή είναι ότι το ελεγχόμενο στοιχείο είναι συνδεδεμένο παράλληλα με το ΦΒ σύστημα με δυνατότητα να λειτουργεί είτε μεταβαλλόμενο γραμμικά ανάλογα με την μέγιστη φόρτιση (σχήμα 1) είτε ως διακόπτης ON/OFF (σχήμα 2). Σε αυτήν την περίπτωση όταν επιτευχθεί η μέγιστη φόρτιση, το ελεγχόμενο στοιχείο βραχυκυκλώνει το ΦΒ σύστημα χωρίς να του προκαλεί καμία βλάβη. Έτσι απομονώνεται το σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από το σύστημα αποθήκευσης της.

Όπως είναι αυτονόητο η διάταξη αυτή συμπληρώνεται με μία παρόμοια η οποία ελέγχει την εκφόρτιση του συστήματος αποθήκευσης και συνήθως ενσωματώνεται στην πρώτη. Διακόπτει το κύκλωμα παροχής ενέργειας από τον συσσωρευτή στην κατανάλωση, όταν η τάση στα άκρα του συσσωρευτή φτάσει ένα συγκεκριμένο κάτω όριο.

2.6.2 Κριτήρια επιλογής ελεγκτή φόρτισης

Για την επιλογή ενός ελεγκτή λαμβάνουμε υπόψη τρεις βασικές παραμέτρους:

1. Την ονομαστική του τάση η οποία πρέπει να είναι ίδια με την αντίστοιχη ονομαστική τάση του ηλεκτρικού συσσωρευτή
2. Επίσης πρέπει να έχει την δυνατότητα να δεχτεί το μέγιστο ρεύμα εισόδου το οποίο παράγεται από την ΦΒ συστοιχία.

3. Τέλος ο ελεγκτής θα πρέπει να μπορεί να αποδώσει μέγιστο ρεύμα εξόδου για να μπορεί να ικανοποιήσει τις ηλεκτρικές καταναλώσεις που λειτουργούν ταυτόχρονα.

2.7 Μετατροπείς τάσης (Inverters)

Οι μετατροπείς τάσης είναι ηλεκτρονικές διατάξεις οι οποίες προσαρμόζουν την τάση του συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην τάση του συστήματος αποθήκευσης, έτσι ώστε να γίνεται πλήρης εκμετάλλευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.

Οι μετατροπείς αυτοί διακρίνονται σε τρεις βασικούς τύπους:

2.7.1 Μετατροπέας συνεχούς τάσης σε συνεχή (DC-DC converter)

Η μετατροπή συνεχούς τάσης σε συνεχή βασίζεται στην χρήση υψίσυχνων διακοπτικών στοιχείων κυκλωμάτων με τα οποία μπορούμε να διαχειριστούμε μεγάλη ισχύ με ελάχιστες απώλειες. Η διάταξη αυτή μετατρέπει συνεχή τάση σε συνεχή μεγαλύτερης ή μικρότερης τιμής προσαρμόζοντας την στις απαιτήσεις και συμβάλλοντας στην μείωση των καταναλώσεων στην γραμμή μεταφοράς από την παραγωγή στην αποθήκευση της ενέργειας. Ουσιαστικά η διάταξη αυτή προστατεύει τον συσσωρευτή από υπερτάσεις προσαρμόζοντας την τάση της ΦΒ συστοιχίας σε αυτήν του συσσωρευτή. Τέλος στον μετατροπέα DC-DC μπορεί να προστεθεί μία ηλεκτρονική διάταξη που λέγεται ρυθμιστής ισχύος. Η οποία διάταξη επιβάλλει την προσαρμογή του σημείου λειτουργίας στο σημείο μέγιστης ισχύος. Θα πρέπει βέβαια να σημειώσουμε ότι ένα ΦΒ σύστημα με ηλεκτρικό συσσωρευτή λειτουργεί ήδη πολύ κοντά στο σημείο μέγιστης ισχύς κατά την διάρκεια του αποδοτικότερου μέρους της ημέρας, οπτοαδέν απαιτείται ρυθμιστής ισχύος.

2.7.2 Μετατροπέας συνεχούς τάσης σε εναλλασσόμενη (DC-AC inverter)

Η χρησιμοποίηση του εναλλασσόμενου ρεύματος σε ΦΒ εφαρμογές επιβάλλεται στις περισσότερες περιπτώσεις λόγω της ευρείας χρησιμοποίησης του

σε κάθε είδους οικιακές χρήσεις και εφαρμογές καθώς και στην βιομηχανία. Τρεις είναι οι τρόποι μετασχηματισμού συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο:

- Με συνδυασμό κινητήρα συνεχούς ρεύματος με γεννήτρια εναλλασσόμενου
- Με χρήση του κλασσικού μηχανικού ή ηλεκτρονικού διακοπτικού συστήματος
- Με τον καθαρά ηλεκτρονικό μετατροπέα DC-AC (inverter)

Η διάταξη αυτή μετατρέπει την συνεχή τάση σε εναλλασσόμενη και χρησιμοποιείται όταν διαθέτουμε πηγή συνεχούς ηλεκτρικής τάσης ενώ στην κατανάλωση έχουμε συσκευές εναλλασσόμενης τάσης. Δηλαδή αποτελούν κλασσική περίπτωση εφαρμογής σε ΦΒ συστήματα οικιακής χρήσης. Θα πρέπει εδώ να σημειώσουμε ότι κατά την λειτουργία αυτής της διάταξης παράγεται ένα μεγάλο πλήθος αρμονικών υψηλών συχνοτήτων οι οποίες περιορίζονται με ειδικά ηλεκτρονικά φίλτρα.

Οι inverters αποτελούνται από ηλεκτρονικούς διακόπτες (διπολικά τρανζίστορ ισχύος. Mosfet, θυρίστορ κ.τ.λ.), η συνδυασμένη λειτουργία των οποίων έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία σειράς τετραγωνικών παλμών διαδοχικά ορθών και ανεστραμμένων.

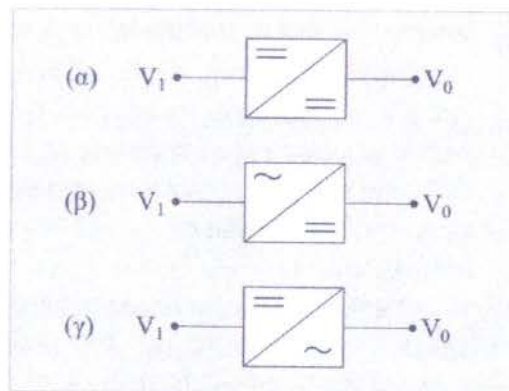
Γενικά η απόδοση των inverter είναι αρκετά υψηλή και κυμαίνεται στο 93 με 96 % εξαρτώμενη από το ποσοστό του πλήρους φορτίου που τροφοδοτεί. Η υψηλή αυτή απόδοση απαιτείται ακόμα και αν το φορτίο με το οποίο τροφοδοτείται είναι μειωμένο. Ειδικότερα απαιτείται υψηλή απόδοση (>90%) ακόμα και αν το φορτίο ανέρχεται μόλις στο 10% του πλήρους.

Επειδή οι inverters είναι από τα πλέον απαραίτητα στοιχεία ενός ΦΒ συστήματος θα εξετάσουμε κάποια κριτήρια επιλογής για έναν inverter.

Αρχικά, πρέπει η ονομαστική του τάση να είναι ίδια με αυτήν του ηλεκτρικού συσσωρευτή. Έπειτα, η ισχύς εξόδου τους πρέπει να είναι ίση με την μέγιστη ηλεκτρική ισχύ των φορτίων κατανάλωσης που λειτουργούν ταυτόχρονα. Ακόμα, η ισχύς αιχμής του θα πρέπει να είναι τριπλάσια από την μέγιστη ηλεκτρική ισχύ των φορτίων κατανάλωσης που λειτουργούν ταυτόχρονα. Τέλος, η τάση εξόδου του μετατροπέα πρέπει να είναι ίση με την τάση των φορτίων κατανάλωσης.

2.7.3 Μετατροπέας εναλλασσόμενης τάσης σε συνεχή (AC-DC)

Αυτού του είδους η διάταξη χρησιμοποιείται περισσότερο σε ενεργειακές πηγές ηλεκτροπαραγωγών ζευγών και ανεμογεννητριών. Για την λειτουργία της συνδυάζεται ένα σύστημα ανόρθωσης της παρεχόμενης εναλλασσόμενης ηλεκτρικής τάσης με μια διάταξη μετατροπής συνεχούς ρεύματος σε συνεχές (DC-DC), χωρίς την παρεμβολή μετασχηματιστή.

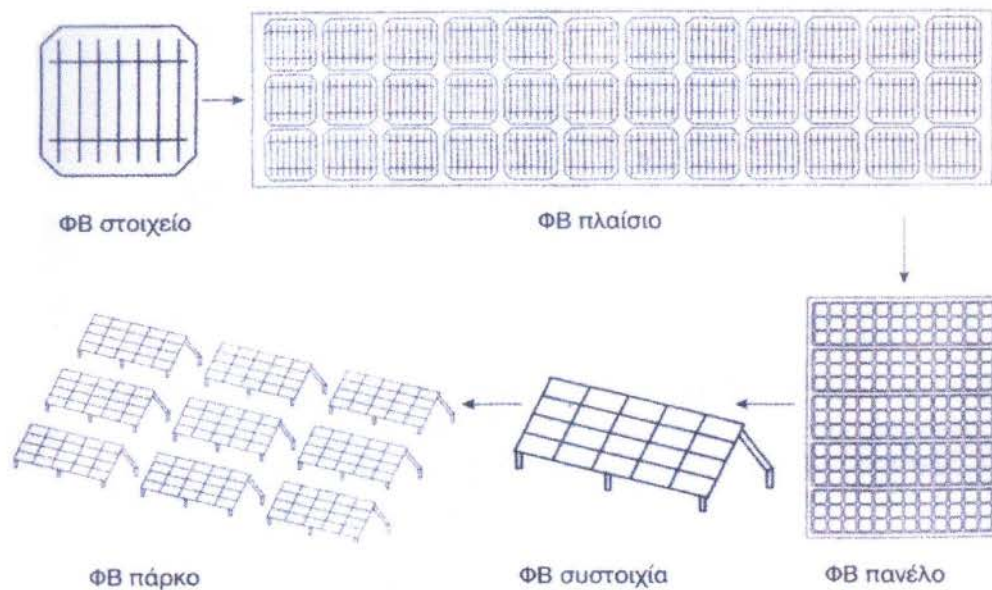


Εικόνα 20. Συμβολικές διατάξεις Inverter α. DC-DC, β. AC-DC, γ. DC-AC

2.8 Φ/Β συστοιχία

2.8.1. Περιγραφή

ΦΒ πάνελ είναι ένα σύνολο ΦΒ πλαισίων συνδεδεμένων μεταξύ τους σε σειρά ή παράλληλα. Αυτά τα ΦΒ πλαίσια στηρίζονται σε ένα μεταλλικό πλαίσιο και αποτελούν μια ενιαία κατασκευή. Ένα τέτοιο σύνολο από πάνελ αποτελεί την ΦΒ συστοιχία. Με την σειρά τους οι ΦΒ συστοιχίες συγκροτούν ένα ΦΒ πάρκο το οποίο μαζί με το σύνολο του εξοπλισμού που απαιτείται για την λειτουργία του συγκροτεί έναν ΦΒ σταθμό, όπως φαίνεται και στην εικόνα.



Εικόνα 21. Μέρη Φ/Β συστοιχίας

Παρακάτω εξετάζουμε την ηλεκτρική συμπεριφορά μιας ΦΒ συστοιχίας

2.8.2 Βαθμός απόδοσης ΦΒ συστοιχίας

Ο βαθμός απόδοσης η_{Σ} μιας ΦΒ συστοιχίας προκύπτει από το γινόμενο του βαθμού απόδοσης η_{Π} ενός ΦΒ πλαισίου με δυο συντελεστές

- Συντελεστής ανομοιογένειας $\sigma_{\alpha} = 0.98$

Ο συντελεστής αυτός εκφράζει την ανομοιογένεια των χαρακτηριστικών I-V των πλαισίων που απαρτίζουν την ΦΒ συστοιχία η οποία μπορεί να προκληθεί από εξωτερικούς (σκίαση) ή εσωτερικούς (διαφορετική ψύξη πλαισίων) παράγοντες, ή ακόμα μπορεί να υπάρχουν εκ κατασκευής.

- Συντελεστής καλωδιώσεων $\sigma_{\kappa} = 0.98$

Ο συντελεστής αυτός εκφράζει τις απώλειες στα καλώδια σύνδεσης των πλαισίων της συστοιχίας.

Ο βαθμός απόδοσης μιας ΦΒ συστοιχίας δίνεται από τον εξής τύπο:

$$\eta_{\Sigma} = \eta_{\Pi} * \sigma_{\alpha} * \sigma_{\kappa}$$

2.8.3 Επιφάνεια ΦΒ συστοιχίας

Η επιφάνεια S_{Σ} της ΦΒ συστοιχίας υπολογίζεται από την σχέση:

$$S_{\Sigma} = E_{m\Sigma} / E_{HA} * \eta_{\Sigma} * \sigma_{\mu} \text{ [m}^2\text{]}$$

Όπου $E_{m\Sigma}$ [kWh/ημ.] : μέγιστη αποδιδόμενη ηλεκτρική ενέργεια από την ΦΒ συστοιχία για την κάλυψη των καταναλώσεων

E_{HA} [kWh/ m² ημ.] : Ημερήσια ενέργεια προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας

η_{Σ} : Βαθμός απόδοσης ΦΒ συστοιχίας

σ_{μ} : Συντελεστής απωλειών μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

2.8.4 Ισχύς αιχμής ΦΒ συστοιχίας

Ισχύς αιχμής ΦΒ συστοιχίας ονομάζεται η μέγιστη αποδιδόμενη ηλεκτρική ισχύς κάτω από τις πρότυπες συνθήκες ελέγχου S.T.C. που έχουμε αναφέρει.

Η ισχύς αιχμής της ΦΒ συστοιχίας για την κάλυψη των ημερήσιων ενεργειακών απαιτήσεων υπολογίζεται από την σχέση :

$$P_{ρΣ} = (E_K * P_{STC} * m) / (E_{HA} * \sigma_{ΑΣ} * \sigma_{\mu}) \text{ [kW}_p\text{]}$$

Όπου E_K [kWh/ημ.] : ηλεκτρική ενέργεια κατανάλωσης

P_{STC} [kWh/ m²] : ισχύς προσπίπτουσας ακτινοβολίας στις πρότυπες συνθήκες ελέγχου STC.

m : συντελεστής περιθωρίου ενεργειακών καταναλώσεων για να καλύψουμε μία πιθανή υποτίμηση των αναγκών της κατανάλωσης

$\sigma_{ΑΣ}$: συντελεστής απωλειών ΦΒ συστοιχίας

σ_{μ} : Συντελεστής απωλειών μεταφοράς ενέργειας

E_{HA} [kWh/ m² ημ.] : Ημερήσια ενέργεια προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας

Ο συντελεστής απωλειών ΦΒ συστοιχίας περιλαμβάνει όλες τις απώλειες που προαναφέραμε και αφορούν τα ΦΒ πλαίσια καθώς και αυτές που αφορούν την ΦΒ συστοιχία.

$$\sigma_{ΑΣ} = \sigma_{\delta} * \sigma_{\theta} * \sigma_{ρ} * \sigma_{\gamma} * \sigma_{\alpha} * \sigma_{\kappa}$$

Δηλαδή για ελαφρώς σκονισμένα πλαίσια ο συντελεστής απωλειών είναι

$$\sigma_{ΑΣ} = 0.77\sigma_{\theta}$$

Η ισχύς αιχμής της ΦΒ συστοιχίας για την κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων η ημερών αυτονομίας, υπολογίζεται από την σχέση:

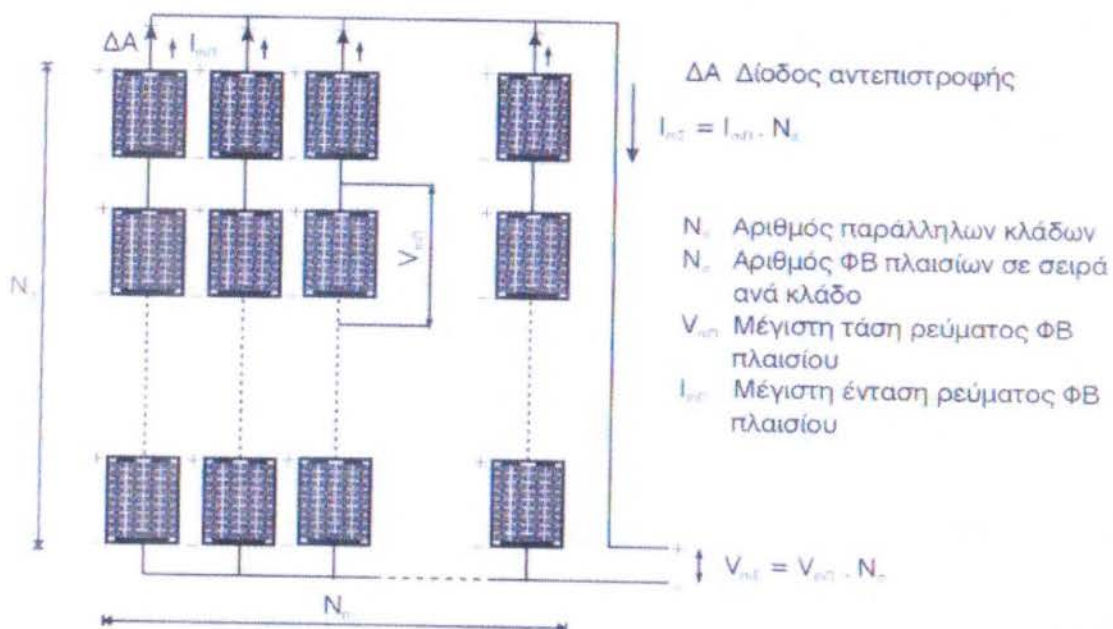
$$P_{ρΣ} = [(E_K * P_{STC} * m) / (E_{HA} * \sigma_{ασί})] * N / (N-n) \text{ [kW}_p\text{]}$$

N [ημέρες] : χρονική περίοδος αναφοράς(π.χ. $N=31$ για τον Ιανουάριο)

N_{Π} [ημέρες] : αριθμός ημερών αυτονομίας

2.9 Σχεδιασμός ΦΒ συστοιχίας

Μια ΦΒ συστοιχία αποτελείται από N ΦΒ πλαίσια τα οποία κατανέμονται σε N_{Π} κλάδους συνδεδεμένους παράλληλα μεταξύ τους. Κάθε κλάδος περιλαμβάνει N_{σ} ΦΒ πλαίσια συνδεδεμένα σε σειρά.



Εικόνα 22. Σύνδεση Φ/Β συστοιχίας

Για την αποφυγή απωλειών λόγω ανομοιογένειας όλα τα ΦΒ πλαίσια θα πρέπει να έχουν τα ίδια ηλεκτρικά χαρακτηριστικά κάτω από τις ίδιες συνθήκες λειτουργίας.

Η σύνδεση των πλαισίων πρέπει να γίνεται με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε η τάση εξόδου της συστοιχίας να αποκτά την επιθυμητή τιμή

Οι κανόνες συνδεσμολογίας των ηλεκτρικών πηγών ισχύουν και για την σύνδεση ΦΒ πλαισίων είναι οι εξής:

- Η τάση ρεύματος της ΦΒ συστοιχίας είναι ίση με την τάση ρεύματος ενός κλάδου

- Η τάση ρεύματος ενός κλάδου ισούται με το γινόμενο της τάσης ρεύματος ενός πλαισίου επί τον αριθμό πλαισίων N_{σ} του κλάδου

- Η ένταση ρεύματος της ΦΒ συστοιχίας ισούται με το γινόμενο της έντασης ρεύματος ενός κλάδου επί τον αριθμό των κλάδων N_{π}

- Η ένταση ρεύματος ενός κλάδου είναι ίση με την ένταση ρεύματος ενός πλαισίου

Η μέγιστη τάση ρεύματος ΦΒ συστοιχίας είναι : $V_{m\Sigma} = V_{m\Pi} * N_{\sigma}$ [V]

Η μέγιστη ένταση ρεύματος ΦΒ συστοιχίας είναι : $I_{m\Sigma} = I_{m\Pi} * N_{\pi}$ [A]

Όπου $V_{m\Pi}$: Μέγιστη τάση ρεύματος ΦΒ πλαισίου

$I_{m\Pi}$: Μέγιστη ένταση ρεύματος ΦΒ πλαισίου

N_{σ} : Αριθμός ΦΒ πλαισίων σε σειρά ανά κλάδο

N_{π} : Αριθμός παράλληλων κλάδων

Ο καθορισμός της συνδεσμολογίας των πλαισίων της ΦΒ συστοιχίας γίνεται με τον ακόλουθο τρόπο:

1) Υπολογίζουμε τον αριθμό των ΦΒ πλαισίων

$$N = P_{p\Sigma} / P_{p\Pi}$$

Όπου $P_{p\Sigma}$: Ισχύς αιχμής ΦΒ συστοιχίας

$P_{p\Pi}$: Ισχύς αιχμής ΦΒ πλαισίου

2) Υπολογισμός αριθμού ΦΒ πλαισίων συνδεδεμένων σε σειρά

$$N = V_{m\Sigma} / V_{m\Pi}$$

Όπου $V_{m\Sigma}$: Μέγιστη τάση ρεύματος ΦΒ συστοιχίας (μέγιστη επιτρεπόμενη τα 600 V)

$V_{m\Pi}$: Μέγιστη τάση ρεύματος ΦΒ πλαισίου

3) Υπολογισμός αριθμού παράλληλων κλάδων

$$N_{\pi} = N / N_{\sigma}$$

2.10 ΦΒ συστήματα Εκτός δικτύου (Stand alone ή Off grid)

Η απαιτούμενη από την εφαρμογή ηλεκτρική ενέργεια καλύπτεται εξολοκλήρου από το ΦΒ σύστημα χωρίς να απαιτείται η σύνδεση στο εθνικό δίκτυο ηλεκτροδότησης και μπορεί να περιλαμβάνει ή όχι ηλεκτρικούς συσσωρευτές. α εκτός δικτύου ΦΒ συστήματα διακρίνονται επίσης σε αυτά τα οποία τροφοδοτούν άμεσα την κατανάλωση χωρίς να παρεμβάλλονται συσσωρευτές, κάτι το οποίο σημαίνει ότι η κατανάλωση είναι σε θέση να λειτουργήσει μόνο όσο φωτίζεται το σύστημα, και σε αυτά τα οποία χρησιμοποιούν συσσωρευτές για την αποθήκευση όλης ή μέρους της παραγόμενης ενέργειας, κάτι το οποίο τους δίνει ορισμένες ημέρες αυτονομίας ανάλογα με το βάθος εκφόρτισης των συσσωρευτών.

2.10.1 Αυτόνομα ΦΒ συστήματα χωρίς αποθήκευση

Σε αυτήν την περίπτωση η παραγόμενη ενέργεια αποδίδεται απευθείας στην κατανάλωση χωρίς παρεμβολή συσσωρευτών. Χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις που δεν απαιτείται τακτική λειτουργία του συστήματος, όπως σε αρδεύσεις νερού για το πότισμα καλλιεργειών.

2.10.2 Αυτόνομα ΦΒ συστήματα με αποθήκευση

Εδώ η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιείται απευθείας για την τροφοδοσία των καταναλώσεων και η περίσσεια της αποθηκεύεται στους συσσωρευτές προκειμένου να χρησιμοποιηθεί κατά την διάρκεια της νύχτας ή σε περιόδους ελλιπούς ηλιοφάνειας. Σε αυτήν την περίπτωση το σύστημα θα πρέπει να περιλαμβάνει έναν ελεγκτή φόρτισης του συσσωρευτή καθώς και μετατροπέα τάσης αν οι συσκευές που τροφοδοτούνται απαιτούν εναλλασσόμενη τάση.

2.11 ΦΒ συστήματα συνδεδεμένα στο δίκτυο

Σε αυτά τα συστήματα υπάρχει απευθείας σύνδεση στο τοπικό ή εθνικό δίκτυο τροφοδοσίας. Το δίκτυο αποτελεί για το ΦΒ σύστημα μία τεράστια δεξαμενή σταθερής ηλεκτρικής τάσης. Συνεπώς δεν είναι απαραίτητη η χρησιμοποίηση συσσωρευτών.

Διακρίνονται σε αυτά που είναι συνδεδεμένα στο δίκτυο ως κατανεμημένα και σε εκείνα που αποτελούν κεντρικούς ΦΒ σταθμούς των οποίων η παραγόμενη

ηλεκτρική ενέργεια διοχετεύεται στο δίκτυο. Τα συνδεδεμένα στο δίκτυο ΦΒ συστήματα αποτελούν το μεγαλύτερο ποσοστό των εγκατεστημένων ΦΒ συστημάτων παγκοσμίως. Επίσης τα κατανεμημένα ΦΒ συστήματα διακρίνονται σε αυτά που χρησιμοποιούν το δίκτυο ως βοηθητική πηγή ενέργειας έτσι ώστε να καλύπτεται τυχόν αυξημένη ζήτηση ενέργειας ή ακόμα και αστοχίες του συστήματος, και σε αυτά που αλληλεπιδρούν με το δίκτυο, παρέχοντας του την επιπλέον ενέργεια που παράγεται.

2.12 Κινητά Συστήματα Στήριξης

2.12.1 Περιγραφή

Η απόδοση ενός πλαισίου εξαρτάται άμεσα από την γωνία κλίσης που έχει σε σχέση με τις ακτίνες του ήλιου. Όσο πιο κοντά στις 0° είναι αυτή η γωνία, τόσο πιο μεγάλη είναι η εκμετάλλευση την έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας.

Η εκμεταλλεύσιμη ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας δίνεται από τον τύπο: $I' = I \sin \theta$, όπου θ η γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στις ηλιακές ακτίνες και στην κάθετη του επιπέδου του ηλιακού πλαισίου

Για την μεγιστοποίηση της απόδοσης ενός πλαισίου και κατ'επέκταση όλου του ΦΒ συστήματος χρησιμοποιούνται κινητά συστήματα στήριξης τα οποία "ακολουθούν" την πορεία του ήλιου σε μια προσπάθεια να κρατήσουν την γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας σε μηδενικές τιμές .

2.12.2 Διάκριση ανάλογα με trackers

Τα συστήματα αυτά ονομάζονται ηλιοστάτες ή trackers. Υπάρχουν 3 βασικά είδη τέτοιων συστημάτων.

- Παρακολούθηση της τροχιάς στον κάθετο άξονα (**vertical one axis tracker**)-> (Μικρή αύξηση απόδοσης)

- Παρακολούθηση της τροχιάς στον οριζόντιο άξονα (**horizontal one axis tracker**) -> (Μεσαία αύξηση απόδοσης)

- Παρακολούθηση της τροχιάς και στους δύο άξονες (**dual axis tracker**) -> (Μέγιστη αύξηση απόδοσης)

Επίσης ανάλογα με την μέθοδο που δίνει κίνηση στους άξονες του συστήματος διακρίνονται σε:

- Υδραυλικά συστήματα κίνησης
- Ηλεκτρικά συστήματα κίνησης

2.12.3 Πλεονεκτήματα

Τα tracker πλεονεκτούν συνολικά στην απόδοση της επένδυσης του Φ/Β συστήματος και αποδίδουν μεγαλύτερα οικονομικά οφέλη.

Υπάρχει ένα αυξημένο κόστος γενικότερα στην κατασκευή και την εγκατάσταση αλλά οι ηλιοστάτες μπορούν να αυξήσουν αρκετά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Η αύξηση αυτή μπορεί ξεκινάει από 10% (για συστήματα μονού άξονα) να φτάσει ακόμα και το 40% (αλλά για κάποιες μόνο εποχές του χρόνου). Ο υπολογισμός της μέσης ετήσιας αύξησης στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ενός συστήματος είναι το κρίσιμο μέγεθος που θα πρέπει να υπολογίσει κανείς για να βγάλει χρήσιμα συμπεράσματα.

Η χρήση των tracker πάντως συστήνεται μόνο σε περιοχές που έχουν υψηλό ποσοστό άμεσης ακτινοβολίας (όπως στην Ελλάδα).

Για αυτόν ακριβώς τον λόγο μπορεί να παρατηρήσει κανείς ότι στην Ισπανία και την Γερμανία (οι 2 περισσότερο ώριμες αγορές του κόσμου) όπου έχουν τοποθετηθεί πολλά Φ/Β πάρκα χρησιμοποιούνται διαφορετικές πρακτικές όσον αφορά τα συστήματα στήριξης.

Στην μεν συννεφιασμένη Γερμανία τα συντριπτικά περισσότερα εγκατεστημένα συστήματα είναι σταθερά, ενώ στην Ισπανία τα trackers έχουν κατακτήσει ένα πολύ σημαντικό μερίδιο της αγοράς.

2.12.4 Μειονεκτήματα

- Το αυξημένο κόστος της επένδυσης.
- Η ύπαρξη κινητών μερών η οποία και αυξάνει την πολυπλοκότητα του συστήματος.
- Η ανάγκη για αυτοκατανάλωση κάποιας ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας για την περιστροφή (κίνηση) των συστημάτων.
- Το αυξημένο κόστος συντήρησης.

- Η μεγαλύτερη ανάγκη για απομακρυσμένο (τηλεπικοινωνιακά) έλεγχο του συστήματος μιας και η πιθανότητα αστοχίας είναι μεγαλύτερη.

- Μεγαλύτερος κίνδυνος καταστροφής σε περίπτωση ακραίων καιρικών φαινομένων.

Συμπερασματικά υπάρχουν αρκετοί παράμετροι που θα πρέπει κανείς να σταθμίσει για να προχωρήσει στην επιλογή ενός σταθερού συστήματος στήριξης σε σχέση με ένα κινητό οι οποίοι εξαρτώνται από τις ιδιαιτερότητες κάθε εγκατάστασης καθώς και από την επιθυμία και την δυνατότητα του πελάτη-επενδυτή.

Μέρος 3^ο

3.1 Απομακρυσμένος έλεγχος Φ/Β Συστήματος

Όσο ωριμάζει η βιομηχανία των Φ/Β Συστημάτων τόσο θα γίνεται πιο έντονη η ανάγκη για την ανάπτυξη αποτελεσματικών μεθόδων παρακολούθησης και απομακρυσμένης επέμβασης στις παραμέτρους τέτοιου είδους συστημάτων. Οι λόγοι που επιτάσσουν την εφαρμογή τέτοιων μεθόδων είναι αφενός η καλύτερη και ευκολότερη παρακολούθηση των συνθηκών λειτουργίας μιας ΦΒ εγκατάστασης και αφετέρου η βελτιστοποίηση της απόδοσής της, μέσω της επέμβασης, σε κρίσιμες παραμέτρους του συστήματος .

Με την εξάπλωση της τεχνολογίας των δικτύων, κάποιες καινοτόμες εταιρείες σχεδίασαν διαδικτυακά εργαλεία τα οποία δίνουν στους ιδιοκτήτες και στους εγκαταστάτες ΦΒ συστημάτων την πρόσβαση σε πραγματικό χρόνο στα κρίσιμα μεγέθη λειτουργίας του συστήματος ,καθώς και την δυνατότητα άμεσης ειδοποίησης και απομακρυσμένης επέμβασης σε περίπτωση εμφάνισης οπουδήποτε σφάλματος κατά την λειτουργία του.

3.2 Πλεονεκτήματα

Μερικά πλεονεκτήματα τα οποία κάνουν δημοφιλή την χρήση τέτοιων συστημάτων ειδικά σε απομακρυσμένα συστήματα είναι τα εξής:

- Ελαχιστοποιούνται τα ταξίδια που πρέπει να κάνουν οι μηχανικοί για έλεγχο και συντήρηση στις εγκαταστάσεις.
- Αισθητή μείωση του ήδη χαμηλού κόστους συντήρησης των μονάδων.
- Πρόληψη πιθανών βλαβών πριν ακόμα αυτές συμβούν λόγω της συνεχής παρακολούθησης
- Μέσω της συνεχούς παρακολούθησης και καταγραφής των κρίσιμων μεγεθών ενός ΦΒ Συστήματος έχουμε την δυνατότητα λήψης στατιστικών στοιχείων τα οποία αφορούν την συγκεκριμένη εγκατάσταση και τα οποία βοηθούν για την πλήρη παραμετροποίηση των συνθηκών λειτουργίας του συστήματος.

3.3 Ασφάλεια και αντικλεπτική προστασία

Σε περίπτωση που εντοπιστεί πρόβλημα στην λειτουργία ενός εξαρτήματος το σύστημα κλείνει άμεσα το προβληματικό εξάρτημα και ειδοποιείται ο διαχειριστής του συστήματος πριν το πρόβλημα έχει καταστροφικές συνέπειες για το σύστημα. Για παράδειγμα αν η Φ/Β σειρά παράγει περισσότερη τάση από αυτήν που μπορεί να αντέξει ο inverter υπάρχει η δυνατότητα να “κλειδώσει” η τάση η οποία εισέρχεται στον inverter και έτσι το σύστημα να λειτουργεί όσο πιο αποδοτικά γίνεται. Επίσης, μέσω αμφίδρομης επικοινωνίας μπορεί να γίνει έλεγχος των συνδέσεων των εξαρτημάτων του συστήματος. Συγκεκριμένα, ο κεντρικός ελεγκτής στέλνει περιοδικά σήματα προς όλα τα εξαρτήματα και λαμβάνει επιβεβαίωση, αν αυτό δεν γίνει για 2 συνεχόμενες φορές τότε στέλνεται σήμα συναγερμού στον διαχειριστή για να διαπιστώσει αν τα εξαρτήματα έχουν αφαιρεθεί ή συμβαίνει κάποιου άλλου είδους δυσλειτουργία. Αυτή η μέθοδος σε περιπτώσεις απομακρυσμένων εγκαταστάσεων μπορεί να εξοικονομήσει σημαντικά ποσά από την εποπτεία και την ασφάλιση του συστήματος.

3.4 Έλεγχος της διανομής ενέργειας

Η εκμετάλλευση των δεδομένων τα οποία έρχονται στον κεντρικό ελεγκτή σε πραγματικό χρόνο καθώς και ο έλεγχος των Φ/Β σειρών μπορούν να ελαχιστοποιήσουν την επίδραση των απότομων αλλαγών στην τάση εξόδου του inverter καθώς και των ολικών διακοπών ρεύματος από το σύστημά μας. Σε τέτοιες έκτακτες περιπτώσεις ενεργοποιείται μέσω του ελεγκτή η τροφοδότηση των καταναλώσεων από τους συσσωρευτές.

3.5 Μοντελοποίηση του συστήματος

Έχοντας την δυνατότητα να έχουμε ακόμα και ανά δευτερόλεπτο την εικόνα όλων των μεγεθών του συστήματός μας, μπορούμε να μοντελοποιήσουμε την λειτουργία και την συμπεριφορά του υπό διαφορετικές συνθήκες θερμοκρασίας και ηλιοφάνειας κατά την διάρκεια του έτους. Μέσω της μοντελοποίησης μπορούμε επίσης να προβλέψουμε την λειτουργία του συστήματος υπό διάφορες συνθήκες και να έχουμε άμεση ειδοποίηση πριν ακόμα παρουσιαστεί κάποια δυσλειτουργία. Ακόμα κάθε τέτοιο μοντελοποιημένο σύστημα μπορεί να λειτουργήσει σαν οδηγός για την ανάπτυξη Φ/Β συστημάτων σε περιοχές με ίδια ή παρόμοια χαρακτηριστικά.

3.6 Μεγέθη προς έλεγχο

Βασική προϋπόθεση για να σχεδιαστεί μια εφαρμογή παρατήρησης και ελέγχου μιας ΦΒ εγκατάστασης είναι ο αρχικός προσδιορισμός των μεταβλητών οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν.

Οι παραπάνω μεταβλητές μπορούν να χωριστούν σε 2 ομάδες .Στις εξωτερικές του συστήματος, στις οποίες δεν μπορούμε να επέμβουμε και είναι οι εξής:

- Θερμοκρασία περιβάλλοντος
- Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας
- Υγρασία
- Ταχύτητα και διεύθυνση ανέμου

και στις εσωτερικές του συστήματος, τις οποίες μπορούμε να παρατηρήσουμε και να ελέγξουμε, και οι οποίες είναι οι πιο σημαντικές στην λειτουργία μιας ΦΒ εγκατάστασης, οι οποίες είναι οι εξής:

- Θερμοκρασία λειτουργίας όλων των μερών του συστήματος (πλαίσια, inverters, ελεγκτές φόρτισης, συσσωρευτές)
- Έλεγχος εισόδου και εξόδου του inverter
- Παραγόμενη/Αποδιδόμενη ισχύς
- Κατάσταση συσσωρευτών και ελεγκτών φόρτισης.

3.7 Απαιτήσεις Λογισμικού

Κοινό χαρακτηριστικό όλων των εταιρειών οι οποίες αναπτύσσουν λογισμικά για την εποπτεία Φ/Β συστημάτων είναι η δημιουργία απλών και εύκολων στο χειρισμό εφαρμογών οι οποίες με μία ματιά να δίνουν την τρέχουσα κατάσταση του συστήματός. Οι περισσότερες εφαρμογές έχουν την δυνατότητα τα διαχειρίζονται μέχρι και 100 inverters. Με αυτόν τον τρόπο είναι δυνατή η εποπτεία αρκετά μεγάλων Φ/Β συστημάτων. Επίσης μέσω modem μπορεί αν υπάρχει πρόσβαση του χρήστη στα δεδομένα της εφαρμογής από οποιοδήποτε σημείο.

Οι μέχρι τώρα εφαρμογές λογισμικού που έχουν αναπτυχθεί για τον απομακρυσμένο έλεγχο ενός ΦΒ συστήματος υποστηρίζουν, κατ ελάχιστο, μια σειρά από λειτουργίες. Αυτές είναι,

- Η συνεχής συλλογή και αποθήκευση των δεδομένων που λαμβάνουν οι αισθητήρες της εγκατάστασης σε βάσεις δεδομένων.

- Η σε πραγματικό χρόνο απεικόνιση αυτών των παραμέτρων σε κατάλληλο interface.
- Η δυνατότητα διατήρησης ιστορικού και αναδρομής σε αυτό όποτε κριθεί απαραίτητο
 - Η δυνατότητα πρόσβασης στα στοιχεία του συστήματος από οποιοδήποτε σημείο.
 - Η εκτύπωση των λαμβανόμενων στοιχείων σε αρχείο τύπου xls ή pdf.
 - Έκτακτες ειδοποιήσεις (alerts) σε περίπτωση βλάβης, μέσω κατάλληλης απεικόνισης στο interface του Η/Υ και μέσω δικτύου κινητής τηλεφωνίας με sms σε προκαθορισμένους αριθμούς διαχειριστών του συστήματος.
 - Η δυνατότητα επεκτασιμότητας της εφαρμογής με την προσθήκη αισθητήρων και ελεγκτών.
 - Η δυνατότητα του ανά χρονικά διαστήματα (ημερήσια, μηνιαία, ετήσια) υπολογισμού της γενικής απόδοσης του συστήματος και της σύγκρισης της με την βέλτιστη δυνατή απόδοση για τις δεδομένες εξωτερικές παραμέτρους.

3.8 Απαιτήσεις hardware

Για να υποστηριχθούν οι παραπάνω λειτουργίες είναι απαραίτητη η χρήση μιας σειράς συσκευών μέτρησης και συλλογής δεδομένων οι οποίες εγκαθίστανται στο ΦΒ σύστημα και συλλέγουν στοιχεία τόσο από τις εξωτερικές όσο και από τις εσωτερικές μεταβλητές του συστήματος. Αυτές είναι οι εξής :

- Πυρανόμετρο

Χρησιμοποιείται για την μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας. Το αισθητήριο αυτό είναι μια υψηλής ευαισθησίας θερμοπύλη με μαύρη επικάλυψη η οποία αποτελείται από δυο στρογγυλές μεταλλικές πλάκες έχει εύρος φάσματος ηλιακής ακτινοβολίας από 300 έως 50.000nm και απορροφά όλη την ηλιακή ακτινοβολία την οποία δέχεται. Αποτελείται επίσης και από έναν γυάλινο θόλο ο οποίος περιορίζει την φασματική απόκριση από τα 300 έως τα 2.800 nm και έχει οπτικό πεδίο 180°. Το μαύρο κάλυμμα απορροφά την ηλιακή ακτινοβολία, την μετατρέπει σε θερμότητα και η θερμοπύλη την μετατρέπει σε τάση η οποία είναι ανάλογη της ηλιακής ακτινοβολίας.

- Θερμόμετρο κυψελών

Για την μέτρηση της θερμοκρασίας χρησιμοποιούνται πλατινένιες θερμικές αντιστάσεις οι οποίες μπορούν να βρεθούν σε διάφορες μορφές και προσφέρουν μεγάλη σταθερότητα, χρησιμοποιούν ηλεκτρικές αντιστάσεις και ως εκ τούτου χρειάζονται ηλεκτρική ισχύ για να λειτουργήσουν. Η τιμή της αντίστασης μεταβάλλεται γραμμικά ανάλογα με την θερμοκρασία και η έξοδος της συνδέεται με έναν V/I converter ο οποίος δίνει στην έξοδο του την τιμή του ρεύματος η οποία αναλογεί στην θερμοκρασία. Οι συγκεκριμένοι αισθητήρες χρησιμοποιούνται για την μέτρηση της θερμοκρασίας εμπρός και πίσω από τις ηλιακές κυψέλες.

- Εξωτερικό θερμόμετρο

Αισθητήρας ο οποίος μετρά την εξωτερική θερμοκρασία στο σημείο εγκατάστασης του συστήματος (θερμοκρασία αέρα)

- Υγρόμετρο

Χρησιμοποιείται για την μέτρηση της σχετικής υγρασίας στο περιβάλλον, αποτελείται από 2 θερμόμετρα, ένα με υγρό βολβίσκο και ένα με ξηρό. Η εξάτμιση από τον υγρό βολβίσκο χαμηλώνει την θερμοκρασία έτσι ώστε το θερμόμετρο αυτό να δείχνει θερμοκρασία χαμηλότερη από αυτό με τον ξηρό βολβίσκο. Η σχετική υγρασία υπολογίζεται από την περιβάλλουσα θερμοκρασία η οποία φαίνεται στο ξηρό θερμόμετρο καθώς και από την διαφορά της θερμοκρασίας μεταξύ των 2 θερμομέτρων.

3.9 Συλλογή δεδομένων

Η συλλογή των δεδομένων από όλα τα σημεία της εγκατάστασης γίνεται μέσω ενός DAS(Data Acquisition System) το οποίο συλλέγει τα αναλογικά σήματα από όλα τα σημεία της εγκατάστασης ,τα μετατρέπει σε ψηφιακά και τα αποστέλλει μέσω δικτύου σε συγκεκριμένο υπολογιστή.

Συγκεκριμένα, κάθε inverter διαθέτει μία Com Card η οποία στέλνει τις στιγμιαίες τιμές στο data logger. Το data logger λειτουργεί σαν συλλέκτης πληροφοριών για το σύστημα και αποτελεί τον συνδετικό κρίκο ανάμεσα στον inverter και τον κεντρικό υπολογιστή. Σε αυτό το σημείο τα δεδομένα διαμορφώνονται σε πακέτα για να μπορούν να επεξεργαστούν από το λογισμικό του κεντρικού υπολογιστή. Τα datalogger είναι διαθέσιμα σε 2 τύπους, σαν κάρτα μνήμης και σαν

κουτί. Η χρήση της κάρτας προτείνεται για αποστάσεις μέχρι 20 μέτρα μεταξύ του datalogger και του κεντρικού υπολογιστή. Ενώ η χρήση του κουτιού προτείνεται για αποστάσεις μέχρι και 1 χιλιόμετρο. Το datalogger μπορεί να αποθηκεύσει όλες τις πληροφορίες για το Φ/Β σύστημα για μια περίοδο 3 ετών.

Μέρος 4^ο

4.1 Νομικό πλαίσιο για την ανάπτυξη Φ/Β συστημάτων

4.1.1. Εισαγωγή

Η ανάπτυξη συστημάτων για την παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές στην ευρωπαϊκή ένωση όπως και στην Ελλάδα έχει πλαισιωθεί από μια σειρά διατάξεων οι οποίες καθορίζουν τις προϋποθέσεις αδειοδότησης και λειτουργίας τέτοιου είδους εγκαταστάσεων. Η ψήφιση του νόμου 3468/06 έδωσε το πράσινο φως για την ανάπτυξη συστημάτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ καθορίζοντας τα νομικά πλαίσια εγκατάστασης, παραγωγής και σύνδεσης των συστημάτων αυτών με το κεντρικό δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας.

Πιο συγκεκριμένα ο νόμος αυτός ανοίγει την αγορά ενέργειας μόνο όμως όσο αφορά συστήματα που χρησιμοποιούν ΑΠΕ, δηλαδή κάθε νομικό ή φυσικό πρόσωπο αποκτά το δικαίωμα υπό προϋποθέσεις να παράγει ηλεκτρική ενέργεια από ΑΠΕ και να την πουλά στον κεντρικό διανομέα (ΔΕΗ).

Επιπλέον καθορίζονται λεπτομερώς οι διαδικασίες για έκδοση άδειας παραγωγής και λειτουργίας ανάλογα με την ισχύ του κάθε συστήματος. Ακόμα, ορίζονται οι διαδικασίες και τα κριτήρια που θα πρέπει να τηρεί κάθε σύστημα για την διασύνδεση του στο κεντρικό δίκτυο όπως επίσης και η ένταξη εγκαταστάσεων οι οποίες βρίσκονται σε μη διασυνδεδεμένα με το δίκτυο νησιά.

Τέλος ορίζονται οι προϋποθέσεις και οι διαδικασίες για την σύναψη συμβάσεων πώλησης προς την ΔΕΗ της παραγόμενης ενέργειας από ΑΠΕ καθώς επίσης και η τιμολόγηση της παραγόμενης ενέργειας ανάλογα με την ΑΠΕ η οποία χρησιμοποιείται. Η τιμολόγηση αυτή φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από:	Τιμή Ενέργειας (€/MWh)	
	Διασυνδεδεμένο Σύστημα	Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά
(α) Αιολική ενέργεια που αξιοποιείται με χερσαίες εγκαταστάσεις ισχύος μεγαλύτερης των 50kW	87,85	99,45
(β) Αιολική ενέργεια που αξιοποιείται με εγκαταστάσεις ισχύος μικρότερης ή ίσης των 50kW	250	
(γ) Φωτοβολταϊκά έως 10kW _{peak} στον οικιακό τομέα και σε μικρές επιχειρήσεις (σύμφωνα με το ειδικό πρόγραμμα σε κτηριακές εγκαταστάσεις – ΚΥΑ 12323/ΓΓ 175/4.6.2009, Β' 1079)	550	
(δ) Υδραυλική ενέργεια που αξιοποιείται με μικρούς υδροηλεκτρικούς σταθμούς με εγκατεστημένη ισχύ έως δεκαπέντε (15) MW _e	87,85	
(ε) Ηλιακή ενέργεια που αξιοποιείται από ηλιοθερμικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής	264,85	
(στ) Ηλιακή ενέργεια που αξιοποιείται από ηλιοθερμικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής με σύστημα αποθήκευσης, το οποίο εξασφαλίζει τουλάχιστον 2 ώρες λειτουργίας στο ονομαστικό φορτίο	284,85	
(ζ) Γεωθερμική ενέργεια χαμηλής θερμοκρασίας κατά την παρ. 1στ του άρθρου 2 του νόμου 3175/2003 (Α' 207)	150	
(η) Γεωθερμική ενέργεια υψηλής θερμοκρασίας κατά την παρ. 1στ του άρθρου 2 του νόμου 3175/2003 (Α' 207)	99,45	
(θ) Βιομάζα που αξιοποιείται από σταθμούς με εγκατεστημένη ισχύ ≤1 MW (εξαιρουμένου του βιοαποδομήσιμου κλάσματος αστικών αποβλήτων)	200	
(ι) Βιομάζα που αξιοποιείται από σταθμούς με εγκατεστημένη ισχύ >1MW και ≤5MW (εξαιρουμένου του βιοαποδομήσιμου κλάσματος αστικών αποβλήτων)	175	

Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικότερα οι απαιτούμενες διαδικασίες αδειοδότησης και σύνδεσης Φ/Β εγκαταστάσεων .

4.1.2 Διαδικασίες Αδειοδότησης Φ/Β Εγκαταστάσεων

Οι διαδικασίες και οι χρόνοι αδειοδότησης διαφέρουν ανάλογα με την ισχύ του Φ/Β συστήματος. Διακρίνουμε 4 κατηγορίες:

- Συστήματα ισχύος μέχρι 20 kWp
- Συστήματα ισχύος μεταξύ 20-150 kWp
- Συστήματα ισχύος μεταξύ 150-2.000 kWp
- Συστήματα ισχύος μεγαλύτερης από 2.000 kWp.

4.1.3 Συστήματα ισχύος μέχρι 20 kWp

Δεν απαιτούνται άδειες παραγωγής, εγκατάστασης, λειτουργίας ή έγκριση περιβαλλοντικών όρων. Δεν απαιτείται επίσης εξαίρεση από την άδεια παραγωγής, εκτός εάν πρόκειται για σταθμούς που εγκαθίστανται σε Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά. Τα πρόσωπα που έχουν την ευθύνη της λειτουργίας των σταθμών, υποχρεούνται, πριν εγκαταστήσουν τους σταθμούς, να ενημερώνουν τον αρμόδιο Διαχειριστή (ΔΕΣΜΗΕ ή ΔΕΗ κατά περίπτωση) για τη θέση, την ισχύ και την τεχνολογία των σταθμών αυτών. Αν παραληφθεί η υποχρέωση ενημέρωσης, η λειτουργία των σταθμών αποβαίνει παράνομη. Ο αρμόδιος Διαχειριστής ενημερώνει, στο τέλος κάθε διμήνου, τον Υπουργό Ανάπτυξης και τη ΡΑΕ για την εγκατάσταση των ανωτέρω σταθμών.

4.1.4 Συστήματα ισχύος μεταξύ 20-150 kWp

Απαιτούνται:

1. Εξαίρεση από άδεια παραγωγής
2. Έγκριση περιβαλλοντικών όρων

Εξαίρεση από άδεια παραγωγής:

Εξαιρούνται από την υποχρέωση λήψης άδειας παραγωγής πρόσωπα που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια από σταθμούς οι οποίοι εγκαθίστανται σε χώρο κυριότητάς τους, και για όσο χρόνο τα πρόσωπα αυτά είναι κύριοι των χώρων αυτών,

εφόσον η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται από Φ/Β εγκαταστάσεις εγκατεστημένη ισχύ μικρότερη ή ίση των 150kW.

Οι περιπτώσεις εξαιρέσης από τη λήψη άδειας παραγωγής διαπιστώνονται με απόφαση της ΡΑΕ που εκδίδεται εντός δέκα (10) εργασίμων ημερών από την υποβολή σχετικής αίτησης, εφόσον η αίτηση αυτή συνοδεύεται από όλα τα αναγκαία στοιχεία ή από τη συμπλήρωση των στοιχείων αυτών.

Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων (ΕΠΟ):

Η έγκριση αυτή όπως και στην προηγούμενη κατηγορία έχει δύο στάδια. Πρώτα εγκρίνεται η Προκαταρκτική Περιβαλλοντική Εκτίμηση και Αξιολόγηση (ΠΠΕΑ) και στη συνέχεια χορηγείται η έγκριση περιβαλλοντικών όρων (ΕΠΟ).

Τα έργα που αφορούν Φ/Β ισχύος 20-150 kWp υπάγονται στη λεγόμενη υποκατηγορία 3 της δεύτερης κατηγορίας έργων. Για τα έργα αυτά ισχύουν τα εξής:

Ο ενδιαφερόμενος υποβάλλει αίτηση διενέργειας ΠΠΕΑ στη Διεύθυνση Περιβάλλοντος – Χωροταξίας (ΔΙΠΕΧΩ) της οικείας Περιφέρειας. Εντός 10 ημερών, η ΔΙΠΕΧΩ αποφαινεται αν το έργο θα ακολουθήσει τις διαδικασίες της κατηγορίας Α2 (στην οποία υπάγονται και τα Φ/Β άνω των 2.000 kWp) ή της Β4 (λιγότερο επίπεδες). Κατά τεκμήριο, τα έργα αυτής της κατηγορίας θα υπαχθούν στην υποκατηγορία Β4, εκτός αν εκτελούνται σε περιοχές προστασίας οπότε τότε θα υπαχθούν στην υποκατηγορία Α2.

Διαδικασίες υποκατηγορίας Β4

Αν η ΔΙΠΕΧΩ κρίνει ότι το έργο πρέπει να υπαχθεί στην υποκατηγορία Β4, τότε ο Γενικός Γραμματέας της Περιφέρειας εκδίδει εντός 5 ημερών από την εισήγηση της ΔΙΠΕΧΩ σχετική απόφαση την οποία διαβιβάζει στο οικείο Νομαρχιακό Συμβούλιο προκειμένου να ενημερωθούν οι πολίτες. Παράλληλα, η απόφαση διαβιβάζεται και στην αρμόδια Υπηρεσία Περιβάλλοντος της οικείας Νομαρχίας για να ακολουθηθεί η παρακάτω διαδικασία για έγκριση περιβαλλοντικών όρων.

Υποβολή αίτησης στη Διεύθυνση Σχεδιασμού και Ανάπτυξης (ΔΙΣΑ) της οικείας Περιφέρειας η οποία τη διαβιβάζει στην Υπηρεσία Περιβάλλοντος της οικείας Νομαρχίας.

Αν ο φάκελος δεν θεωρηθεί πλήρης από την Υπηρεσία Περιβάλλοντος, εντός 10 ημερών ζητά συμπληρωματικά στοιχεία.

Όταν ο φάκελος θεωρηθεί πλήρης, εντός 5 ημερών, η Υπηρεσία Περιβάλλοντος τον διαβιβάζει για γνωμοδότηση σε διάφορους φορείς.

Οι φορείς αυτοί πρέπει να γνωμοδοτήσουν εντός 15 ημερών.

Η απόφαση έγκρισης ή μη των περιβαλλοντικών όρων εκδίδεται από τον Νομάρχη εντός 10 ημερών από την εισήγηση.

Η διαδικασία της κατηγορίας Α2 για την έγκριση της ΠΠΕΑ έχει ως εξής:

Αν ο φάκελος δεν θεωρηθεί πλήρης από τη ΔΙΠΕΧΩ, εντός 10 ημερών ζητά συμπληρωματικά στοιχεία. Όταν ο φάκελος θεωρηθεί πλήρης, εντός 10 ημερών, η ΔΙΠΕΧΩ τον διαβιβάζει για γνωμοδότηση σε διάφορους φορείς. Οι φορείς αυτοί πρέπει να γνωμοδοτήσουν εντός 20 ημερών. Η θετική γνωμοδότηση ή αρνητική απόφαση επί της ΠΠΕΑ εκδίδεται από τον Γενικό Διευθυντή της ΔΙΠΕΧΩ της οικείας Περιφέρειας εντός 10 ημερών από την εισήγηση.

Η διαδικασία της κατηγορίας Α2 για την έγκριση των περιβαλλοντικών όρων έχει ως εξής:

Υποβολή αίτησης στη Διεύθυνση Σχεδιασμού και Ανάπτυξης (ΔΙΣΑ) της οικείας Περιφέρειας η οποία τη διαβιβάζει στη ΔΙΠΕΧΩ. Αν ο φάκελος (ο οποίος εν τω μεταξύ απαιτεί και πλήρη μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων) δεν θεωρηθεί πλήρης από τη ΔΙΠΕΧΩ, εντός 10 ημερών ζητά συμπληρωματικά στοιχεία. Όταν ο φάκελος θεωρηθεί πλήρης, εντός 10 ημερών, η ΔΙΠΕΧΩ τον διαβιβάζει για γνωμοδότηση σε διάφορους φορείς. Οι φορείς αυτοί πρέπει να γνωμοδοτήσουν εντός 40 ημερών. Η θετική γνωμοδότηση ή αρνητική απόφαση επί της ΠΠΕΑ εκδίδεται από τον Γενικό Γραμματέα της οικείας Περιφέρειας εντός 10 ημερών από την εισήγηση.

Άδεια λειτουργίας

Η άδεια αυτή χορηγείται με απόφαση του οργάνου που είναι αρμόδιο για τη χορήγηση της άδειας εγκατάστασης, μετά από αίτηση του ενδιαφερομένου και έλεγχο, από τα αρμόδια όργανα, της τήρησης των τεχνικών όρων εγκατάστασης κατά τη δοκιμαστική λειτουργία του σταθμού, καθώς και έλεγχο, από το Κ.Α.Π.Ε., της διασφάλισης των αναγκαίων λειτουργικών και τεχνικών χαρακτηριστικών του εξοπλισμού του σταθμού. Η άδεια λειτουργίας εκδίδεται εντός αποκλειστικής προθεσμίας δεκαπέντε (15) ημερών από την ολοκλήρωση των ανωτέρω ελέγχων, εφόσον αυτοί αποβούν θετικοί.

4.1.5. Συστήματα ισχύος από 150 έως 2000KW

Απαιτούνται:

Πριν την εγκατάσταση της μονάδας

1. Άδεια Παραγωγής
2. Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων
3. Άδεια Εγκατάστασης

Μετά την εγκατάσταση της μονάδας

1. Άδεια Λειτουργίας
2. Άδεια Παραγωγής

Για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ απαιτείται σχετική άδεια (Ν. 3468/06). Η άδεια αυτή χορηγείται από τον Υπουργό Ανάπτυξης, μετά από γνώμη της Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας (ΡΑΕ). Μαζί με την αίτηση για άδεια παραγωγής, ο ενδιαφερόμενος υποβάλλει στη ΡΑΕ και αίτηση Προκαταρκτικής Περιβαλλοντικής Εκτίμησης και Αξιολόγησης (ΠΠΕΑ) για το έργο, συνοδευόμενη από σχετική Προμελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΠΠΕ).

Η ΡΑΕ πριν διατυπώσει τη γνώμη της, διαβιβάζει την ΠΠΕ στην αρχή που είναι αρμόδια για την περιβαλλοντική αδειοδότηση. Η αρχή αυτή γνωμοδοτεί επί της ΠΠΕ και διαβιβάζει τη γνωμοδότησή της στη ΡΑΕ εντός εξήντα (60) ημερών από τη συμπλήρωση του φακέλου της ΠΠΕ.

Η ΡΑΕ, μετά την έκδοση της γνωμοδότησης, υποβάλλει τη γνώμη της στον Υπουργό Ανάπτυξης εντός τεσσάρων (4) μηνών από τη γνωστοποίηση, σε αυτήν, της δημοσίευσης της αίτησης, εφόσον ο φάκελος της αίτησης είναι πλήρης ή από τη συμπλήρωση του φακέλου, όταν αυτή ολοκληρώνεται μετά τη γνωστοποίηση, σύμφωνα με την ίδια απόφαση.

Ο Υπουργός Ανάπτυξης εκδίδει τη σχετική απόφαση εντός δεκαπέντε (15) ημερών από την υποβολή, σε αυτόν, της γνώμης της ΡΑΕ.

Άδεια Εγκατάστασης

Για την εγκατάσταση ή επέκταση σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ, απαιτείται σχετική άδεια (Ν. 3468/06). Η άδεια αυτή εκδίδεται με απόφαση του Γενικού Γραμματέα της Περιφέρειας, στα όρια της οποίας εγκαθίσταται ο σταθμός, για όλα τα έργα που κατατάσσονται στη 2η υποκατηγορία της Α΄ Κατηγορίας και στην 3η ή 4η υποκατηγορία της Β΄ Κατηγορίας, σύμφωνα με τις

διατάξεις του άρθρου 3 του ν. 1650/1986 (ΦΕΚ 160 Α'), όπως ισχύει, και τις κανονιστικές πράξεις που εκδίδονται κατ' εξουσιοδότησή του. Η άδεια εγκατάστασης εκδίδεται εντός αποκλειστικής προθεσμίας δεκαπέντε (15) ημερών από την υποβολή, από τον ενδιαφερόμενο, της σχετικής αίτησης με τα δικαιολογητικά που καθορίζονται από την ισχύουσα νομοθεσία. Αν ο αρμόδιος Γενικός Γραμματέας Περιφέρειας δεν εκδώσει την άδεια εγκατάστασης εντός της προθεσμίας που ορίζεται στο προηγούμενο εδάφιο, για την έκδοση αυτής καθίσταται αρμόδιος ο Υπουργός Ανάπτυξης, προς τον οποίο ο ενδιαφερόμενος υποβάλλει την αίτηση με το συνοδευτικό της φάκελο και την απόφαση ΕΠΟ ή επικυρωμένα αντίγραφα αυτών. Ο Υπουργός Ανάπτυξης εκδίδει την άδεια εγκατάστασης εντός τριάντα (30) ημερών από την παραλαβή των ανωτέρω εγγράφων.

Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων (ΕΠΟ)

Η έγκριση αυτή έχει δύο στάδια. Πρώτα εγκρίνεται η Προκαταρκτική Περιβαλλοντική Εκτίμηση και Αξιολόγηση (ΠΠΕΑ) και στη συνέχεια χορηγείται η έγκριση περιβαλλοντικών όρων (ΕΠΟ).

Τα έργα που αφορούν Φ/Β ισχύος 150-2.000 kWp υπάγονται στη λεγόμενη υποκατηγορία 3 της δεύτερης κατηγορίας έργων (ΚΥΑ Αριθ. Οικ. 145799, ΦΕΚ 1002B, 18-7-2005). Για τα έργα αυτά ισχύουν τα εξής (ΚΥΑ Αριθ. Οικ. 104247, ΦΕΚ 663B, 26-5-2006 & εγκύκλιος ΥΠΕΧΩΔΕ, Α.Π. Οικ. 107100, 29-8-2006):

Ο ενδιαφερόμενος υποβάλλει αίτηση διενέργειας ΠΠΕΑ στη ΡΑΕ, η οποία τη διαβιβάζει στη Διεύθυνση Περιβάλλοντος-Χωροταξίας (ΔΙΠΕΧΩ) της οικείας Περιφέρειας. Εντός 10 ημερών, η ΔΙΠΕΧΩ αποφαινεται αν το έργο θα ακολουθήσει τις διαδικασίες της κατηγορίας Α2 (στην οποία υπάγονται και τα Φ/Β άνω των 2.000 kWp) ή της Β4 (λιγότερο επίπτονες).

Η διαδικασία της κατηγορίας Α2 για την έγκριση της ΠΠΕΑ έχει ως εξής:

1. Αν ο φάκελος δεν θεωρηθεί πλήρης από τη ΔΙΠΕΧΩ, εντός 10 ημερών ζητά συμπληρωματικά στοιχεία.
2. Όταν ο φάκελος θεωρηθεί πλήρης, εντός 10 ημερών, η ΔΙΠΕΧΩ τον διαβιβάζει για γνωμοδότηση σε διάφορους φορείς.
3. Οι φορείς αυτοί πρέπει να γνωμοδοτήσουν εντός 20 ημερών.
4. Η θετική γνωμοδότηση ή αρνητική απόφαση επί της ΠΠΕΑ εκδίδεται από τον Γενικό Διευθυντή της ΔΙΠΕΧΩ της οικείας Περιφέρειας εντός 10 ημερών από την εισήγηση.

Η διαδικασία της κατηγορίας Α2 για την έγκριση των περιβαλλοντικών όρων έχει ως εξής:

1. Υποβολή αίτησης στη Διεύθυνση Σχεδιασμού και Ανάπτυξης (ΔΙΣΑ) της οικείας Περιφέρειας η οποία τη διαβιβάζει στη ΔΙΠΕΧΩ.
2. Αν ο φάκελος (ο οποίος εν τω μεταξύ απαιτεί και πλήρη μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων) δεν θεωρηθεί πλήρης από τη ΔΙΠΕΧΩ, εντός 10 ημερών ζητά συμπληρωματικά στοιχεία.
3. Όταν ο φάκελος θεωρηθεί πλήρης, εντός 10 ημερών, η ΔΙΠΕΧΩ τον διαβιβάζει για γνωμοδότηση σε διάφορους φορείς.
4. Οι φορείς αυτοί πρέπει να γνωμοδοτήσουν εντός 40 ημερών.
5. Η θετική γνωμοδότηση ή αρνητική απόφαση επί της ΠΠΕΑ εκδίδεται από τον Γενικό Γραμματέα της οικείας Περιφέρειας εντός 10 ημερών από την εισήγηση.

Διαδικασίες υποκατηγορίας Β4

Αν η ΔΙΠΕΧΩ κρίνει ότι το έργο πρέπει να υπαχθεί στην υποκατηγορία Β4, τότε ο Γενικός Γραμματέας της Περιφέρειας εκδίδει εντός 5 ημερών από την εισήγηση της ΔΙΠΕΧΩ σχετική απόφαση την οποία διαβιβάζει στο οικείο Νομαρχιακό Συμβούλιο προκειμένου να ενημερωθούν οι πολίτες και να υποβάλλουν τυχόν ενστάσεις. Παράλληλα, η απόφαση διαβιβάζεται και στην αρμόδια Υπηρεσία Περιβάλλοντος της οικείας Νομαρχίας για να ακολουθηθεί η παρακάτω διαδικασία για έγκριση περιβαλλοντικών όρων.

1. Υποβολή αίτησης στη Διεύθυνση Σχεδιασμού και Ανάπτυξης (ΔΙΣΑ) της οικείας Περιφέρειας η οποία τη διαβιβάζει στην Υπηρεσία Περιβάλλοντος της οικείας Νομαρχίας.
2. Αν ο φάκελος δεν θεωρηθεί πλήρης από την Υπηρεσία Περιβάλλοντος, εντός 10 ημερών ζητά συμπληρωματικά στοιχεία.
3. Όταν ο φάκελος θεωρηθεί πλήρης, εντός 5 ημερών, η Υπηρεσία Περιβάλλοντος τον διαβιβάζει για γνωμοδότηση σε διάφορους φορείς.
4. Οι φορείς αυτοί πρέπει να γνωμοδοτήσουν εντός 15 ημερών.
5. Η απόφαση έγκρισης ή μη των περιβαλλοντικών όρων εκδίδεται από τον Νομάρχη εντός 10 ημερών από την εισήγηση.

Άδεια λειτουργίας

Η άδεια αυτή χορηγείται με απόφαση του οργάνου που είναι αρμόδιο για τη χορήγηση της άδειας εγκατάστασης, μετά από αίτηση του ενδιαφερομένου και έλεγχο, από τα αρμόδια όργανα, της τήρησης των τεχνικών όρων εγκατάστασης κατά τη δοκιμαστική λειτουργία του σταθμού, καθώς και έλεγχο, από το Κ.Α.Π.Ε., της διασφάλισης των αναγκαίων λειτουργικών και τεχνικών χαρακτηριστικών του

εξοπλισμού του σταθμού. Η άδεια λειτουργίας εκδίδεται εντός αποκλειστικής προθεσμίας δεκαπέντε (15) ημερών από την ολοκλήρωση των ανωτέρω ελέγχων, εφόσον αυτοί αποβούν θετικοί.

4.1.6 Συστήματα ισχύος μεγαλύτερης από 2.000 kWp

Απαιτούνται:

Πριν την εγκατάσταση της μονάδας

1. Άδεια Παραγωγής
2. Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων
3. Άδεια Εγκατάστασης

Μετά την εγκατάσταση της μονάδας

1. Άδεια Λειτουργίας

Άδεια Παραγωγής

Για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ απαιτείται σχετική άδεια. Η άδεια αυτή χορηγείται από τον Υπουργό Ανάπτυξης, μετά από γνώμη της Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας (ΡΑΕ). Μαζί με την αίτηση για άδεια παραγωγής, ο ενδιαφερόμενος υποβάλλει στη ΡΑΕ και αίτηση Προκαταρκτικής Περιβαλλοντικής Εκτίμησης και Αξιολόγησης (ΠΠΕΑ) για το έργο, συνοδευόμενη από σχετική Προμελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΠΠΕ).

Η ΡΑΕ πριν διατυπώσει τη γνώμη της, διαβιβάζει την ΠΠΕ στην αρχή που είναι αρμόδια για την περιβαλλοντική αδειοδότηση. Η αρχή αυτή γνωμοδοτεί επί της ΠΠΕ και διαβιβάζει τη γνωμοδότησή της στη ΡΑΕ εντός εξήντα (60) ημερών από τη συμπλήρωση του φακέλου της ΠΠΕ.

Η ΡΑΕ, μετά την έκδοση της γνωμοδότησης, υποβάλλει τη γνώμη της στον Υπουργό Ανάπτυξης εντός τεσσάρων (4) μηνών από τη γνωστοποίηση, σε αυτήν, της δημοσίευσης της αίτησης, εφόσον ο φάκελος της αίτησης είναι πλήρης ή από τη συμπλήρωση του φακέλου, όταν αυτή ολοκληρώνεται μετά τη γνωστοποίηση, σύμφωνα με την ίδια απόφαση.

Ο Υπουργός Ανάπτυξης εκδίδει τη σχετική απόφαση εντός δεκαπέντε (15) ημερών από την υποβολή, σε αυτόν, της γνώμης της ΡΑΕ.

Άδεια Εγκατάστασης

Για την εγκατάσταση ή επέκταση σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ, απαιτείται σχετική άδεια. Η άδεια αυτή εκδίδεται με απόφαση του Γενικού Γραμματέα της Περιφέρειας, στα όρια της οποίας εγκαθίσταται ο σταθμός. Η άδεια εγκατάστασης εκδίδεται εντός αποκλειστικής προθεσμίας δεκαπέντε (15) ημερών από την υποβολή, από τον ενδιαφερόμενο, της σχετικής αίτησης με τα δικαιολογητικά που καθορίζονται από την ισχύουσα νομοθεσία. Αν ο αρμόδιος Γενικός Γραμματέας Περιφέρειας δεν εκδώσει την άδεια εγκατάστασης εντός της προθεσμίας που ορίζεται στο προηγούμενο εδάφιο, για την έκδοση αυτής καθίσταται αρμόδιος ο Υπουργός Ανάπτυξης, προς τον οποίο ο ενδιαφερόμενος υποβάλλει την αίτηση με το συνοδευτικό της φάκελο και την απόφαση ΕΠΟ ή επικυρωμένα αντίγραφα αυτών. Ο Υπουργός Ανάπτυξης εκδίδει την άδεια εγκατάστασης εντός τριάντα (30) ημερών από την παραλαβή των ανωτέρω εγγράφων.

Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων (ΕΠΟ)

Η έγκριση αυτή έχει δύο στάδια. Πρώτα εγκρίνεται η Προκαταρκτική Περιβαλλοντική Εκτίμηση και Αξιολόγηση (ΠΠΕΑ) και στη συνέχεια χορηγείται η έγκριση περιβαλλοντικών όρων (ΕΠΟ).

Η διαδικασία της κατηγορίας Α2 για την έγκριση της ΠΠΕΑ έχει ως εξής:

1. Ο ενδιαφερόμενος υποβάλλει αίτηση διενέργειας ΠΠΕΑ στη ΡΑΕ, η οποία τη διαβιβάζει στη Διεύθυνση Περιβάλλοντος–Χωροταξίας (ΔΙΠΕΧΩ) της οικείας Περιφέρειας.
2. Αν ο φάκελος δεν θεωρηθεί πλήρης από τη ΔΙΠΕΧΩ, εντός 10 ημερών ζητά συμπληρωματικά στοιχεία.
3. Όταν ο φάκελος θεωρηθεί πλήρης, εντός 10 ημερών, η ΔΙΠΕΧΩ τον διαβιβάζει για γνωμοδότηση σε διάφορους φορείς.
4. Οι φορείς αυτοί πρέπει να γνωμοδοτήσουν εντός 20 ημερών.
5. Η θετική γνωμοδότηση ή αρνητική απόφαση επί της ΠΠΕΑ εκδίδεται από τον Γενικό Διευθυντή της ΔΙΠΕΧΩ της οικείας Περιφέρειας εντός 10 ημερών από την εισήγηση.

Η διαδικασία της κατηγορίας Α2 για την έγκριση των περιβαλλοντικών όρων έχει ως εξής:

1. Υποβολή αίτησης στη Διεύθυνση Σχεδιασμού και Ανάπτυξης (ΔΙΣΑ) της οικείας Περιφέρειας η οποία τη διαβιβάζει στη ΔΙΠΕΧΩ.
2. Αν ο φάκελος (ο οποίος εν τω μεταξύ απαιτεί και πλήρη μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων) δεν θεωρηθεί πλήρης από τη ΔΙΠΕΧΩ, εντός 10 ημερών ζητά συμπληρωματικά στοιχεία.
3. Όταν ο φάκελος θεωρηθεί πλήρης, εντός 10 ημερών, η ΔΙΠΕΧΩ τον διαβιβάζει για γνωμοδότηση σε διάφορους φορείς.
4. Οι φορείς αυτοί πρέπει να γνωμοδοτήσουν εντός 40 ημερών.
5. Η θετική γνωμοδότηση ή αρνητική απόφαση επί της ΠΠΕΑ εκδίδεται από τον Γενικό Γραμματέα της οικείας Περιφέρειας εντός 10 ημερών από την εισήγηση.

Άδεια λειτουργίας

Η άδεια αυτή χορηγείται με απόφαση του οργάνου που είναι αρμόδιο για τη χορήγηση της άδειας εγκατάστασης, μετά από αίτηση του ενδιαφερομένου και έλεγχο, από τα αρμόδια όργανα, της τήρησης των τεχνικών όρων εγκατάστασης κατά τη δοκιμαστική λειτουργία του σταθμού, καθώς και έλεγχο, από το Κ.Α.Π.Ε., της διασφάλισης των αναγκαίων λειτουργικών και τεχνικών χαρακτηριστικών του εξοπλισμού του σταθμού. Η άδεια λειτουργίας εκδίδεται εντός αποκλειστικής προθεσμίας δεκαπέντε (15) ημερών από την ολοκλήρωση των ανωτέρω ελέγχων, εφόσον αυτοί αποβούν θετικοί.

4.1.7 Διαδικασίες Σύνδεσης Φ/Β Εγκαταστάσεων με το Δίκτυο.

Για Φ/Β συστήματα ισχύος μέχρι 100kW η σύνδεση γίνεται στο δίκτυο Χαμηλής Τάσης.

Συγκεκριμένα για συστήματα ισχύος κάτω των 5kW η σύνδεση γίνεται μέσω μονοφασικής παροχής ενώ για συστήματα πάνω από 5kW μέσω τριφασικής παροχής.

Η διαδικασία σύνδεσης έχει ως εξής:

Βήμα 1: Υποβολή αίτησης σύνδεσης (το ειδικό έντυπο διατίθεται από τη ΔΕΗ) στην τοπική μονάδα της ΔΕΗ, με επισύναψη εγγράφων και στοιχείων που απαιτούνται.

Βήμα 2: Έγγραφη διατύπωση της ΔΕΗ προς τον ενδιαφερόμενο των τεχνικών και οικονομικών όρων σύνδεσης.

Βήμα 3: Έγγραφη αποδοχή των όρων σύνδεσης από τον ενδιαφερόμενο με ταυτόχρονη υποβολή αιτήματος κατάρτισης της Σύμβασης Σύνδεσης.

Βήμα 4: Κατάρτιση από τη ΔΕΗ της Σύμβασης Σύνδεσης και τηλεφωνική ειδοποίηση του ενδιαφερόμενου να προσέλθει για την υπογραφή της. Καταβολή της προϋπολογιστικής δαπάνης των έργων σύνδεσης ταυτόχρονα με την υπογραφή της Σύμβασης Σύνδεσης.

Βήμα 5: Κατάρτιση από το ΔΕΣΜΗΕ της Σύμβασης Πώλησης και υπογραφή της από τον ενδιαφερόμενο.

Βήμα 6: Έγγραφη αναγγελία της ΔΕΗ προς τον ενδιαφερόμενο της περάτωσης των έργων σύνδεσης.

Βήμα 7: Έγγραφη δήλωση ετοιμότητας της εγκατάστασης από τον ενδιαφερόμενο, προκειμένου να ενεργοποιηθεί η σύνδεση μετά από έλεγχο της ΔΕΗ.

Βήμα 8: Τηλεφωνική ειδοποίηση του ενδιαφερόμενου από τη ΔΕΗ για τον ορισμό του χρόνου διενέργειας του αναγκαίου ελέγχου της εγκατάστασης, προ της ενεργοποίησης της σύνδεσης, παρουσία του ενδιαφερόμενου ή του εκπροσώπου του.

Βήμα 9: Ενεργοποίηση της σύνδεσης, μετά από την επιτυχή ολοκλήρωση του ελέγχου.

Τα έγγραφα και στοιχεία που απαιτούνται κατά την αίτηση στη ΔΕΗ είναι τα εξής:

A. Συνημμένα με την αίτηση στη ΔΕΗ :

1. Τεχνικά εγχειρίδια Φ/Β γεννητριών
2. Τεχνικά εγχειρίδια και πιστοποιητικά αντιστροφών
3. Μονογραμμικό ηλεκτρολογικό σχέδιο του Φ/Β σταθμού
4. Τοπογραφικό σχέδιο και χάρτη ΓΥΣ 1:5000
5. Τίτλος ιδιοκτησίας ή μισθωτήριο θεωρημένο από τη ΔΟΥ
6. Έγγραφο εξαίρεσης από άδεια παραγωγής από τη Ρ.Α.Ε.
7. Υπεύθυνη Δήλωση ότι ο χώρος εγκατάστασης βρίσκεται εκτός περιοχών NATURA 2000, εθνικών δρυμών, παραδοσιακών οικισμών και αρχαιολογικών χώρων
8. Υπεύθυνη Δήλωση ότι όλα τα στοιχεία της αίτησης είναι αληθή

B. Στοιχεία που πρέπει να προσκομιστούν πριν την σύνδεση:

1. Αντίγραφο της Σύμβασης Πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας

2. Υπεύθυνη Δήλωση Ηλεκτρολόγου Εγκαταστάτη για τη συνολική εγκατάσταση, με συνημμένη τεχνική περιγραφή για την αποφυγή νησιδοποίησης και μονογραμμικό ηλεκτρολογικό σχέδιο

3. Υπεύθυνη Δήλωση του Παραγωγού για τις ρυθμίσεις των ορίων τάσεως και συχνότητας στην έξοδο του αντιστροφέα τα οποία σε καμία περίπτωση δεν θα πρέπει να υπερβαίνουν για την τάση το +15% έως -20% της ονομαστικής τάσης, ενώ για την συχνότητα τα +/- 0,5 Hz καθώς επίσης και την πρόβλεψη ότι σε περίπτωση υπέρβασης των πιο πάνω ορίων ο αντιστροφέας θα τίθεται εκτός (αυτόματη απόζευξη) με τις ακόλουθες χρονικές ρυθμίσεις : - Θέση εκτός του αντιστροφέα σε 0,5 δευτερόλεπτα, - Επανάζευξη του αντιστροφέα μετά από τρία λεπτά. Επίσης θα αναφέρει το χρόνο λειτουργίας της προστασίας έναντι νησιδοποίησης.

4.2 Οικονομικές συνθήκες στην επένδυση Φ/Β συστημάτων

4.2.1 Εισαγωγή

Τα Φ/Β συστήματα πέρα από μια μέθοδο μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική, με ότι όφελος έχει αυτή η εφαρμογή για το περιβάλλον, αποτελούν επίσης και μια επένδυση η οποία σε βάθος χρόνου μπορεί να αποφέρει σημαντικά κέρδη για αυτούς που θα τολμήσουν κάτι τέτοιο.

Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά τα κριτήρια από τα οποία εξαρτάται το κόστος μιας τέτοιας επένδυσης, καθώς και τα κίνητρα και οι επιδοτήσεις τα οποία δίνονται για την εγκατάσταση τέτοιου είδους συστημάτων.

Το κόστος ενός Φ/Β συστήματος υπολογίζεται σε ευρώ ανά εγκατεστημένο KW και εξαρτάται από:

- Την τεχνολογία των πάνελ που θα χρησιμοποιηθεί (π.χ τα πάνελ άμορφου πυριτίου κοστίζουν φτηνότερα αλλά απαιτούν περίπου διπλάσια έκταση)
- Την προέλευση των πάνελ και των λοιπών στοιχείων του εξοπλισμού
- Το μέγεθος του Φ/Β Συστήματος (όσο μικρότερη είναι η ισχύς, τόσο μεγαλύτερο είναι το κόστος του κάθε εγκατεστημένου KW)
- Την δυσκολία της εγκατάστασης (δυσπρόσιτες περιοχές, ή χώροι εγκατάστασης με ιδιαίτερη μορφολογία εδάφους αυξάνουν το κόστος)
- Την απόσταση της εγκατάστασης από το δίκτυο της ΔΕΗ (καθώς πρέπει να υπολογιστεί και το κόστος της επέκτασης του δικτύου)

Το κόστος κατασκευής στην αγορά σήμερα, για κάθε εγκατεστημένο KW κυμαίνονται από 4.000 Ευρώ (σε ήδη διαμορφωμένο και φραγμένο χώρο) έως 5.200 ευρώ (για εγκαταστάσεις με πάνελ πολυκρυσταλικού πυριτίου, με πλήρη διαμόρφωση χώρου και περίφραξη ασφαλείας). Ενδεικτικά για τον αρχικό προγραμματισμό του, ο υποψήφιος επενδυτής μπορεί να υπολογίσει μια ενδεικτική μέση τιμή συνολικού κόστους 4.600 €/ανά εγκατεστημένο κιλοβάτ.

4.2.2 Κίνητρα για ανάπτυξη οικιακών ΦΒ Συστημάτων

Το βασικότερο κίνητρο για την εγκατάσταση οικιακών ΦΒ Συστημάτων έως 10 KW είναι η τιμή πώλησης προς την ΔΕΗ της κιλοβατώρας, η οποία καθορίστηκε πρόσφατα και φτάνει τα 0,55 ευρώ, τιμή η οποία ισχύει για συμβάσεις οι οποίες θα υπογραφούν από το 2009 έως το 2011 θα είναι εγγυημένες για 25 χρόνια και θα έχουν την κατάλληλη τιμαριθμική προσαρμογή.

Σύμφωνα με στοιχεία, του Υπουργείου Ανάπτυξης ένα μέσο νοικοκυριό καταναλώνει 5.000 - 7.000 κιλοβατώρες το χρόνο.

Ένας Φ/Β σταθμός ισχύος 1 κιλοβάτ παράγει κατά μέσο όρο 1300 κιλοβατώρες το χρόνο.

Συνεπώς, οι ανάγκες του νοικοκυριού καλύπτονται με Φ/Β ισχύος 5 κιλοβάτ, που κοστίζει περί τις 25.000 ευρώ και για την εγκατάστασή του απαιτείται επιφάνεια 80 τμ.

Η ΔΕΗ θα συμψηφίζει το λογαριασμό με την αξία του ρεύματος, που θα αγοράζει από το νοικοκυριό. Αν η αξία της παραγωγής είναι μεγαλύτερη από τις χρεώσεις της ΔΕΗ, ο λογαριασμός θα είναι πιστωτικός.

Η διαδικασία για την εγκατάσταση και λειτουργία του Φ/Β συστήματος, θα κοστίζει 300 - 500 ευρώ, και θα ολοκληρώνεται το πολύ σε 70 ημέρες.

Πρόγραμμα "Φ/Β στις στέγες"

Από την 1η Ιουλίου 2009 ισχύει η Κοινή Υπουργική Απόφαση για την εγκατάσταση Φ/Β σε στέγες.

Το πρόγραμμα "Φ/Β σε στέγες" είναι από τα πιο προσοδοφόρα που υπάρχουν αυτή τη στιγμή στην Ευρώπη. Η επένδυση είναι εγγυημένη για 25 χρόνια αποκομίζοντας τεράστια οφέλη για τον επενδυτή.

Το πρόγραμμα αφορά οικιακούς καταναλωτές και πολύ μικρές επιχειρήσεις που επιθυμούν να εγκαταστήσουν Φ/Β συστήματα ισχύος έως 10 κιλοβάτ (KWp) στο δώμα ή τη στέγη κτιρίου, συμπεριλαμβανομένων των στεγάστρων βεραντών. Για να ενταχθούν στο πρόγραμμα, θα πρέπει να έχουν στην κυριότητά τους το χώρο στον οποίο θα εγκατασταθεί το Φ/Β σύστημα. Η διάρκεια του προγράμματος είναι μέχρι τις 31/12/2019.

Το πρόγραμμα ισχύει μόνο για το ηπειρωτικό δίκτυο και για τα νησιά εκείνα που είναι διασυνδεδεμένα στο δίκτυο αυτό (π.χ. Εύβοια, Ιόνια, Σποράδες, νησιά Αργοσαρωνικού). Εξαιρούνται προς το παρόν τα λεγόμενα μη διασυνδεδεμένα νησιά (Κρήτη, Δωδεκάνησα, Κυκλάδες, νησιά ΒΑ Αιγαίου) τα οποία θα ενταχθούν στο

πρόγραμμα μόλις καθοριστεί πόση επιπλέον ισχύς Φ/Β μπορεί να εγκατασταθεί σε κάθε νησί.

Ο επενδυτής δεν θεωρείται επιτηδευματίας, με άλλα λόγια απαλλάσσεται από το άνοιγμα βιβλίων στην εφορία. Όπως αναφέρει η σχετική κοινή υπουργική απόφαση, "δεν υφίστανται για τον κύριο του Φ/Β συστήματος φορολογικές υποχρεώσεις για τη διάθεση της ενέργειας αυτής στο δίκτυο". Με άλλα λόγια, τα όποια έσοδα προκύπτουν από την πώληση της ενέργειας δεν φορολογούνται.

Στην παρούσα φάση δεν υπάρχει ανώτατο όριο για το σύνολο της ισχύος που θα εγκατασταθεί στην επικράτεια με τους ευνοϊκούς όρους του προγράμματος. Εκτιμάται όμως, ότι είναι πιθανό να υπάρξει μελλοντική ρύθμιση για την οριοθέτηση της εγκατεστημένης ισχύος σε στέγες συνυπολογίζοντας και τη συνολική ισχύ των Φ/Β σταθμών μεγαλύτερου μεγέθους (Φ/Β πάρκα).

Προϋποθέσεις ένταξης στο πρόγραμμα

Στο πρόγραμμα μπορούν να συμμετέχουν πάσης φύσεως κτίρια που χρησιμοποιούνται για κατοικία (μονοκατοικίες, πολυκατοικίες, εξοχικά) σε όλη την Ελλάδα εκτός από τα μη διασυνδεδεμένα με το ηπειρωτικό σύστημα ηλεκτροδότησης νησιά.

Οι προϋποθέσεις που χρειάζονται είναι οι παρακάτω:

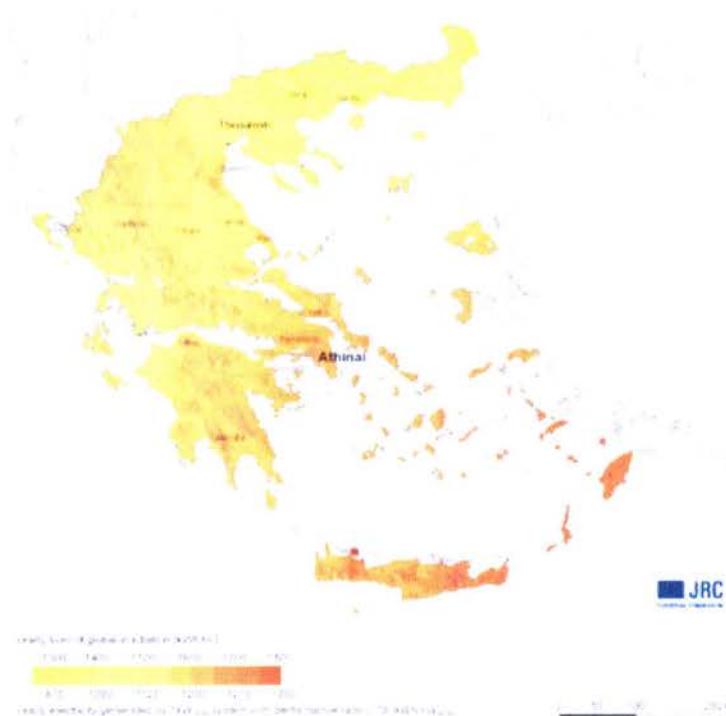
Θα πρέπει να είναι διαθέσιμη κεραμοσκεπή, ταράτσα, στέγαστρο ή οποιαδήποτε επιφάνεια έχει κατεύθυνση προς το νότο και δεν σκιάζεται.

Θα πρέπει να υπάρχει μετρητής της Δ.Ε.Η.

Σε περίπτωση πολυκατοικίας θα πρέπει να υπάρχει έγγραφη συμφωνία όλων των ιδιοκτητών της.

4.2.3 Χρόνος απόσβεσης επένδυσης σε ΦΒ Σύστημα

Υπάρχουν πολλοί παράγοντες που επηρεάζουν μια επένδυση σε Φ/Β πάρκο. Μελετώντας αρχικά το χάρτη με το Φ/Β ηλιακό δυναμικό της Ελλάδος διαπιστώνουμε ότι ολόκληρη η επικράτεια είναι χωρισμένη σε ζώνες με παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μεγαλύτερης των 1100KWh/KWp ανά έτος.



Θεωρώντας μέση τιμή παραγωγής Φ/Β πάρκου τα 1250 KWh/kWp σημαίνει ότι το ένα εγκαταστημένο kWp παράγει σε ένα έτος ενέργεια 1250 kWh. Επομένως ένα φ/β πάρκο 100kWp παράγει ετησίως 125 MWh. Παράλληλα θεωρώντας ότι ο **ΔΕΣΜΙΕ** (ή η ΔΕΗ) είναι υποχρεωμένος να αγοράσει την ηλεκτρική ενέργεια για 452,82 € την MWh, τότε η ακαθάριστη απόδοση θα ήταν περίπου 56500€ ετησίως προ φόρων.

Αν συνυπολογίσουμε όλους αυτούς τους παράγοντες και υποθέσουμε ότι το Φ/Β πάρκο των 100kWp τυχαίνει επιδότησης της τάξης του 40% καταλήγουμε ότι η απόσβεση της αρχικής επένδυσης θα γίνει περίπου σε 8 έτη, ενώ στα υπόλοιπα 12 έτη θα έχει ενδεικτικό καθαρό κέρδος της τάξης των 500.000€.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Φραγκιαδάκης Ι.Ε.(2004) Φωτοβολταϊκά Συστήματα εκδόσεις ΖΗΤΗ
2. Περδίδος Δ. Σταμάτης (2007)Φωτοβολταϊκές Εγκαταστάσεις εκδόσεις Τεκδοτική
3. <http://www.xariskalamaras.gr/photovoltaics/>
4. <http://asi.wpgsystem.com/index.php?mid=112>
5. <http://www.heliosres.gr/index.php?lang=gr&id=29>
6. http://www.comel.gr/pdf/FRONIUS_System_Monitoring_brochure.pdf
7. <http://www.solaredge.com/files/pdfs/products/monitor/se-monitoring-combiner-box-datasheet.pdf>
8. <http://www.pvresources.com/en/monitoring.php>
9. <http://www.solarenergytechnologies.net/>
10. <http://asi.wpgsystem.com/index.php?mid=112>
11. <http://www.pvresources.com/en/monitoring.php>