

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΘΕΜΑ : Τεχνοοικονομική ανάλυση συστήματος παραγωγής
ενέργειας με φωτοβολταϊκά ισχύος 100KW διασυνδεδεμένο
με δίκτυο**

ΚΑΡΑΚΑΤΣΑΝΗΣ ΓΙΩΡΓΟΣ

ΑΓΑΘΟΚΛΕΟΥΣ ΧΡΙΣΤΟΣ

ΠΑΝΑΓΙΩΤΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : Dr.ΤΣΙΠΛΟΣΤΕΦΑΝΑΚΗΣ ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ

ΠΑΤΡΑ-2009

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....σελ.6

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΔΕΙΟΔΟΤΗΣΗΣ

2.1 ΕΞΑΙΡΕΣΗ ΤΗΣ ΡΑΕ ΑΠΟ ΤΗΝ ΥΠΟΧΡΕΩΣΗ ΛΗΨΗΣ ΑΔΕΙΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....σελ.15
2.2 ΕΓΚΡΙΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΟΡΩΝ.....σελ.16
2.3 ΣΥΜΒΑΣΗ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΜΕ ΤΗ ΔΕΗ.....σελ.20
2.4 ΣΥΜΒΑΣΗ ΑΓΟΡΟΠΩΛΗΣΙΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕ ΔΕΣΜΗ.....σελ.27
2.5 ΘΕΩΡΗΣΗ ΤΟΥ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΚΑΛΥΨΗΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΡΜΟΔΙΑ ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑ.....σελ.30
2.6 ΟΔΗΓΟΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΑΙΤΗΣΕΩΝ Π.Η.Ε ΚΑΙ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ.....σελ.31

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

3.1 ΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΗ.....σελ.37
3.2 ΕΠΙΧΟΡΗΓΗΣΗ.....σελ.40
3.3 ΑΠΟΔΟΣΗ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ.....σελ.47
3.4 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΞΟΦΛΗΣΗΣ ΔΑΝΕΙΩΝ.....σελ.50

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

4.1 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ.....σελ.54
4.2 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ.....σελ.57
4.3 ΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ Φ/Β ΣΤΟΙΧΕΙΩΝσελ.73
4.4 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ.....σελ.77
4.5 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΙ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΕΣ.....σελ.90

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

5.1 ΑΥΤΟΝΟΜΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ.....σελ.102
5.2 ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ.....σελ.104
5.3 ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΤΑΣΗΣ.....σελ.105
5.4 ΑΝΙΧΝΕΥΤΕΣ ΣΗΜΕΙΟΥ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΙΣΧΥΟΣ.....σελ.116
5.5 ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑΣ.....σελ.121
5.6 ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ.....σελ.135
5.7 ΣΥΝΔΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ.....σελ.149

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΜΕΛΕΤΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟΥ Φ/Β ΣΤΑΘΜΟΥ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

6.1 ΣΕΝΑΡΙΟ.....σελ.155
6.2 ΑΝΑΛΥΣΗ.....σελ.156
6.3 ΗΛΙΑΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....σελ.162

6.4	ΕΠΙΛΟΓΗ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑ.....σελ.168
6.5	ΕΠΙΛΟΓΗ Φ/Β ΠΛΑΙΣΙΩΝ.....σελ.173
6.6	ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΥΣΤΟΙΧΙΑΣ.....σελ.182
6.7	ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΟΥ Φ/Β ΠΑΡΚΟΥ.....σελ.188
6.8	ΓΕΙΩΣΗ.....σελ.197
6.9	ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ.....σελ.202
6.10	ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ.....σελ.207
6.11	ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ.....σελ.215
6.12	ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ.....σελ.220
1	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....σελ.226
2	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.....σελ.229
3	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β.....σελ.237

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη ενός διασυνδεδεμένου με το κεντρικό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας της Δ.Ε.Η. φωτοβολταϊκού σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με εγκατεστημένη ισχύ αιχμής 100kWp. Ο συγκεκριμένος φ/β σταθμός μελετήθηκε για το γεωγραφικό πλάτος της Σπάρτης.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στη φωτοβολταϊκή τεχνολογία, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα που την χαρακτηρίζουν και τους τομείς στους οποίους βρίσκει εφαρμογή. Ακόμα παρουσιάζεται η ιστορική τους εξέλιξη διεθνώς, καθώς και η ελληνική πραγματικότητα.

Στο δεύτερο κεφάλαιο επεξηγείται η διαδικασία αδειοδότησης που χρειάζεται ένα φωτοβολταϊκού πάρκου ισχύς 100kW.

Στο τρίτο κεφάλαιο εξηγούνται βασικές οικονομικές έννοιες και δίνονται τρόποι αξιολόγησης μια επένδυσης.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται μια λεπτομερής ανάλυση του φωτοβολταϊκού φαινομένου και επιχειρείται μια περιγραφή των σπουδαιότερων υλικών και τεχνολογιών κατασκευής φωτοβολταϊκών στοιχείων. Ακόμα αναλύονται τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των φ/β στοιχείων και οι σημαντικότεροι παράγοντες που τα επηρεάζουν.

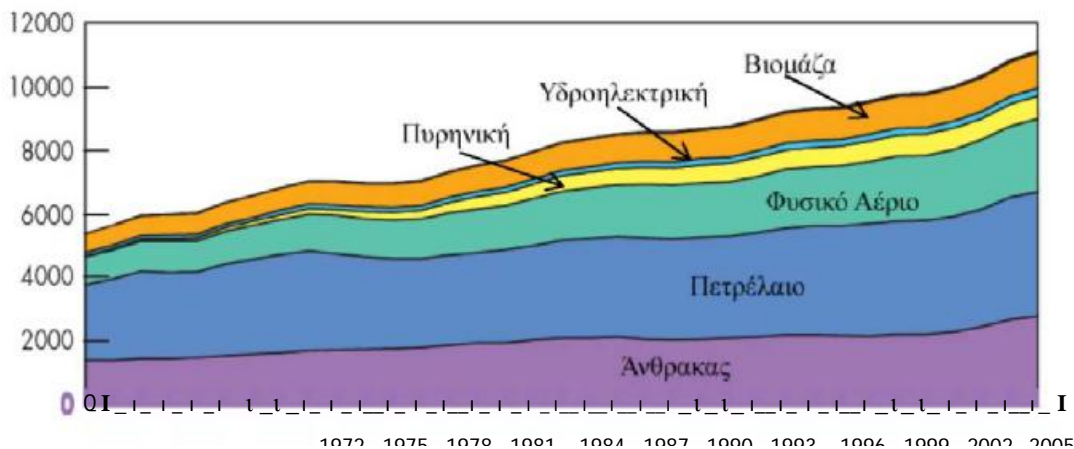
Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται η περιγραφή και ανάλυση των επιμέρους στοιχείων, που αποτελούν τόσο ένα αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα όσο και ένα διασυνδεδεμένο φωτοβολταϊκό σύστημα.

Στο έκτο κεφάλαιο γίνεται μια λεπτομερής μελέτη του φ/β σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία αφορά τον πλήρη ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό που θα χρησιμοποιηθεί (φ/β πλαίσια, αντιστροφείς, βάσεις στήριξης, γειώσεις κλπ.), ενώ έμφαση δίνεται στην τελική απόδοση της εγκατάστασης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1-ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία χρόνια ο άνθρωπος άρχισε να αντιλαμβάνεται ότι το μέλλον του πλανήτη κινδυνεύει από τις παρεμβάσεις στο μέλλον.Ένα από τα πιο μεγάλα προβλήματα που αντιμετωπίζει σήμερα η ανθρωπότητα είναι η αυξανόμενη ζήτηση

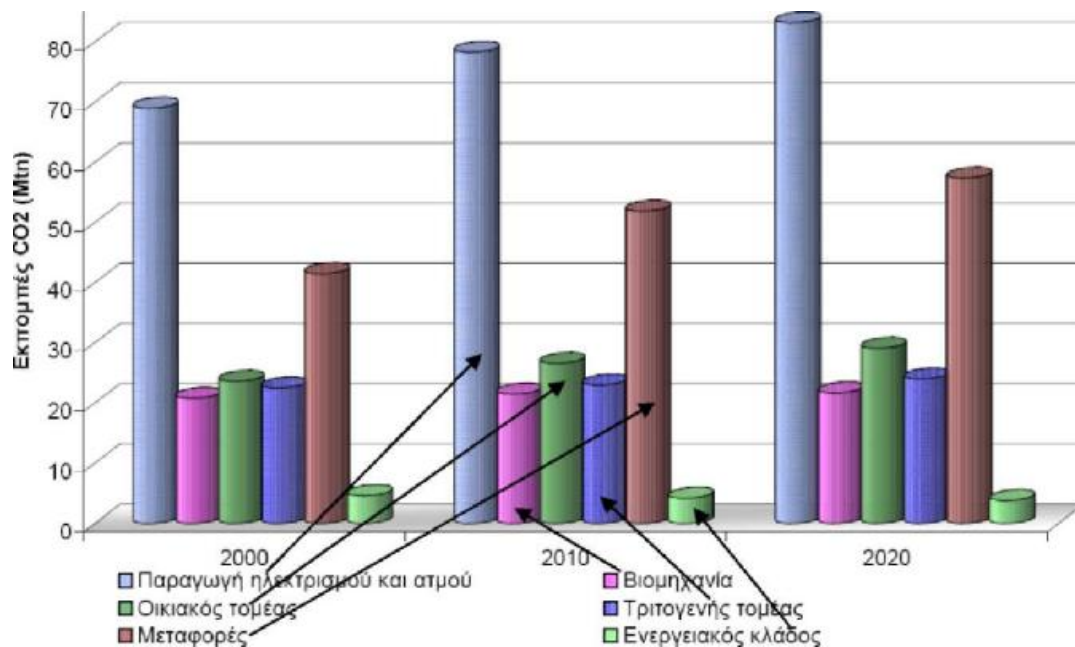
ενεργείας .Το κύριο αίτιο της καταστροφής του περιβάλλοντος είναι οι συμβατικές ενεργειακές τεχνολογίες οι οποίες σπαταλούν φυσικούς πόρους και ρυπαίνουν την ατμόσφαιρα. Οι ενδείξεις για την κλιματική αλλαγή αυξάνονται περισσότερο λόγω εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου οποίες προέρχονται σε μεγάλο βαθμό από τον τομέα της μεταφορές. Οπότε είναι άμεση ανάγκη, η χρήση εναλλακτικών μορφών ενεργείας και ανανεώσιμων πηγών ενεργείας, οι οποίες είναι φιλικές προς το περιβάλλον και ανεξάντλητες. Σε αντίθεση , το πετρέλαιο και τα ορυκτά καύσιμα, αν και ακόμη, υπάρχουν αποθέματα για τουλάχιστον ένα αιώνα, ξηρή εξάρτηση από αυτά αυξάνει τα οικονομικά προβλήματα σε κάθε αύξηση των τιμών τους.



Σχήμα 1.1 Εξέλιξη της πρωτογενούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε Mtoe (τόνοι ισοδυνάμου πετρελαίου) για τα έτη 1971-2005. Πηγή

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ή ήπιες μορφές ενέργειας προέρχονται από διάφορες φυσικές διαδικασίες και μπορούν να ταξινομηθούν στις παρακάτω κατηγορίες:

- Αιολική ενέργεια
- Ηλιακή ενέργεια
- Υδατοπτώσεις
- Βιομάζα
- Γεωθερμική ενέργεια
- Ενέργεια από παλίρροιες
- Ενέργεια από κύματα
- Ενέργεια από τους ωκεανούς



Σχήμα 1.2 Συνολικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου για την Ευρωπαϊκή Ένωση των 15, ανά τομέα για το έτος 2000 και πρόβλεψη για τα έτη 2010 και 2020[21].

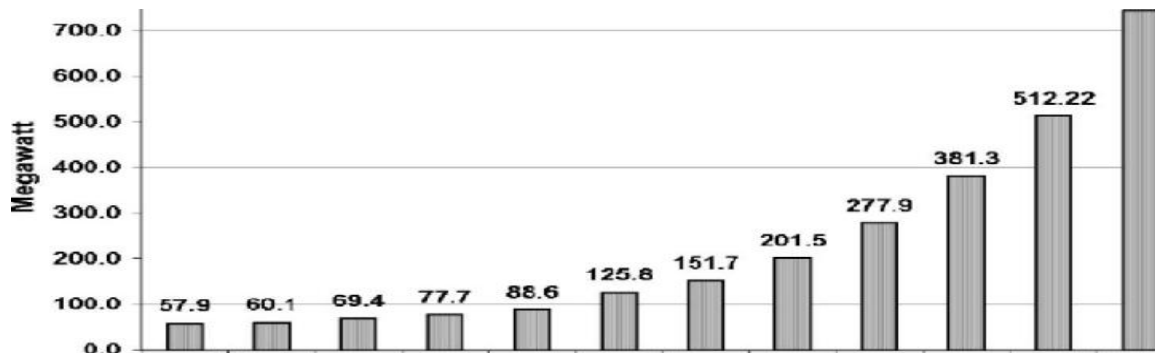
Για την εκμετάλλευση των παραπάνω ήπιων μορφών ενέργειας έχουν αναπτυχθεί πολυάριθμες τεχνολογίες. Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζεται η ηλιακή ενέργεια ως η ήπια μορφή ενέργειας, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ανάμεσα στις άλλες τεχνολογίες, οι οποίες εκμεταλλεύονται την ηλιακή ενέργεια είναι και η φωτοβολταϊκή τεχνολογία, η οποία κερδίζει ευρεία αποδοχή ως ένας τρόπος διατήρησης και βελτίωσης του βιοτικού επιπέδου χωρίς να βλάπτεται το περιβάλλον. Όλο και περισσότερες εταιρίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ανταποκρίνονται στις επιθυμίες των καταναλωτών συμπεριλαμβάνοντας τα φωτοβολταϊκά στον παραγωγικό μηχανισμό. Τα πλεονεκτήματα της φωτοβολταϊκής μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική μπορούν να συνοψισθούν στα ακόλουθα:

- Ανανεώσιμη και ελεύθερα διαθέσιμη ενεργειακή πηγή.
- Μηδενική ρύπανση και πλήρης απουσία αποβλήτων ή άλλων άχρηστων παραπροϊόντων.

- Αθόρυβη λειτουργία.
- Υψηλή αξιοπιστία των φωτοβολταϊκών συστημάτων.
- Ελάχιστες απαιτήσεις επίβλεψης και συντήρησης.
- Αντοχή σε ακραίες καιρικές συνθήκες (ισχυρούς άνεμους, ακραία χαλαζόπτωση, κλπ).
- Μεγάλη διάρκεια ζωής των ηλιακών στοιχείων(τουλάχιστον 25 χρόνια).
- Σχετικά απλή μέθοδος κατασκευής των ηλιακών στοιχείων από πρώτες ύλες.
- Εύκολη επέκταση της υπάρχουσας εγκατάστασης.
- Δυνατότητα ανεξαρτησίας από τα κεντρικά ηλεκτρικά δίκτυα διανομής για απομακρυσμένες περιοχές (αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα).
- Μεγάλο εύρος εφαρμογών, όσον αφορά την ισχύ. Από μερικά Watt μέχρι μεγάλους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μερικών MW.

Από την άλλη τα κύρια μειονεκτήματα είναι:

- Υψηλό αρχικό κόστος επένδυσης, το οποίο οφείλεται σχεδόν αποκλειστικά στο υψηλό κόστος κατασκευής των φωτοβολταϊκών στοιχείων και πολύ λιγότερο στο κόστος τις υπόλοιπης φωτοβολταϊκής εγκατάστασης (ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός).
- Σε εφαρμογές που απαιτείται η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας (αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα), αυτή γίνεται με μη αποδοτικό τρόπο, με περιορισμένες δυνατότητες, ενώ και το κόστος των συσσωρευτών είναι υψηλό.
- Λόγω της μικρής πυκνότητας της ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας, απαιτείται η χρησιμοποίηση μεγάλων σχετικά επιφανειών.
- Εξάρτηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από τις καιρικές συνθήκες, που αποτελούν έναν απρόβλεπτο παράγοντα, επιτρέποντας μόνο εκτιμήσεις σε μεγάλο χρονικό ορίζοντα (συνήθως ετήσια).

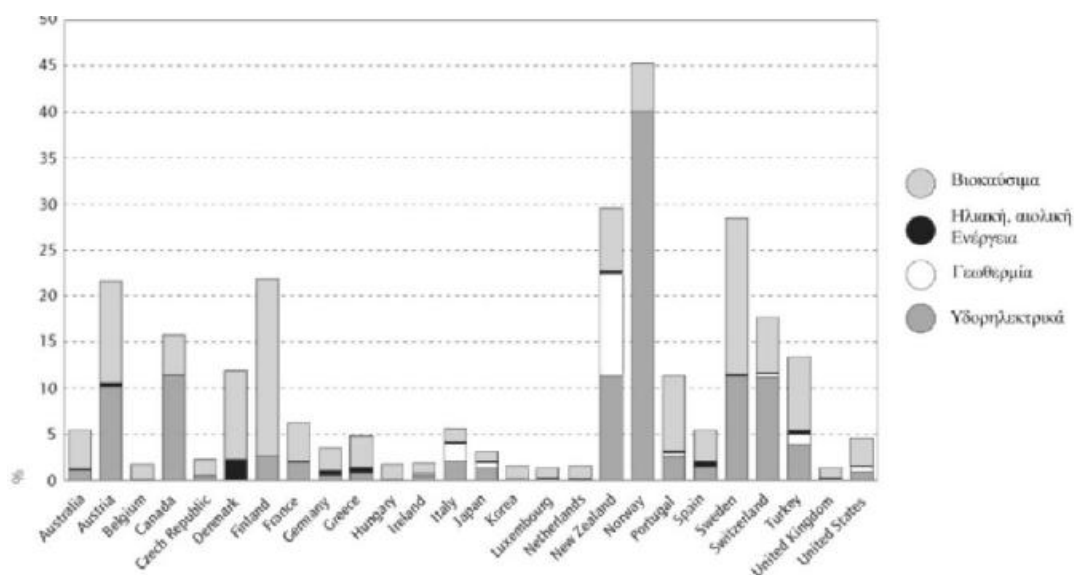


Σχήμα 1.3 Εξέλιξη της παγκόσμιας αγοράς φωτοβολταϊκών σε MW[4].

Η φωτοβολταϊκή τεχνολογία διεθνώς

Είναι γεγονός μια μεγάλη στροφή διεθνώς, όσον αφορά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας τόσο από τις κυβερνήσεις όσο και από μεγάλες εταιρίες και επενδυτές. Σε αντίθεση με το παρελθόν η ανάπτυξη σήμερα συνδέεται άμεσα με περιβαλλοντικά ζητήματα, τα οποία αποτελούν σημαντική συνιστώσα σε οποιοδήποτε ενεργειακό επενδυτικό σχέδιο. Η αναγκαιότητα αυτή πηγάζει κυρίως από την μεγάλη αλλαγή, που έχει συμβεί στην κοινή γνώμη όσον αφορά την περιβαλλοντική συνείδηση και από τις αδιαμφισβήτητες κλιματολογικές αλλαγές, των τελευταίων χρόνων, οι οποίες εκτός των άλλων έχουν σοβαρές οικονομικές επιπτώσεις.

Το αποτέλεσμα είναι, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας να μετατραπούν σε λύση πρώτης προτεραιότητας για μια ισορροπημένη ανάπτυξη. Όπως είναι αναμενόμενο, υπάρχουν μεγάλες διαφορές από χώρα σε χώρα, όσον αφορά το ποια μορφή ενέργειας θα χρησιμοποιηθεί. Καθοριστικό ρόλο παίζουν οι γεωλογικές και κλιματολογικές συνθήκες, έτσι ώστε η εκμετάλλευση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας να είναι αποδοτική.



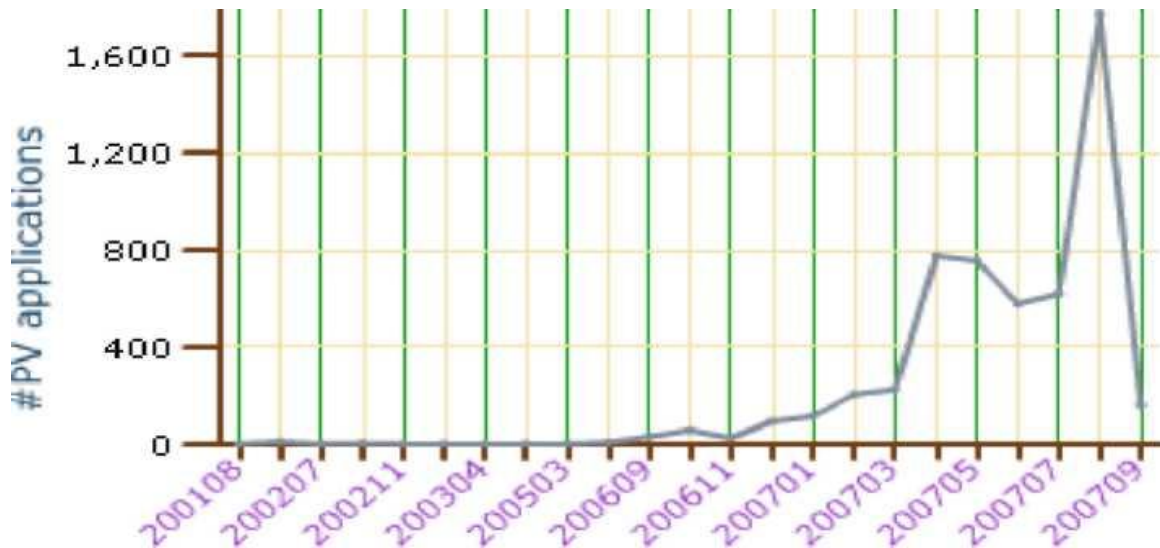
Σχήμα 1.4 Συνεισφορά των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην συνολική πρωτογενή παραγωγή στις χώρες της IEA (International Energy Agency) για το έτος 2002. Πηγή www.iea.org

Η φωτοβολταϊκή τεχνολογία εμφανίζει μια ραγδαία ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια διεθνώς (Σχήμα 1.3). Ταυτόχρονα γίνεται μεγάλη προσπάθεια στον τομέα της έρευνας, με σκοπό την εξεύρεση νέων υλικών, αλλά και λιγότερο ενεργοβόρων διαδικασιών παραγωγής φωτοβολταϊκών στοιχείων, γεγονότα που από την μια θα αυξήσουν την απόδοση και από την άλλη θα μειώσουν το κόστος παραγωγής. Οι δύο τελευταίες παράμετροι αποτελούν και τα κύρια μειονεκτήματα της φ/β τεχνολογίας, τα οποία εμποδίζουν την περαιτέρω ανάπτυξή της. Πρέπει όμως να τονιστεί ότι παρόλο που η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω φ/β στοιχείων τα τελευταία χρόνια είναι πολλαπλάσια αν συγκριθεί με την κατάσταση προ μερικών δεκαετιών, εντούτοις παραμένει σε πολύ χαμηλά ποσοστά, όσον αφορά τη συνεισφορά στην συνολική πρωτογενή παραγωγή (Σχήμα 1.4).

Ελληνική Πραγματικότητα

Παρόλο που το ηλιακό δυναμικό της Ελλάδας είναι ιδανικό για την εκμετάλλευση της φ/β τεχνολογίας, μέχρι και το τέλος του 20^{ου} αιώνα, η συνεισφορά της ηλιακής ενέργειας

στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ήταν ουσιαστικά ανύπαρκτη. Περιοριζόταν κυρίως σε αυτόνομα φ/β συστήματα για απομακρυσμένες από το κεντρικό δίκτυο περιοχές, ενώ και σε αυτή τη περίπτωση ο αριθμός και το μέγεθος ήταν πολύ περιορισμένα.



Σχήμα 1.5 Εξέλιξη των αιτήσεων για φ/β συστήματα στην Ελλάδα για τα έτη 2001-2007. Πηγή www.aenaon.net/gr/

Όμως τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια πολύ μεγάλη αλλαγή. Ο κλάδος της φ/β τεχνολογίας γνωρίζει μια έκρηξη επενδυτικού ενδιαφέροντος, απόρροια της αλλαγής της πολιτείας ως προς την προώθηση των ανανεώσιμων πηγών γενικότερα και της φ/β τεχνολογίας πιο συγκεκριμένα. Οι γενναίες επιδοτήσεις σε συνδυασμό με την αυξημένη τιμή αγοράς της ηλεκτρικής ενέργειας από φ/β συστήματα είχαν ως αποτέλεσμα αυξημένο επενδυτικό ενδιαφέρον, καθώς η φ/β τεχνολογία κατέστη όχι μόνο βιώσιμη, αλλά και κερδοφόρα επένδυση με ελάχιστο ρίσκο.

Το αποτέλεσμα ήταν μια χωρίς προηγούμενο εκτίναξη του αριθμού των αιτήσεων για την χορήγηση άδειας κατασκευής φ/β πάρκων (Σχήμα 1.4). Ο στόχος των 700MW που είχε τεθεί για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από φ/β συστήματα, καλύφθηκε πολύ γρήγορα (τέλος του 2007). Όπως είναι φανερό, σε μια χώρα όπου η περιβαλλοντική συνείδηση των πολιτών και των επιχειρήσεων δεν είναι πολύ μεγάλη, ο κρατικός παρεμβατισμός μοιάζει ίσως ο μοναδικός τρόπος για την εκδήλωση επενδυτικού ενδιαφέροντος στη συγκεκριμένη τεχνολογία. Όμως τα πράγματα μπορούν

να αλλάξουν σημαντικά, όχι μόνο με την αλλαγή της κοινής γνώμης πάνω σε περιβαλλοντικά ζητήματα, αλλά και από την εξέλιξη της τεχνολογίας, η οποία μοιάζει ικανή στο άμεσο μέλλον να κάνει τα φ/β μια βιώσιμη και εφικτή λύση στο παγκόσμιο ενεργειακό πρόβλημα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2-ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΔΕΙΟΔΟΤΗΣΗΣ

2.1 ΕΞΑΙΡΕΣΗ ΤΗΣ ΡΑΕ ΑΠΟ ΤΗΝ ΥΠΟΧΡΕΩΣΗ ΛΗΨΗΣ ΑΔΕΙΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Αίτηση για εξαίρεση μπορούν να υποβάλουν φυσικά πρόσωπα ή εταιρείες που έχουν συσταθεί κατά το χρόνο υποβολής της αίτησης. Σημειώνεται ότι, εάν οι ενδιαφερόμενοι προτίθεται να ενταχθούν στις διατάξεις του αναπτυξιακού νόμου, πρέπει ο αιτούμενος φορέας να είναι νομικό πρόσωπο συστημένο κατά την υποβολή της αίτησης στη ΡΑΕ.

Σύμφωνα με τις διατάξεις του άρθρου 4 του ν.3468/2006 το ίδιο φυσικό ή νομικό πρόσωπο μπορεί να υποβάλει περισσότερες από μία αιτήσεις για χορήγηση εξαίρεσης, εφόσον πληρούνται οι προϋποθέσεις του άρθρου αυτού.

Δεν υπάρχει τυποποιημένο έντυπο αίτησης προς συμπλήρωση. Η αίτηση υποβάλλεται σύμφωνα με τον τύπο που καθορίζεται στο Παράρτημα 2 της με αριθμ. Πρωτ. Δ6/Φ1/οικ. 5707 απόφασης του Υπουργού Ανάπτυξης (ΦΕΚ Β'448/3-4-2007) «Κανονισμός Αδειών Παραγωγής από ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ» (*link στο site της ΡΑΕ για τον Κανονισμό σε *.pdf μορφή*) και πρέπει να περιλαμβάνει όλα τα στοιχεία που καθορίζονται στο Παράρτημα αυτό.

Υπεύθυνος για τη σύναψη σύμβασης πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας είναι

- Μεταξύ παραγωγού και Διαχειριστή του Συστήματος (ΔΕΣΜΗΕ Α.Ε.) εάν ο Φ/Β σταθμός συνδεθεί στο Σύστημα.
- Μεταξύ παραγωγού και Διαχειριστή του Δικτύου (ΔΕΗ Α.Ε.) εάν ο Φ/Β σταθμός συνδεθεί σε Μη Διασυνδεδεμένο Νησί.

Σχετικά με τη διάρκεια ισχύος της σύμβασης: Σύμφωνα με το άρθρο 12 του ν.3468/2006:

«η σύμβαση πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας ισχύει για δέκα έτη και μπορεί να παρατείνεται για δέκα επιπλέον έτη μονομερώς...».

Η αίτηση για χορήγηση εξαίρεσης υποβάλλεται στη Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας σε έντυπη και ηλεκτρονική μορφή (Πανεπιστημίου 69, 105 64, Αθήνα)

2.2 ΕΓΚΡΙΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΟΡΩΝ

Το βασικότερο πρόβλημα στην περιβαλλοντική αδειοδότηση των φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων είναι η αντιμετώπιση τους ως βιομηχανικές Εγκαταστάσεις από ορισμένες δ/νσες ΠΕ.ΧΩ. Όμως η περιβαλλοντική νομοθεσία, κατατάσσει τις φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις, στην κατηγορία «Ειδικά έργα» (και όχι στην κατηγορία «Βιομηχανικές Εγκαταστάσεις»), σύμφωνα με την υπ' αριθμόν Υ.Α. 145799 (ΦΕΚ Β' 1002/18.7.2005), που είναι συμπλήρωση της Η.Π. 15393/2332/2002 (ΦΕΚ 1022/Β/5.8.2002), (κοινής υπουργικής απόφασης, που αφορά την κατάταξη δημοσίων και ιδιωτικών έργων και δραστηριοτήτων σε Κατηγορίες (περιβαλλοντική κατάταξη), συμφωνά με το άρθρο 3 του Ν. 1650/1986, όπως αντικαταστάθηκε με το άρθρο 1 του Ν.3010/2002).

Το γεγονός ότι αναφερόμαστε σε Ειδικά έργα και όχι σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις φαίνεται και από την αντίστοιχη νομοθεσία των βιομηχανικών εγκαταστάσεων και συγκεκριμένα από τον νόμο Ν.3325/2005 Ίδρυση και λειτουργία βιομηχανικών βιοτεχνικών εγκαταστάσεων κλπ.

Αναλυτικότερα στο άρθρο 3 παράγραφος 1, του Ν. 3325/2005 αναφέρεται το πεδίο εφαρμογής του νόμου που είναι α) βιομηχανίες –βιοτεχνίες, β) επαγγελματικά εργαστήρια ,γ) αποθήκες, δ) μηχανολογικές εγκαταστάσεις και ε) κτιριακές εγκαταστάσεις που εξυπηρετούν τα παραπάνω (α, β, γ, δ). Δεν υπάγονται στις διατάξεις του Ν. 3325/2005, σύμφωνα με το άρθρο 3 παράγραφος 2 οι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής. Αυτοί υπάγονται στις διατάξεις του Ν. 1559/1985(ΦΕΚ135Α) όπως αυτές έχουν αντικαταστεί από τις διατάξεις του Ν. 2244/94 (προηγούμενη νομοθεσία του Ν3468/12/006, που αφορούσε την ηλεκτροπαραγωγή από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και τα συμβατικά καύσιμα).

Ενισχυτικά στα προαναφερόμενα ότι δηλαδή οι εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών

δεν είναι βιομηχανικές εγκαταστάσεις αλλά ειδικά έργα συνηγορούν και οι ακόλουθες διατάξεις:

- Υ.Α δ6/Φ1/ΟΙΚ. 19500(ΦΕΚΒ' 1671/11.10.2004), τροποποίηση και συμπλήρωση της 137727/724/2003 κοινής υπουργικής απόφασης ως προς την αντιστοίχιση των δραστηριοτήτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με τους βαθμούς όχλησης που αναφέρονται στην πολεοδομική νομοθεσία. Στην προαναφερόμενη υπουργική απόφαση (άρθρο 2 παράγραφος 1) αναφέρονται τα ακόλουθα «Οι σταθμοί της παραγράφου 2δ (σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής από φωτοβολταϊκά συστήματα με αποδιδόμενη ηλεκτρική ισχύ μικρότερη ή ίση του 0.5 MW), επιτρέπεται να εγκαθίστανται σε παραδοσιακούς οικισμούς, ιστορικά τμήματα πόλεων και διατηρητέα κτίρια ύστερα από έγκριση της αρμόδιας ΕΠΑΕ ως προς την ένταξή τους στο χώρο. Στη συνέχεια στο άρθρο 2 αναφέρεται ότι οι συγκεκριμένοι σταθμοί «χαρακτηρίζονται ως μη οχλούσες δραστηριότητες».

- ΣΤΑΚΟΔ 2003. Στατιστική ταξινόμηση των κλάδων οικονομικής δραστηριότητας. Η ηλεκτροπαραγωγή από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας κατατάσσεται στο κλάδο Ε (οικονομικής δραστηριότητας) «παροχή ηλεκτρικού ρεύματος, φυσικού αερίου και νερού», και όχι στο κλάδο Δ που αφορά τις μεταποιητικές βιομηχανίες.

Οι διευθύνσεις ΠΕ.ΧΩ των Περιφερειών βασιζόμενες στον Ν.2941/2001, απλοποίηση ίδρυσης Α.Ε. αδειοδότησης Α.Π.Ε, Ελληνικά ναυπηγεία κλπ και συγκεκριμένα στην παράγραφο 7 του άρθρου 2, «σε κάθε περίπτωση τα έργα ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ υπάγονται στα περί βιομηχανικών εν γένει εγκαταστάσεων διατάξεις του άρθρου 4 του από 24.5.1985 προεδρικού διατάγματος (ΦΕΚ 270 Δ'), αντιμετωπίζει τα έργα ως βιομηχανικές εγκαταστάσεις.

Τι σημαίνει αυτό πρακτικά; Αρτιότητα γηπέδου (4 στρέμματα) αποστάσεις από όρια 10 μέτρα, 30% κάλυψη και κατά παρέκκλιση 40%. Συνεπώς μεγάλο μέρος των εγκρίσεων αδειών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά συστήματα, στον κάλαθο των αχρήστων, λόγω αποστάσεων από όρια και αρτιότητας. Στον ίδιο νόμο Ν.2941/2001 στην παράγραφο 9 του άρθρου 2 αναφέρεται: «τα έργα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ, στα οποία περιλαμβάνονται τα έργα δικτύων μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας κατασκευής υποσταθμών και εν γένει κάθε κατασκευής που αφορά υποδομή και εγκατάσταση σταθμών ηλεκτροπαραγωγής από

ΑΠΕ, χαρακτηρίζονται ως Δημοσίας Ωφελείας ,ανεξάρτητα από το φορέα υλοποίησης τους»

Συμφώνα με το άρθρο 7 του προαναφερόμενου προεδρικού διατάγματος (ΦΕΚ 270 Δ' / 31.5. 1985), για τα κτίρια κοινής ωφελείας ΔΕΗ -ΟΤΕ (έργα ύδρευσης κλπ), ισχύει η ακόλουθη παρέκκλιση:

- Αρτιότητα γηπέδου 500 μμέτρα
- Αποστάσεις από όρια 2,5 μμέτρα
- Ποσοστό κάλυψης 50%
- Ύψος (συμπαγούς) περιφραξης μικρότερο των 4,5 μέτρων.

Την προαναφερθείσα παράγραφο 9 του Ν.2491/200 1, μαζί με τους νόμους και τις λοιπές διατάξεις που προαναφέρθηκαν, έχουν χρησιμοποιήσει διευθύνσεις ΠΕ.ΧΩ στην βόρεια Ελλάδα, για να βοηθήσουν στην υλοποίηση των εγκαταστάσεων φωτοβολταϊκών πάρκων, επενδύσεων περιβαλλοντικά φιλικών αλλά και που συμβάλουν στην απεξάρτηση της χώρας από το πετρέλαιο. Στην Κρήτη και στην υπόλοιπο μη διασυνδεδεμένο δίκτυο που κατά τεκμήριο έχει μικρά αγροτεμάχια, γιατί να ζητούνται 10 μέτρα αποστάσεις από τα όρια και αρτιότητα. Επίσης με βάση το ΦΕΚ 663/Β/06 «Περιεχόμενα δικαιολογητικά και λοιπά στοιχεία των προμελετών Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΜΠΕ) καθώς και συναφών Μελετών περιβαλλοντικών έργων (ΑΠΕ)» οι υπηρεσίες που γνωμοδοτούν είναι όπως αναφέρει το παραπάνω ΦΕΚ:

Α) Το γενικό επιτελείο εθνικής άμυνας

Β) Η υπηρεσία πολιτικής αεροπορίας

Γ) Η αρμόδια περιφερειακή υπηρεσία δασών

Δ) Η αρμόδια περιφερειακή υπηρεσία τουρισμού

Ε) Τις αρμόδιες εφορείες προϊστορικών και Κλασικών Αρχαιοτήτων και τις εφορίες Βυζαντινών αρχαιοτήτων, τις εφορείες νεότερων μνημείων και αποκλειστικά για έργα ΑΠΕ που εγκαθίστανται στη θάλασσα. τις εφορίες εναλίων αρχαιοτήτων

ΣΤ) Τους οργανισμούς ρυθμιστικού σχεδίου και προστασίας περιβάλλοντος της Αθήνας και της Θεσσαλονίκης, αποκλειστικά για τα έργα ΑΠΕ που προτείνεται να εγκατασταθούν στις περιοχές δικαιοδοσίας των εν λόγω οργανισμών και τους αρμοδίους οργανισμούς της οικείας περιφέρειας, που ορίζονται στο άρθρο 3 του ν. 2508/1997, εφόσον αυτοί έχουν συσταθεί

Ζ) Την αρμόδια περιφερειακή υπηρεσία του υπουργείου Μεταφορών και Επικοινωνιών ,αποκλειστικά για θέματα επικοινωνιών

Η) Την αρμόδια λιμενική αρχή του υπουργείου Εμπορικής Ναυτιλίας, αποκλειστικά για έργα ΑΠΕ που εγκαθίστανται σε θάλασσα ή στον αιγιαλό.

Θ) Την αρμόδια Περιφερειακή Διεύθυνση Υδάτων αποκλειστικά για υδροηλεκτρικά έργα.

Οι αρμόδιες υπηρεσίες των Νομαρχιών και των Περιφερειών θέλουν να γνωμοδοτεί η ΝΕΧΩΠ παρότι ούτε αναφέρεται στο νόμο ούτε χρειάζεται να γνωμοδοτεί εφόσον στην περίπτωση των εξαιρέσεων Φ/Β δεν υφίστανται ουσιαστικά κανένα είδος εγκατάστασης (είναι **Ειδικά έργα δημόσιας ωφέλειας**) και δεν υπάρχουν χαρακτηρισμένες με πράξη χαρακτηρισμού γαίες υψηλής παραγωγικότητας όπως ισχυρίζονται. (με εξαίρεση ορισμένες περιπτώσεις) Μάλιστα παρατηρείται το φαινόμενο να γνωμοδοτούν αρνητικά οι ΝΕΧΩΠ χαρακτηρίζοντας αυτές τις γαίες υψηλής παραγωγικότητας χωρίς να έχουν αυτό το δικαίωμα και χωρίς πράξη χαρακτηρισμού και κατά τη στιγμή που γίνεται η εγκατάσταση.

Θα πρέπει επίσης να έχει ο κάτοχος της άδειας (εξαίρεσης) το δικαίωμα εκχώρησης της άδειας σε εταιρεία που συμμετέχει ο ίδιος για λόγους ευχέρειας διαχείρισης (αναπτυξιακός νόμος κλπ). Η τιμαριθμική αναπροσαρμογή θα πρέπει να παραμένει στο 75 % όπως το αναφέρει ο νόμος 3468/06 χωρίς καμία μείωση. Είναι απαραίτητο να αναφέρονται όλα τα παραπάνω στο νέο νόμο για να είναι συγκεντρωμένα και ξεκάθαρα ούτως ώστε οι τοπικές υπηρεσίες των Περιφερειών και Νομαρχιών να αντιλαμβάνονται το πνεύμα του νόμου και να μην καθυστερούν δημιουργώντας πολλές φορές αξεπέραστα προβλήματα και σε μεγάλο ποσοστό στην εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πάρκων με εξαίρεση από τη λήψη άδειας παραγωγής.

Παράδειγμα είναι η Κρήτη που δεν έχει προχωρήσει καμία περιβαλλοντική αδειοδότηση και εγκατάσταση ενώ έχουν περάσει ήδη 5 μήνες από την ημερομηνία λήψης των εξαιρέσεων και απομένουν μόνο 19 μήνες περιθώριο για εγκατάστασή τους.

Όλα τα παραπάνω είναι απολύτως νόμιμα και επιτρέπουν την άμεση εγκατάσταση των Φ/Β με εξαίρεση χωρίς κανένα πρόβλημα και στο σωστό χρόνο που είναι το ζητούμενο.

2.3 ΣΥΜΒΑΣΗ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΜΕ ΤΗ ΔΕΗ

1. Υποβολή αίτησης σύνδεσης (το ειδικό έντυπο διατίθεται από τη ΔΕΗ) στην τοπική μονάδα της ΔΕΗ (Περιοχή), με επισύναψη των εγγράφων και στοιχείων υπ' αριθ. 1 έως και 10 του εντύπου αίτησης,⁽¹⁾ με ταυτόχρονη κατάθεση ποσού 300 € για σταθμούς άνω των 5 kW και έως και 20 kW, και 500 € για σταθμούς άνω των 20 kW και έως και 100 kW.
2. Έγγραφο διατύπωση της ΔΕΗ προς τον ενδιαφερόμενο των τεχνικών και οικονομικών όρων σύνδεσης.
3. Έγγραφο αποδοχή των όρων σύνδεσης από τον ενδιαφερόμενο με ταυτόχρονη υποβολή αιτήματος κατάρτισης της Σύμβασης Σύνδεσης.⁽²⁾
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.
5. Έγγραφο αναγγελία της ΔΕΗ προς τον ενδιαφερόμενο της περάτωσης των έργων σύνδεσης.
6. Έγγραφο δήλωση ετοιμότητας της εγκατάστασης από τον ενδιαφερόμενο, προκειμένου να ενεργοποιηθεί η σύνδεση μετά από έλεγχο της ΔΕΗ, αφού προηγουμένως (ή ταυτόχρονα) υποβάλει πλήρη τα στοιχεία υπ' αριθ. 11 έως και 14 του εντύπου αίτησης⁽³⁾ και έχει υπογράψει συμβόλαιο κατανάλωσης ρεύματος.⁽⁴⁾
7. 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.
8. Ενεργοποίηση της σύνδεσης, μετά από την επιτυχή ολοκλήρωση του ελέγχου.⁽⁵⁾

Διευκρινίσεις επί της διαδικασίας

(1) Σε περίπτωση που τα στοιχεία της αίτησης δεν είναι πλήρη, ή τα συνυποβαλλόμενα έγγραφα και στοιχεία είναι ελλιπή, η αίτηση δεν παραλαμβάνεται. Κατ' εξαίρεση το στοιχείο υπ' αριθμ. 10 (έγκριση εργασιών από Πολεοδομία), μπορεί σε περιπτώσεις μεμονωμένων μόνο αιτήσεων για φωτοβολταϊκούς σταθμούς ισχύος > 20 kW, να υποβληθεί προ της υπογραφής της Σύμβασης Σύνδεσης. Σε περίπτωση αλλαγής της θέσης εγκατάστασης ή επαύξησης της ισχύος του σταθμού, θα πρέπει να υποβληθεί νέα αίτηση με τα αντίστοιχα δικαιολογητικά. Αλλαγές στην ισχύουσα αίτηση γίνονται δεκτές μόνο σε περιπτώσεις μεταβολής της επωνυμίας του αιτούντος ή μείωσης της ισχύος του σταθμού με υποχρέωση έγγραφης ενημέρωσης για τα αντίστοιχα στοιχεία που μεταβάλλονται, καθώς και μεταβολές του τύπου ή και του κατασκευαστή των πλαισίων και των αντιστροφών με προσκόμιση των αντίστοιχων στοιχείων τους.

(2) Η υπογραφή της Σύμβασης Σύνδεσης προηγείται και είναι προαπαιτούμενη της υπογραφής της Σύμβασης Πώλησης Ηλεκτρικής Ενέργειας (η τελευταία υπογράφεται με το ΔΕΣΜΗΕ προκειμένου για το διασυνδεδεμένο σύστημα ή με τη ΔΕΗ προκειμένου για τα μη διασυνδεδεμένα νησιά). Η υπογραφή της Σύμβασης Πώλησης προηγείται και είναι προαπαιτούμενη της ενεργοποίησης της σύνδεσης.

(3) Η Υπεύθυνη Δήλωση Ηλεκτρολόγου Εγκαταστάτη (Υ.Δ.Ε.) που θα προσκομιστεί (υπ' αριθ. 12 του εντύπου αίτησης), θα συνοδεύεται από βεβαίωση της αρμόδιας ΔΟΥ.

(4) Για την υπογραφή συμβολαίου κατανάλωσης ρεύματος χαμηλής τάσης, ο ενδιαφερόμενος θα προσκομίσει έγγραφο του Δήμου για τον καθορισμό των Δημοτικών Τελών (εφόσον υφίσταται υποχρέωση καταβολής), ή απαλλακτικό.

(5) Εάν κατά τη διενέργεια του ελέγχου διαπιστωθούν ελλείψεις ή δυσλειτουργίες στις εγκαταστάσεις του ενδιαφερόμενου, η σύνδεση θα παραμείνει ανενεργή μέχρις ότου ο ενδιαφερόμενος προβεί στις διορθωτικές ενέργειες που θα του υποδείξει η ΔΕΗ.

Τεχνικές Διευκρινίσεις

- Σταθμοί ισχύος μέχρι 100 kW συνδέονται στο δίκτυο χαμηλής τάσης, μέσω μονοφασικής παροχής προκειμένου για ισχύ μέχρι 5 kW και τριφασικής παροχής προκειμένου για ισχύ άνω των 5 kW και μέχρι τα 100 kW.
- Οι προεπιλεγμένες τιμές ρυθμίσεων των προστασιών ορίων τάσεως και συχνότητας θα πρέπει να είναι οι εξής:

	Διασυνδεδεμένο Σύστημα	Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά
Τάση	-20% έως +15% της ονομαστικής	-20% έως +15% της ονομαστικής
Συχνότητα	+/- 0,5 Hz	από 51 Hz έως 47,5 Hz

- Η Ολική Αρμονική Παραμόρφωση (THD) του ρεύματος των αντιστροφένων δεν θα πρέπει να υπερβαίνει το 5%.
- Εφόσον οι αντιστροφείς δεν διαθέτουν μετασχηματιστή απομόνωσης, η έγχυση συνεχούς ρεύματος θα πρέπει να περιορίζεται στο 0,5% του ονομαστικού.
- Η προστασία έναντι του φαινομένου της νησιδοποίησης είναι υποχρεωτική. Στο αντίστοιχο πεδίο του εντύπου αίτησης θα περιγράφεται η ακολουθούμενη μέθοδος, η οποία θα είναι σύμφωνη με το πρότυπο VDE 0126.
- Οι ανωτέρω προστασίες θα εμφανίζονται είτε στα τεχνικά εγχειρίδια των αντιστροφένων είτε στα πιστοποιητικά τους.

ΔΕΗ/Περιοχή

Αρ. Αίτησης:

Ημερομηνία:

ΑΙΤΗΣΗ ΓΙΑ ΤΗ ΣΥΝΔΕΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ

ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΧΤ

Στοιχεία Παραγωγού

Όνομα/επωνυμία ενδιαφερόμενου φυσικού/νομικού προσώπου

Κατοικία/έδρα ενδιαφερομένου φυσικού/νομικού προσώπου

ΑΦΜ και ΔΟΥ ενδιαφερόμενου φυσικού/νομικού προσώπου

Εκπρόσωπος επικοινωνίας με τη ΔΕΗ

Ταχυδρομική και ηλεκτρονική διεύθυνση

Τηλέφωνο

Fax

Στοιχεία Εγκατάστασης

Είδος Παραγωγού

Αυτοπαραγωγός

Ανεξάρτητος

Παραγωγός

Θέση εγκατάστασης (θέση – τοπωνύμιο, δήμος, νομός)

Διεύθυνση εγκατάστασης

Συνολική εγκατεστημένη ισχύς (kW)

Στοιχεία αδειούχου εγκαταστάτη

(επωνυμία, ειδικότητα, διεύθυνση, τηλέφωνο)

Στοιχεία Φωτοβολταϊκών πλαισίων

Κατασκευαστής, προέλευση

Τύπος - μοντέλο

Ονομαστική ισχύς πλαισίου

Αριθμός πλαισίων

Πιστοποιήσεις

Στοιχεία αντιστροφέα (inverter)

Κατασκευαστής, προέλευση

Τύπος - Μοντέλο

Ονομαστική ισχύς εξόδου

Μέγιστη ισχύς εξόδου

Μέγιστος βαθμός απόδοσης

Συντελεστής ισχύος

Διακύμανση τάσης εξόδου (προεπιλεγμένη και δυνατό εύρος ρύθμισης) (προεπιλεγμένη)
(εύρος ρύθμισης)

Διακύμανση συχνότητας εξόδου (προεπιλεγμένη και δυνατό εύρος ρύθμισης) (προεπιλεγμένη)
(εύρος ρύθμισης)

Ολική αρμονική παραμόρφωση ρεύματος (THD)

Έγχυση DC

Μετασχηματιστής απομόνωσης	Ναι / Όχι
Προστασία έναντι του φαινομένου της νησιδοποίησης (Islanding) κατά VDE 0126 ή ισοδύναμης μεθόδου	Ναι / Όχι
Πλήρης περιγραφή τρόπου προστασίας	

Πιστοποιήσεις

Έγγραφα και στοιχεία που συνυποβάλλονται κατά την αρχική αίτηση

1. Τεχνικά εγχειρίδια φωτοβολταϊκών στοιχείων
2. Τεχνικά εγχειρίδια και πιστοποιητικά αντιστροφών
3. Μονογραμμικό ηλεκτρολογικό σχέδιο του σταθμού (υπογεγραμμένο από μελετητή κατάλληλης ειδικότητας)
4. Αντίγραφο πρόσφατου λογαριασμού κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος (μόνο για την περίπτωση αυτοπαραγωγών)
5. Τοπογραφικό σχέδιο της ακριβούς θέσης της εγκατάστασης και χάρτη ΓΥΣ 1:5000 με απεικόνιση του πολυγώνου του γηπέδου (προκειμένου για οικόπεδα εκτός σχεδίου πόλεως)
6. Τίτλος κυριότητας (συμβολαιογραφική πράξη και πιστοποιητικό μεταγραφής της στο υποθηκοφυλακείο), ή κατοχής του γηπέδου εγκατάστασης (σε περίπτωση απλής μίσθωσης, το μισθωτήριο θεωρημένο από τη ΔΟΥ και αντίγραφο του τίτλου κυριότητας του ιδιοκτήτη, στην δε περίπτωση πολλαπλών μισθώσεων στο ίδιο ακίνητο, το μισθωτήριο συμβόλαιο από συμβολαιογράφο συνοδευόμενο από το πιστοποιητικό μεταγραφής του στο υποθηκοφυλακείο).
7. Έγγραφο εξαίρεσης από την υποχρέωση λήψης άδειας παραγωγής εκδοθέν από τη

ΡΑΕ (για σταθμούς ισχύος άνω των 20 kW)

8. Υπεύθυνη Δήλωση του Ν. 1599/86, στην οποία ο αιτών να βεβαιώνει ότι η συγκεκριμένη έκταση βρίσκεται εκτός περιοχών NATURA 2000, εθνικών δρυμών, παραδοσιακών οικισμών και περιοχών αρχαιολογικού ενδιαφέροντος σύμφωνα με τις διατάξεις της ΚΥΑ υπ' αριθ. 145799/2005 (για οικόπεδα)

9. Υπεύθυνη Δήλωση του Ν. 1599/86 στην οποία ο αιτών να δηλώνει ότι όλα τα στοιχεία που υποβάλλει με την αίτησή του είναι αληθή

10. Έγκριση εργασιών από την αρμόδια Πολεοδομική Υπηρεσία της περιοχής εγκατάστασης του φωτοβολταϊκού σταθμού, σύμφωνα με την παράγραφο 9 του Άρθρου 27α του Ν. 3734/2009

Έγγραφα και στοιχεία που θα πρέπει να προσκομιστούν προ της σύνδεσης του σταθμού με το Δίκτυο

11. Αντίγραφο της Σύμβασης Πώλησης Ηλεκτρικής Ενέργειας μεταξύ Παραγωγού και ΔΕΣΜΗΕ ή μεταξύ Παραγωγού και Διαχειριστή μη Διασυνδεδεμένων Νησιών (για τα μη διασυνδεδεμένα νησιά)

12. Υπεύθυνη Δήλωση Ηλεκτρολόγου Εγκαταστάτη (Υ.Δ.Ε.) για τη συνολική εγκατάσταση, με συνημμένη τεχνική περιγραφή του τρόπου αποφυγής του φαινομένου της νησιδοποίησης και συνημμένο μονογραμμικό ηλεκτρολογικό σχέδιο της εγκατάστασης

13. Υπεύθυνη Δήλωση του Ν. 1599/86, στην οποία ο Παραγωγός θα αναφέρει 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

14. Αντίγραφο της περιβαλλοντικής αδειοδότησης (Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων) από την αρμόδια υπηρεσία, για σταθμούς άνω των 20 kW

2.4 ΣΥΜΒΑΣΗ ΑΓΟΡΟΠΩΛΗΣΙΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕ ΔΕΣΜΗ

Αίτηση για Προσφορά Σύνδεσης Σταθμού στο Σύστημα ή το Δίκτυο

1. Ο κάτοχος της Άδειας Παραγωγής υποβάλλει στον αρμόδιο Διαχειριστή, αίτημα για τη διατύπωση προσφοράς σύνδεσης του σταθμού, το οποίο περιλαμβάνει περιγραφή του τρόπου σύνδεσης του Σταθμού.

2. Με την αίτηση υποβάλλεται αντίγραφο της άδειας παραγωγής που συνοδεύεται από το σκαρίφημα που προβλέπεται στο Μέρος 2 παρ. 8 του Παραρτήματος 1 του Κανονισμού Αδειών Παραγωγής και θα έχει θεωρηθεί από τη ΡΑΕ, καθώς και τα ακόλουθα δικαιολογητικά:

α) Τοπογραφικά διαγράμματα σε υπόβαθρο της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (ΓΥΣ) υπό κλίμακα 1:5000 και 1:50.000 με σημειωμένο ευκρινώς τον χώρο εγκατάστασης του σταθμού.

β) Διάγραμμα κάλυψης σε κλίμακα 1:200 έως 1:500 των προτεινομένων εγκαταστάσεων, με ένδειξη της θέσης των μονάδων, των υποσταθμών ζεύξης/ανύψωσης και των κτιρίων ελέγχου.

γ) Ηλεκτρικό μονογραμμικό διάγραμμα, στο οποίο θα παρουσιάζεται λεπτομερώς ο σημαντικός εξοπλισμός της εγκατάστασης και ιδιαίτερα οι μονάδες παραγωγής όπου κάθε μονάδα θα χαρακτηρίζεται με διακριτή αρίθμηση, οι μετασχηματιστές ανύψωσης τάσης, οι διατάξεις αντιστάθμισης και τα μέσα απόζευξης και προστασίας.

δ) Περιγραφή των διατάξεων κεντρικής αντιστάθμισης αέργου ισχύος του σταθμού εάν υπάρχουν, καθώς και του συστήματος ελέγχου αυτών.

ε) Περιγραφή των διατάξεων προστασίας, περιλαμβανομένων των δυνατών ή και των συνιστώμενων από τον κατασκευαστή ρυθμίσεων, για κάθε είδος χρησιμοποιούμενης γεννήτριας.

- στ) Περιγραφή της διάταξης εκκίνησης/συγχρονισμού για κάθε είδος χρησιμοποιούμενης γεννήτριας. Στην περιγραφή αυτή περιλαμβάνονται ο τρόπος εκκίνησης συγχρονισμού, οι συγκεκριμένες τιμές για τη χρονική διάρκεια και την ταχύτητα περιστροφής κατά την ζεύξη, καθώς και τα όρια απόκλισης τάσης και συχνότητας που τηρούνται από την διάταξη συγχρονισμού. Εάν το σύστημα εποπτείας και ελέγχου των μονάδων και του σταθμού περιορίζει τη συχνότητα των χειρισμών ή/και το δηλούμενο στο σημείο 7.1. του Παραρτήματος της παρούσας αριθμό των μονάδων που εκκινούν ταυτόχρονα, τότε πρέπει να παρασχεθούν αναλυτικότερες πληροφορίες.
- ζ) Περιγραφή της διάταξης αντιστάθμισης για κάθε είδος χρησιμοποιούμενης γεννήτριας, που διαθέτει τοπικές διατάξεις αντιστάθμισης, καθώς πληροφορίες για τυχόν κεντρικές διατάξεις αντιστάθμισης που αναφέρονται στο σύνολο του σταθμού.
- η) Προκειμένου για αιολικούς σταθμούς:
- ι) πιστοποιητικό μετρήσεων των χαρακτηριστικών ποιότητας ισχύος που εκδίδεται από το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Κ.Α.Π.Ε.) ή πιστοποιητικό αλλοδαπού φορέα αναγνωρισμένου από τις αρμόδιες Αρχές της αντίστοιχης χώρας και το οποίο είναι αποδεκτό από το Κ.Α.Π.Ε.. Το πιστοποιητικό αυτό εκδίδεται κατά προτίμηση σύμφωνα με το πρότυπο IEC 61400-21 ή άλλο αναλόγου περιεχομένου,
 - θ) Προκειμένου για εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούν μετατροπείς ισχύος, πιστοποιητικό μέτρησης του μέγιστου αναμενόμενου πλάτους των αρμονικών εξόδου από αναγνωρισμένο φορέα πιστοποίησης, καθώς και περιγραφή των φίλτρων αρμονικών εάν υπάρχουν. Ο τρόπος μέτρησης των αρμονικών πρέπει να είναι συμβατός με το πρότυπο IEC 6100047.
 - ι) Ειδικά για φωτοβολταϊκούς σταθμούς τεχνικά εγχειρίδια και πιστοποιητικά ISO των κατασκευαστών των φωτοβολταϊκών πλαισίων και των αντιστροφέν (inverters) στα οποία να αναφέρεται και η ολική αρμονική παραμόρφωση του ρεύματος εξόδου των αντιστροφέν.
 - ια) Τα στοιχεία του Παραρτήματος σχετικά με τα τεχνικά χαρακτηριστικά των μονάδων παραγωγής.
 - ιβ) Τυχόν πρόσθετα στοιχεία που απαιτεί ο αρμόδιος Διαχειριστής σύμφωνα με τα προβλεπόμενα στον Κώδικα Διαχείρισης Συστήματος και Συναλλαγών Ηλεκτρικής

Ενέργειας και τον Κώδικα Διαχείρισης του Δικτύου και μη Διασυνδεδεμένων Νησιών ή οφείλει να λάβει υπόψη του.

Διαδικασία διατύπωσης Προσφοράς Σύνδεσης στο Σύστημα ή το Δίκτυο

1. Ο αρμόδιος Διαχειριστής αξιολογεί τα στοιχεία που υποβάλλονται σύμφωνα με τα οριζόμενα στο άρθρο 4 παρ. 2 της παρούσας και διατυπώνει την Προσφορά Σύνδεσης, κατά τα προβλεπόμενα στον Κώδικα Διαχείρισης Συστήματος ή Δικτύου ή τον Κώδικα Διαχείρισης Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών. Στην περίπτωση που το αίτημα αφορά σταθμό που συνδέεται στο Σύστημα μέσω του Δικτύου, τα στοιχεία αποστέλλονται στο Διαχειριστή του Δικτύου για αξιολόγηση. Η Προσφορά σύνδεσης κοινοποιείται στη ΠΑΕ.
2. Για τη διατύπωση της Προσφοράς Σύνδεσης ο αρμόδιος Διαχειριστής λαμβάνει υπόψη τις Προσφορές Σύνδεσης που έχουν διατυπωθεί για άλλους χρήστες.
3. Οι όροι και οι απαιτήσεις που περιλαμβάνονται στην Προσφορά αποτελούν τους ελάχιστους όρους και απαιτήσεις που πρέπει να ικανοποιεί το έργο σύνδεσης. Για λόγους που ανάγονται στην ασφάλεια του δικτύου είναι δυνατόν στη σύμβαση σύνδεσης να περιλαμβάνονται πρόσθετοί όροι ή απαιτήσεις.
4. Η Προσφορά Σύνδεσης ισχύει για τρία (3) έτη και μπορεί να ανανεώνεται από τον αρμόδιο Διαχειριστή ιδίως στις περιπτώσεις α' και β' του άρθρου 3 παρ. 4 του ν. 3468/2006.
5. Για οποιαδήποτε τροποποίηση των στοιχείων που προβλέπονται στο άρθρο 4 της παρούσας ο Παραγωγός οφείλει να ενημερώνει τον αρμόδιο Διαχειριστή, ο οποίος εφόσον το κρίνει αναγκαίο τροποποιεί την προσφορά σύνδεσης.
6. Ο Παραγωγός, μετά από αίτηση του στον αρμόδιο Διαχειριστή, δικαιούται να έχει πρόσβαση σε συγκεκριμένα στοιχεία που αφορούν τη σύνδεση του σταθμού του με το δίκτυο, όπως η όδευση και τύπος υφισταμένων γραμμών, τα μέγιστα και ελάχιστα φορτία και άλλα τεχνικά χαρακτηριστικά απαραίτητα για την περιγραφή του τρόπου σύνδεσης και την διατύπωση της σχετικής προσφοράς.

Θεώρηση διαγράμματος σύνδεσης σταθμού στο Σύστημα ή το Δίκτυο

1. Μετά τη διατύπωση της προσφοράς σύνδεσης ο κάτοχος της Άδειας Παραγωγής αποτυπώνει σε τοπογραφικό διάγραμμα τον προτεινόμενο από τον αρμόδιο Διαχειριστή τρόπο σύνδεσης του σταθμού στο Σύστημα ή το Δίκτυο και το υποβάλλει στον αρμόδιο Διαχειριστή.
2. Ο τρόπος σύνδεσης αποτυπώνεται σε τοπογραφικά διαγράμματα κλίμακας 1:50.000 και 1: 5.000, σε υπόβαθρο χαρτών της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (ΓΥΣ), όπου αυτοί διατίθενται, υπογεγραμμένα από το μελετητή. Στα τοπογραφικά διαγράμματα αποτυπώνεται και η ακριβής θέση του σταθμού όπως αυτή απεικονίζεται στο σκαρίφημα που συνοδεύει την αίτηση για διατύπωση προσφοράς σύνδεσης κατά το άρθρο 4 παρ. 2 της παρούσας.
3. Σε περίπτωση που ο σταθμός συνδέεται μέσω νέου υποσταθμού μέσης προς υψηλή τάση ο ενδιαφερόμενος οφείλει να προσκομίσει στον αρμόδιο Διαχειριστή, βεβαίωση καταλληλότητας του γηπέδου εγκατάστασης του υποσταθμού, η οποία εκδίδεται μετά από αίτηση του ενδιαφερομένου, από την αρμόδια υπηρεσία του Κυρίου του Συστήματος και Δικτύου (ΔΕΗ Α.Ε./Διεύθυνση Νέων Έργων Μεταφοράς) μέσα σε τρεις (3) μήνες από την υποβολή της. Στα διαγράμματα της παρ. 2 αποτυπώνεται η θέση του υποσταθμού σύμφωνα με τη βεβαίωση καταλληλότητας.
4. Ο αρμόδιος Διαχειριστής θεωρεί τα τοπογραφικά διαγράμματα της παρ. 2 ως προς τη συμβατότητά τους με το περιεχόμενο της προσφοράς σύνδεσης.

2.5 ΘΕΩΡΗΣΗ ΤΟΥ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΚΑΛΥΨΗΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΡΜΟΔΙΑ ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑ

Για εγκατάσταση ισχύος από 20 έως 150 KW απαιτούνται άρτια και οικοδομήσιμα γήπεδα και δεν απαιτείται η έκδοση οικοδομικής άδειας αλλά έγκριση εργασιών μικρής κλίμακας. Διευκρινίζεται ότι για την χωροθέτηση Φ/Β συστημάτων, ανεξαρτήτως ισχύος, εφαρμόζονται οι κατευθύνσεις του Ειδικού Πλαισίου για τις ΑΠΕ, σύμφωνα με τις οποίες δεν επιτρέπεται η χωροθέτηση σε περιοχές, οι οποίες είναι χαρακτηρισμένες ως:

A) Κηρυγμένα διατηρητέα μνημεία της Παγκόσμιας Πολιτισμικής Κληρονομιάς,

Β) Περιοχές απολύτου προστασίας της φύσης και του τοπίου,

Γ) Πυρήνες των Εθνικών Δρυμών,

Δ) Οικότοποι περιοχών που έχουν ενταχθεί στο δίκτυο Φύση 2000,

Ε) Δάση και γεωργικές γαίες υψηλής παραγωγικότητας

ΣΤ) Περιοχές που υπάγονται σε ειδικό καθεστώς χρήσεων γης, βάσει του οποίου δεν επιτρέπεται η χωροθέτηση εγκαταστάσεων εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας.

2.6 ΟΔΗΓΟΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΑΙΤΗΣΕΩΝ Π.Η.Ε ΚΑΙ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

Η αξιολόγηση των Αιτήσεων που υποβάλλονται στη Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας για τη λήψη άδειας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τους ενδιαφερόμενους φορείς για έργα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) στην Ελλάδα, διενεργείται αποκλειστικά από τη Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας, με βάση τον παρόντα Οδηγό. Η διαδικασία έχει ως βάση τον .Κανονισμό Αδειών Παραγωγής και Προμήθειας Ηλεκτρικής Ενέργειας. (ΥΑ 17951/8.12.2000), Άρθρο 9, §1 και το Νόμο 2773/99. Ο Κανονισμός Αδειών Παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας προβλέπει τα εξής κριτήρια:

(α) την ασφάλεια και προστασία του Συστήματος, του Δικτύου, των εγκαταστάσεων παραγωγής και του συνδεδεμένου εξοπλισμού

(β) την προστασία του περιβάλλοντος

(γ) την αποδοτική παραγωγή και χρήση ηλεκτρικής ενέργειας

(δ) την πρωτογενή πηγή ενέργειας και την τεχνολογία που προβλέπεται να χρησιμοποιηθεί

(ε) τις τεχνικές, οικονομικές και χρηματοδοτικές δυνατότητες του Αιτούντος

(στ) την ωριμότητα του έργου προκειμένου για άδεια παραγωγής

(ζ) τις υποχρεώσεις παροχής υπηρεσιών δημόσιας ωφέλειας

(η) το μακροπρόθεσμο ενεργειακό προγραμματισμό της χώρας

(θ) την προστασία των καταναλωτών

(ι) τις επισημάνσεις άλλων δημοσίων αρχών σχετικά με τα θέματα εθνικής ασφάλειας

Σύμφωνα με την Οδηγία και το νόμο, το νόημα της άδειας παραγωγής αφορά στη σκοπιμότητα του ενεργειακού έργου ώστε να εξυπηρετούνται κατά τον καλύτερο δυνατό τρόπο οι στόχοι που ορίζονται για την κρατική εποπτεία από το Άρθρο 3 του Ν. 2773/99 και οι οποίοι έχουν ως εξής:

(α) Να προστατεύεται το φυσικό περιβάλλον από τις επιπτώσεις των δραστηριοτήτων ηλεκτρικής ενέργειας

(β) Να ικανοποιείται το σύνολο των ενεργειακών αναγκών της χώρας

(γ) Να ελέγχεται αν οι κάτοχοι της άδειας παραγωγής ή προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας μπορούν να χρηματοδοτούν τις δραστηριότητες για τις οποίες τους χορηγήθηκε η άδεια

(δ) Να προάγεται ο υγιής ανταγωνισμός στους τομείς της παραγωγής και προμήθειας ηλεκτρικής και κάθε άλλης μορφής ενέργειας

(ε) Να προστατεύονται τα συμφέροντα των καταναλωτών και ιδίως οι τιμές, οι όροι προμήθειας, η ασφάλεια εφοδιασμού, η τακτική παροχή και η ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών προμήθειας ηλεκτρικής και κάθε άλλης μορφής ενέργειας

(στ) Να προάγεται η χρήση αποδοτικών και οικονομικών μεθόδων και πρακτικών από τους

κατόχους άδειας, καθώς και η αποδοτική και οικονομική χρήση της ηλεκτρικής και κάθε άλλης 4 μορφής ενέργειας που προμηθεύονται οι καταναλωτές

(ζ) Να λαμβάνονται υπόψη οι δαπάνες στις οποίες προβαίνουν οι κάτοχοι άδειας για την έρευνα, ανάπτυξη και χρήση νέων τεχνικών μεθόδων και διαδικασιών για την παραγωγή, μεταφορά, διανομή ή προμήθεια ηλεκτρικής ή άλλης μορφής ενέργεια

(η) Να προστατεύεται το κοινό από κινδύνους που δημιουργούνται από τις ενεργειακές δραστηριότητες και να τηρούνται οι κανόνες υγιεινής και ασφάλειας όσων ασχολούνται στις δραστηριότητες αυτές.

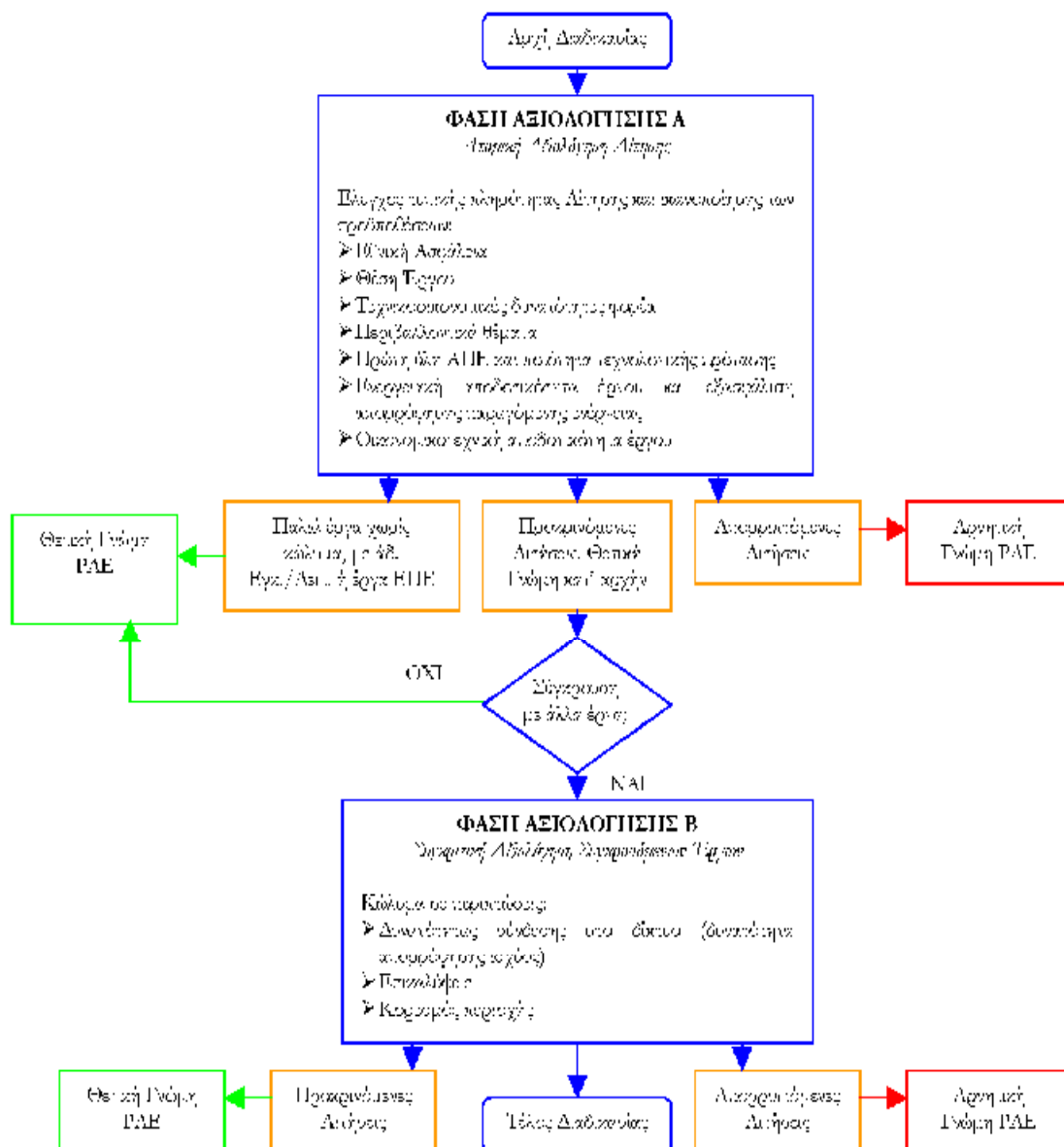
Η μεθοδολογία αξιολόγησης των Αιτήσεων στοχεύει στην ορθή, αντικειμενική και ισότιμη αντιμετώπιση όλων των έργων και των φορέων υλοποίησης τους.

Βασικοί άξονες της μεθοδολογίας που διασφαλίζουν τα παραπάνω είναι οι εξής:

- Ενιαίοι κανόνες αξιολόγησης για όλες τις Αιτήσεις. Η αξιολόγηση όλων των Αιτήσεων βασίζεται στους ίδιους κανόνες, ανεξάρτητα από την περιοχή της χώρας όπου θα γίνει το έργο, την τεχνολογία ΑΠΕ του έργου, κλπ.
- Η αξιολόγηση των Αιτήσεων δεν γίνεται με διαγωνιστική διαδικασία, αλλά κάθε Αίτηση αξιολογείται ανεξάρτητα από τις υπόλοιπες που έχουν υποβληθεί. Μόνο σε περιπτώσεις συγκρουόμενων έργων, τότε και μόνο τότε, εφαρμόζονται διαδικασίες συγκριτικής αξιολόγησης των Αιτήσεων.
- Αντικειμενική αξιολόγηση των Αιτήσεων που διασφαλίζεται με τη χρησιμοποίηση κυρίως τεκμηριωμένων στοιχείων και δεδομένων από κρατικούς φορείς. Λαμβάνονται υπόψη πιστοποιημένες μετρήσεις και λοιπά τεκμηριωμένα στοιχεία που περιλαμβάνονται στις Αιτήσεις.

ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

Η διαδικασία αξιολόγησης Αιτήσεων για έργα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας περιγράφεται συνοπτικά στο σχήμα 1



Σχήμα 1. Διάγραμμα της διαδικασίας αξιολόγησης Αιτήσεων για έργα παραγωγής ηλεκτρικής Ενέργειας από ΑΠΠ και μικρή συμπαραγωγή

Κατά τη φάση Α η Αίτηση κρίνεται ατομικά, ανεξάρτητα από τις λοιπές. Η Αίτηση εξετάζεται στη Φάση Β μόνον όταν συγκρούεται με άλλες Αιτήσεις ή υφιστάμενα έργα λόγω επικαλύψεων, περιορισμού ηλεκτρικού δικτύου ή ζητημάτων κορεσμού. Σε αυτή την περίπτωση τα αλληλοσυγκρουόμενα έργα εξετάζονται συγκριτικά το ένα προς το άλλο. Θετική Γνώμη για ένα έργο διατυπώνεται όταν αυτό ικανοποιεί τα κριτήρια της Φάσης Α και διαπιστωθεί ότι δεν συγκρούεται με άλλα έργα κατά την εξέταση σε ένα προκριματικό στάδιο της Φάσης Β. Εάν συγκρούεται, ακολουθεί συγκριτική αξιολόγηση των ανταγωνιζόμενων έργων με τα κριτήρια της Φάσης Β, και διατύπωση θετικής γνώμης για τα προκρινόμενα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3–ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

3.1 ΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΗ

Για επιχειρήσεις και επαγγελματίες

Χρηματοδότηση Επενδυτικών Δαπανών

Χρηματοδότηση επενδυτικών σχεδίων για φωτοβολταϊκούς σταθμούς, είτε αυτά εντάσσονται σε αναπτυξιακά προγράμματα είτε καλύπτονται εξ ολοκλήρου από ίδια κεφάλαια και τραπεζικό δανεισμό.

- **Επιτόκιο:** Το ανταγωνιστικότερο επιτόκιο που προσφέρεται στην αγορά, με βάση το Euribor ή το Libor, για επενδύσεις σε Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ).
- **Ποσοστό χρηματοδότησης:** Ευέλικτο, ώστε σε συνάρτηση με την απόφαση υπαγωγής του επενδυτικού σχεδίου, να δίνει τη δυνατότητα θετικής απόδοσης στον επενδυτή **από τα πρώτα χρόνια** της επένδυσης.
- **Διάρκεια χρηματοδότησης:** Μέχρι 10 έτη.
- **Εξασφαλίσεις:** Εκχώρηση της σύμβασης αγοροπωλησίας ρεύματος με τον ΔΕΣΜΗΕ. **ΜΟΝΟ** με τις προσωπικές εγγυήσεις των φορέων της επιχείρησης.
- **Ασφαλιστικές καλύψεις:** Προσφέρεται πακέτο ασφάλισης των εγκαταστάσεων και του εξοπλισμού, για την προστασία του επενδυτή.

Κεφάλαιο Κίνησης για προεξόφληση επιχορήγησης

Εφόσον η επιχείρηση έχει υπαχθεί σε αναπτυξιακά προγράμματα, η Τράπεζα Πειραιώς προσφέρει χρηματοδότηση για την προεξόφληση της επιχορήγησης.

- **Επιτόκιο:** Το ανταγωνιστικότερο επιτόκιο που προσφέρεται στην αγορά, με βάση το Euribor ή το Libor, για επενδύσεις σε Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας(ΑΠΕ).
- **Ποσοστό χρηματοδότησης:** Μέχρι το 100% της εγκεκριμένης επιχορήγησης.
- **Εξασφαλίσεις:** Εκχώρηση της επιχορήγησης. ΜΟΝΟ με τις προσωπικές εγγυήσεις των φορέων της επιχείρησης.
- **Ασφαλιστικές καλύψεις:** Προσφέρεται πακέτο ασφάλισης των εγκαταστάσεων και του εξοπλισμού, για την προστασία του επενδυτή.

Χρηματοδότηση μέσω Leasing

Στα πλαίσια της νέας εκστρατείας παροχής ολοκληρωμένων "πράσινων" χρηματοοικονομικών προϊόντων για την προμήθεια, εγκατάσταση και λειτουργία φωτοβολταϊκών συστημάτων, η Πειραιώς Leasing προσφέρει για μικρές και μεγάλες επιχειρήσεις τις παρακάτω χρηματοδοτήσεις επενδύσεων:

α) Συστήματα Ισχύος < 20 kWp

- **Ποσοστό χρηματοδότησης:** 100% της επένδυσης εξοπλισμού μέσω leasing.
- **Διάρκεια:** 3-5 έτη.
- **Εξασφαλίσεις:** Εκχώρηση σύμβασης αγοραπωλησίας ρεύματος με ΔΕΗ-ΔΕΣΜΗΕ.
- **Λοιπές εξασφαλίσεις:** Εξεταζόμενες ανά περίπτωση.
- **Ασφαλιστική Κάλυψη:** Υποχρεωτική ασφάλιση εξοπλισμού με δαπάνες της μισθώτριας.
- **Management Fee:** 0,5% πλέον ΦΠΑ.

β) Συστήματα Ισχύος μεταξύ 20 kWp και 150 kWp

- Ποσοστό χρηματοδότησης: 100% της επένδυσης εξοπλισμού μέσω leasing.
- Διάρκεια: 3-5 έτη.
- Εξασφαλίσεις: Εκχώρηση σύμβασης αγοραπωλησίας ρεύματος με ΔΕΗ-ΔΕΣΜΗΕ.
- Λοιπές εξασφαλίσεις: Εξεταζόμενες ανά περίπτωση.
- Ασφαλιστική Κάλυψη: Υποχρεωτική ασφάλιση εξοπλισμού με δαπάνες της μισθώτριας.
- Management Fee: 0,3% πλέον ΦΠΑ.

γ) Συστήματα Ισχύος μεταξύ 150 kWp και 2.000 kWp

- Ποσοστό χρηματοδότησης: 100% της επένδυσης εξοπλισμού μέσω leasing.
- Διάρκεια: 3-5 έτη.
- Εξασφαλίσεις: Εκχώρηση σύμβασης αγοραπωλησίας ρεύματος με ΔΕΗ-ΔΕΣΜΗΕ.
- Λοιπές εξασφαλίσεις: Εξεταζόμενες ανά περίπτωση.
- Ασφαλιστική Κάλυψη: Υποχρεωτική ασφάλιση εξοπλισμού με δαπάνες της μισθώτριας.
- Management Fee: 0,2% πλέον ΦΠΑ.

δ) Συστήματα Ισχύος 2.000 kWp και άνω

- Ποσοστό χρηματοδότησης: 100% της επένδυσης εξοπλισμού μέσω leasing.
- Διάρκεια: 3-5 έτη.
- Εξασφαλίσεις: Εκχώρηση σύμβασης αγοραπωλησίας ρεύματος με ΔΕΗ-ΔΕΣΜΗΕ.
- Λοιπές εξασφαλίσεις: Εξεταζόμενες ανά περίπτωση.

- Ασφαλιστική Κάλυψη: Υποχρεωτική ασφάλιση εξοπλισμού με δαπάνες της μισθώτριας.
- Management Fee: 0,1% πλέον ΦΠΑ.

Σημειώνεται ότι:

Η προτεινόμενη διάρκεια 5 ετών προκύπτει από τον αναπτυξιακό νόμο.

Οι προς έγκριση χρηματοδοτήσεις μέσω Leasing θα πληρούν τις προϋποθέσεις που προβλέπει το θεσμικό πλαίσιο (άδειες εγκατάστασης, παραγωγής, περιβαλλοντικών επιπτώσεων κλπ.) λειτουργίας των φωτοβολταϊκών μονάδων.

3.2 ΕΠΙΧΟΡΗΓΗΣΗ

Τα ιδιαίτερος ευνοϊκά κίνητρα που δίνονται τόσο σε ιδιώτες, αλλά κυρίως στις επιχειρήσεις που σκοπεύουν να επενδύσουν στην παραγωγή ηλιακής ενέργειας έχουν αυξήσει το επενδυτικό ενδιαφέρον σε έναν κλάδο, ο οποίος μέχρι πρότινος βρισκόταν στο περιθώριο έναντι άλλων εναλλακτικών μορφών ενέργειας όπως η αιολική. Συγκεκριμένα επιδοτείται η αρχική εγκατάσταση σε ποσοστό από 30% έως 55% της αξίας του συστήματος, ενώ επιδοτούμενο είναι και το επιτόκιο σε περίπτωση δανεισμού.

Το σημαντικότερο κίνητρο όμως για επενδύσεις είναι ότι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω των φωτοβολταϊκών συστημάτων θα μπορεί να πωλείται στη ΔΕΗ εγγυημένα για μία 20ετία σε τιμή η οποία θα αναπροσαρμόζεται με βάση τον πληθωρισμό ή τις αυξήσεις των τιμολογίων της ΔΕΗ.

Ιδιαίτερη κινητικότητα για επένδυση σε φωτοβολταϊκά συστήματα παρατηρείται από κατόχους μεγάλων εκτάσεων γης, κυρίως δηλαδή από αγρότες. Πριν από μερικές εβδομάδες, έγινε δεκτή με ενθουσιασμό από τους αγρότες πρόταση της ΠΑΣΕΓΕΣ, να επιτραπεί, σε αγροτεμάχια που χαρακτηρίζονται ως γη υψηλής παραγωγικότητας, η χρήση για παραγωγή άλλων δραστηριοτήτων που αφορούν σε Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας ανοίγοντας έτσι μία νέα διέξοδο συμπληρωματικής ενίσχυσης του εισοδήματος των αγροτών.

Συγκεκριμένα, θα επιτραπεί στους αγρότες η χωροθέτηση εγκαταστάσεων εκμετάλλευσης ηλιακής ενέργειας (φωτοβολταϊκά) σε γη υψηλής παραγωγικότητας και σε έκταση μέχρι 2,5 στρεμμάτων, ανά γεωργική εκμετάλλευση.

Από την ψήφιση του νέου νόμου μέχρι σήμερα έχουν κατατεθεί 83 αιτήσεις στη ΡΑΕ για άδεια παραγωγής ενέργειας από φωτοβολταϊκά συστήματα συνολικής ισχύος 212 MW, κάτι που ισοδυναμεί σε επενδύσεις 1,3-1,4 δισ. ευρώ, ενώ οι αιτήσεις από το 2005 μέχρι τότε αφορούσαν πολύ μικρότερα συστήματα συνολικής ισχύος 34,75 MW. Θα πρέπει ακόμη να προσθέσουμε ακόμη 725 αιτήσεις εξαίρεσης (μικρότερων συστημάτων) ισχύος 74,4 MW.

Μεταξύ των επενδυτών περιλαμβάνονται η γαλλική EDF, η αυστριακή Verbund (σε συνεργασία με την ελληνική Energa) στο νομό Βοιωτίας, ο όμιλος Ρόκα στον οποίο την πλειοψηφία έχει η ισπανική Iberdrola, η γερμανική WPD (στο νομό Μεσσηνίας) κ.α.

Το νέο νομοθετικό πλαίσιο εγγυάται γρήγορη απόσβεση των επενδύσεων και σημαντικά κέρδη.

Σύμφωνα με τον νέο νόμο, η παρεχόμενη τιμή πώλησης της ηλιακής κιλοβατώρας είναι 0,40-0,50 ευρώ ανάλογα με την ισχύ του φωτοβολταϊκού

συστήματος και τον τόπο εγκατάστασης. Η τιμή είναι μεγαλύτερη στα νησιά και μικρότερη στην ηπειρωτική χώρα.

Η σύμβαση πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας στη ΔΕΗ ισχύει για 10 έτη και μπορεί να παρατείνεται για επιπλέον 10, μονομερώς, με έγγραφη δήλωση του παραγωγού.

Δάνεια για 10 χρόνια με προνομιακό επιτόκιο

Το έντονο επενδυτικό ενδιαφέρον που έχει εκδηλωθεί στον τομέα της ηλιακής ενέργειας έχει κινητοποιήσει και τις τράπεζες.

Ηδη η Τράπεζα Πειραιώς προσφέρει ένα πακέτο «πράσινων» χρηματοδοτικών προϊόντων. Τα πρωτοποριακά για την ελληνική αγορά «πράσινα» τραπεζικά προϊόντα, τα οποία αφορούν και οικιακή χρήση και επιχειρηματικές επενδύσεις, είναι αναλυτικά τα εξής:

Για τις ενδιαφερόμενες επιχειρήσεις, χρηματοδοτούνται επενδυτικά σχέδια για φωτοβολταϊκούς σταθμούς, είτε αυτά εντάσσονται σε αναπτυξιακά προγράμματα, είτε καλύπτονται εξ ολοκλήρου από ίδια κεφάλαια και τραπεζικό δανεισμό.

Η Χρηματοδότηση Προσφέρεται το ανταγωνιστικότερο επιτόκιο στην αγορά, με βάση το Euribor ή το Libor, για επενδύσεις σε Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ), ενώ το ποσοστό χρηματοδότησης είναι ευέλικτο, ώστε να δίνει τη δυνατότητα θετικής απόδοσης στον επενδυτή από τα πρώτα χρόνια της επένδυσης. Η διάρκεια χρηματοδότησης φθάνει μέχρι τα 10 έτη. Σημειώνεται τέλος ότι προσφέρεται πακέτο ασφάλισης των εγκαταστάσεων και του εξοπλισμού για την προστασία του επενδυτή, αλλά και κεφάλαιο κίνησης για προεξόφληση επιχορήγησης.

Για τους ιδιώτες παρέχει δάνειο χρηματοδότησης επενδύσεων (διάρκειας έως 15 ετών) που αφορούν στην αγορά και εγκατάσταση Συστημάτων

Εξοικονόμησης Ενέργειας καθώς και Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (όπως τα Φωτοβολταϊκά) αλλά και δάνειο Εγκατάστασης Εξοπλισμού (με διάρκεια έως 40 έτη).

Επιδoteίται το 30% έως 55% της αρχικής εγκατάστασης

Αν έχετε εμπορική επιχείρηση, δικαιούστε επιδότηση της αρχικής εγκατάστασης σε ποσοστό 30-55% της αξίας του συστήματος μέσω του αναπτυξιακού νόμου. Κατά καιρούς προκηρύσσονται επίσης διάφορα εξειδικευμένα προγράμματα που ενισχύουν και τα φωτοβολταϊκά.

Η επιδότηση αυτή δίνεται είτε από τα σχετικά προγράμματα του υπουργείου Ανάπτυξης (Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Ανταγωνιστικότητα [ΕΠΑΝ] 2000-2006), είτε από αντίστοιχα προγράμματα του υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης, είτε μέσω του αναπτυξιακού νόμου. Για παράδειγμα στο ΕΠΑΝ το ποσοστό επιδότησης για τις επενδύσεις σε Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας είναι 30%-50%, ανάλογα με τη γεωγραφική περιοχή

Η διαδικασία για την επιδότηση της εγκατάστασης (δηλαδή της αγοράς του εξοπλισμού) Βε τον αναπτυξιακό νόμο περιλαμβάνει την εκπόνηση και κατάθεση της μελέτης και εν συνεχεία την έγκρισή της από το αρμόδιο όργανο. Η έγκριση της επένδυσης απαιτεί (αν εγκριθεί βέβαια) 6-12 μήνες. Εφόσον εγκριθεί η μελέτη, ο επενδυτής προχωρεί στην κατασκευή του έργου παίρνοντας περίπου το 50% της αξίας της επένδυσης ως επιδότηση. Εν συνεχεία προωθεί την υπαγωγή της εγκατάσταση στον νέο νόμο 3468 και υπογράφεται σύμβαση για πώληση ηλεκτρικής ενέργειας.

Προϋποθέσεις

Βασικές προϋποθέσεις για την υπαγωγή στον αναπτυξιακό νόμο είναι η πρόταση να υπερβαίνει τα 100.000 ευρώ και ο επενδυτής να διαθέτει το 25% των συνολικών κεφαλαίων.

Για παράδειγμα, έστω ότι μία επιχείρηση επιθυμεί να εγκαταστήσει φωτοβολταϊκές γεννήτριες ισχύος 100 Kwatt και ότι το κόστος της εγκατάστασης θα ανέλθει σε 600.000 ευρώ. Η ελάχιστη ίδια συμμετοχή είναι 150.000 ευρώ, η επιδότηση 300.000, ενώ η τραπεζική συμμετοχή 150.000 ευρώ.

Στόχος έως το 2020 ισχύς 700 από 5,4 MW

Για μία χώρα όπως η Ελλάδα, που έχει μεγάλη ενεργειακή εξάρτηση από το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο κατά δεύτερο λόγο, ο ήλιος θα μπορούσε να καλύψει περίπου το 25% των ετήσιων αναγκών της σε ηλεκτρισμό.

Δυστυχώς, η εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας, ανεξάντλητης πλουτοπαραγωγικής πηγής της χώρας, παραμένει σε εμβρυακή κατάσταση, αφού το κόστος αγοράς και εγκατάστασης φωτοβολταϊκών συστημάτων μέχρι πρότινος ήταν αρκετά υψηλό σε σχέση με άλλες μορφές ενέργειας.

Ετσι, η πιο ευνοημένη σε ηλιοφάνεια χώρα της Ευρώπης, κατατάσσεται μεταξύ των τελευταίων στην παραγωγή ηλιακού ηλεκτρισμού, δηλαδή της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από φωτοβολταϊκά συστήματα.

Υστέρηση

Εχοντας συνολική εγκατεστημένη ισχύ από φωτοβολταϊκά 5,44 MW το 2005, από τα οποία μόλις το 1,41 MW είναι διασυνδεδεμένο με το δίκτυο, η Ελλάδα υστερεί σημαντικά ακόμη και έναντι χωρών του ευρωπαϊκού βορρά όπως η Γερμανία (1.537 MW), η Ολλανδία (51,2 MW), το Λουξεμβούργο (23,26 MW) και η Αυστρία (21,43 MW), αλλά και της Μεσογείου όπως η Ισπανία (57,7 MW), η Ιταλία (36 MW) και η Γαλλία (32,67 MW).

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση η εγκατεστημένη ισχύς από φωτοβολταϊκά ήταν της τάξεως των 1.791,6 MW το 2005 από 391,6 MW το 2002. Πάντως το πρόσφατο σχέδιο νόμου δίνει βάρος στα φωτοβολταϊκά πάρκα, θέτοντας ως στόχο έως το 2020 η ισχύς των συστημάτων αυτών στην Ελλάδα να ανέρχεται σε 700 MW.

Για την επίτευξη του στόχου αυτού θα απαιτηθούν χονδρικά περίπου 15.000 στρέμματα.

Σύμφωνα πάντως με τον πρόεδρο του Συνδέσμου Εταιρειών Φωτοβολταϊκών κ. Στέλιο Ψωμά, «ο κόσμος θα πρέπει να γνωρίζει ότι τέτοιου είδους επενδύσεις απαιτούν ίδια κεφάλαια τουλάχιστον το 25% της επένδυσης. Παράλληλα θα πρέπει όλοι να οπλιστούν με υπομονή καθώς η γραφειοκρατία καθυστερεί τις επενδύσεις για διάστημα άνω των 9 μηνών. Πρώτα απ' όλα θα πρέπει να ξεπεραστούν προβλήματα που σχετίζονται με τη χρήση γης, καθώς και άλλα πολεοδομικά θέματα. Ειδικά για τους αγρότες έχουμε ζητήσει από τα αρμόδια υπουργεία νομοθετική αλλαγή ώστε να μπορούν να χρησιμοποιούν μέρος των εκτάσεών τους για την παραγωγή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όπως είναι η ηλιακή». Σμειώνεται ότι η νέα νομοθεσία απλοποιεί τις διαδικασίες αδειοδότησης για τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Ετσι, για συστήματα ισχύος μέχρι και 150 kW δεν απαιτούνται πλέον άδειες παραγωγής, εγκατάστασης και λειτουργίας. Τα συστήματα κάτω των 20 kW απαλλάσσονται και από την έγκριση περιβαλλοντικών όρων εφόσον δεν τοποθετούνται σε ευαίσθητες και προστατευμένες περιοχές.

ΑΠΟΣΒΕΣΗ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ 300.000 ΕΥΡΩ ΣΕ 6 ΜΕ 7 ΧΡΟΝΙΑ

Περισσότερο αποδοτικός ο Νότος

Σε γενικές γραμμές, ένα φωτοβολταϊκό σύστημα στην Ελλάδα παράγει κατά μέσο όρο ετησίως περί τις 1.150-1.400 κιλοβατώρες ανά εγκατεστημένο κιλοβάτ (KWh/έτος/KW). Προφανώς στις νότιες και πιο ηλιόλουστες περιοχές της χώρας ένα φωτοβολταϊκό παράγει περισσότερο ηλιακό ηλεκτρισμό απ' ό,τι στις βόρειες. Ενδεικτικά αναφέρουμε πως ένα φωτοβολταϊκό σύστημα στην Αθήνα αποδίδει 1.250-1.450 KWh/έτος/KW, στη Θεσσαλονίκη 1.150-1.275 KWh/έτος/KW και στην Κρήτη ή στη Ρόδο 1.400-1.500 KWh/έτος/KW. Για μία μονάδα ισχύος 100 κιλοβάτ φωτοβολταϊκών απαιτούνται περί τα 2,5 στρέμματα αν χρησιμοποιήσει

κανείς κρυσταλλικά φωτοβολταϊκά, 3,5-4,5 στρέμματα αν χρησιμοποιήσει φωτοβολταϊκά λεπτού υμενίου και 5,5-6 στρέμματα, αν χρησιμοποιήσει σύστημα παρακολούθησης του ήλιου.

Ιδια κεφάλαια το 25% του προϋπολογισμού

Εάν επενδύσει κάποιος σε ένα φωτοβολταϊκό 100 kWp σε μια γεωγραφική περιοχή (π.χ. τη Λέσβο) όπου η επιχορήγηση φθάνει το 55%, τότε από το συνολικό ύψος της επένδυσης, το οποίο προσδιορίζεται γύρω στα 600-700 χιλ. ευρώ, θα απαιτηθούν ίδια κεφάλαια της τάξης των 300.000 ευρώ περίπου. Και για αυτούς που δεν διαθέτουν τα χρήματα αυτά, οι τράπεζες προσφέρουν δάνεια τα οποία καλύπτουν σημαντικό μέρος του ποσού αυτού.

Σημειώνεται πάντως ότι, τόσο ο αναπτυξιακός νόμος όσο και τα περισσότερα κοινοτικά και εθνικά προγράμματα επιδότησης ενεργειακών επενδύσεων απαιτούν απόδειξη ιδίων κεφαλαίων από πλευράς επενδυτή σε ποσοστό 25% του συνολικού προϋπολογισμού της επένδυσης.

52.000 ευρώ τα έσοδα κάθε χρόνο

Με δεδομένο ότι η κιλοβατώρα θα αγοράζεται από τη ΔΕΗ στα 0,40 ευρώ και ότι η παραγωγή ηλιακής ενέργειας στην περιοχή υπολογίζεται σε 1.300 ανά Kwh ετησίως, αυτό σημαίνει ότι κάθε χρόνο ο επενδυτής θα εισπράττει $1.300 \times 100 \times 0,40$ ευρώ = 52.000 ευρώ. Έτσι εκτιμάται ότι σε περίπου 6-7 χρόνια (συνυπολογιζομένων των εξόδων συντήρησης, των τραπεζικών τόκων αλλά και της αναπροσαρμογής της τιμής που θα αγοράζει η ΔΕΗ) θα έχει γίνει η απόσβεση της επένδυσης και στα υπόλοιπα χρόνια θα μετράει κέρδη. Αυτά τα κέρδη, σύμφωνα με τους πιο μετριοπαθείς υπολογισμούς, θα ξεπεράσουν τις 650.000 ευρώ. Ειδικότερα στο παράδειγμά μας, τα συνολικά έσοδα στο τέλος της 20ετίας θα ξεπεράσουν το 1 εκατ. ευρώ.

Πού χρησιμοποιούνται τα φωτοβολταϊκά

- ηλεκτροδότηση οικιών, τουριστικών μονάδων, μικρών οικισμών, ιερών μονών κ.λπ.
- αφαλάτωση νερού,
- αγροτικές εφαρμογές (άντληση νερού, ιχθυοκαλλιέργειες κ.λπ.),
- Τηλεπικοινωνίες,
- Εξυπηρέτηση αναγκών φωτισμού και ψύξης σε τροχόσπιτα, σκάφη αναψυχής κ.λπ.
- Φαρικά συστήματα Πολεμικού Ναυτικού και άλλα συστήματα εκτάκτου ανάγκης,
- Μικρά αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα σε πόλεις (ηλεκτροδότηση τηλεφωνικών θαλάμων, παρκόμετρων κ.λπ.).
- Διασυνδεδεμένα κεντρικά φωτοβολταϊκά συστήματα με το δίκτυο της ΔΕΗ,
- Φωτοβολταϊκά συστήματα ενσωματωμένα σε στέγες, προσόψεις κτιρίων και άλλων κατασκευών εξωτερικών χώρων, διασυνδεδεμένα με το δίκτυο της ΔΕΗ.

3.3 ΑΠΟΔΟΣΗ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ

Η συνολική απόδοση μιας επένδυσης σε Φ/Β εξαρτάται από τους εξής βασικούς παράγοντες:

1. Γεωγραφικές και κλιματολογικές συνθήκες

Με τα γεωγραφικά και κλιματολογικά δεδομένα της Ελλάδας, η συνολική ετήσια ποσότητα ηλιακής ενέργειας που δέχεται κάθε τετραγωνικό μέτρο οριζόντιας επιφάνειας είναι περίπου 1.600 kWh (Αττική). Η Βόρεια Ελλάδα δέχεται περίπου 1.400 kWh, ενώ οι νότιες περιοχές, η Κρήτη και η Ρόδος δέχονται περίπου 1.800 kWh ανά έτος (Δείτε τον σχετικό αναλυτικό [χάρτη](#)).

2. Τεχνολογία και υλικά

Υπάρχουν διαφορετικές Φ/Β τεχνολογίες, με διαφορετικά ποσοστά απόδοσης της μετατροπής ηλιακής σε ηλεκτρική ενέργεια και διαφορές στο κόστος αγοράς τους. Οι τεχνικές διαφορές μεταξύ των Φ/Β συστημάτων επηρεάζουν σε σημαντικό βαθμό τη συνολική παραγωγή για μια δεδομένη επένδυση, αλλά παράλληλα έχουν και διαφορετικές προδιαγραφές ως προς το χώρο (επιφάνεια) εγκατάστασης που απαιτείται για την ίδια εγκατεστημένη παραγωγική ισχύ. Ενδεικτικά, η συνολική ενέργεια που μπορεί να παράγει ένα τυπικό Φ/Β σύστημα στην περιοχή της Αττικής σε ένα έτος είναι περίπου 1.350 kWh για κάθε 1 kWp εγκατεστημένης ονομαστικής ισχύος.

3. Τιμή πώλησης ηλεκτρικού ρεύματος

Ο Νόμος 3468/2006 καθορίζει τις τιμές στις οποίες αγοράζουν την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια η ΔΕΗ και ο ΔΕΣΜΗΕ. Οι τιμές αυτές κυμαίνονται αρχικά από 0,40-0,50 ευρώ ανά κιλοβατώρα (kWh), ανάλογα με την περιοχή εγκατάστασης του Φ/Β συστήματος (διασυνδεδεμένο ή νησιωτικό δίκτυο) και το μέγεθός του (εγκατεστημένη ονομαστική ισχύς μικρότερη ή μεγαλύτερη από 100 kWp). Προβλέπεται η αναπροσαρμογή αυτών των τιμών

κάθε έτος, ανάλογα με τις μεσοσταθμικές αυξήσεις των τιμολογίων της ΔΕΗ ή του δείκτη τιμών καταναλωτή.

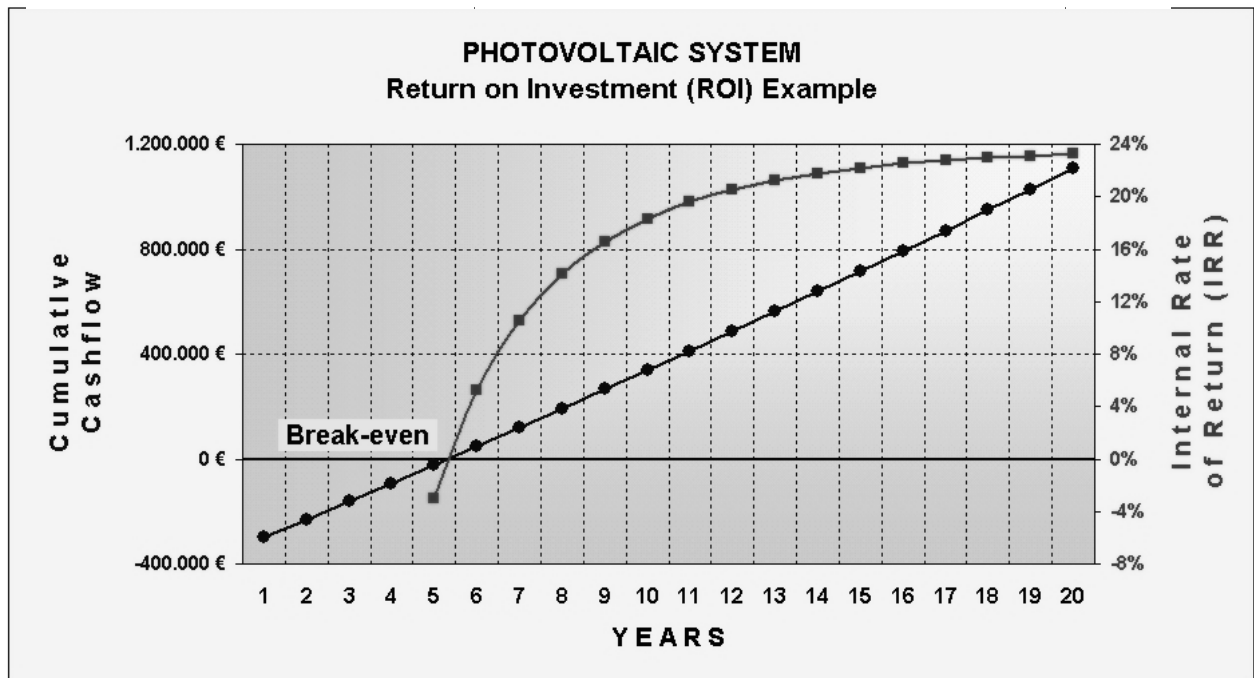
4. Επιδότηση επένδυσης

Οι επενδύσεις σε Φ/Β συστήματα επιδοτούνται στα πλαίσια του νόμου 3299/2004 όπως τροποποιήθηκε από 1.1.2007. Το ποσοστό ενίσχυσης κυμαίνεται από 20-60% του κόστους της επένδυσης, ανάλογα με τη γεωγραφική ζώνη και το μέγεθος της επιχείρησης, ενώ παρέχονται και σημαντικές φορολογικές απαλλαγές.

Παράδειγμα

Το οικονομικό παράδειγμα του παραπάνω γραφήματος αφορά τυπικό Φ/Β σύστημα ονομαστικής ισχύος 100 kWp, συνολικού κόστους 600.000 ευρώ, με συνολική ενεργειακή απόδοση 1.500 kWh ανά 1 έτος και 1 kWp. Ως αρχική τιμή πώλησης ρεύματος έχουν ληφθεί 0,45 ευρώ ανά kWh. Το ποσοστό επιδότησης της αρχικής επένδυσης έχει οριστεί σε 40% (το μαθηματικό μοντέλο περιλαμβάνει και άλλες λιγότερο σημαντικές παραμέτρους).

Το παράδειγμα δίνει για αρχική καθαρή επένδυση 360.000 ευρώ, συνολικά έσοδα 1.107.495 ευρώ σε διάστημα 20 ετών. Το σημείο ισορροπίας (break even point) επιτυγχάνεται μετά 5,5 έτη περίπου. Ο συντελεστής εσωτερικής απόδοσης (IRR, Internal Rate of Return) είναι 23,3%. Χρησιμοποιώντας προεξοφλητικό επιτόκιο 3,5%, η καθαρή παρούσα αξία (NPV, Net Present Value) υπολογίζεται.



3.4 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΞΟΦΛΗΣΗΣ ΔΑΝΕΙΩΝ

Οι διάφοροι οικονομικοί οργανισμοί για την κάλυψη των συνολικών αναγκών τους σε κεφάλαια πραγματοποιούν δάνεια, εφόσον τα έσοδά τους δεν αρκούν.

Τα δάνεια χωρίζονται ανάλογα με τη διάρκειά τους σε βραχυπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα. Τα βραχυπρόθεσμα ιδιωτικά δάνεια γίνονται κυρίως με γραμμάτια και συναλλαγματικές, ενώ τα κρατικά βραχυπρόθεσμα με έντοκα

γραμμάτια. Ένα μακροπρόθεσμο δάνειο είναι μια σύμβαση μεταξύ δανειστή και δανειζομένου. Όταν υπάρχει ένας δανειστής και ένας οφειλέτης το δάνειο ονομάζεται ενιαίο, ενώ όταν οι δανειστές είναι πολλοί και ένας ο οφειλέτης ονομάζεται ομολογιακό δάνειο.

Υπάρχουν πάρα πολλοί τρόποι εξόφλησης δανείων. Παρακάτω εξετάζονται τέσσερις από τους πιο συνηθισμένους. Χαρακτηριστικό γνώρισμα αυτών είναι ότι προβλέπουν είτε εφάπαξ εξόφληση του δανείου σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές είτε βαθμιαία εξόφληση εντός ορισμένου χρόνου. Τα ποσά της βαθμιαίας εξόφλησης λέγονται χρεολύσια. Τα χρεολύσια μαζί με τους εκάστοτε πληρωτέους τόκους σχηματίζουν τα τοκοχρεολύσια, τα οποία αποτελούν τις δόσεις εξόφλησης του δανείου.

Εφάπαξ εξόφληση δανείου με απλό τόκο

Στο τέλος κάθε χρόνου καταβάλλεται ο τόκος και με τη λήξη της περιόδου του δανείου εξοφλείται το δάνειο. Δίνονται οι παρακάτω διευκρινίσεις:

- Οι οφειλόμενοι τόκοι υπολογίζονται κάθε φορά από τον τόκο του ανεξόφλητου δανείου στο τέλος του προηγούμενου έτους, από το υπόλοιπο της οφειλής τόκων του προηγούμενου έτους και από τον τόκο τους.
- Ως πληρωμή τόκων ορίζεται κάθε φορά οι τόκοι που πληρώνονται στον δανειστή.
- Ως χρεολύσιο ορίζεται το ποσό που πληρώνεται στον δανειστή για την εξόφληση του δανείου
- Το ανεξόφλητο δάνειο υπολογίζεται κάθε φορά μετά την αφαίρεση των μέχρι τότε χρεολυσίων από το συνολικό δάνειο.
- Ως τοκοχρεολύσιο ορίζεται το άθροισμα του χρεολυσίου και των πληρωτέων τόκων.

- Η τελική αξία των εκάστοτε τοκοχρεολυσίων στο τέλος της περιόδου δανεισμού υπολογίζεται με ανατοκισμό προς το επιτόκιο και για την αντίστοιχη κάθε φορά χρονική περίοδο.
- Η παρούσα αξία των εκάστοτε τοκοχρεολυσίων στην αρχή του πρώτου έτους υπολογίζεται με επιτόκιο.

Εφάπαξ εξόφληση δανείου με ανατοκισμό

Στο τέλος κάθε χρόνου δεν καταβάλλεται κανένα ποσό έναντι των οφειλόμενων τόκων και με την λήξη της περιόδου του δανείου εξοφλείται το δάνειο και οι τόκοι μαζί.

Βαθμιαία εξόφληση με ισόποσα χρεολύσια

Στο τέλος κάθε χρόνου για την εξόφληση του δανείου θα καταβάλλεται ένα ποσό (χρεολύσιο) που είναι ίσο με το μέρος του δανείου που θα αντιστοιχούσε σε κάθε χρόνο χωρίς το επιτόκιο, καθώς επίσης ο τόκος, ο οποίος υπολογίζεται επί του ποσού που είχε στα χέρια του ο δανειζόμενος στην αρχή κάθε χρόνου.

Βαθμιαία εξόφληση με ίσα τοκοχρεολύσια

Στο τέλος κάθε χρόνου καταβάλλονται ισόποσα τοκοχρεολύσια. Ο τόκος από χρόνο σε χρόνο μειώνεται ενώ το χρεολύσιο αυξάνει.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 –ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

4.1 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ

Φωτοβολταϊκό φαινόμενο αποκαλείται η εμφάνιση διαφοράς δυναμικού στα άκρα μιας διόδου η οποία ακτινοβολείται με ηλιακή ενέργεια. Για όσο χρονικό διάστημα διαρκεί η ακτινοβολία παράγεται συνεχές ρεύμα από την διόδο, το οποίο μπορεί να τροφοδοτήσει ένα οποιοδήποτε φορτίο συνεχούς ρεύματος και κατά συνέπεια να έχουμε παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος. Όταν διακοπεί η ακτινοβολία της διόδου, σταματάει και η παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος.

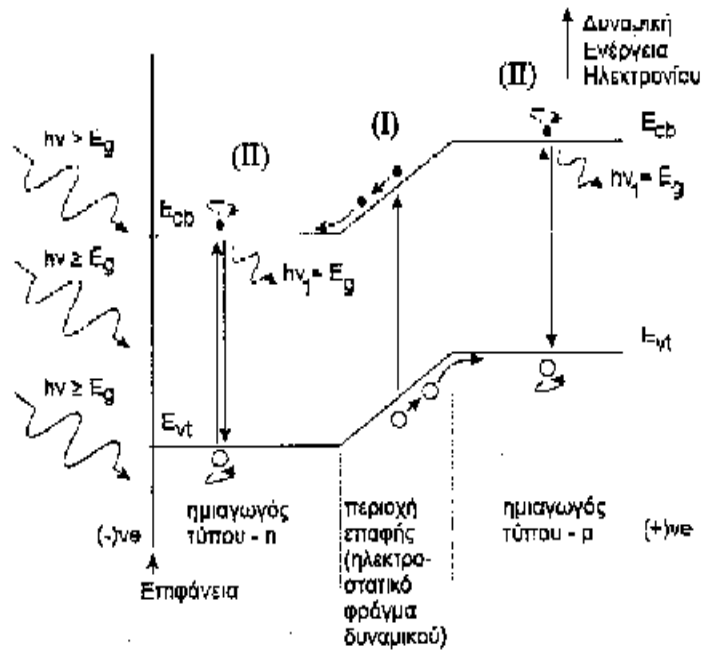
4.1.1 Ηλεκτροστατικό φράγμα δυναμικού

Τα ηλιακά στοιχεία είναι διόδοι ημιαγωγού με την μορφή ενός δίσκου, που δέχονται την ηλιακή ακτινοβολία. Πρόκειται για διόδους επαφής τύπου-n και τύπου-p, οι οποίες εκτείνονται σε όλο το πλάτος του δίσκου. Τα ηλιακά στοιχεία βασίζονται στη λειτουργία τους στη δημιουργία ενός ηλεκτροστατικού φράγματος δυναμικού, το οποίο εκτείνεται σε όλο το πλάτος του στοιχείου που δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία. Αυτό το φράγμα δυναμικού βρίσκεται κατανεμημένο σε μικρό βάθος από την επιφάνεια και τοποθετείται από την πλευρά από την οποία προσπίπτει το φως. Κάθε φωτόνιο της προσπίπτουσας ακτινοβολίας με ενέργεια ίση ή μεγαλύτερη από το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού, έχει τη δυνατότητα να απορροφηθεί σε ένα χημικό δεσμό και να δημιουργηθεί ένα ζεύγος φορέων, δηλαδή ένα ηλεκτρόνιο της ζώνης αγωγιμότητας και μια οπή της ζώνης σθένους. Δημιουργείται έτσι, όσο διαρκεί η ακτινοβολία, μια περίσσεια από ζεύγη φορέων, πέρα από τις συγκεντρώσεις που αντιστοιχούν σε συνθήκες ισορροπίας.

Η αναγκαιότητα ύπαρξης του ηλεκτροστατικού δυναμικού πηγάζει από την απαίτηση για διαχωρισμό των θετικών και αρνητικών φορέων φορτίου και την συγκέντρωσή τους πάνω στις δύο όψεις του ηλιακού στοιχείου. Συγκεκριμένα,

επειδή μερικά από τα ζεύγη των φορέων αυτών δημιουργούνται μέσα ή-και δίπλα από την περιοχή του ηλεκτροστατικού φράγματος δυναμικού διαχωρίζονται προκειμένου να ελαχιστοποιήσουν τη δυναμική τους ενέργεια. Μπορούμε να υποθέσουμε ότι τα ηλεκτρόνια συμπεριφέρονται σαν σφαίρες που κυλούν πάνω σε κεκλιμένο επίπεδο, ενώ οι οπές συμπεριφέρονται σαν φουσαλίδες που αιωρούνται μέσα σε ένα υγρό (Σχήμα 4.1). Στο μοντέλο αυτό, το ηλεκτρόνιο ελαχιστοποιεί την ενέργεια του κινούμενο προς τα κάτω, ενώ η οπή ελαχιστοποιεί την ενέργειά της κινούμενη προς τα πάνω σε ένα διάγραμμα δυναμικής ενέργειας.

Σε μια δίοδο p-n τα ελεύθερα ηλεκτρόνια εκτρέπονται προς το τμήμα τύπου-n και οι οπές εκτρέπονται προς το τμήμα τύπου-p. Αποτέλεσμα είναι να συσσωρεύονται φορτία στις δύο αντικρινές επιφάνειες και να δημιουργείται μια διαφορά δυναμικού ανάμεσα στους ακροδέκτες των δύο τμημάτων του ηλιακού στοιχείου, για όσο διάστημα υπάρχει οπτική διέγερση, η εμφάνιση δηλαδή του φωτοβολταϊκού φαινομένου.



Σχήμα 4.1 Φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Το ηλιακό στοιχείο αποτελείται από την επαφή ημιαγωγού τύπου-n και τύπου-p. Το σχήμα παρουσιάζει το διάγραμμα της δυναμικής ενέργειας σε συνάρτηση με το βάθος από την επιφάνεια. Στο ηλιακό στοιχείο προσπίπτει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με ενέργεια $E=h \cdot \nu \geq E_g$, όπου $E_g=E_{cb}-E_{vt}$ η τιμή του ενεργειακού διακένου, E_{cb} ο πυθμένας της ζώνης αγωγιμότητας και E_{vt} η κορυφή της ζώνης σθένους.

4.1.2 Δημιουργία φωτορεύματος

Όταν ένα φ/β στοιχείο δέχεται μια κατάλληλη ακτινοβολία, διεγείρεται παράγοντας ηλεκτρικό ρεύμα, το φωτόρευμα I_{ph} , που η τιμή του είναι ανάλογη προς τα φωτόνια που απορροφά και κατά συνέπεια ανάλογη προς τη ηλιακή ακτινοβολία.

Για τον υπολογισμό του μπορεί να χρησιμοποιηθεί η παρακάτω σχέση:

$$I_{\Phi} = e \int S(\lambda)[1-R(\lambda)]\Phi(\lambda)d\lambda \quad (4.1)$$

όπου e το στοιχειώδες ηλεκτρικό φορτίο,
 $R(\lambda)$ ο δείκτης ανάκλασης για ακτινοβολία μήκους κύματος λ ,
 $\Phi(\lambda)$ το πλήθος των φωτονίων με ενέργεια που αντιστοιχεί σε μήκος κύματος από λ μέχρι $\lambda+d\lambda$,
 $S(\lambda)$ η φασματική απόκριση, δηλαδή το πλήθος των φωτονίων της ακτινοβολίας που δέχεται το στοιχείο ανά μονάδα επιφάνειας και ανά μονάδα χρόνου,
 λ_g το μέγιστο μήκος κύματος ακτινοβολίας σε έναν ημιαγωγό, ενεργειακού διακένου E_g : ($\lambda_g = h.c / E_g$)

Η τιμή του φωτορεύματος ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου εξαρτάται από πολλούς κατασκευαστικούς παράγοντες, όπως ο συντελεστής ανάκλασης στην επιφάνεια του στοιχείου, ο συντελεστής απορρόφησης και το πάχος του ημιαγωγού, το πλήθος των επανασυνδέσεων των φορέων κλπ.

4.2 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ/ΚΥΨΕΛΩΝ (PV CELLS)

Οι κύριες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή φ/β στοιχείων είναι:

- Τεχνολογία παραγωγής ημιαγωγίμων υλικών με κρυσταλλική δομή, την πλειοψηφία των οποίων αποτελεί το πυρίτιο.
- Τεχνολογία λεπτών υμενίων (thin film), η οποία ονομάζεται έτσι επειδή το πάχος των στοιχείων είναι πολύ μικρό (μερικά μόνο μm).

- Άλλες τεχνολογίες που σκοπό έχουν να γίνει λιγότερο ενεργοβόρα η παραγωγή του καθαρού πυριτίου, περιορίζοντας τις απώλειες σε ακριβό καθαρό πυρίτιο (π.χ. μέθοδος EFG, edge defined film fed growth και μέθοδος String Process).

Οι κρύσταλλοι και η μορφή λεπτού φιλμ διαφέρουν μεταξύ τους όσον αφορά την απόδοση απορρόφησης του φωτός, την απόδοση μετατροπής της μια μορφής ενέργειας στην άλλη, την τεχνολογία κατασκευής και το κόστος κατασκευής.

4.2.1 Το Πυρίτιο (Si)

Το πυρίτιο είναι ένας ημιαγωγός με έμμεσο ενεργειακό διάκενο 1,1eV. Αν και οι δύο αυτές ιδιότητές του, δηλαδή έμμεσο και σχετικά μικρή τιμή ενεργειακού διακένου δεν είναι ιδεώδεις για την φωτοβολταϊκή μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας, το πυρίτιο είναι ο ημιαγωγός που κυριάρχησε από την αρχή αλλά μέχρι και σήμερα, σαν υλικό κατασκευής φ/β στοιχείων. Οι λόγοι για τους οποίους συμβαίνει αυτό έχουν να κάνουν με το γεγονός ότι το πυρίτιο είναι το κύριο υλικό των διατάξεων ηλεκτρονικής για πολλές δεκαετίες. Επομένως οι ιδιότητες του είναι, καλά μελετημένες και το υλικό κυκλοφορεί στη αγορά σε αρκετά μεγάλες ποσότητες, με ικανοποιητική χημική καθαρότητα και τελειότητα κρυσταλλικής δομής, με την χρησιμοποίηση τεχνολογικών μεθόδων δοκιμασμένων με επιτυχία. Επιπλέον τα φ/β στοιχεία πυριτίου έχουν λειτουργήσει με απόλυτα ικανοποιητική αξιοπιστία σε ακραίες καιρικές συνθήκες, τόσο σε διαστημικές όσο και σε επίγειες εφαρμογές.

Εκτός του οξυγόνου, το πυρίτιο είναι το πιο άφθονο στοιχείο στην επιφάνεια του εδάφους. Σχεδόν πάντα, όμως απαντάται με τη μορφή οξειδίου στο περιβάλλον, συγκεκριμένα ως διοξείδιο του πυριτίου (SiO₂). Για την αξιοποίησή

του, επομένως, απαιτείται επεξεργασία έτσι ώστε να αποκτήσει υψηλή καθαρότητα.

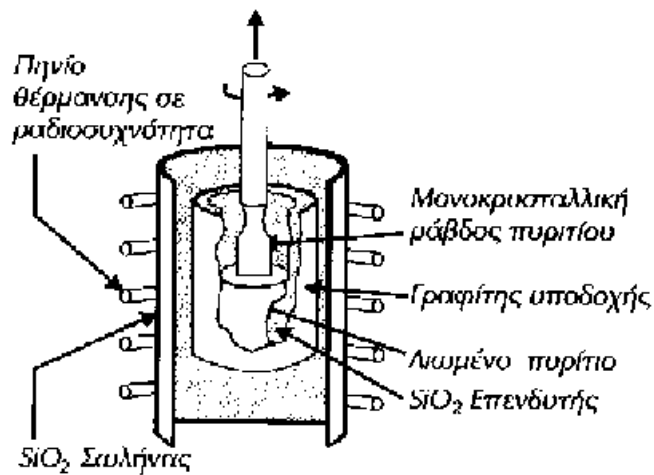
4.2.1.1 Μονοκρυσταλλικό Πυρίτιο

Το μονοκρυσταλλικό πυρίτιο έχει μια ομοιόμορφη μοριακή δομή. Συγκρινόμενο με υλικά που δεν είναι σε μορφή κρυστάλλου, η υψηλή του ομοιομορφία έχει ως αποτέλεσμα τον υψηλότερο βαθμό απόδοσης (δηλαδή την αναλογία της ηλεκτρικής ισχύος που παράγεται από το ηλιακό στοιχείο προς την διαθέσιμη από την ηλιακή ακτινοβολία ισχύ). Η απόδοση των μονοκρυσταλλικών στοιχείων του εμπορίου κυμαίνεται από 14-18%.

Παραγωγική Διαδικασία

Το διοξείδιο του πυριτίου κατά την διαδικασία εξευμενισμού του (αφαίρεση των προσμίξεων) θερμαίνεται στους 1800 °C. παρουσία άνθρακα. Το μεταλλουργικό πυρίτιο που προκύπτει από αυτή την διαδικασία έχει μια καθαρότητα της τάξης του 98% και μπορεί μεν να χρησιμοποιηθεί στην μεταλλουργική βιομηχανία, είναι δε τελείως ακατάλληλο ως ημιαγωγός. Απαιτείται επομένως περαιτέρω επεξεργασία. Σε πρώτη φάση γίνεται ανάτηξη και στη συνέχεια αντίδραση με υδροχλώριο (HCl), μετατρέποντας το μεταλλουργικό πυρίτιο σε τριχλωροσιλάνιο (SiHCl₃) που είναι ένα πτητικό υγρό. Εν συνεχεία αποχωρίζεται από διάφορες προσμίξεις μέσω κλασματικής απόσταξης (μέθοδος Siemens). Τέλος ανάγεται με υδρογόνο και συμπυκνώνεται. Πρέπει να τονιστεί ότι οι παραπάνω διαδικασίες είναι εξαιρετικά ενεργοβόρες και συντελούν στο υψηλό κόστος κατασκευής των φ/β στοιχείων. Το τελικό προϊόν είναι ένα υψηλής καθαρότητας

πυρίτιο (με συγκέντρωση προσμίξεων μικρότερη από 1 άτομο ανά 10^{12} άτομα Si), που δεν έχει όμως την επιθυμητή δομή.



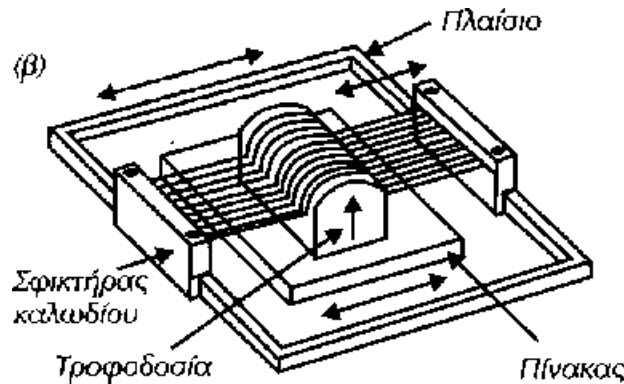
Σχήμα 4.2 Μέθοδος Czochrankski.

Ακολουθεί η κρυσταλλική ανάπτυξη του πυριτίου συνήθως με την μέθοδο Czochrankski (Σχήμα 4.2), κατά την οποία αρχικά τήκεται αυτό μέσα σε ένα κυλινδρικό δοχείο και σε θερμοκρασία μεγαλύτερη των $1400\text{ }^{\circ}\text{C}$.. Έπειτα ένα πολύ μικρό κομμάτι κρυσταλλικού πυριτίου τοποθετείται σε επαφή με την επιφάνεια του λιωμένου πυριτίου, ενώ το κυλινδρικό δοχείο βρίσκεται σε περιστροφική κίνηση. Το κομμάτι πυριτίου δρα σαν πυρήνας κρυστάλλωσης και έτσι το πυρίτιο επικάθεται σε αυτό με αποτέλεσμα να μεγαλώσει και να σχηματισθεί σταδιακά ένας νέος μεγάλος κρύσταλλος πυριτίου με την συνεχή ανύψωση από το λιωμένο πυρίτιο. Αποτέλεσμα της μεθόδου είναι το πυρίτιο να αποκτήσει μια κυλινδρική μορφή με διάμετρο περίπου 10cm και μήκους 1m.

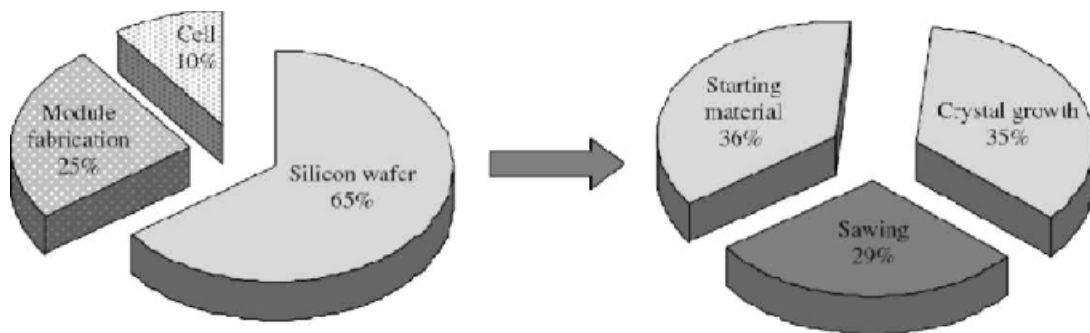
Εν συνεχεία ο κύλινδρος αυτός πρέπει να κοπεί σε πολύ λεπτούς δίσκους (κυλινδρικές πλάκες), πάχους που κυμαίνεται από $150\mu\text{m}$ μέχρι $500\mu\text{m}$ για τις 48 ηλιακές εφαρμογές. Η διαδικασία είναι εξαιρετικά δαπανηρή, καθώς το πυρίτιο είναι πολύ σκληρό υλικό και επιπλέον ένα ποσοστό χάνεται κατά την

κοπή, που φτάνει μέχρι και το 50%. Μια μέθοδος κοπής που περιορίζει κάπως τις παραπάνω απώλειες φαίνεται στο Σχήμα 4.3 και στηρίζεται στη κοπή με πολύ λεπτή διαμαντένια ίνα. Οι δίσκοι έπειτα λειαίνονται για την απομάκρυνση των ελαττωμάτων της κοπής και διαμορφώνονται σε διόδους τύπου-p ή τύπου-n με επίταξη, διάχυση ή εμφύτευση προσμίξεων.

Το τελικό στάδιο είναι η συγκόλληση των ηλεκτροδίων στην εμπρός και πίσω όψη του δίσκου, η αλληλοσύνδεση των έτοιμων πια στοιχείων, η κάλυψη της εμπρός επιφάνειάς τους με ένα αντανάκλαστικό επίστρωμα για την μείωση της ανάκλασης του φωτός και η στεγανή συσκευασία σε πλαίσια.



Σχήμα 4.3 Κοπή με τη μέθοδο των πολλαπλών συρμάτων.



Σχήμα 4.4 Καταμερισμός του κόστους παραγωγής ενός φ/β στοιχείου ανάδιαδικασία. Δεξιά αναλύεται το κόστος δημιουργίας δισκιδίων πυριτίου.

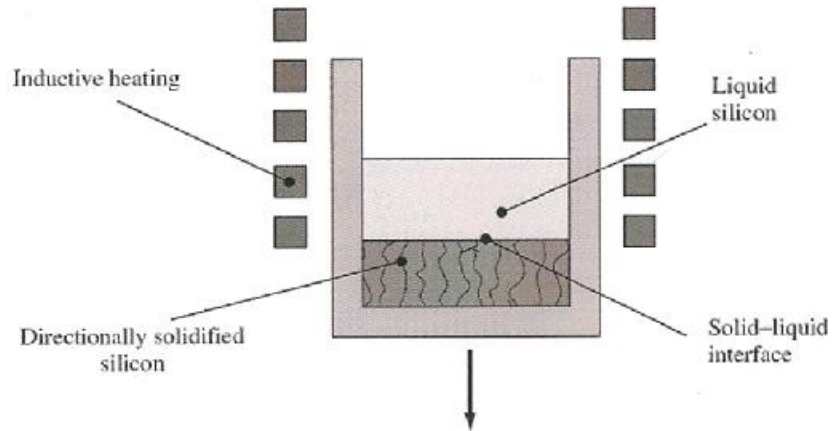
Το κόστος ανά παραγωγική διαδικασία παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.4, όπου φαίνεται ότι μεγάλο μέρος αποτελεί η παραγωγή καθαρού πυριτίου σε κρυσταλλική δομή (μέθοδος Czochranski) και η κοπή του σε λεπτά δισκίδια (πλάκες).

4.2.1.2 Πολυκρυσταλλικό Πυρίτιο

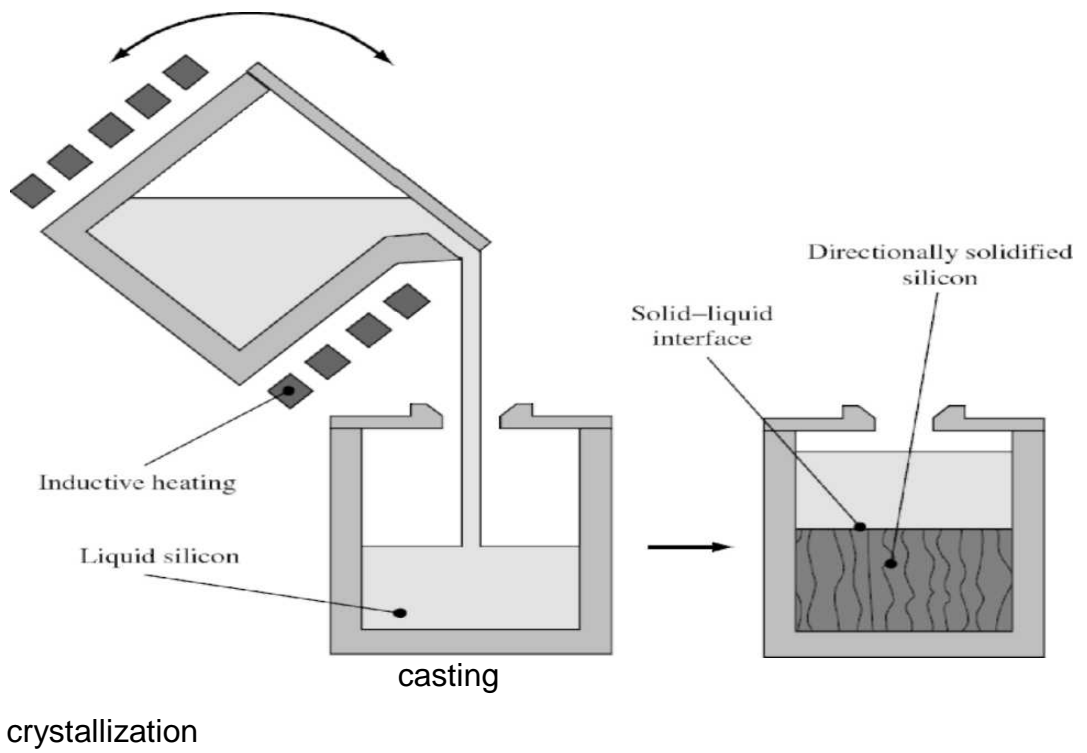
Το πολυκρυσταλλικό πυρίτιο αποτελείται από περιοχές μονοκρυσταλλικού πυριτίου, αλλά δεν έχει την ομοιόμορφη κρυσταλλική δομή του μονοκρυσταλλικού πυριτίου. Τα πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία έχουν χαμηλότερο βαθμό απόδοσης από τα στοιχεία που αποτελούνται από μονοκρυσταλλικό πυρίτιο. Ο βαθμός απόδοσης για μια βαθμίδα εμπορίου κυμαίνεται μεταξύ 10 και 14 %.

Παραγωγική Διαδικασία

Η παραγωγή του πολυκρυσταλλικού πυριτίου διαφοροποιείται από την παραπάνω διαδικασία στο γεγονός ότι αντί της μεθόδου Czochranski για την επίτευξη «τέλειας» κρυσταλλικής δομής, το υψηλής καθαρότητας πυρίτιο, απλά τήκεται και τοποθετείται σε ένα δοχείο με τετραγωνική βάση, όπου και αφήνεται να στερεοποιηθεί (μέθοδος Bridgman) (Σχήμα 4.5). Εναλλακτικά χρησιμοποιείται η μέθοδος block casting, όπου το πυρίτιο τήκεται σε ένα δοχείο και έπειτα μεταφέρεται σε ένα δεύτερο όπου και στερεοποιείται (Σχήμα 4.6). Το στερεό πυρίτιο που δημιουργείται έχει πολυκρυσταλλική δομή. Ακολουθεί η κοπή με τον τρόπο που αναφέρθηκε παραπάνω και η διαδικασία ολοκληρώνεται με τον ίδιο τρόπο με το μονοκρυσταλλικό πυρίτιο.



Σχήμα 4.5 Μέθοδος Bridgman για την παράγωγη πολυκρυσταλλικού πυριτίου



Σχήμα 4.6 Μέθοδος block casting.

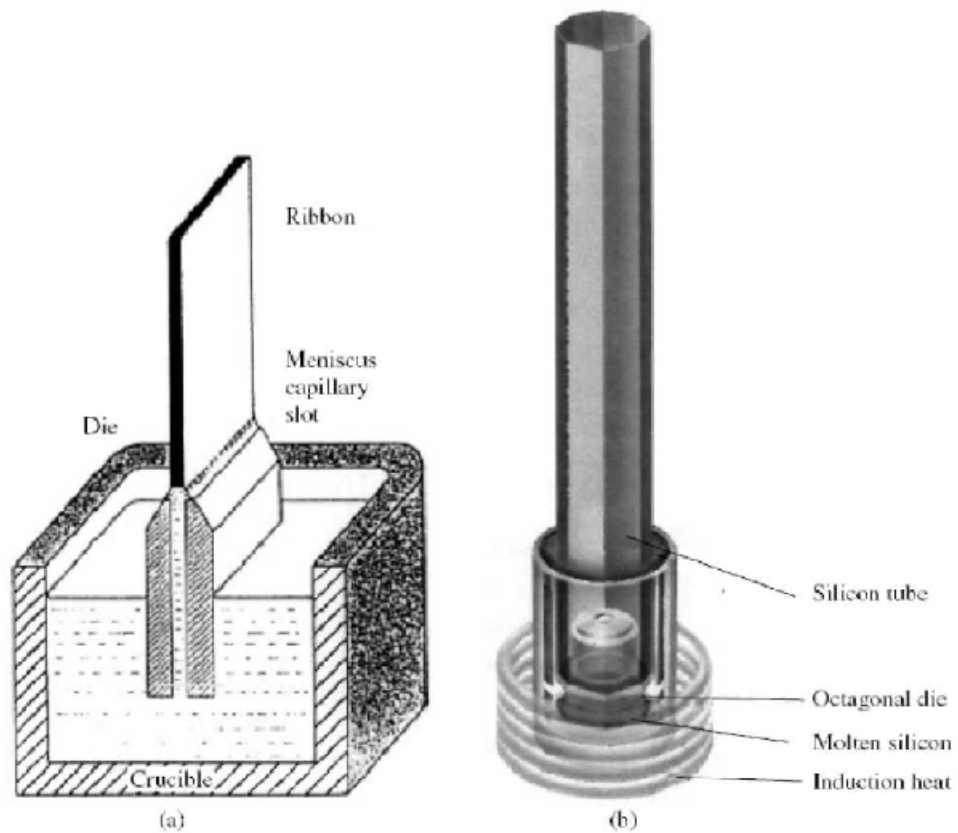
Η διαδικασία παραγωγής πολυκρυσταλλικού πυριτίου είναι φθηνότερη από αυτή του μονοκρυσταλλικού. Επιπλέον οι τετραγωνικές πλάκες που προκύπτουν από την κοπή πλεονεκτούν στο γεγονός ότι μπορούν εύκολα να χρησιμοποιηθούν στην κατασκευή τετραγωνικών φ/β στοιχείων σε αντίθεση με τους δίσκους που είναι κυκλικοί. Αυτό έχει σαν συνέπεια τον μεγαλύτερο δείκτη κάλυψης του φ/β πλαισίου. Από τη άλλη εμφανίζουν μικρότερη απόδοση, όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω.

4.2.1.3 Ribbon Πυρίτιο

Το πυρίτιο σε μορφή ταινίας μπορεί να παραχθεί με πολλές τεχνικές. Στόχος είναι η αποφυγή του κόστους που συνεπάγεται η διαδικασία κοπής, όπως περιγράφηκε παραπάνω, καθώς και η μείωση των απωλειών σε καθαρό πυρίτιο που συνεπάγεται. Από τις πολυάριθμες τεχνικές ουσιαστικά μόνο δύο κατέληξαν σε εμπορική χρησιμοποίηση.

α. Edge defined Film Fed Growth Process (EFG)

Κατά τη διαδικασία αυτή παράγεται το Ribbon πυρίτιο μέσα από το λιωμένο υλικό μέσω ενός καλουπιού, το σχήμα του οποίου καθορίζει και τη μορφή της ταινίας (Σχήμα 4.7). Τα παραγόμενα στοιχεία έχουν μικρότερη ποιότητα από τα μονοκρυσταλλικά και η επιφάνειά τους εμφανίζει ανωμαλίες. Παρόλα αυτά η απόδοσή τους φτάνει μέχρι το 14,8% για στοιχεία που έχουν φτιαχτεί σε γραμμή παραγωγής και για εμπορικούς σκοπούς.

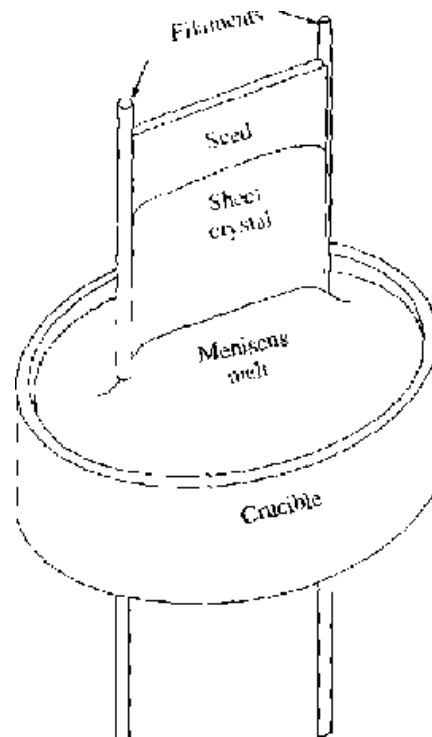


Σχήμα 3.8 Edge defined Film Fed Growth Process (EFG), a) απλή διαμόρφωση σε δοχείο b) οκταγωνική διαμόρφωση[4].

β. String Ribbon Process (STR)

Σε αυτή την τεχνική το πυρίτιο εξάγεται κατευθείαν από το δοχείο με το λιωμένο πυρίτιο χωρίς καλούπι. Η διαδικασία είναι σχετικά απλή, καθώς χρησιμοποιούνται δύο λωρίδες που διαπερνούν το δοχείο στη βάση του και κινούνται με σταθερή ταχύτητα ανοδικά (Σχήμα 4.8). Στην αρχή της διαδικασίας

χρειάζεται ένας "πυρήνας", έτσι ώστε να γίνει η αρχή της ταινίας πυριτίου. Το πάχος της ταινίας εξαρτάται κυρίως από την ταχύτητα με την οποία κινούνται οι δύο λωρίδες. Η απόδοσή τους μπορεί να φτάσει μέχρι και το 14-15%.



Σχήμα 4.8 String Ribbon Process (STR).

4.2.1.4 Κρυσταλλικό Πυρίτιο λεπτού φιλμ (*c-SiTFC*)

Η τεχνολογία λεπτού φιλμ έχει ως σκοπό την μείωση του κόστους, μέσω της μείωσης του απαιτούμενου υλικού για την παραγωγή των στοιχείων. Η εναπόθεση μπορεί να γίνει κατευθείαν σε γυαλί, κεραμικό ή οποιοδήποτε άλλο κατάλληλο υπόστρωμα. Εκτός από το μειωμένο κόστος πλεονεκτούν και στην

ευκολία με την οποία μπορεί να γίνει σύνδεσή τους σε σειρά, φτιάχνοντας έτσι ολόκληρα πλαίσια κατά τη διαδικασία εναπόθεσης. Από την άλλη όμως η διαδικασία αυτή είναι απαιτητική καθώς μεγάλες περιοχές πρέπει να παραχθούν χωρίς ελαττώματα.

Παρόλο που το c-SiTFC έχει πάχος μερικών μόνο μm (5 μέχρι 50 μm), έχει αποδειχθεί θεωρητικά, αλλά και στην πράξη ότι εμφανίζει αξιόλογη απόδοση. Το κλειδί στην τεχνολογία είναι ο έξυπνος οπτικός σχεδιασμός, με αποτέλεσμα το φως μέσω ανακλάσεων να διαγράφει τελικά διαδρομή 30 φορές ή και περισσότερο, μεγαλύτερη από το πάχος του φιλμ. Εκτός από το πλεονέκτημα της μειωμένης απαίτησης σε πυρίτιο, το c-SiTFC δεν έχει ιδιαίτερες απαιτήσεις στο υλικό του υποστρώματος, το οποίο μπορεί να είναι χαμηλής ποιότητας πυρίτιο, γυαλί, κεραμικά ή γραφίτης. Υπάρχει εκτεταμένη έρευνα όσον αφορά το c-SiTFC που έχει αναδείξει την υψηλή απόδοση που μπορεί να πετύχει (μέχρι 21% κάτω από ιδανικές συνθήκες). Παρόλο που έχει εμφανίσει σημαντική ανάπτυξη την τελευταία δεκαετία λίγες εταιρίες το έχουν περάσει στη γραμμή παραγωγής ως εμπορικό προϊόν.

4.2.1.5 Άμορφο πυρίτιο (*a-Si*)

Το άμορφο πυρίτιο χρησιμοποιείται για την παραγωγή φ/β στοιχείων σύμφωνα με την τεχνολογία λεπτού φιλμ. Ως υλικό εμφανίζει μεγάλη αταξία στη δομή του, παρά ταύτα βρίσκει εφαρμογή στη φ/β τεχνολογία με τη μορφή κράματος με υδρογόνο. Η προσθήκη υδρογόνου βελτιώνει τις ηλεκτρικές ιδιότητές του και σε 10-40% ατομική αναλογία. Διαφέρει ουσιαστικά από το μονοκρυσταλλικό πυρίτιο καθώς εμφανίζει ενεργειακό διάκενο με μεταβλητή τιμή που κυμαίνεται μεταξύ 1,12eV και 1,7eV περίπου. Το κύριο πλεονέκτημα του είναι ότι έχει υψηλό επίπεδο απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας και μάλιστα περίπου 40 φορές υψηλότερη από αυτή του μονοκρυσταλλικού πυριτίου. Ως προς αυτή την ιδιότητά του το a-Si συμπεριφέρεται σχεδόν σαν

ημιαγωγός άμεσου ενεργειακού διακένου, για αυτό μια λεπτή επίστρωση είναι αρκετή για την κατασκευή φ/β στοιχείων. Επιπλέον το άμορφο πυρίτιο μπορεί να εναποτεθεί σε ποικίλα, χαμηλού κόστους υποστρώματα, συμπεριλαμβανομένου του χάλυβα, του γυαλιού και του πλαστικού. Η κατασκευαστική διαδικασία απαιτεί χαμηλότερες θερμοκρασίες και επομένως λιγότερη κατανάλωση ενέργειας. Έτσι το συνολικό κόστος του υλικού και του κόστους κατασκευής είναι χαμηλότερο ανά μονάδα επιφάνειας ,συγκρινόμενο με τα στοιχεία κρυσταλλικού πυριτίου.

Δυο είναι τα κυριότερα μειονεκτήματά του .Ο χαμηλός βαθμός απόδοσης που κυμαίνεται μεταξύ 6 – 9 % για στοιχεία του εμπορίου και φτάνει το 13% για στοιχεία που έχουν φτιαχτεί στο εργαστήριο και η βαθμιαία μείωση του βαθμού απόδοσης. Μέσα σε μερικούς μήνες μπορεί η απόδοση να μειωθεί από 10% έως και 15 %.

4.2.2 Αρσενικούχο Γάλλιο (GaAs)

Το αρσενικούχο γάλλιο είναι ένας ημιαγωγός με ενεργειακό διάκενο 1,43 eV, τιμή η οποία είναι στη βέλτιστη περιοχή για τη φωτοβολταϊκή μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας με θεωρητική απόδοση περίπου 25-30%. Ένα ακόμη πλεονέκτημα αποτελεί το γεγονός ότι το ενεργειακό διάκενο είναι άμεσο. Επομένως το GaAs συνδυάζει καταρχήν ιδανικά τις προϋποθέσεις για να χρησιμοποιηθεί ως υλικό κατασκευής ηλιακών φ/β στοιχείων. Το μειονέκτημά του είναι το υψηλό κόστος παραγωγής, περίπου πενταπλάσιο από αυτό του κρυσταλλικού πυριτίου. Έχει εφαρμογή κυρίως σε ηλιακά στοιχεία συγκεντρωμένης ακτινοβολίας, όπου το υψηλό κόστος του αντισταθμίζεται από την υψηλή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανά μονάδα επιφάνειας. Επίσης το GaAs συναντάται συχνά σε διαστημικές εφαρμογές λόγω της υψηλής θερμικής αδράνειάς του και του υψηλού βαθμού απόδοσης. Συγκεκριμένα η απόδοση

των στοιχείων GaAs πέφτει στο μισό, σε σύγκριση με την απόδοσή τους σε συνηθισμένη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, όταν θερμανθούν στους 200 °C. Η αντίστοιχη μείωση στα στοιχεία πυριτίου παρατηρείται ήδη στους 120 °C.

4.2.3 Δισεληνιούχος Ινδιούχος Χαλκός (CuInSe₂ ή CIS)

Το ημιαγώγιμο υλικό του δισεληνιούχου ινδιούχου χαλκού είναι ένα ημιαγώγιμο υλικό, το οποίο μπορεί να είναι τύπου-n ή τύπου-p και έχει μια άμεση οπτική απορρόφηση με τον υψηλότερο συντελεστή απορρόφησης που έχει μετρηθεί μέχρι σήμερα. Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του CIS εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τον λόγο χαλκού/ινδίου, ενώ ο καλός έλεγχος της στοιχειομετρίας του θεωρείται ουσιώδης για αποδοτικές διατάξεις. Είναι δυνατόν να κατασκευασθούν ομοεπαφές τύπου p-n των CIS αλλά αυτές δεν θα είναι ούτε σταθερές ούτε αποδοτικές και οι καλύτερες διατάξεις μέχρι σήμερα είναι ετεροενώσεις με θειούχο κάδμιο (CdS). Το CdS μπορεί να αναπτυχθεί μόνο ως υλικό τύπου-n για αυτό και το CIS πρέπει να είναι τύπου-p. Το CIS έχει ενεργειακό διάκενο 1eV και παράγεται ως κιονοειδής πολυκρυσταλλική μεμβράνη, ενώ το CdS έχει ενεργειακό διάκενο 2,4eV και έτσι αυτό θα απορροφά έντονα όλη την προσπίπτουσα ακτινοβολία από το πράσινο μέχρι το μπλε άκρο φάσματος. Οι βέλτιστες διατάξεις χρησιμοποιούν ένα πολύ λεπτό στρώμα (0,03μm) του CdS με στρώμα παραθύρου ενός υλικού με μεγάλο ενεργειακό διάκενο και υψηλή αγωγιμότητα. Το οξειδίο του ψευδαργύρου έχει βρεθεί ότι είναι ένα κατάλληλο υλικό για το στρώμα του παραθύρου. Έτσι η δομή του ηλιακού στοιχείου CIS είναι αυτή που παρουσιάζεται στο σχήμα 4.9.

Μεταλλική πίσω επαφή
Δισελινίουχος Ινδίουχος Χαλκός
Θειούχο Κάδμιο
Διαφανής μπροστινή επιφάνεια
Γυάλινο υπόστρωμα

Σχήμα 4.9 Δομή του ηλιακού στοιχείου CIS.

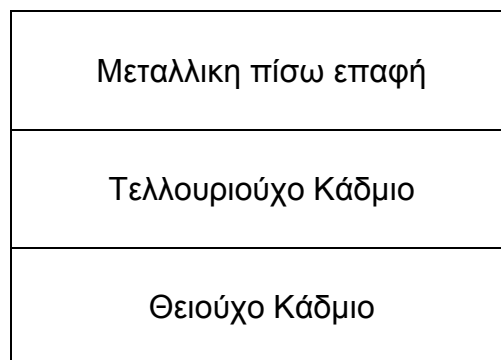
Μια σημαντική προσπάθεια έχει αφιερωθεί στην άνοδο της τεχνολογίας CIS κυρίως από τη SIEMENS. Έχουν φτιαχτεί στοιχεία CIS του εμπορίου, η απόδοση των οποίων πλησιάζει το 10%. Πλεονεκτούν σε σχέση με τα στοιχεία άμορφου πυριτίου, καθώς δεν εμφανίζουν βαθμιαία πτώση της απόδοσης για μια περίοδο μερικών ετών. Επίσης όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω προσφέρουν μεγάλη οικονομία σε ημιαγώγιμα υλικά. Από την άλλη όμως το CIS είναι ένα πολύπλοκο υλικό που δυσκολεύει την κατασκευή του. Τέλος πολύ σημαντική είναι η ασφάλεια του προσωπικού κατά τη διάρκεια της κατασκευής του, αφού η παραγωγή του περιλαμβάνει το σεληνιούχο υδρογόνο, ένα εξαιρετικά τοξικό αέριο.

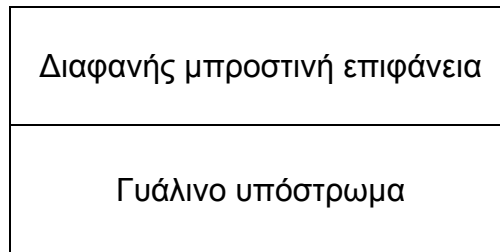
4.2.4 Τελλουριούχο Κάδμιο (CdTe)

Το τελλουριούχο κάδμιο είναι ένα ημιαγώγιμο υλικό που αποτελείται από κάδμιο και τελλούριο, το οποίο έχει υψηλό επίπεδο απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας και το ενεργειακό του διάκενο είναι πολύ κοντά στο ιδανικό. Αρκεί ένα όγκος πάχους ενός μικρόμετρου για να απορροφηθεί το 90 % του ηλιακού φάσματος. Η δομή του ηλιακού στοιχείου είναι αυτή που παρουσιάζεται στο σχήμα 4.10.

Υπάρχουν μερικές χαμηλού κόστους τεχνικές, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την απόθεση του CdTe και όλες αυτές, μπορούν, αφού υποστούν μια επεξεργασία μετά την απόθεση, να παράγουν υλικό υψηλής ποιότητας και αποδοτικά ηλιακά στοιχεία.

Η διαδικασία πλεγματικής εκτύπωσης των στοιχείων CdTe προσφέρει μια τεχνολογία με χαμηλό κόστος παραγωγής, αλλά από την άλλη και μια εντελώς χαμηλού ρυθμού παραγωγή. Το βήμα που περιορίζει το ρυθμό παραγωγής είναι η θερμοκρασιακή επεξεργασία της μελάνης εκτύπωσης μετά την απόθεση, η οποία απαιτεί σχετικά υψηλές θερμοκρασίες (γύρω στους 500 °C.) για περιόδους μιας ώρας ή και περισσότερο. Με αυτή την τεχνολογία έχουν παραχθεί βασικές μονάδες με απόδοση 6% και έχουν ελεγχθεί σε εξωτερικές συνθήκες. Η εμπορική τους όμως διαθεσιμότητα είναι περιορισμένη.

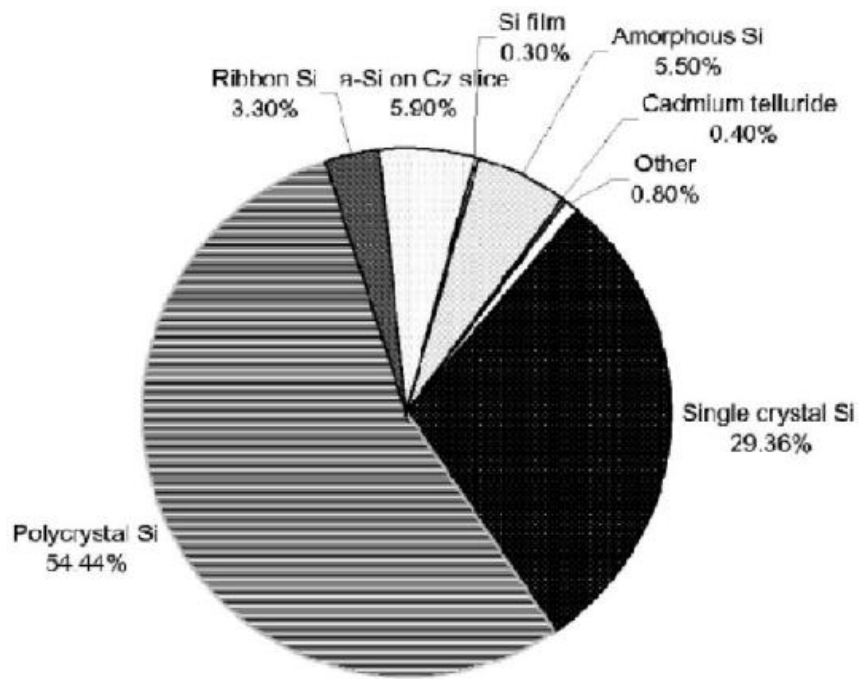




Σχήμα 4.10 Δομή του ηλιακού στοιχείου CdTe.

Μια ακόμα τεχνολογία είναι αυτή της ηλεκτροτυπίας. Η τεχνολογία αυτή είναι ιδιαίτερα ευνοϊκή για τα στοιχεία CdTe, λόγω της πολύ μικρή χρήσης του υλικού και του χαμηλού κόστους. Η BP Solar έχει παράγει βασικές μονάδες με αποδόσεις πάνω από 10% και στοιχεία με αποδόσεις γύρω στο 13%. Οι έλεγχοι σταθερότητας σε εξωτερικές συνθήκες έχουν επιτευχθεί με ικανοποιητική επιτυχία. Από την άλλη όμως όπως και στο CIS, το κάδμιο είναι ένα τοξικό υλικό και θα πρέπει να λαμβάνονται αυξημένα μέτρα προστασίας κατά την παραγωγή του.

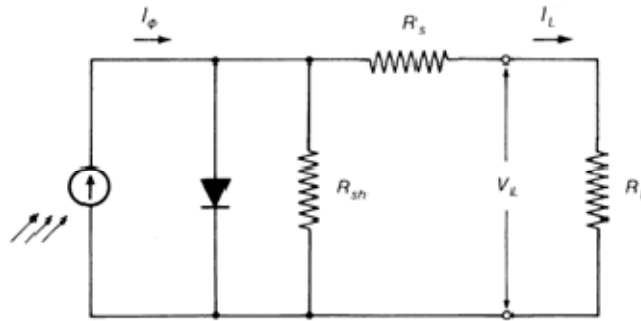
Το μερίδιο αγοράς όλων των παραπάνω υλικών κατασκευής φ/β στοιχείων για το έτος 2002 φαίνεται στο Σχήμα 4.11. Είναι ξεκάθαρο ότι το πυρίτιο ως ημιαγώγιμο υλικό κατέχει την συντριπτική πλειοψηφία της αγοράς φ/β στοιχείων και συγκεκριμένα την πρωτιά κατέχει το πολυκρυσταλλικό πυρίτιο που αποτελεί το 54% αυτής.



Σχήμα 4.11 Μερίδιο αγοράς των διαφόρων τεχνολογιών φ/β κυψελών για το 2002.

4.3 ΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ Φ/Β ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Το ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου φαίνεται στο σχήμα 4.12.



Σχήμα 4.12 Ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα ενός φ/β στοιχείου. Περιλαμβάνονται η αντίσταση σειράς R_s και η παράλληλη αντίσταση R_{sh} .

Παρατηρούμε ότι το φ/β στοιχείο αποτελεί μια πηγή ρεύματος που ελέγχεται από μια διόδο. Το ισοδύναμο κύκλωμα περιέχει ακόμα την αντίσταση σειράς R_s , η οποία εμποδίζει την κίνηση των φορέων μέσα στον ημιαγωγό και την παράλληλη αντίσταση R_{sh} , η οποία εμφανίζεται λόγω διαρροών ρεύματος κάνοντας των αντίσταση διαμέσου της διόδου μη άπειρη.

Το παραγόμενο φωτόρρευμα από το στοιχείο δίνεται από τη σχέση:

$$I_{\Phi} = I_0 \left[\exp\left(\frac{eV}{gkT}\right) - 1 \right] \quad (4.2)$$

όπου I_0 το ανάστροφο ρεύμα κόρου,

V η τάση που δημιουργείται στα άκρα της διόδου,

g ο συντελεστής ποιότητας της διόδου (μεταξύ 1 και 2),

k η σταθερά Boltzmann,

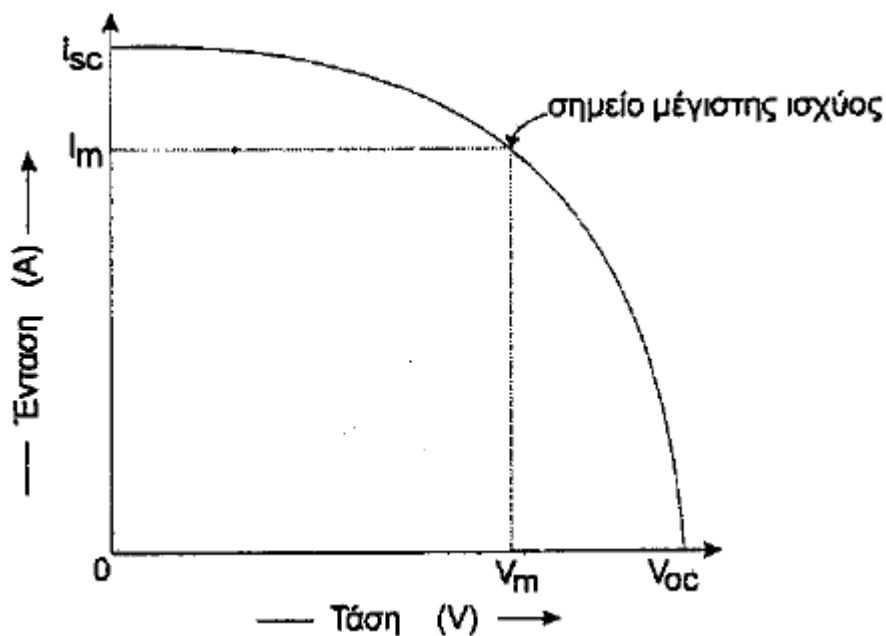
T η απόλυτη θερμοκρασία.

Ενώ με ανάλυση του ισοδυνάμου κυκλώματος, το ρεύμα που καταλήγει τελικά στο φορτίο υπολογίζεται:

$$I_L = \frac{I_{\Phi} - I_0 \left[\exp\left(\frac{e(V_L - I_L R_s)}{gkT}\right) - 1 \right] - \frac{V_L}{R_{sh}}}{1 + \frac{R_s}{R_{sh}}} \quad (4.3)$$

όπου V_L η τάση εξόδου του φ/β στοιχείου.

Η χαρακτηριστική τάσης-έντασης ($V-I$) ενός φ/β στοιχείου έχει τη μορφή του σχήματος 4.13



Σχήμα 4.13 Χαρακτηριστική τάσης-έντασης φ/β στοιχείου.

Από την χαρακτηριστική φαίνεται ότι θα υπάρξει κάποια τιμή της αντίστασης του φορτίου για την οποία η ισχύς που παράγεται από το φ/β στοιχείο θα είναι μέγιστη και σε αυτό αντιστοιχούν οι μέγιστες τιμές τάσης V_m και έντασης I_m . Καταλαβαίνουμε επομένως ότι η ισχύς που παράγεται για κάθε ζεύγος τιμών

τάσης- έντασης δεν είναι πάντα σταθερή αλλά μηδενίζεται όπως φαίνεται εύκολα στις ακραίες συνθήκες ανοιχτοκύκλωσης-βραχυκύκλωσης και παρουσιάζει ένα μέγιστο για συγκεκριμένη τιμή τάσης-έντασης (Σχήμα 4.13). Επιθυμητό είναι λοιπόν σε κάθε εγκατάσταση φωτοβολταϊκών οι συστοιχίες να λειτουργούν παράγοντας τις τιμές αυτές τάσης-έντασης που δίνουν κάθε στιγμή τη μέγιστη ισχύ. Όταν η φωτοβολταϊκή γεννήτρια τροφοδοτεί απευθείας ένα συγκεκριμένο φορτίο κάτι τέτοιο δεν είναι εφικτό καθώς η τιμή του φορτίου έχει συγκεκριμένη αντίσταση. Όταν όμως μεταξύ γεννητριών και κατανάλωσης παρεμβάλλονται ηλεκτρονικά για τον έλεγχο της ισχύος, για την ρύθμιση φόρτισης συσσωρευτών, για την ανύψωση ή και την αλλαγή μορφής της παραγόμενης τάσης, τότε υπάρχει η δυνατότητα να λειτουργούν αυτές σε ένα μέγιστο σημείο. Αυτό το αναλαμβάνουν ειδικοί ανιχνευτές της μέγιστης ισχύος ή maximum power point trackers (MPPT) .

4.3.1 Απόδοση φωτοβολταϊκού στοιχείου

Ως απόδοση ενός φ/β στοιχείου ης, ορίζεται το πηλίκο της μέγιστης ισχύος (P_{max}), που αποδίδει, προς το γινόμενο της προσπίπτουσας έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας και της επιφάνειας S_c του φ/β στοιχείου:

$$n_c = \frac{P_{max}}{G \cdot S_c} = \frac{I_{m \text{ ax}} \cdot V_{max}}{G \cdot S_c} \quad (4.4)$$

Ο λόγος της μέγιστης ηλεκτρικής ισχύος (P_{max}) προς το γινόμενο της βραχυκυκλωμένης έντασης (I_{sc}) και της ανοιχτοκυκλωμένης τάσης (V_{oc}) ενός φ/β στοιχείου, ονομάζεται συντελεστής πλήρωσης FF (fill factor):

$$FF = \frac{I_{m \text{ ax.V max}}}{I_{sc} \cdot V_{oc}}$$

(4.5)

Επομένως η απόδοση του φ/β στοιχείου μπορεί να γραφτεί και ως εξής:

$$n_c = \frac{I_{sc} \cdot V_{oc} \cdot FF}{G \cdot S_c} \quad (4.6)$$

Ως μέγιστη ισχύ του φ/β στοιχείου θεωρούμε αυτήν που λαμβάνουμε όταν η ένταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας είναι 1000W/m², υπό τις ακόλουθες συνθήκες:

- Θερμοκρασία φ/β στοιχείου 25 °C .
- Μάζα αέρα 1,5

Η τιμή αυτή της έντασης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας ονομάζεται και ένταση ακτινοβολίας ενός ήλιου, δηλαδή:

$$1 \text{ SUN} = 1000 \text{ W/m}^2 = 1 \text{ KW/m}^2 \quad (4.7)$$

Αντίστοιχα η ισχύς που παράγεται από ένα φ/β πλαίσιο όταν δέχεται ακτινοβολία 1SUN με την ελάχιστα απαιτούμενη επιφάνειά του ονομάζεται Watt αιχμής (W_p -peak Watt).

4.4 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ

Το βασικό χαρακτηριστικό συστατικό κάθε φ/β εγκατάστασης είναι η φ/β γεννήτρια, που αποτελείται από τους ηλιακούς συλλέκτες με τα φ/β ηλιακά στοιχεία. Θα μπορούσε να θεωρηθεί ως μια «μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας» κατά αναλογία με τις συμβατικές μεθόδους παραγωγής από

θερμοηλεκτρικά εργοστάσια. Μια φ/β γεννήτρια αποτελείται από φ/β πλαίσια που ενώνονται και συγκροτούν συστοιχίες.

4.4.1 Φωτοβολταϊκό πλαίσιο (module)

Η τάση και η ισχύς ενός φ/β στοιχείου είναι πολύ μικρή για να ανταποκριθεί στην τροφοδότηση των συνηθισμένων ηλεκτρικών καταναλώσεων ή για τη φόρτιση των συσσωρευτών. Για αυτό το λόγο τα φ/β στοιχεία τοποθετούνται σε ένα ενιαίο πλαίσιο με κοινή ηλεκτρική έξοδο. Στο πλαίσιο αυτό, τα στοιχεία συνδέονται σε σειρά, σε ομάδες κατάλληλου πλήθους για την απόκτηση επιθυμητής τάσης.

Τα πλαίσια είναι προκατασκευασμένα στο εργοστάσιο. Τα ηλιακά στοιχεία στερεώνονται με κολλητική ουσία σε ένα ανθεκτικό φύλλο από μέταλλο (συνήθως αλουμίνιο) ή από ενισχυμένο πλαστικό, που αποτελεί την πλάτη του πλαισίου, ενώ η εμπρός όψη τους καλύπτεται από ένα προστατευτικό φύλλο γυαλιού ή διαφανούς πλαστικού. Το εμπρός και πίσω φύλλο συγκρατούνται μεταξύ τους, στεγανά και μόνιμα, με τη βοήθεια μιας ταινίας από φυσικό ή συνθετικό ελαστικό και συσφίγγονται με ένα περιμετρικό μεταλλικό περίβλημα. Διαμορφώνεται έτσι το φ/β πλαίσιο (module), που είναι η δομική μονάδα που κατασκευάζεται βιομηχανικά και κυκλοφορεί στο εμπόριο για να χρησιμοποιηθεί ως συλλέκτης στη συγκρότηση φ/β γεννητριών.

Λόγω των απαιτούμενων υλικών και εργασιών για την κατασκευή του, το κόστος προκύπτει σημαντικά μεγαλύτερο από τα φ/β στοιχεία που περιέχουν. Συνώνυμο σχεδόν με το φ/β πλαίσιο είναι το φ/β πανέλο (panel). Όπως και το πλαίσιο, έχει συναρμολογηθεί και προκατασκευαστεί στο εργοστάσιο και είναι έτοιμο για τοποθέτηση σε φ/β εγκατάσταση, αλλά με τη διαφορά ότι ένα πανέλο μπορεί να αποτελείται από περισσότερα χωριστά πλαίσια (το ένα δίπλα στο άλλο) που είναι σε κοινή συσκευασία και κοινή ηλεκτρική σύνδεση μεταξύ τους. Τα τελευταία χρόνια σχεδόν όλες οι εταιρίες

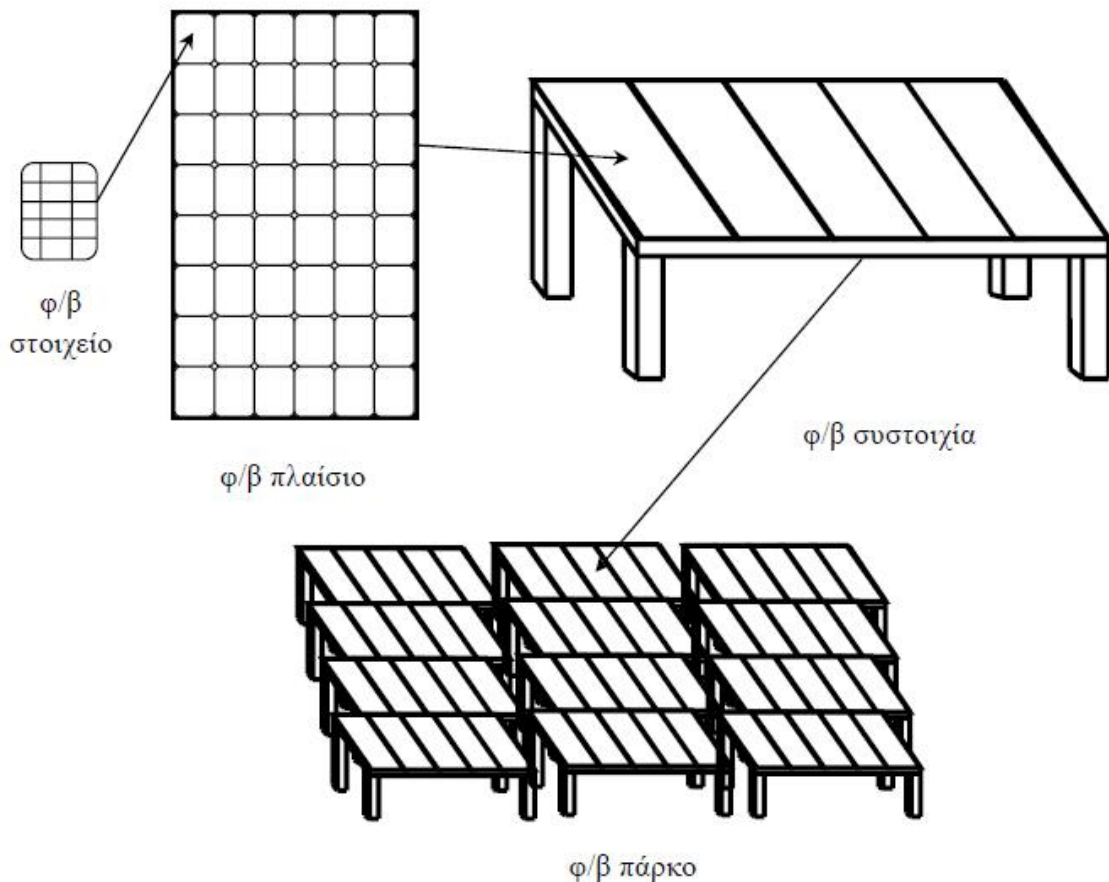
που κατασκευάζουν φ/β στοιχεία, δεν διαχωρίζουν τα πλαίσια από τα πανέλα. Το προϊόν που παράγεται ονομάζεται φ/β πλαίσιο (module) και διατίθεται σε ποικιλία, όσον αφορά την ισχύ που παράγει, την τάση και τελικά τις διαστάσεις του. Για αυτό τον λόγο παρακάτω θα γίνεται αναφορά μόνο σε φ/β πλαίσια.

4.4.2 Φωτοβολταϊκή συστοιχία (string)

Σε μια φ/β εγκατάσταση που έχει σκοπό την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, δηλαδή λειτουργεί ως σταθμός παραγωγής, μπορεί να χρησιμοποιηθούν εκατοντάδες ή και χιλιάδες φ/β πλαίσια. Όπως είναι αναμενόμενο τα φ/β πλαίσια πρέπει να ομαδοποιηθούν και να συνδεθούν κατάλληλα. Για την αύξηση της αξιοπιστίας ενός φ/β συστήματος είναι σκόπιμο οι συνδέσεις των φ/β στοιχείων μέσα στα πλαίσια, αλλά και ανάμεσα στα πλαίσια να μην είναι μόνο στη σειρά αλλά και παράλληλες. Με αυτόν τον τρόπο, αν ένα φ/β στοιχείο σκιαστεί ή αν πάθει βλάβη δεν θα μηδενιστεί η ισχύς που παράγει το σύστημα.

Έτσι τα φ/β πλαίσια ομαδοποιούνται σε φ/β συστοιχίες και τοποθετούνται σε κοινή βάση στήριξης, η οποία είναι συνήθως μεταλλική. Η σύνδεση των πλαισίων

στη σειρά ή παράλληλα γίνεται έτσι ώστε να η τάση εξόδου της γεννήτριας να αποκτήσει την επιθυμητή τιμή. Η σχέση του φ/β πλαισίου με την φ/β συστοιχία και την φ/β γεννήτρια φαίνεται στο σχήμα 4.14



Σχημα 4.14 Η σχέση αναμεσα στο φ/β στοιχειο ,το φ/β πλαίσιο ,τη φ/β συστοιχία και το φ/β παρκο

Σταθερές συστοιχίες

Ο απλούστερος τύπος μιας φ/β συστοιχίας είναι ο σταθερός (fixed), ο οποίος έχει, το πλεονέκτημα των ακίνητων τμημάτων και το μειονέκτημα ότι δεν εκμεταλλεύεται με τον μέγιστο βαθμό την ηλιακή ακτινοβολία. Τα πλαίσια τοποθετούνται με νότιο προσανατολισμό (για το Βόρειο ημισφαίριο) και έχουν μια κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο κατάλληλη ώστε να μεγιστοποιείται η πρόσληψη ηλιακής ακτινοβολίας, ανάλογα με το χρονικό διάστημα που είναι επιθυμητό (βλέπε κεφάλαιο 1). Το ελαφρό τους βάρος και η απλότητά τους, τις

καθιστά χρήσιμες για μια πληθώρα εφαρμογών. Ωστόσο, αν δεν είναι αρκετή η ενέργεια που παράγεται και δεν υπάρχει επιπλέον διαθέσιμος χώρος, αναγκαστικά πρέπει να καταφύγει κάποιος σε μια εκ των επομένων εναλλακτικών.

Στρεφόμενες συστοιχίες

Για να βελτιωθεί η απόδοση συγκέντρωσης της ηλιακής ακτινοβολίας, μπορούν να χρησιμοποιηθούν συστοιχίες με κινητά πλαίσια, τα οποία θα παρακολουθούν την κίνηση του ηλίου. Για να μεγιστοποιηθεί η προσλαμβανόμενη ηλιακή ακτινοβολία απαιτείται η κίνηση των συστοιχιών τόσο στον οριζόντιο άξονα (άξονας ανύψωσης) όσο και στον πολικό άξονα (αζιμούθιος άξονας). Χωρίζονται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με το αν κινούνται σε έναν άξονα ή δύο άξονες.

α. Στρεφόμενες συστοιχίες ενός άξονα

Στις στρεφόμενες συστοιχίες ενός άξονα ως άξονας κίνησής τους μπορεί να επιλεγεί είτε ο οριζόντιος είτε ο πολικός. Ο πολικός άξονας πλεονεκτεί όσον αφορά την συγκομιδή ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας έναντι του οριζόντιου άξονα κάνει όμως την εγκατάσταση πιο περίπλοκη μηχανικά.

β. Περιστροφικές συστοιχίες δύο αξόνων

Αποτελούν την πλειοψηφία των στρεφόμενων συστοιχιών και επιτυγχάνουν την μέγιστη δυνατή συγκέντρωση ηλιακής ακτινοβολίας. Η καθοδήγηση των μηχανισμών γίνεται με την βοήθεια θερμοϋδραυλικών διατάξεων, μικροϋπολογιστών για την πρόβλεψη της θέσης του ήλιου και ηλιακών αισθητήρων, όπως φωτοαντιστάσεις και φωτοτρανζίστορ.

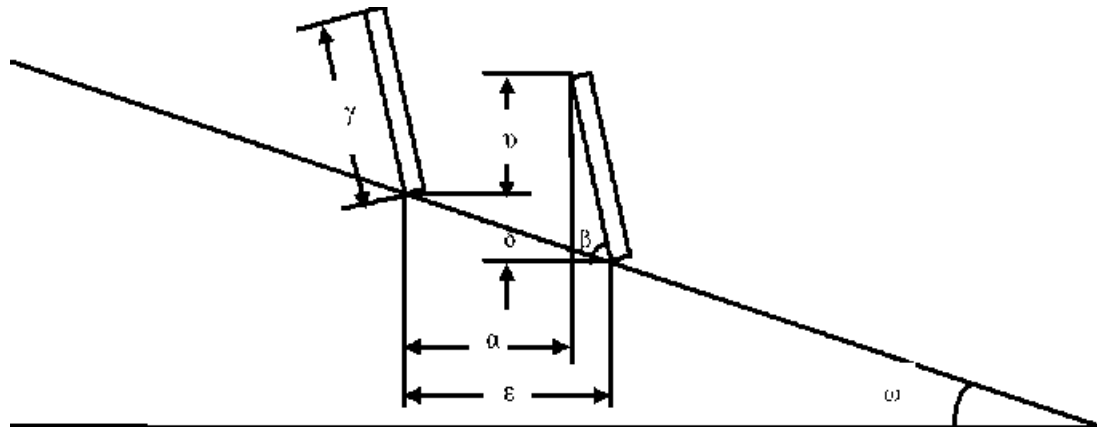
Συστοιχίες με ανακλαστήρες/κάτοπτρα

Ένας άλλος σχεδιασμός που βοηθά στην αύξηση της απόδοσης ενός φ/β συστήματος επιτυγχάνεται με την χρήση ανακλαστήρων/κατόπτρων. Κατασκευάζονται σε διάφορες μορφές (κοίλα, παραβολικά, ελλειπτικά, τριγωνικά, κωνικά, κ.α.) και σκοπός τους είναι να ενισχύουν και να εστιάζουν το ποσό του ηλιακού φωτός προς τα φ/β στοιχεία .

Στρεφόμενες συστοιχίες με κάτοπτρα

Τέλος μπορεί να χρησιμοποιηθούν στρεφόμενες συστοιχίες ταυτόχρονα με κάτοπτρα για ακόμη μεγαλύτερη πρόσληψη ηλιακής ακτινοβολίας. Η παρακολούθηση του ήλιου επιτυγχάνεται είτε περιστρέφοντας την συστοιχία προς την κατεύθυνση των ηλιακών ακτίνων, είτε ανακλώντας τις ακτίνες με την χρήση περιστροφικών κατόπτρων προς το φ/β πλαίσιο. Και οι δύο μέθοδοι χρησιμοποιούν κινητά μέλη, ωστόσο το πλεονέκτημα της χρήσης κινητών κατόπτρων, αντί των κινητών συστοιχιών, είναι ότι η καταπόνηση, την οποία δέχεται η συστοιχία αποφεύγεται. Επιπλέον οι ανακλαστήρες θα πρέπει να περιστρέφονται κατά το ήμισυ από ότι οι συστοιχίες, αφού το φαινόμενο της ανάκλασης διπλασιάζει την κίνηση του κατόπτρου.

4.4.3 Βέλτιστη διάταξη σταθερών συστοιχιών



Σχήμα 4.15 Διάταξη φ/β συστοιχιών σε πλαγία κλίσης $\kappa = \tan \omega$, με απόλυτα νότιο προσανατολισμό.

Καταρχήν είναι πολύ σημαντικό σε μια φ/β εγκατάσταση, οι φ/β συστοιχίες να μην σκιάζονται από παρακείμενα εμπόδια (δέντρα, κτίρια, βουνά κλπ.). Σε μια τοποθεσία με γεωγραφικό πλάτος φ , η προϋπόθεση ανοιχτού οριζοντα θεωρείται ότι εξασφαλίζεται όταν η γωνία του ύψους (β) των γειτονικών συστοιχιών, δέντρων, κτιρίων ή άλλων εμποδίων ικανοποιεί μέσα σε μία αζιμούθιο γωνία από -60° μέχρι 60° προς τον Νότο, τη σχέση:

$$b_e \leq 48^\circ - \varphi \quad (4.8)$$

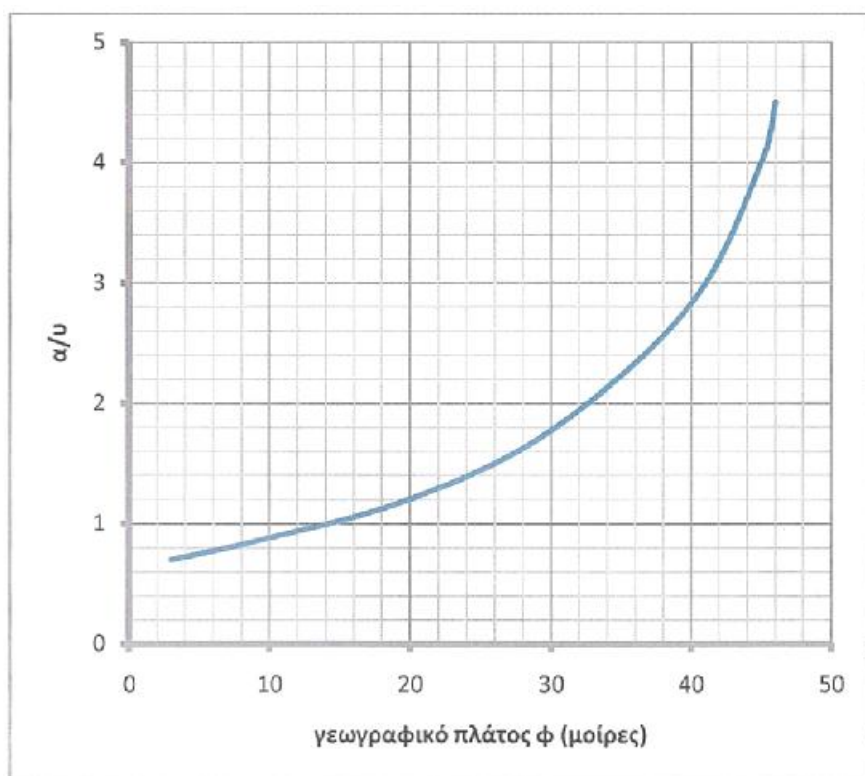
Στο σχήμα 4.15 φαίνεται η διάταξη των φ/β συστοιχιών σε μία πλαγία κλίσης κ , με απόλυτα νότιο προσανατολισμό. Για να υπολογιστεί η ελάχιστη απόσταση ϵ , μεταξύ δύο συστοιχιών που θα εξασφαλίζει ότι δεν σκιάζει αισθητά η μία συστοιχία την επόμενη, χρησιμοποιείται το διάγραμμα του σχήματος 4.16. Το διάγραμμα προέρχεται από την εταιρία Monegon και είναι εμπειρικό. Συνδέει

τον λόγο της ελεύθερης απόστασης a προς το ύψος των συστοιχιών u , με το γεωγραφικό πλάτος ϕ του τόπου (Σχήμα 4.16).

Για τιμές του γεωγραφικού πλάτος από 25ο μέχρι 45ο η καμπύλη προσεγγίζεται

ικανοποιητικά από την μαθηματική σχέση:

$$\frac{a}{u} = 0,0042j^2 - 0,1661j + 2,8653 \quad (4.9)$$



Σχήμα 4.16 Η καμπύλη του λόγου της ελεύθερης απόστασης a ανάμεσα στις γειτονικές συστοιχίες, προς την επικάλυψη του ύψους u , σε συνάρτηση με το γεωγραφικό πλάτος ϕ , ώστε να μην εμποδίζεται ουσιαστικά η πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας. Το διάγραμμα είναι της εταιρίας Monegon (1980)

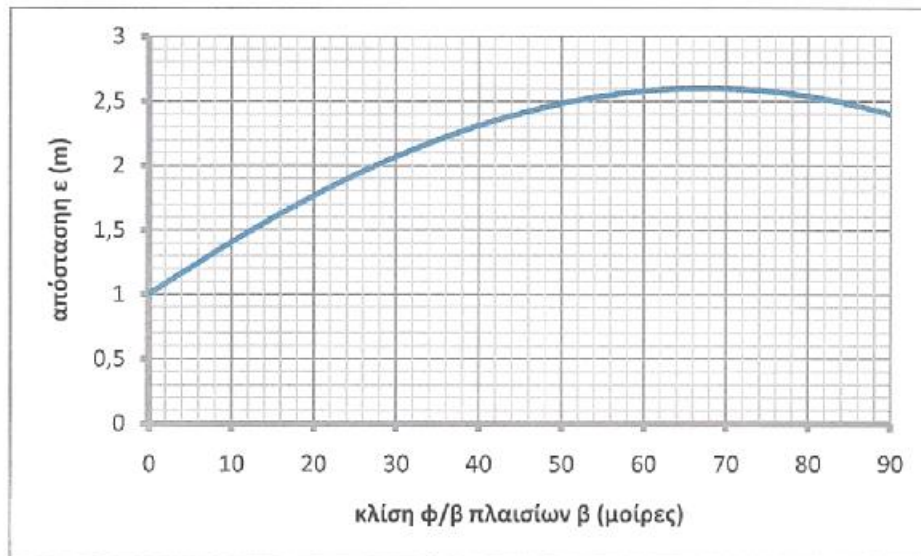
Για να βρεθεί το ζητούμενο, που είναι ο υπολογισμός της απόστασης ϵ , πρέπει να λυθεί το παρακάτω σύστημα εξισώσεων, το οποίο περιέχει διάφορες γεωμετρικές σχέσεις που προκύπτουν από το σχήμα 4.16 και τη τιμή από το διάγραμμα Monegon:

- $u = \gamma \sin \delta - \beta$
- $a/u = \text{σταθερά}$ διαγράμματος
(4.10)
- $\epsilon = a + \gamma \cos \delta$
- $k = \tan \omega = \delta/\epsilon$

Πρέπει να τονιστεί ότι η κλίση k μπορεί να πάρει και αρνητικές τιμές, όταν έχουμε υπερύψωση της νότιας πλευράς, που συνεπάγεται και αρνητικές τιμές της παραμέτρου δ . Επιλύοντας το παραπάνω σύστημα καταλήγουμε στη σχέση:

$$e = g \cdot \frac{\frac{a}{u} \cdot \sin b + \cos b}{1 + \frac{a}{u} \cdot k} \quad (4.11)$$

Παρατηρείται ότι η απόσταση ϵ μεταξύ των συστοιχιών είναι ανάλογη με το ύψος γ της συστοιχίας. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η μεταβολή της απόστασης ϵ σε σχέση με την κλίση της συστοιχίας.



Σχήμα 4.17 Καμπύλη απόστασης ϵ σε σχέση με την κλίση των συστοιχιών, για συστοιχίες με ύψος 1m και μηδενική κλίση εδάφους.

Παρατηρείται ότι η απόσταση ϵ αυξάνεται ταυτόχρονα με την αύξηση της κλίσης μέχρι να φτάσει τη μέγιστη τιμή της που είναι περίπου 2,5 φορές μεγαλύτερη από το ύψος των συστοιχιών και εμφανίζεται στις 70° περίπου.

4.4.4 Απόδοση φωτοβολταϊκού πλαισίου

Ο συντελεστής απόδοσης ενός φ/β πλαισίου, ορίζεται με παρόμοιο τρόπο με αυτόν του φ/β στοιχείου. Εκφράζει τον λόγο της μέγιστης ηλεκτρικής ισχύος που παράγει το φ/β πλαίσιο, προς την ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται στην επιφάνεια. Επειδή όμως η επιφάνεια ενός φ/β πλαισίου δεν είναι καλυμμένη εξολοκλήρου από φ/β στοιχεία η απόδοση διαφέρει από την απόδοση των στοιχείων που αποτελείται. Ορίζεται ο **συντελεστής κάλυψης**

(σκ) ενός φ/β πλαισίου ως ο λόγος της συνολικής ενεργού επιφάνειας των ηλιακών στοιχείων, δηλαδή της επιφάνειας του ημιαγωγού όπου γίνεται η απορρόφηση και μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας, προς τη συνολική επιφάνεια του φ/β πλαισίου. Στις παρακάτω σχέσεις οι δείκτες που χρησιμοποιούνται παραπέμπουν στο αν το μέγεθος αφορά το πλαίσιο (m→module) ή το στοιχείο (c→cell). Ο συντελεστής απόδοσης ενός πλαισίου δίνεται από τη σχέση:

$$n_m = \frac{P_{\max}}{G \cdot S_M} = \frac{I_{MAX} \cdot V_{MAX}}{G \cdot S_M}$$

(4.12)

Την ίδια τιμή θα είχε και ο λόγος της μέγιστης ηλεκτρικής ενέργειας E_{\max} που παράγει το φ/β πλαίσιο επί ένα ορισμένο χρονικό διάστημα, προς την ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται επί το ίδιο χρονικό διάστημα:

$$n_m = \frac{E_{\max}}{H \cdot S_M}$$

(4.13)

Τέλος εναλλακτικά θα μπορούσε κάποιος να υπολογίσει τον συντελεστή απόδοσης κατά προσέγγιση από την σχέση:

$$n_m = \frac{P_{\max} \cdot S_k}{G \cdot S_C \cdot N_c}$$

(4.14)

Όπου N_c ο συνολικός αριθμός των φ/β στοιχείων που περιέχονται στο πλαίσιο. Η σχέση 4.14 δεν δίνει ακριβή αποτελέσματα, καθώς σε ένα φ/β πλαίσιο υπάρχουν και άλλες απώλειες, εκτός του συντελεστή κάλυψης.

4.4.5 Επίδραση της θερμοκρασίας στη απόδοση

Ένας σημαντικός παράγοντας, ο οποίος μπορεί να μεταβάλλει αξιοσημείωτα την απόδοση ενός φ/β πλαισίου είναι η θερμοκρασία των φ/β στοιχείων του. Έχει μετρηθεί ότι κυρίως λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχονται, αλλά και λόγω των ηλεκτρικών απωλειών που πραγματοποιούνται πάνω τους, στις αντιστάσεις σειράς, τα φ/β στοιχεία αποκτούν κατά την λειτουργία τους θερμοκρασία αρκετά μεγαλύτερη από αυτή του περιβάλλοντος. Αν T_c είναι η θερμοκρασία του στοιχείου μπορούμε να θεωρήσουμε ότι εξαρτάται αυτή γραμμικά από την θερμοκρασία περιβάλλοντος T_a και την ηλιακή ακτινοβολία G , ως εξής:

$$T_c = T_a + h_w G$$

(4.15)

Όπου h_w είναι ένας χαρακτηριστικός συντελεστής των φ/β πλαισίων, με τιμή συνήθως:

$$h_w = 0,003 \text{m}^2 \cdot \text{°C/W} \quad (4.16)$$

Αυτό συνεπάγεται ότι ένα φ/β πλαίσιο που δέχεται ηλιακή ακτινοβολία 1kW/m^2 , θα έχει θερμοκρασία κατά $30\text{ }^\circ\text{C}$ μεγαλύτερη από αυτή του περιβάλλοντος. Η θερμοκρασία ακόμα επηρεάζεται από την ταχύτητα του ανέμου και γίνεται καλύτερη απαγωγή θερμότητας όσο η ταχύτητα είναι μεγαλύτερη. Ως γενικός κανόνας στους υπολογισμούς φ/β εγκαταστάσεων, που επαληθεύεται και από μετρήσεις σε πραγματικές εγκαταστάσεις, λαμβάνεται συνήθως αύξηση της θερμοκρασίας του φ/β πλαισίου κατά $30\text{ }^\circ\text{C}$ από αυτή του περιβάλλοντος. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά ενός φ/β πλαισίου δίνονται συνήθως σε στάνταρ συνθήκες (STC : Standard Test Conditions, δηλαδή θερμοκρασία 25°C , $AM=1,5$ και ηλιακή ακτινοβολία 1kW/m^2) (βλέπε Παράρτημα Β). Αν υποθέσουμε ότι m, STC η είναι η απόδοση του φ/β πλαισίου σε STC, τότε για να υπολογιστεί η απόδοση σε οποιαδήποτε άλλη θερμοκρασία χρειάζεται ένας **διορθωτικός θερμοκρασιακός συντελεστής** (σθ), ο οποίος δίνεται από τη σχέση:

$$S_q = 1 - (T_c - 25) \cdot 0,005$$

(4.17)

Η σχέση αυτή ισχύει για τα συμβατικά στοιχεία πυριτίου και υποδηλώνει μείωση της απόδοσης κατά $0,005$ ανά βαθμό αύξησης της θερμοκρασίας πάνω από τη θερμοκρασία των $25\text{ }^\circ\text{C}$. Τελικά η απόδοση ενός φ/β πλαισίου σε οποιαδήποτε θερμοκρασία προκύπτει:

$$\eta_m = S_q \cdot \eta_m 25^\circ\text{C}$$

(4.18)

4.4.6 Επίδραση της ρύπανσης στην απόδοση

Ένας άλλος παράγοντας που μπορεί να μειώσει την ηλεκτροπαραγωγή των φ/β πλαισίων, ιδίως όταν έχουν μικρή κλίση, είναι η ρύπανση της επιφάνειάς τους από την επικάλυψη σκόνης, φύλλων, χιονιού κ.α. Η μείωση είναι σημαντικότερη σε αστικές περιοχές λόγω της αιθάλης που αιωρείται στην ατμόσφαιρα και προσκολλάται ισχυρά στην γυάλινη ή πλαστική επιφάνεια των φ/β πλαισίων, χωρίς να μπορεί η βροχή εύκολα να τη ξεπλύνει.

Επομένως είναι σημαντικό όταν η φ/β γεννήτρια πρόκειται να εγκατασταθεί σε

μια περιοχή, που εκτιμάται ότι η ρύπανσή της θα είναι σημαντική να προβλεφθεί στους υπολογισμούς η αντίστοιχη μείωση στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, με τη χρησιμοποίηση ενός **αδιάστατου συντελεστή καθαρότητας** (σ_r). Ο συντελεστής αυτός ορίζεται ως ο λόγος της ηλεκτρικής ισχύος που παράγει το ρυπασμένο φ/β πλαίσιο προς την ηλεκτρική ισχύ που παράγει όταν η επιφάνειά του είναι τελείως καθαρή. Η τιμή του σ_r είναι τόσο μικρότερη από τη μονάδα, όσο εντονότερη είναι η ρύπανση του περιβάλλοντος, όσο μικρότερη είναι η κλίση του φ/β πλαισίου, όσο σπανιότερες είναι οι βροχές στην περιοχή κλπ. Τελικά η απόδοση ενός φ/β πλαισίου, λαμβάνοντας υπόψη την ρύπανση της επιφάνειάς του, προκύπτει:

$$\eta_{m,k} = \sigma_r \cdot \eta_{m,k}$$

(4.19)

όπου $\eta_{m,k}$ η απόδοσή του, όταν είναι καθαρό.

4.5 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΙ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΕΣ

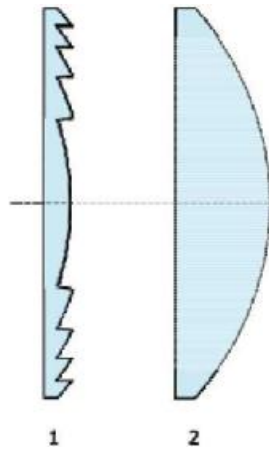
Οι φωτοβολταϊκοί συγκεντρωτές χρησιμοποιούν φακούς ή κάτοπτρα για να συγκεντρώσουν μεγαλύτερη ποσότητα ακτινοβολίας στο ίδιο εμβαδό ενός φ/β πλαισίου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της απαιτούμενης επιφάνειας

για την παραγωγή ενός δεδομένου ποσού ενέργειας. Στόχος των συγκεντρωτών είναι να μειωθεί το κόστος των φ/β εγκαταστάσεων με την μείωση των απαιτούμενων φ/β πλαισίων.

4.5.1 Τύποι οπτικών μέσων

Οι συγκεντρωτές μπορούν να χωριστούν σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με τα οπτικά μέσα που χρησιμοποιούν για να συγκεντρώσουν την ακτινοβολία, των αριθμότων αξόνων περί του οποίους κινούνται για να παρακολουθούν τον ήλιο, τους μηχανισμούς για αυτή τη κίνηση κ.α..

Οι περισσότεροι συγκεντρωτές χρησιμοποιούν είτε διαθλαστικούς φακούς ή ανακλαστικά παραβολικά κάτοπτρα. Φακοί με μέγεθος διαμέτρου μεγαλύτερο από 5cm είναι πρακτικά οικονομικά ασύμφοροι, για αυτό συνήθως χρησιμοποιούνται φακοί Fresnel. Η τεχνική αυτή επιτρέπει τη δημιουργία φακών με μεγάλο άνοιγμα και μικρή εστιακή απόσταση, αποφεύγοντας έτσι το μεγάλο βάρος και τον όγκο των συμβατικών οπτικών φακών. Ένας φακός Fresnel έχει τη μορφή ενός επιπεδόκυρτου φακού ο οποίος έχει εκλεπτυνθεί σε αρκετά σημεία (Σχήμα 4.18). Οι έδρες που δημιουργούνται μπορούν να είναι επίπεδες, εάν είναι πολυάριθμες και αρκετά μικρές ή να έχουν την ίδια μορφή με τον κυρτό φακό.



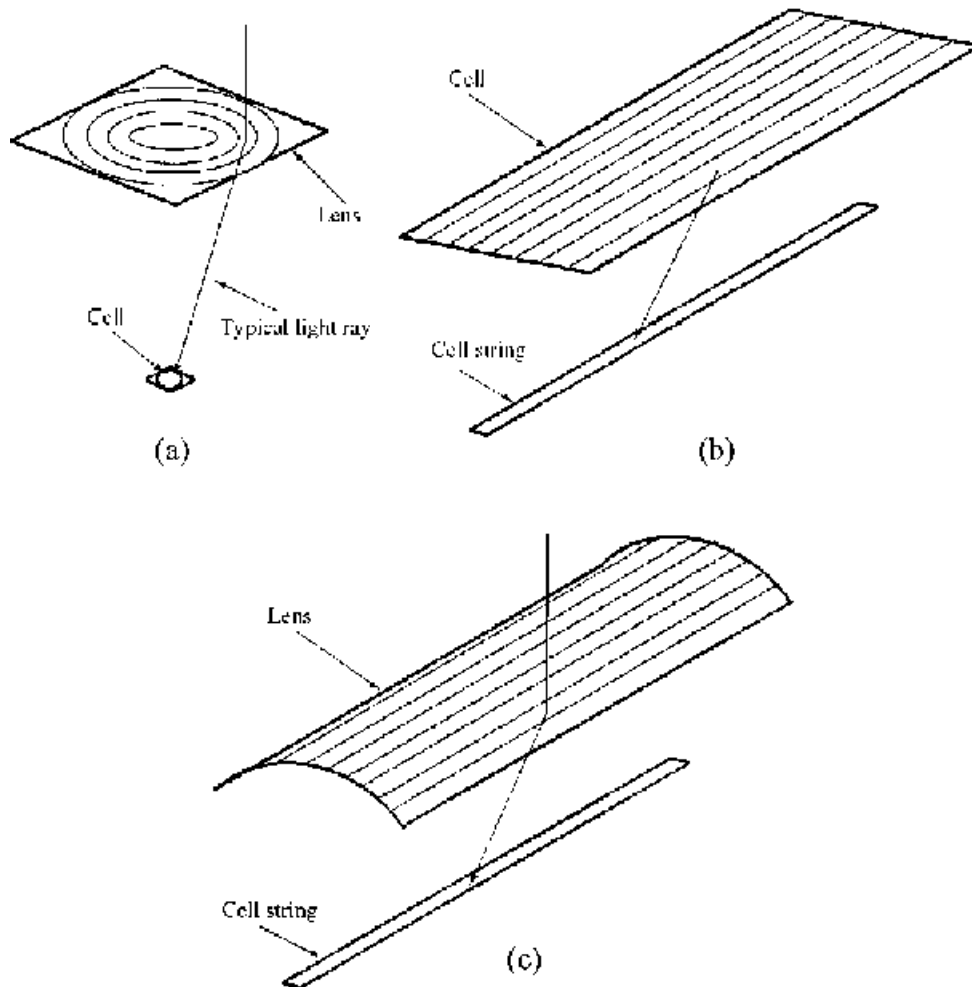
Σχήμα 4.18 1) Κάθετη τομή ενός φακού Fresnel, 2) Κάθετη τομή ενός συμβατικού επιπεδόκυρτου φακού.

Οι φακοί Fresnel μπορεί να είναι κατασκευασμένοι έτσι ώστε να έχουν είτε σημειακή εστίαση (η ακτινοβολία συγκεντρώνεται στην κεντρική εστία του φακού), όπου στη περίπτωση αυτή εμφανίζουν κυκλική συμμετρία περί των άξονά τους, ή να έχουν γραμμική εστίαση, όπου στη περίπτωση αυτή οι ακτίνες συναντώνται σε έναν εγκάρσιο άξονα. Οι φακοί με σημειακή εστίαση συνήθως στέλνουν τις ακτίνες σε μια φ/β κυψέλη, αντίθετα οι γραμμικής εστίασης χρησιμοποιούν μια σειρά από φ/β κυψέλες. Ένας ιδιαίτερα επιτυχημένος φακός με γραμμική εστίαση είναι ο θολωτός φακός Fresnel (Σχήμα 4.19).

Το υλικό από το οποίο είναι φτιαγμένος ένας φακός Fresnel είναι συνήθως ακρυλικό πλαστικό, με εμπορική ονομασία Plexiglas (πολυμερές μεθακρυλικού μεθυλεστέρα, PMMA), το οποίο εκτός από την αντοχή του στις καιρικές συνθήκες, μπορεί εύκολα να αποκτήσει την επιθυμητή φόρμα μέσα σε κατάλληλα καλούπια. Παρόλα τα πλεονεκτήματα, υπάρχουν κάποια ερωτήματα όσον αφορά την μακροχρόνια αντοχή του.

Μια εναλλακτική των διαθλαστικών φακών αποτελούν οι ανακλαστικοί φακοί ή καθρέφτες. Σε ένα παραβολικό ανακλαστήρα, αν η γωνία πρόσπτωσης στην εσωτερική επιφάνειά του είναι ίση με την γωνία ανάκλασης, τότε

συγκεντρώνονται όλες τις ακτίνες που είναι παράλληλες με τον άξονα της παραβολής σε ένα σημείο, στην εστία της παραβολής. Όπως και οι φακοί έτσι και τα κάτοπτρα μπορούν είναι σημειακής εστίασης ή γραμμικής εστίασης (Σχήμα 4.20).



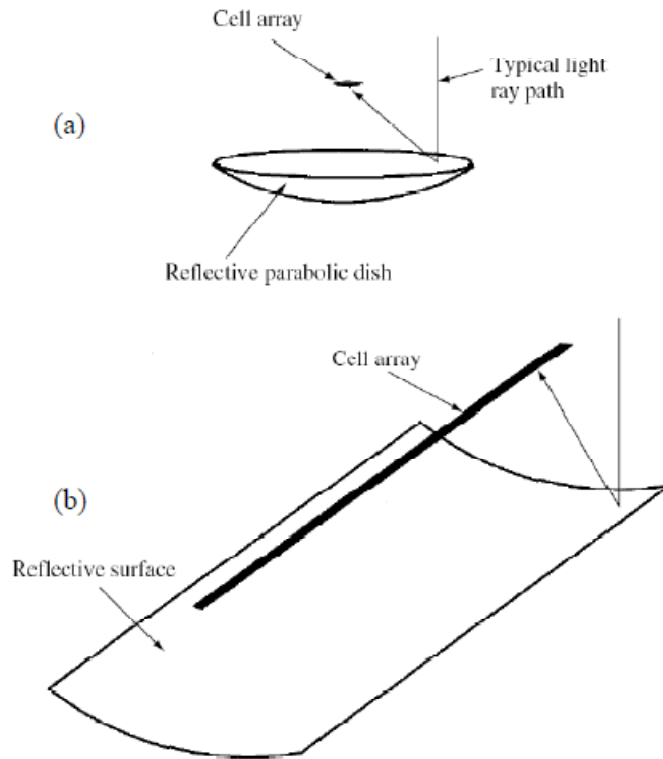
Σχήμα 4.19 Φακοί Fresnel. (a) Φακός Fresnel σημειακής εστίασης, όπου φαίνεται μια ακτίνα να προσπίπτει στην κυκλική επιφάνεια του ηλιακού συλλέκτη, (b) Φακός Fresnel γραμμικής εστίασης, (c) Θολωτός φακός Fresnel με γραμμική εστίαση.

4.5.2 Συντελεστής συγκέντρωσης

Χρησιμοποιούνται διάφοροι ορισμοί του συντελεστή συγκέντρωσης. Ο **γεωμετρικός συντελεστής συγκέντρωσης** ορίζεται ως ο λόγος της επιφάνειας του φακού προς την ενεργό επιφάνεια της φ/β κυψέλης, της επιφάνειας δηλαδή της κυψέλης που ακτινοβολείται.

Ένας άλλος τρόπος για να μετρηθεί η συγκεντρωτική ικανότητα ενός φακού είναι ο **συντελεστής έντασης συγκέντρωσης**, ο οποίος μετράται σε ήλιους (Suns). Ορίζεται ως ο λόγος της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας που συγκεντρώνεται στην επιφάνεια της κυψέλης, προς την ένταση ενός ήλιου, δηλαδή 1kW/m^2 .

Είναι φανερό ότι στη ιδανική περίπτωση που ο φακός έχει 100% βαθμό απόδοσης και η άμεση ηλιακή ακτινοβολία έχει την τιμή του 1Sun, τότε οι τιμές των δύο παραπάνω συντελεστών συμπίπτουν. Εν γένει, όμως επειδή η άμεση ηλιακή ακτινοβολία είναι σχεδόν πάντα μικρότερη από 1kW/m^2 και ο βαθμός απόδοσης σαφώς μικρότερος από 100%, ο γεωμετρικός συντελεστής συγκέντρωσης, προκύπτει μεγαλύτερος από τον συντελεστή της έντασης συγκέντρωσης.

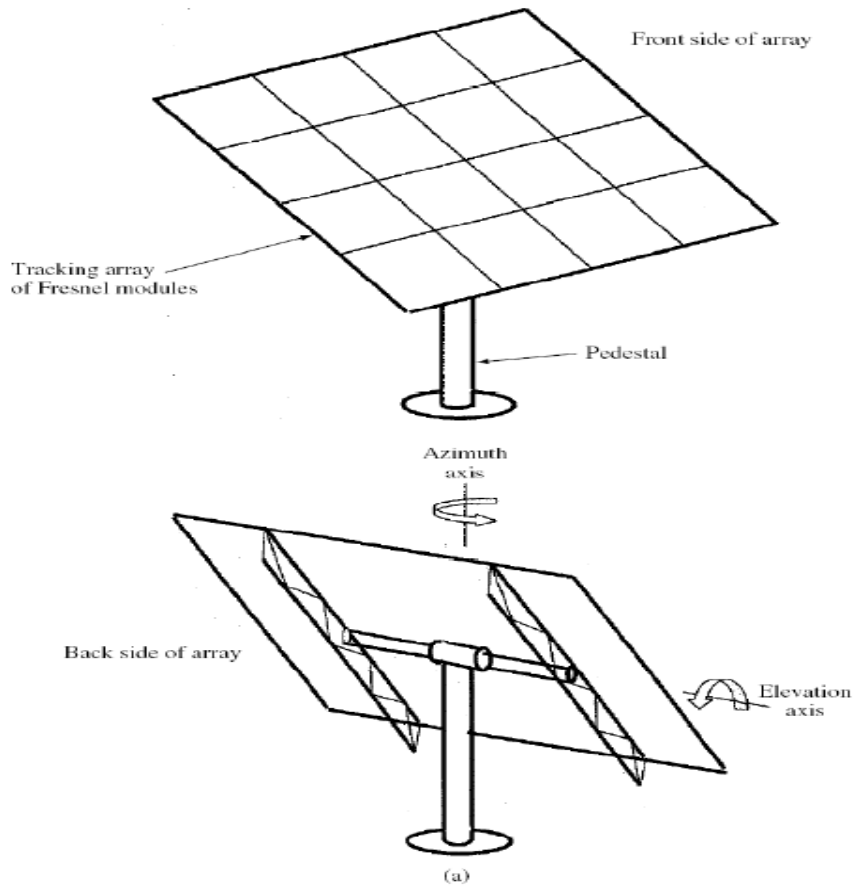


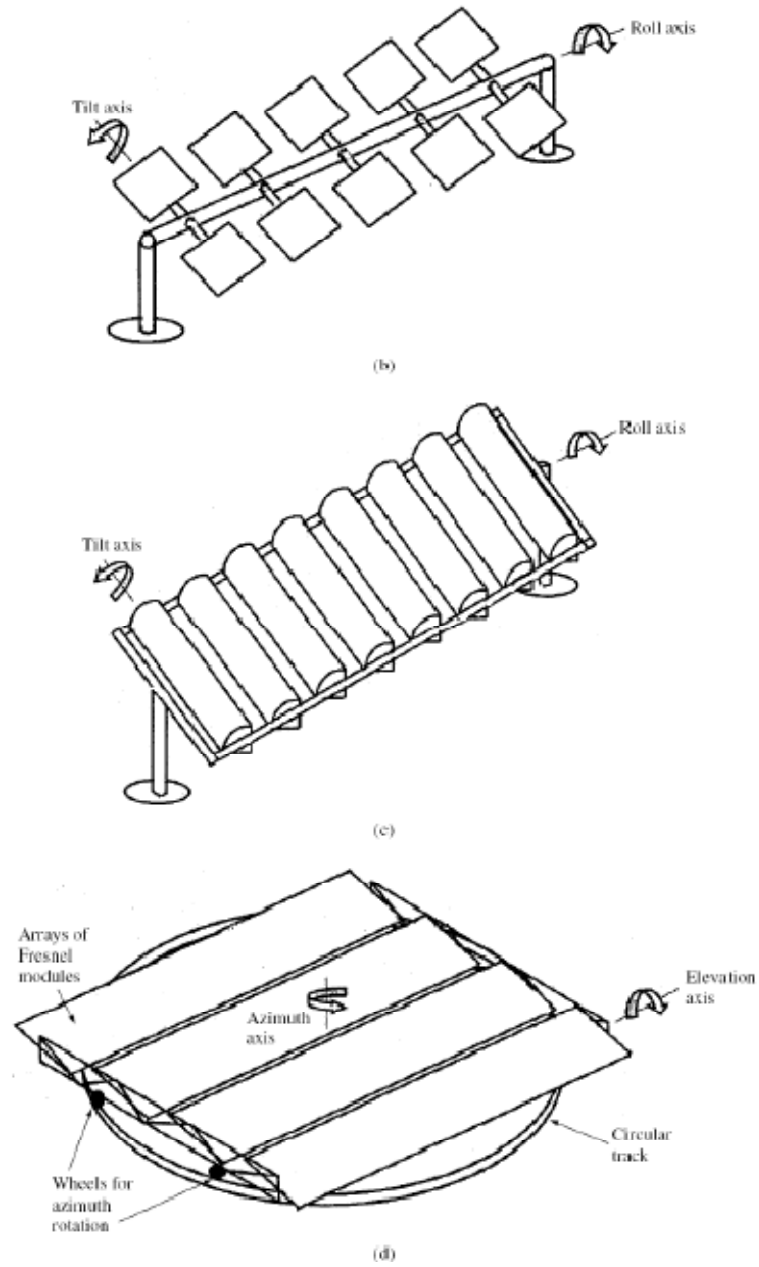
Σχήμα 4.20 Ανακλαστικοί συγκέντρωτες .(a) Ανακλαστικό παραβολοειδές, όπου εστιάζει σε μια κυψέλη, (b) Παραβολικό κάτοπτρο γραμμικής εστίασης

4.5.3 Παρακολούθηση της θέσης του ήλιου

Τα οπτικά μέσα σημειακής εστίασης, εν γένει απαιτούν παρακολούθηση δύο αξόνων, έτσι ώστε πάντα να στοχεύουν τον ήλιο και η ηλιακή ακτινοβολία που συγκεντρώνεται να προσπίπτει στον συλλέκτη. Από μηχανικής πλευράς, η παρακολούθηση δύο αξόνων είναι πιο πολύπλοκη από αυτήν του ενός άξονα, παρόλα αυτά η συγκέντρωση αυξάνεται και το κόστος των συλλεκτών μειώνεται. Τα ανακλαστικά κάτοπτρα γραμμικής εστίασης χρειάζονται παρακολούθηση μόνο κατά μήκος ενός άξονα. Όμως οι γραμμικοί συγκεντρωτές Fresnel απαιτούν παρακολούθηση δύο αξόνων, καθώς εμφανίζουν σοβαρές αποκλίσεις

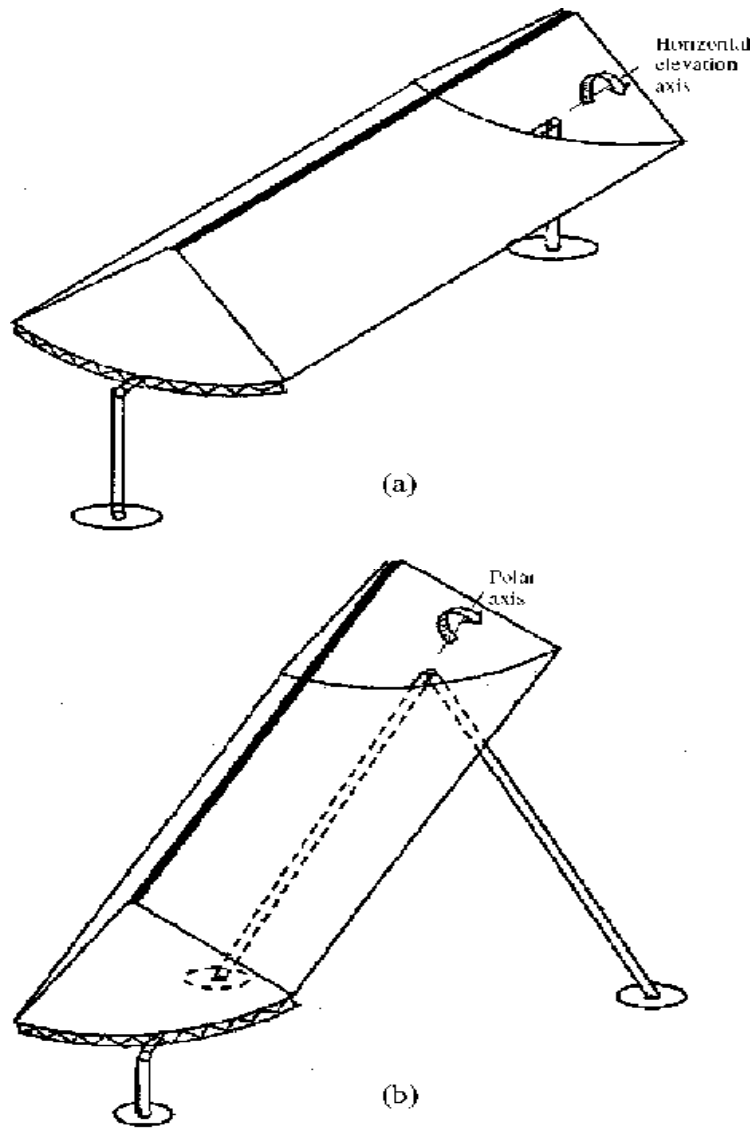
όταν ο ήλιος δεν είναι κάθετος στον επιμήκη άξονα. Όσον αφορά την παρακολούθηση δύο αξόνων χρησιμοποιούνται συνήθως τρεις διατάξεις. Η μορφή που φαίνεται στο σχήμα 4.21(a), χρησιμοποιεί ένα κυλινδρικό στήριγμα, πάνω στον οποίο συνδέεται ένα σύνολο κυψελών. Η παρακολούθηση γίνεται συνήθως με τη βοήθεια κιβωτίου ταχυτήτων, το οποίο κινεί τις κυψέλες κατά μήκος ενός κάθετου άξονα (κίνηση περί τον αζιμουθιακό άξονα) και κατά μήκος ενός οριζόντιου άξονα (άξονας ανύψωσης). Το πλεονέκτημα της συγκεκριμένης διάταξης είναι η απλότητα της κατασκευής, ενώ μειονεκτεί όσον αφορά το γεγονός ότι οι δυνάμεις που ασκούνται από τον αέρα μεταφράζονται σε μεγάλη ροπή στο κιβώτιο. Μια άλλη υλοποίηση φαίνεται στο σχήμα 4.21(b), στην οποία το φορτίο του αέρα είναι σαφώς μειωμένο, όμως απαιτούνται περισσότερες συνδέσεις και ρουλεμάν, κάνοντας την κατασκευή πιο σύνθετη. Μια παραλλαγή της διάταξης αυτής φαίνεται στο σχήμα 4.21(c). Τέλος υπάρχει και η διάταξη του σχήματος 4.21(d), η οποία εμφανίζει τα μικρότερα φορτία αέρα και έχει την πιο μικρή και συμπαγή κατασκευή, όμως από την άλλη έχει και την πιο σύνθετη εγκατάσταση.





Σχήμα 4.21 Διάφορες παραλλαγές παρακολούθησης σε δύο άξονες

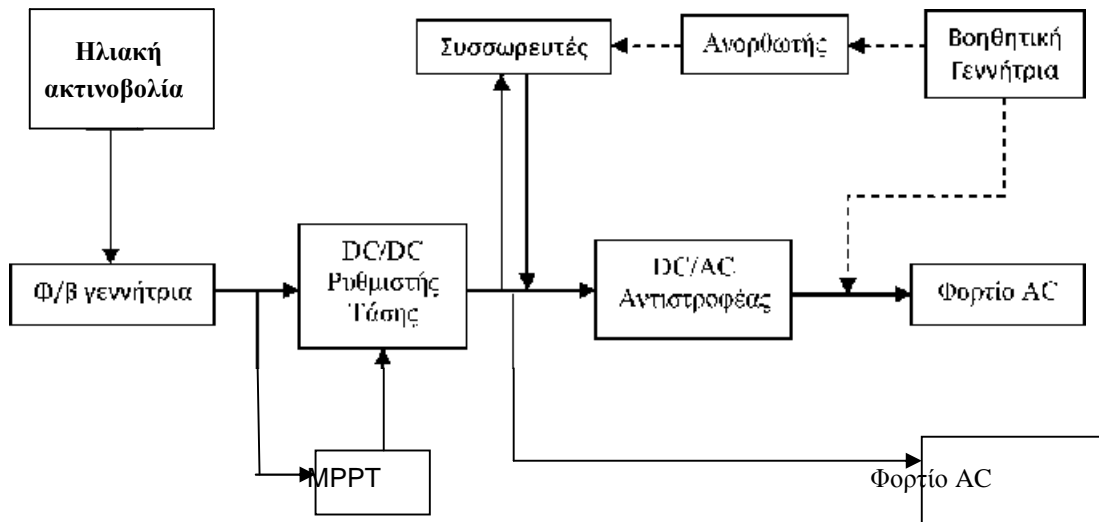
Στην παρακολούθηση ενός άξονα, ως άξονας κίνησης μπορεί να επιλεγεί είτε ο οριζόντιος είτε ο πολικός, όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.22. Ο οριζόντιος άξονας επιτρέπει την επιλογή μεγαλύτερης επιφάνειας ανά συσκευή παρακολούθησης σε σύγκριση με τον πολικό και συνήθως χρησιμοποιούνται ανακλαστικά κάτοπτρα. Ο πολικός άξονας, από την άλλη πλεονεκτεί όσον αφορά την συγκομιδή ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας έναντι του οριζόντιου άξονα κάνει όμως την εγκατάσταση πιο περίπλοκη μηχανικά. Παρόλα αυτά η πιο συνηθισμένη επιλογή είναι αυτή του οριζόντιου άξονα, κυρίως λόγω της απλότητας της κατασκευής.



Σχήμα 4.22 Παρακολούθηση ενός άξονα. (a) Οριζόντιος άξονας παρακολούθησης με ανακλαστικό κάτοπτρο. (b) Πολικός άξονας παρακολούθησης με ανακλαστικό κάτοπτρο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 - ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

5.1 ΑΥΤΟΝΟΜΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ (STAND ALONE)



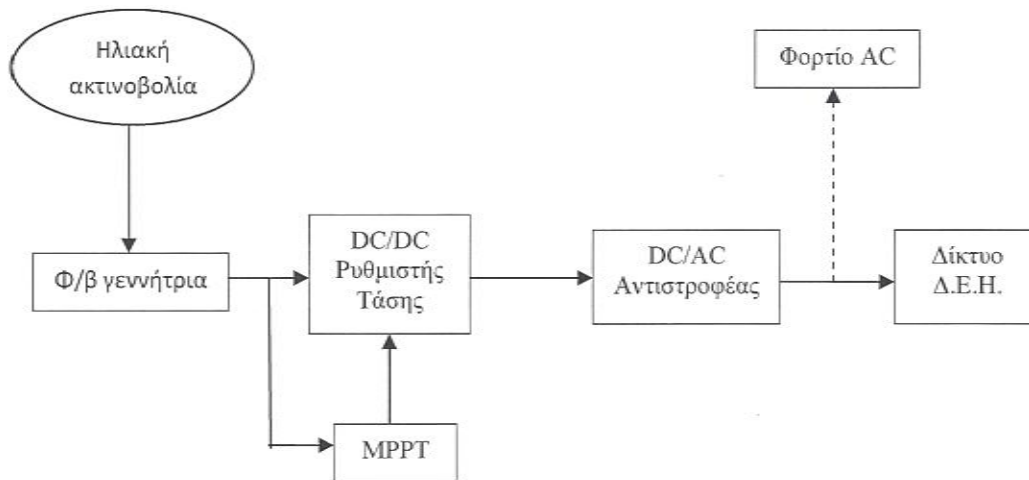
Σχήμα 5.1 Απλοποιημένο διάγραμμα αυτόνομου φ/β συστήματος. Εάν χρησιμοποιηθεί μια βοηθητική πηγή ενέργειας, όπως φαίνεται στο σχήμα με την διακεκομμένη γραμμή, τότε το σύστημα καλείται υβριδικό φ/β σύστημα.

Οι αυτόνομες ηλεκτρικές εγκαταστάσεις αποτελούν ίσως τις πληρέστερες εφαρμογές της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας. Είναι εγκαταστάσεις που λειτουργούν αυτοδύναμα για την τροφοδότηση καθορισμένων καταναλώσεων, χωρίς να συνδέονται με μεγάλα κεντρικά ηλεκτρικά δίκτυα διανομής, από τα οποία θα μπορούσαν να αντλούν συμπληρωματική ενέργεια ή να στέλνουν την περίσσεια της παραγόμενης. Αποτελούν την ιδανικότερη λύση για περιοχές που βρίσκονται μακριά από το κεντρικό δίκτυο και στις οποίες η διασύνδεσή τους με αυτό θα απαιτούσε τεράστια οικονομικά κεφάλαια. Ειδικότερα για τον ελλαδικό χώρο, ο οποίος έχει πολυάριθμα μικρά νησιά και μικρούς οικισμούς, τα αυτόνομα φ/β συστήματα έχουν βρει πολλές εφαρμογές, ενώ υπάρχουν ακόμα πολλές δυνατότητες ανάπτυξης.

Στο σχήμα 5.1 φαίνεται ένα απλοποιημένο διάγραμμα ενός τέτοιου συστήματος. Αποτελείται καταρχήν από τη **φ/β γεννήτρια**, η οποία είναι και το

βασικότερο συστατικό του συστήματος, αφού εκεί γίνεται η μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Έπειτα περιλαμβάνει **συσσωρευτές** για την αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας, σε περιόδους που η παραγόμενη ενέργεια εμφανίζει περίσσεια και για την χρησιμοποίησή της, όταν η παραγωγή είναι ανεπαρκής. Όπως είναι κατανοητό η χωρητικότητα των μπαταριών είναι δεδομένη και υπάρχει το ενδεχόμενο να μην καλύπτουν τις ανάγκες του φορτίου σε παρατεταμένες περιόδους συννεφιάς ή κάποιας βλάβης του συστήματος. Από την άλλη η επιλογή συσσωρευτών πολύ μεγάλης χωρητικότητας κρίνεται οικονομικά ασύμφορη. Η ιδανικότερη λύση είναι μια βοηθητική γεννήτρια (συνήθως νηζελογεννήτρια), η οποία τίθεται σε λειτουργία όταν είναι αναγκαίο. Συχνά τα συστήματα αυτά καλούνται **υβριδικά φ/β συστήματα** και μπορεί να περιέχουν και άλλες εναλλακτικές βοηθητικές πηγές ενέργειας (π. χ. ανεμογεννήτρια). Τα υβριδικά μπορούν επίσης να αποτελέσουν μια λογική προσέγγιση σε καταστάσεις όπου οι περιστασιακές αιχμές ζήτησης είναι σημαντικά υψηλότερες από τη ζήτηση φορτίου βάσης. Τέλος αναπόσπαστα συστατικά ενός αυτόνομου συστήματος είναι οι διατάξεις για την μετατροπή της παραγόμενης ενέργεια από τα φ/β στοιχεία σε μορφή κατάλληλη για την τροφοδότηση των φορτίων, οι οποίες περιέχουν έναν **DC/DC μετατροπέα** σε συνδυασμό με έναν **ανιχνευτή μέγιστης ισχύος(MPPT)** και έναν **DC/AC αντιστροφέα**.

5.2 ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ (GRID CONNECTED)



Σχήμα 5.2 Απλοποιημένο διάγραμμα διασυνδεδεμένου φ/β συστήματος

Μια διαφορετική προσέγγιση της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας είναι η εφαρμογή των διασυνδεδεμένων φ/β συστημάτων, στα οποία η ηλεκτρική ενέργεια τροφοδοτείται στο δίκτυο. Υπάρχουν δύο διαφορετικές υλοποιήσεις, ανάλογα με το αν τροφοδοτείται κάποιο φορτίο απευθείας από το σύστημα ή όχι (Σχήμα 5.2). Σε ένα διασυνδεδεμένο σύστημα το δίκτυο ενεργεί όπως μια μπαταρία με απεριόριστη

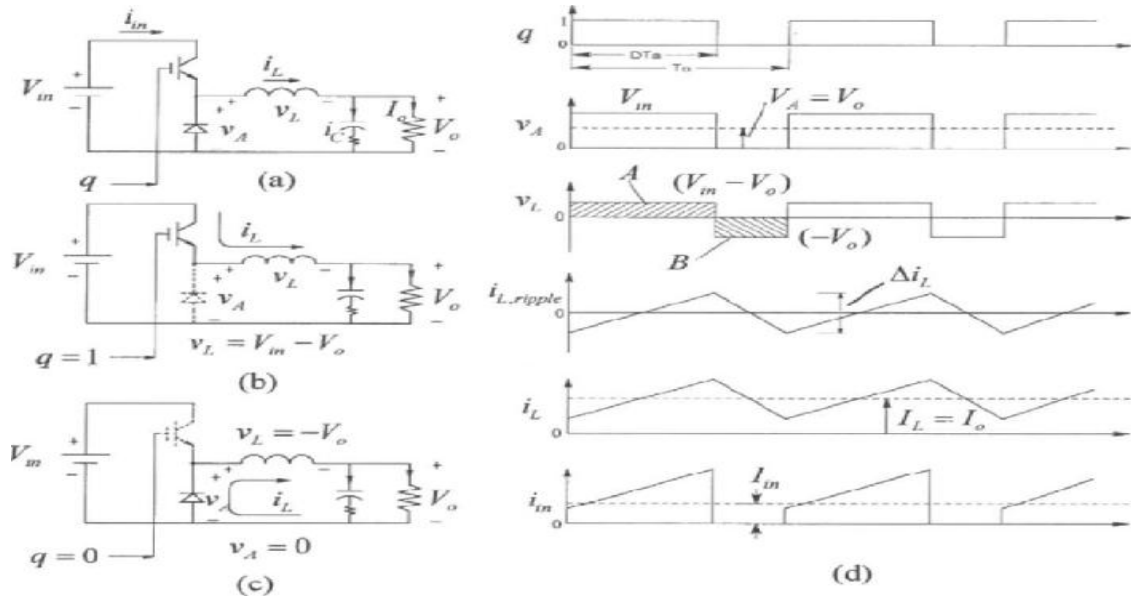
ικανότητα αποθήκευσης. Επομένως, η συνολική αποδοτικότητα ενός διασυνδεδεμένου φ/β συστήματος, θα είναι καλύτερη από την αποδοτικότητα ενός

αυτόνομου συστήματος, αφού το δίκτυο έχει πρακτικά απεριόριστη ικανότητα αποθήκευσης και επομένως η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια μπορεί πάντοτε να αποθηκεύεται. Αντιθέτως στις αυτόνομες εφαρμογές οι συσσωρευτές θα είναι ενίοτε πλήρως φορτισμένες, όποτε η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια θα πρέπει με κάποιο τρόπο να αποβάλλεται.

5.3 ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΤΑΣΗΣ (DC/DC CONVERTER)

Σε ένα φ/β σύστημα η παραγόμενη τάση από τα φ/β στοιχεία δεν έχει σταθερή τιμή, αλλά μεταβάλλεται γύρω από μια μέση τιμή. Για να σταθεροποιηθεί η τάση εξόδου της φ/β γεννήτριας και να καταστεί κατάλληλη για την είσοδό της στον αντιστροφέα χρησιμοποιούνται μετατροπείς συνεχούς ρεύματος. Οι μετατροπείς μπορούν να χωριστούν σε κατηγορίες ανάλογα με το αν η τάση εξόδου που βγάζουν είναι μεγαλύτερη ή μικρότερη από την τάση εισόδου και ακόμα ανάλογα με την περιοχή λειτουργίας. Η ανάλυση που ακολουθεί αφορά τη μόνιμη κατάσταση των μετατροπέων και τα στοιχεία θεωρούνται ιδανικά.

Μετατροπέας Υποβιβασμού (Step-Down Converter ή Buck Converter)



Σχήμα 5.3 (a) Κύκλωμα μετατροπέα υποβιβασμού, (b) Διακόπτης κλειστός, (c) Διακόπτης ανοιχτός, (d) Κυματομορφές για συνεχόμενο ρεύμα εξόδου.

Το κύκλωμα ενός μετατροπέα υποβιβασμού φαίνεται στο σχήμα 5.3(a). Όταν ο διακόπτης είναι κλειστός, η διόδος πολώνεται ανάστροφα και η είσοδος παρέχει ενέργεια τόσο στο φορτίο όσο και στο πηνίο (Σχήμα 5.3(b)). Όταν ο διακόπτης ανοίξει, το ρεύμα του πηνίου ρέει μέσω της διόδου προς το φορτίο, μεταφέροντας έτσι μέρος της αποθηκευμένης του ενέργειας προς αυτό (Σχήμα 5.3(c)).

Ο μετατροπέας αυτός δέχεται στην είσοδό του μια συνεχή τάση V_{in} και δίνει στην έξοδό του συνεχή τάση μικρότερης τιμής V_o . Η μέση τιμή της τάσης εξόδου δίνεται από τη σχέση:

$$V_o = V_a = DV_{in} \quad (5.1)$$

όπου το D δείχνει τη σχετική διάρκεια αγωγής του διακόπτη και δίνεται από τη σχέση:

$$D = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} = \frac{t_{on}}{T_s} \quad (5.2)$$

όπου t_{on} η διάρκεια κατά την οποία άγει ο διακόπτης για μια περίοδο, t_{off} η διάρκεια

κατά την οποία δεν άγει και T_s η περίοδος. Η μέση τιμή της τάσης εξόδου V_o προκύπτει ίση με την τάση στα άκρα της διόδου V_a , καθώς η μέση τιμή της τάσης του

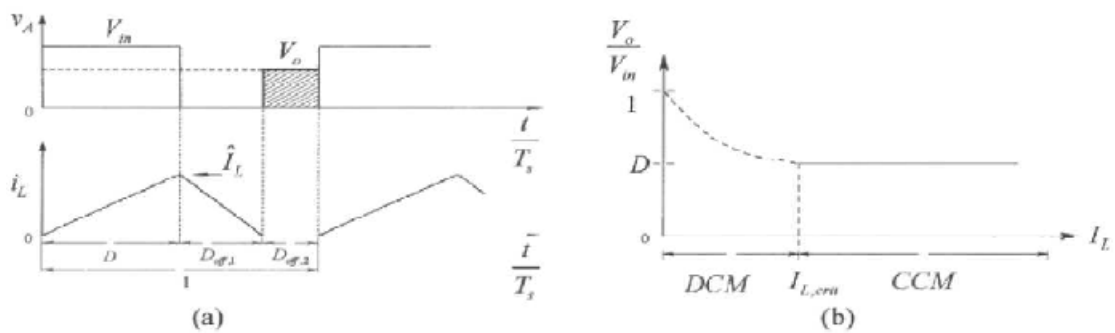
πηγίου για χρόνο μιας περιόδου είναι μηδέν.

Το ρεύμα εξόδου μπορεί να είναι είτε συνεχές είτε διακοπτόμενο, γεγονός που εξαρτάται από το φορτίο και τη χρονική διάρκεια t_{on} . Οι κυματομορφές για την

κατάσταση συνεχούς ρεύματος εξόδου (Continuous Conduction Mode - CCM) φαίνονται στο σχήμα 5.3(d), ενώ η κατάσταση διακοπτόμενου ρεύματος εξόδου φαίνεται στο σχήμα 5.4 (Discontinuous Conduction Mode - DCM). Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε από τη γραφική παράσταση του σχήματος 5.4(b), υπάρχει μια κρίσιμη μέση τιμή του ρεύματος του πηγίου, κάτω από την οποία το ρεύμα γίνεται ασυνεχές. Η μέση τιμή αυτή δίνεται από τη σχέση:

$$I_{LBuck} = \frac{V_{in}}{2Lfs} D(1 - D) \quad (5.3)$$

Τέλος επειδή τόσο η τάση όσο και το ρεύμα είναι θετικά κατά τη λειτουργία του μετατροπέα, για αυτό και ονομάζεται μετατροπέας πρώτου τεταρτημορίου.



Σχήμα 5.4 Μετατροπέας υποβιβασμού στη κατάσταση διακοπτόμενου ρεύματος (DCM).

Έλεγχος με την τεχνική PWM

Η μέση τιμή της τάσης εξόδου μπορεί να ρυθμιστεί με τη μέθοδο της διαμόρφωσης πλάτους (PWM). Όπως φαίνεται και από τη σχέση 5.1, η τάση αυτή εξαρτάται από το χρόνο τον οποίο άγει ο διακόπτης σε χρόνο μιας περιόδου. Σύμφωνα με την τεχνική της PWM, η μέση τιμή της τάσης εξόδου ελέγχεται ρυθμίζοντας τη σχετική διάρκεια αγωγής του διακοπτικού στοιχείου. Η περίοδος καθώς και η συχνότητα μετάβασης του διακόπτη είναι σταθερά, ενώ αυτό που μεταβάλλεται είναι η σχετική διάρκεια αγωγής αυτού, δηλαδή ο λόγος D .

Η τάση εξόδου του μετατροπέα μετράται και συγκρίνεται με την επιθυμητή τάση και έπειτα το σήμα λάθους ενισχύεται από έναν ενισχυτή, του οποίου η

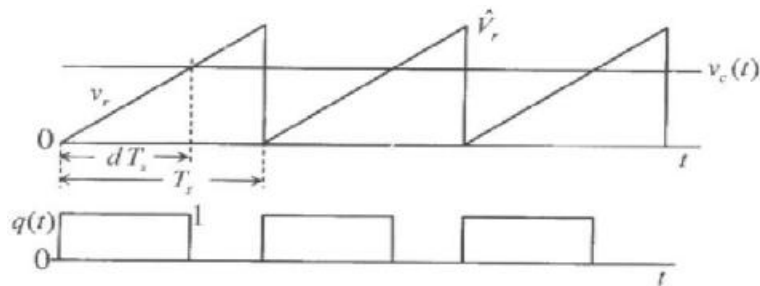
έξοδος είναι το σήμα ελέγχου $v_c(t)$. Έπειτα το σήμα ελέγχου $v_c(t)$ συγκρίνεται με μια πριονωτή

τάση $v_r(t)$, η οποία έχει πλάτος V_r και σταθερή συχνότητα f_s . Παράγεται έτσι το διακοπτικό σήμα το οποίο έχει τιμή 1 όταν $v_c(t) > v_r(t)$, και 0 όταν $v_c(t) < v_r(t)$ (Σχήμα 5.5). Έτσι η σχετική διάρκεια αγωγής μπορεί να εκφραστεί συναρτήσει των δύο αυτών τάσεων ως εξής:

$$D = \frac{V_c}{V_r}$$

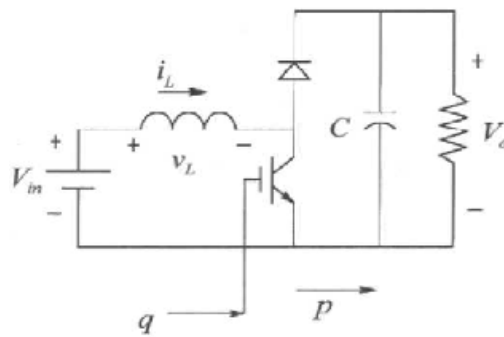
(5.4)

Με αυτόν τον τρόπο το σήμα ελέγχου που μπορεί να κυμαίνεται από 0 μέχρι V_r , και να ελέγχει γραμμικά και δυναμικά τον λόγο D .



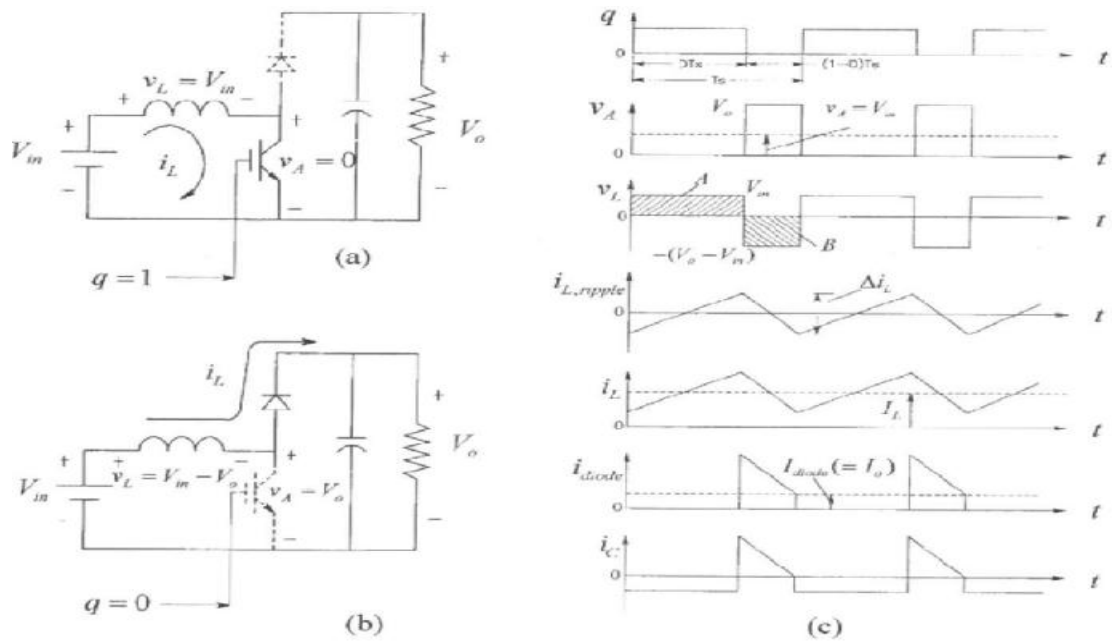
Σχήμα 5.5 Έλεγχος της τάσης εξόδου με την τεχνική PWM.

Μετατροπέας Ανύψωσης (Step-Up Converter ή Boost Converter)

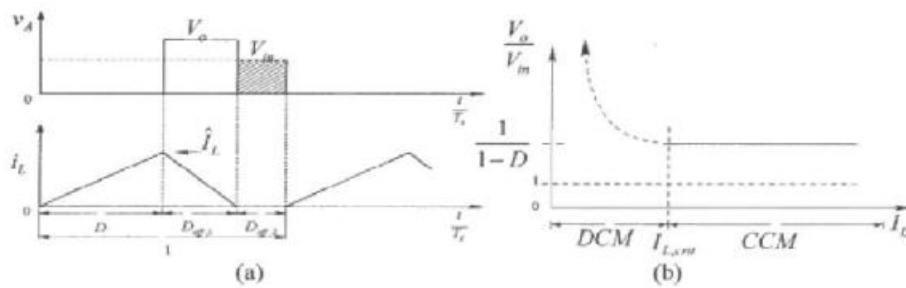


Σχήμα 5.6 Μετατροπέας αύξησης.

Το κύκλωμα ενός μετατροπέα αύξησης φαίνεται στο σχήμα 5.6. Όταν ο διακόπτης είναι κλειστός το ρεύμα στο πηνίο αυξάνεται και αποθηκεύεται ενέργεια σε αυτό, ενώ η διόδος είναι σε κατάσταση αποκοπής, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει σύνδεση μεταξύ εισόδου και εξόδου (Σχήμα 5.7(a)). Όταν ο διακόπτης ανοίξει, ρεύμα περνάει από τη διόδο και φτάνει στην έξοδο, με αποτέλεσμα η έξοδος να δέχεται ενέργεια τόσο από την πηγή όσο και από το πηνίο (Σχήμα 5.7(b)).



Σχήμα 5.7 Μετατροπέας ανύψωσης. (α) Διακόπτης κλειστός, (β) Διακόπτης ανοιχτός, (γ) Κυματομορφές για συνεχόμενο ρεύμα εξόδου.



Σχήμα 5.8 Μετατροπέας ανύψωσης στη κατάσταση διακοπτόμενου ρεύματος.

Ο μετατροπέας αυτός δέχεται στην είσοδό του μια συνεχή τάση V_{in} και δίνει στην έξοδό του συνεχή τάση μεγαλύτερης τιμής V_o . Η μέση τιμή της τάσης εξόδου δίνεται από τη σχέση:

$$V_o = \frac{t_{on} + t_{off}}{t_{off}} V_{in} = \frac{T_s}{T_s - t_{on}} = \frac{1}{1 - D} V_{in} \quad (5.5)$$

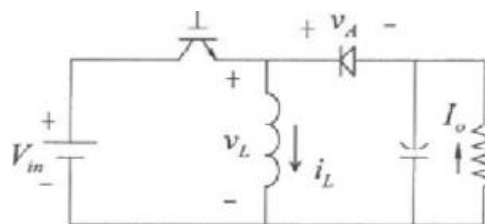
Και σε αυτή τη περίπτωση το ρεύμα εξόδου μπορεί να είναι είτε συνεχές είτε διακοπτόμενο. Οι κυματομορφές για την κατάσταση συνεχούς ρεύματος εξόδου (CCM) φαίνονται στο σχήμα 5.7(c), ενώ η κατάσταση διακοπτόμενου ρεύματος εξόδου στο σχήμα 5.8 (DCM). Η κρίσιμη μέση τιμή του ρεύματος του πηνίου, δίνεται από τη σχέση:

$$I_{Lboost} = \frac{V_{in}}{2Lfs} D$$

(5.6)

Τέλος επειδή τόσο η τάση όσο και το ρεύμα είναι θετικά κατά τη λειτουργία του μετατροπέα είναι και αυτός ο μετατροπέας πρώτου τεταρτημορίου.

Μετατροπέας Ανύψωσης-Υποβιβασμού (Buck-Boost Converter)



Σχήμα 5.9 Μετατροπέας ανύψωσης-υποβιβασμού

Το κύκλωμα ενός μετατροπέα ανύψωσης-υποβιβασμού φαίνεται στο σχήμα 5.9. Όταν ο διακόπτης είναι κλειστός, το ρεύμα στο πηνίο αυξάνεται και αποθηκεύεται ενέργεια σε αυτό ενώ η διόδος πολώνεται ανάστροφα (Σχήμα 5.10(a)). Όταν ο διακόπτης ανοίξει, το ρεύμα του πηνίου ρέει μέσω της διόδου προς το φορτίο, μεταφέροντας έτσι μέρος της αποθηκευμένης του ενέργειας προς αυτό (Σχήμα 5.10(b)).

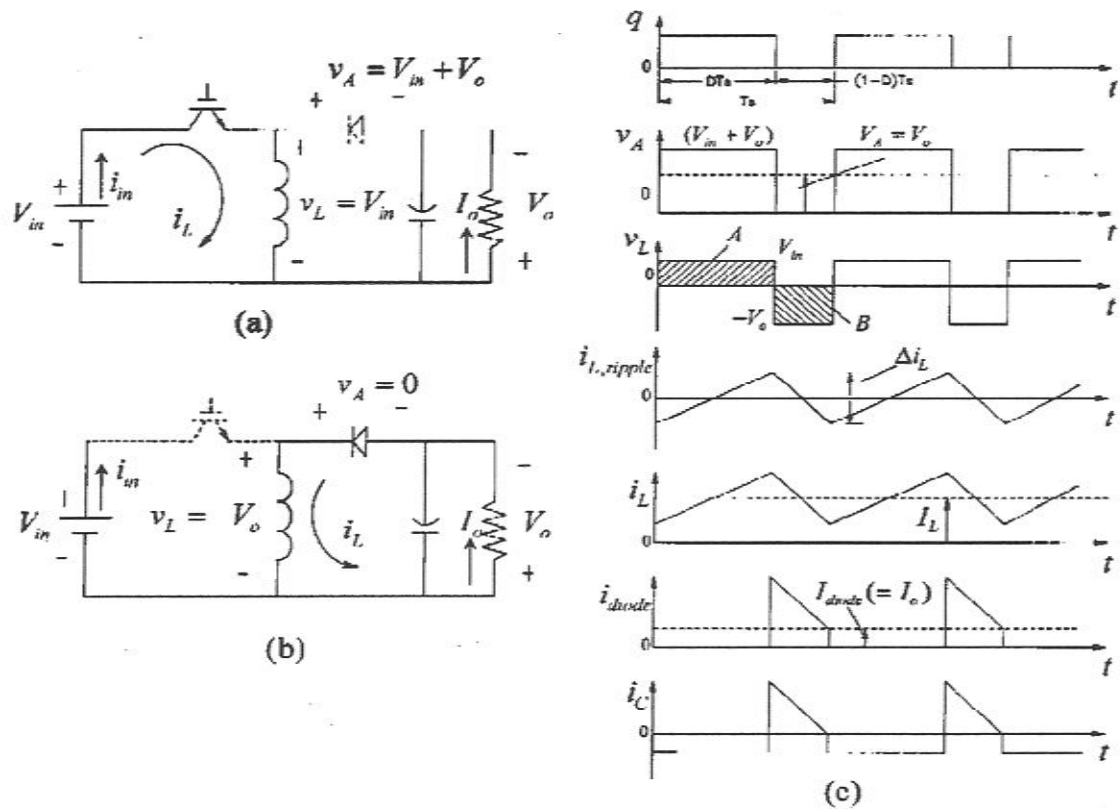
Η σχέση που συνδέει την μέση τιμή της τάσης εισόδου με την τιμή της τάσης εξόδου προκύπτει:

$$V_o \frac{D}{1-D} V_{in} \quad (5.7)$$

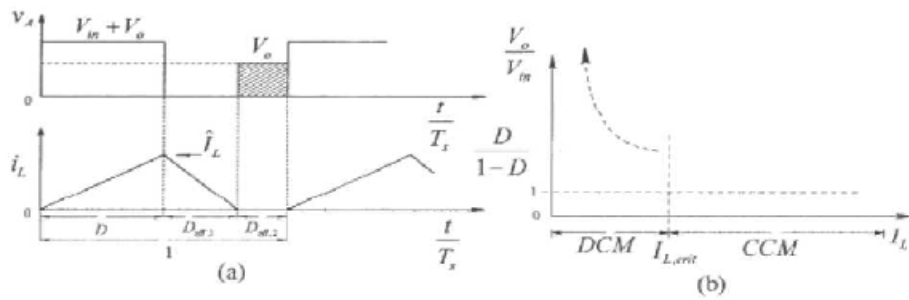
όπου παρατηρούμαι ότι η τάση εξόδου μπορεί να είναι είτε μεγαλύτερη είτε μικρότερη από την τάση εισόδου ανάλογα με την τιμή του συντελεστή D.

Οι κυματομορφές για την κατάσταση συνεχούς ρεύματος εξόδου (CCM) φαίνονται στο σχήμα 5.10(c), ενώ η κατάσταση διακοπτόμενου ρεύματος εξόδου στο σχήμα 5.11 (DCM). Η κρίσιμη μέση τιμή του ρεύματος του πηνίου είναι ίδια με την περίπτωση του μετατροπέα ανύψωσης και δίνεται από τη σχέση:

$$I_{L_{Buck - Boost}} = \frac{V_{in}}{2Lf_s} D \quad (5.8)$$



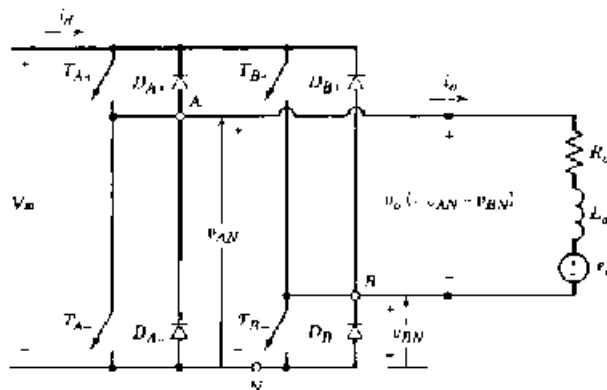
Σχήμα 5.10 Μετατροπέας ανύψωσης-υποβιβασμού. (α) διακόπτης κλειστός (β) διακόπτης ανοικτός
 (c) Κυματομορφές για συνεχόμενο ρεύμα εξόδου



Σχήμα 5.11 Μετατροπέας ανύψωσης-υποβιβασμού στη κατάσταση διακοπόμενου ρεύματος (DCM).

Μετατροπέας πλήρους γέφυρας

Ο μετατροπέας πλήρους γέφυρας φαίνεται στο Σχήμα 5.12 χρησιμοποιεί συνολικά τέσσερις διακόπτες και τέσσερις διόδους τοποθετημένες αντιπαράλληλα. Κάθε σκέλος αποτελείται από δύο ζεύγη διακοπών - διόδων και λειτουργεί κατά τέτοιο τρόπο ώστε ποτέ την ίδια στιγμή οι διακόπτες του να μην είναι ταυτόχρονα ανοιχτοί ή κλειστοί. Έτσι για κάθε σκέλος κάθε στιγμή ο ένας διακόπτης είναι ανοιχτός ενώ ο άλλος κλειστός. Στον μετατροπέα αυτόν η τάση εισόδου έχει καθορισμένη τιμή V_{in} ενώ η τάση εξόδου V_o , μπορεί να αλλάζει τόσο πλάτος όσο και πολικότητα. Για τον έλεγχο της τάσης εξόδου, χρησιμοποιείται η τεχνική της διαμόρφωσης εύρους παλμών, όπου η τάση ελέγχου V_c συγκρίνεται αυτή τη φορά με μία τριγωνική κυματομορφή.



Σχήμα 5.12 Μετατροπέας πλήρους γέφυρας.

Αντίθετα από τα παραπάνω είδη μετατροπών, ο μετατροπέας με πλήρη γέφυρα έχει την ικανότητα να μεταφέρει ενέργεια αμφίδρομα, καθώς έχει την δυνατότητα να αντιστρέφει την πολικότητα τόσο στην τάση εξόδου V_o , όσο και στο ρεύμα εξόδου

I_o . Για αυτό και ονομάζεται μετατροπέας τεσσάρων τεταρτημορίων.

5.4 ΑΝΙΧΝΕΥΤΕΣ ΣΗΜΕΙΟΥ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΙΣΧΥΟΣ - MAXIMUM POWER POINT TRACKERS (MPPT)

Η τεχνολογία της ανίχνευσης της μέγιστης ισχύος, άρχισε να χρησιμοποιείται σχετικά πρόσφατα στις εφαρμογές των φωτοβολταϊκών και αποτελεί πλέον χαρακτηριστικό κάθε καλού αντιστροφέα για σύνδεση με το δίκτυο ή φορτιστή συσσωρευτών. Σήμερα χρησιμοποιούνται πολυάριθμες τεχνικές και αλγόριθμοι για την εύρεση του σημείου μέγιστης ισχύος. Όλες αυτές οι τεχνικές μπορούν να ομαδοποιηθούν σε δυο μεγάλες κατηγορίες.

Έμμεσοι ανιχνευτές MPP

Αυτοί οι ανιχνευτές προσεγγίζουν το σημείο μέγιστης λειτουργίας με βάση απλές υποθέσεις και έμμεσες μετρήσεις. Σύμφωνα με μία μέθοδο η τάση λειτουργίας ρυθμίζεται ανάλογα με την εποχή του χρόνου. Μεγαλύτερες τιμές τάσης στο σημείο μέγιστης λειτουργίας αναμένονται τον χειμώνα, όπου οι θερμοκρασίες είναι χαμηλές, ενώ το καλοκαίρι οι τιμές της τάσης είναι σαφώς μικρότερες. Μια άλλη μέθοδος ρυθμίζει την τάση ανάλογα με την θερμοκρασία που αναπτύσσει το πλαίσιο. Τέλος μια τρίτη κάνει χρήση του γεγονότος ότι στα

περισσότερα φωτοβολταϊκά στοιχεία ο λόγος τάσης στη μέγιστη ισχύ προς την τάση ανοιχτοκύκλωσης είναι σταθερός, δηλαδή:

$$\frac{V_m}{V_{oc}} = K = \text{σταθ.} \quad (5.9)$$

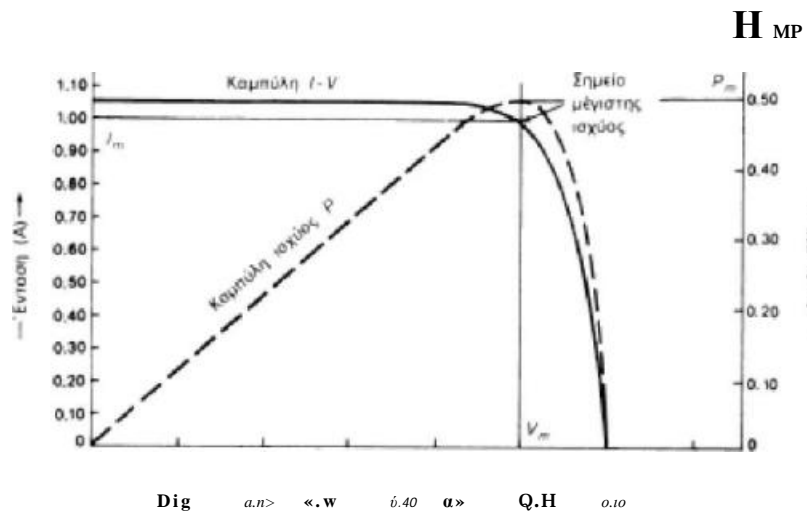
Ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο το οποίο παραμένει ανοιχτοκυκλωμένο τοποθετείται δίπλα από τις φωτοβολταϊκές συστοιχίες για να μετράται συνεχώς η τάση ανοιχτοκύκλωσης αυτού. Η τάση τότε των παραγωγικών φ/β στοιχείων ρυθμίζεται κάθε στιγμή στο σημείο $K \cdot V_{oc}$, που εξασφαλίζει τη μέγιστη ισχύ.

Άμεσοι ανιχνευτές MPP

Η λειτουργία τους βασίζεται στη συνεχή παρακολούθηση των τιμών της τάσης και έντασης εξόδου των φωτοβολταϊκών γεννητριών, προκαλώντας ανά τακτά χρονικά διαστήματα μια διαταραχή της τάσης εξόδου αυτής. Αν διαπιστωθεί ότι με την ανύψωση της τάσης, αυξάνεται η ισχύς που παρέχει η γεννήτρια τότε αυξάνουν την τάση προς τα πάνω ώσπου να έρθει μια ισορροπία. Αυτό είναι και το σημείο μέγιστης λειτουργίας.

Όπως προαναφέρθηκε στην εξέταση των φωτοβολταϊκών στοιχείων, η ένταση που παράγεται από ένα φ/β στοιχείο, δεν είναι σταθερή αλλά μεταβάλλεται αντίστροφα απ' ότι μεταβάλλεται η τάση. Για κάποιο συγκεκριμένο ζεύγος τάσης -έντασης, το στοιχείο δίνει τη μέγιστη ισχύ του. Ωστόσο επειδή κάθε στιγμή η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στο στοιχείο δεν είναι σταθερή, ομοίως σταθερή δεν είναι και η τάση εξόδου του. Είναι λοιπόν επιθυμητό για κάθε στιγμή το φωτοβολταϊκό στοιχείο να μην παράγει την τάση

και την ένταση όπως αυτά καθορίζονται από την αντίσταση του κυκλώματος που υπάρχει στα άκρα του, αλλά να δίνει στην έξοδο αυτό το ζεύγος τάσης - έντασης που μεγιστοποιεί την ισχύ του. Στο σχήμα 5.13 φαίνονται οι χαρακτηριστικές τάσης- έντασης και ισχύος ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου.



Σχήμα 5.13 Η συνεχής καμπύλη δείχνει την μεταβολή της τάσης σε συνάρτηση με την ένταση του ρεύματος ενός φ/β στοιχείου πυριτίου, σε συνθήκες σταθερής ακτινοβολίας και θερμοκρασίας. Η διακεκομμένη καμπύλη δείχνει την αντίστοιχη μεταβολή της ηλεκτρικής ισχύος που παράγεται.

Για να επιτευχθεί η λειτουργία στο σημείο μέγιστης ισχύος χρησιμοποιείται ένα κύκλωμα DC/DC αντιστροφέα, ανύψωσης-υποβιβασμού τάσης, στα άκρα της ηλεκτρονικής συσκευής στην οποία εισέρχεται η ισχύς του φωτοβολταϊκού.

Ανά πάσα στιγμή η ισχύς που παράγεται από ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο είναι:

$$P = V \cdot I \quad (5.10)$$

Εάν λόγω μεταβολής στην εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία ή μεταβολή του φορτίου, αλλάξει η παραγόμενη ισχύς, μετατοπιστεί δηλαδή σε διαφορετικό σημείο λειτουργίας πάνω στη καμπύλη V-I, τότε θα υπάρξει μεταβολή της τάσης και μεταβολή της έντασης κατά dV και di αντίστοιχα. Η ισχύς στο καινούργιο σημείο λειτουργίας θα είναι τώρα.

$$P = (V + dV) \cdot (I + dI) = V \cdot I + V \cdot dI + IdV \quad (5.11)$$

όπου αγνοήθηκαν οι όροι δεύτερης τάξης. Συνεπώς η μεταβολή στην ισχύ προκύπτει:

$$dP = P' - P = V \cdot dI + IdV \quad (5.12)$$

Στο σημείο της μέγιστης ισχύος η κλίση της καμπύλης ισχύος του φ/β στοιχείου μηδενίζεται, όπως φαίνεται και από το Σχήμα 4.13. Δηλαδή ισχύει:

$$\frac{dP}{dV} = 0 \Rightarrow V \frac{dI}{dV} + I = 0 \Rightarrow \frac{dV}{dI} = -\frac{V}{I} \quad (5.13)$$

όπου ο πρώτος όρος εκφράζει την δυναμική αντίσταση της πηγής (Z_d) ενώ ο δεύτερος την στατική αντίσταση (Z_s).

Με βάση αυτή την εξίσωση υπάρχουν δυο διαφορετικοί τρόποι για την εύρεση του σημείου μέγιστης ισχύος:

- Μία διαταραχή ρεύματος εισάγεται περιοδικά στην φωτοβολταϊκή πηγή ενώ μετρούνται η δυναμική αντίσταση αυτής Z_d και η στατική αντίσταση Z_s . Η τάση λειτουργίας αυξάνεται ή μειώνεται μέχρι να ικανοποιηθεί η εξίσωση του σημείου μέγιστης ισχύος, δηλαδή:

$$Z_d = -Z_s \quad (5.14)$$

- Σύμφωνα με μια δεύτερη μέθοδο ελέγχου, η τάση αυξάνεται όσο ισχύει η συνθήκη:

$$\frac{dP}{dV} > 0 \quad (5.15)$$

που συνεπάγεται και ταυτόχρονη αύξηση της ισχύος. Σε αντίθετη περίπτωση η τάση μειώνεται, ενώ όταν ο ρυθμός μεταβολής είναι πολύ κοντά στο μηδέν η τάση σταθεροποιείται

Το λογικό κύκλωμα ελέγχου μετρά την τάση και την ένταση εξόδου των φωτοβολταϊκών γεννητριών, η οποία βέβαια εξαρτάται κάθε στιγμή από την ακτινοβολία που προσπίπτει, τη θερμοκρασία της γεννήτριας και φυσικά από την αντίσταση που συναντά η γεννήτρια στα άκρα της. Εφαρμόζοντας μία από τις παραπάνω μεθόδους, στέλνει σήμα στον DC/DC μετατροπέα να ανυψώσει ή να μειώσει την τάση μέχρι να εντοπιστεί το σημείο μέγιστης ισχύος. Ανάλογα με την περίπτωση λοιπόν το συγκεκριμένο κύκλωμα λειτουργεί είτε ως μετατροπέας ανύψωσης είτε ως μετατροπέας υποβιβασμού τάσης.

Εναλλακτικές μορφές ανίχνευσης της μέγιστης ισχύος χρησιμοποιούν κυκλώματα με μνήμη ώστε να συγκρίνουν τις τρέχουσες μετρούμενες τιμές ισχύος, τάσης, έντασης με προηγούμενες οπότε προσαρμόζουν ανάλογα τη στάθμη της τάσης που θα απορροφήσει ο αντιστροφέας. Το διάγραμμα ροής ενός απλού αλγορίθμου που συγκρίνει δύο διαδοχικές μετρήσεις της ισχύος φαίνεται στο σχήμα 5.15. Σύμφωνα με αυτό εισάγεται μια περιοδική διαταραχή της τάσης και ελέγχεται αν αυτή προκαλεί αύξηση ή μείωση της παραγόμενης ισχύος. Αν το αποτέλεσμα είναι η αύξηση της ισχύος τότε εισάγεται εκ νέου η ίδια διαταραχή (αν εισήχθηκε αύξηση της τάσης τότε εισάγεται και πάλι αύξηση και το αντίστοιχο αν είχε εισαχθεί μείωση) ενώ αν το αποτέλεσμα είναι η μείωση της ισχύος τότε εισάγεται η αντίθετη διαταραχή (αν εισήχθηκε αύξηση της τάσης τότε εισάγεται μείωση και το αντίστοιχο αν είχε εισαχθεί μείωση της τάσης). Ο παραπάνω αλγόριθμος χρησιμοποιεί δύο σημεία της καμπύλης ισχύος και ταλαντεύεται γύρω από το σημείο μέγιστης ισχύος. Το κύριο μειονέκτημά του

είναι ότι εμφανίζει απώλειες ισχύος ιδίως στη περίπτωση που η ηλιακή ακτινοβολία αλλάζει απότομα. Μια καλύτερη υλοποίηση μπορεί να προσφέρει ένας αλγόριθμος που εκμεταλλεύεται τρία σημεία της καμπύλης ισχύος.

5.5 ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑΣ (DC/AC INVERTER)

Όπως έχει ήδη αναφερθεί η τάση που παράγεται από τη φ/β γεννήτρια είναι ακατάλληλη για την άμεση σύνδεση του φ/β σταθμού στο δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Ο ρόλος του αντιστροφέα είναι η μετατροπή της συνεχούς τάσης που παράγεται από τα φ/β στοιχεία σε εναλλασσόμενη, κατάλληλης τιμής και συχνότητας για διασύνδεση στο δίκτυο.

Οι αντιστροφείς DC/AC μπορεί να είναι είτε μονοφασικοί είτε τριφασικοί. Όταν η είσοδος είναι μια πηγή τάσης, αυτοί ονομάζονται αντιστροφείς πηγής τάσης (VSI) ενώ όταν ως είσοδος λαμβάνεται μια πηγή έντασης ονομάζονται αντιστροφείς πηγής έντασης (CSI). Ο χαρακτηρισμός του αντιστροφέα δεν έχει να κάνει απαραίτητα με την ενεργειακή πηγή του συστήματος, αλλά με την τοπολογία. Έτσι είναι δυνατόν να αλλάξει η μορφή της πηγής χρησιμοποιώντας παθητικά στοιχεία. Οι αντιστροφείς πηγής τάσης έχουν μια χωρητικότητα παράλληλα συνδεδεμένη με την πηγή, ενώ οι αντιστροφείς πηγής έντασης ένα πηνίο σε σειρά με την πηγή.

5.5.1 Μονοφασικός αντιστροφέας

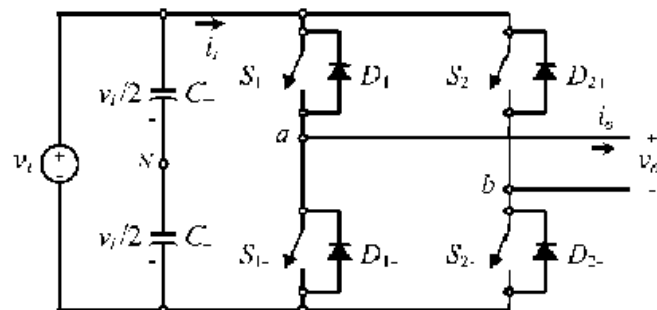
Οι μονοφασικοί αντιστροφείς χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, ανάλογα με την τοπολογία τους σε αντιστροφείς ημιγέφυρας και πλήρους

γέφυρας. Οι πρώτοι υστερούν σαφώς για αυτό και σε εφαρμογές ΑΠΕ χρησιμοποιούνται οι αντιστροφείς πλήρους γέφυρας (Σχήμα 5.16).

Διάφορες τεχνικές ελέγχου, υλοποιούν διαφορετικές κυματομορφές εξόδου της εναλλασσόμενης τάσης, στην εργασία όμως αυτή θα εστιάσουμε το ενδιαφέρον στους μονοφασικούς αντιστροφείς με έλεγχο SPWM.

Διαμόρφωση με την τεχνική SPWM

Με την τεχνική αυτή επιτυγχάνεται η παραγωγή μιας ημιτονοειδούς κυματομορφής έξοδος, η οποία μπορεί να ελεγχθεί τόσο κατά πλάτος όσο και κατά συχνότητα, καθώς και να μειωθεί η επίδραση των αρμονικών στην έξοδο. Είναι η μέθοδος που χρησιμοποιείται περισσότερο στα συστήματα σύνδεσης πηγών ΑΠΕ και δικτύου χαμηλής τάσης.



Σχήμα 5.16 Τοπολογία μονοφασικού αντιστροφέα πλήρους γέφυρας ελεγχόμενου από πηγή τάσης.

Πιο συγκεκριμένα σύμφωνα με την τεχνική SPWM, δημιουργούνται δύο κυματομορφές. Μια τριγωνική κυματομορφή πλάτους v_{Δ} , η οποία έχει το ρόλο του

φορέα και μια κυματομορφή αναφοράς πλάτους v_c , η οποία έχει ημιτονοειδή μορφή. Οι κυματομορφές αυτές, οι οποίες δημιουργούνται στο κύκλωμα ελέγχου, είναι συγχρονισμένες και παράγονται από γεννήτριες κυματομορφών. Τα δύο αυτά σήματα συγκρίνονται και καθορίζουν ποιοι διακόπτες θα άγουν και για ποιο χρονικό διάστημα. Η συχνότητα f_{Δ} της τριγωνικής κυματομορφής ονομάζεται φέρουσα συχνότητα (ή συχνότητα μετάβασης), και είναι αυτή που καθορίζει την συχνότητα με την οποία αλλάζουν κατάσταση οι διακόπτες του αντιστροφέα. Το σήμα αναφοράς v_c χρησιμοποιείται για τη διαμόρφωση της σχετικής διάρκειας αγωγής των διακοπών και έχει συχνότητα f_c . Αυτή ονομάζεται συχνότητα διαμόρφωσης και είναι η επιθυμητή θεμελιώδης συχνότητα της τάσης εξόδου του αντιστροφέα. Η παραγόμενη αυτή τάση, δεν είναι τέλεια ημιτονοειδής, αλλά περιέχει και αρμονικές συνιστώσες της συχνότητας διαμόρφωσης f_c .

Ορίζεται ο **συντελεστής διαμόρφωσης συχνότητας** m_f ως ο λόγος της φέρουσας συχνότητας προς τη συχνότητα διαμόρφωσης:

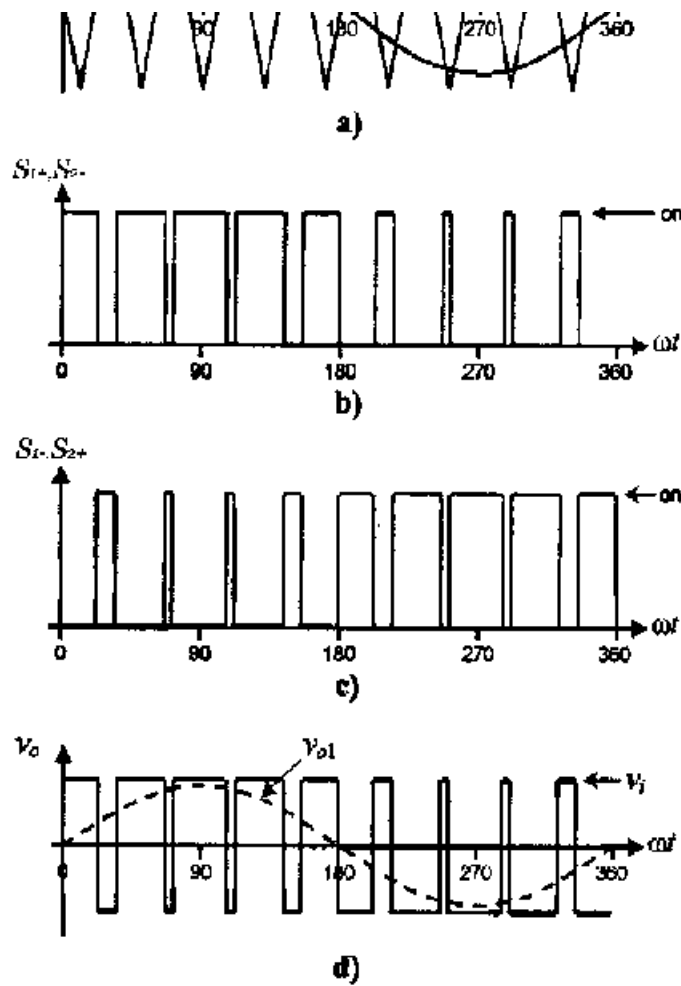
$$m_f = \frac{f_N}{f_c} \quad (5.16)$$

Ομοίως ορίζεται και ο **συντελεστής διαμόρφωσης πλάτους** ως ο λόγος του πλάτους του σήματος ελέγχου προς το πλάτος της τριγωνικής κυματομορφής:

$$m_c = \frac{V_c}{V_{\Delta}} \quad (5.17)$$

Πίνακας 5.1 Διακοπτικές καταστάσεις για αντιστροφή πλήρους γέφυρας.

a/a	Κατάσταση			
1	S_{1+}, S_{2-} ON S_{1-}, S_{2+} OFF	$v_j/2$	$-v/2$	v
2	S_{1-}, S_{2+} ON S_{1+}, S_{2-} OFF	$-v_j/2$	$v_j/2$	$-v$
3	S_{1+}, S_{2+} ON S_{1-}, S_{2-} OFF	$v_j/2$	$v_j/2$	0
4	S_{1-}, S_{2-} ON S_{1+}, S_{2+} OFF	$-v_j/2$	$-v_j/2$	0



Σχήμα 5.17 Διαμόρφωση με διπολική τάση εξόδου

Στον αντιστροφέα πλήρους γέφυρας του σχήματος 5.16 δεν πρέπει να είναι ταυτόχρονα κλειστοί οι διακόπτες του ίδιου κλάδου, γιατί τότε προκύπτει βραχυκύκλωμα στη πλευρά DC. Δηλαδή πρέπει να αποφευχθεί η κατάσταση στην οποία οι S_{1+} και S_{1-} είναι κλειστοί ταυτόχρονα και αντίστοιχα η κατάσταση στην

οποία οι S_{2+} και S_{2-} είναι κλειστοί. Υπάρχουν τέσσερις δυνατοί συνδυασμοί για τους

διακόπτες, οι οποίοι περιγράφονται στον πίνακα 4.1.

Η διαμόρφωση μπορεί να γίνει είτε με διπολική τάση εξόδου είτε με μονοπολική.

A. Διαμόρφωση με διπολική τάση εξόδου

Κατά την περίπτωση ελέγχου αυτή, τα ζευγάρια των διακοπών S_{1+} , S_{2-} και S_{1-} ,

S_{2+} αλλάζουν καταστάσεις μαζί. Δηλαδή είναι πιθανές μόνο οι καταστάσεις 1 και 2

του πίνακα 5.1 και τα προηγούμενα ζευγάρια θα έχουν τους ίδιους παλμούς έναυσης (Σχήμα 5.17). Τα δύο ζεύγη διακοπών αυτά ελέγχονται με βάση τη σύγκριση των κυματομορφών v_C και v_Δ , και ανεξάρτητα από τη φορά του ρεύματος εξόδου i_o , προκύπτει τάση εξόδου:

- $v_o = v_i$ όταν $v_C > v_\Delta$ και οι διακόπτες S_{1+} , S_{2-} άγουν,
- $v_o = -v_i$ όταν $v_C < v_\Delta$ και οι διακόπτες S_{1-} , S_{2+} άγουν.

Στη γραμμική περιοχή της διαμόρφωσης ($m_a < 1$), η κυματομορφή εξόδου που προκύπτει είναι ημιτονοειδούς μορφής, η οποία περιέχει μια θεμελιώδη συνιστώσα με πλάτος v_{o1} , που δίνεται από τη σχέση:

$$V_{oi} = V_{ab} = m_a v_i \quad (5.18)$$

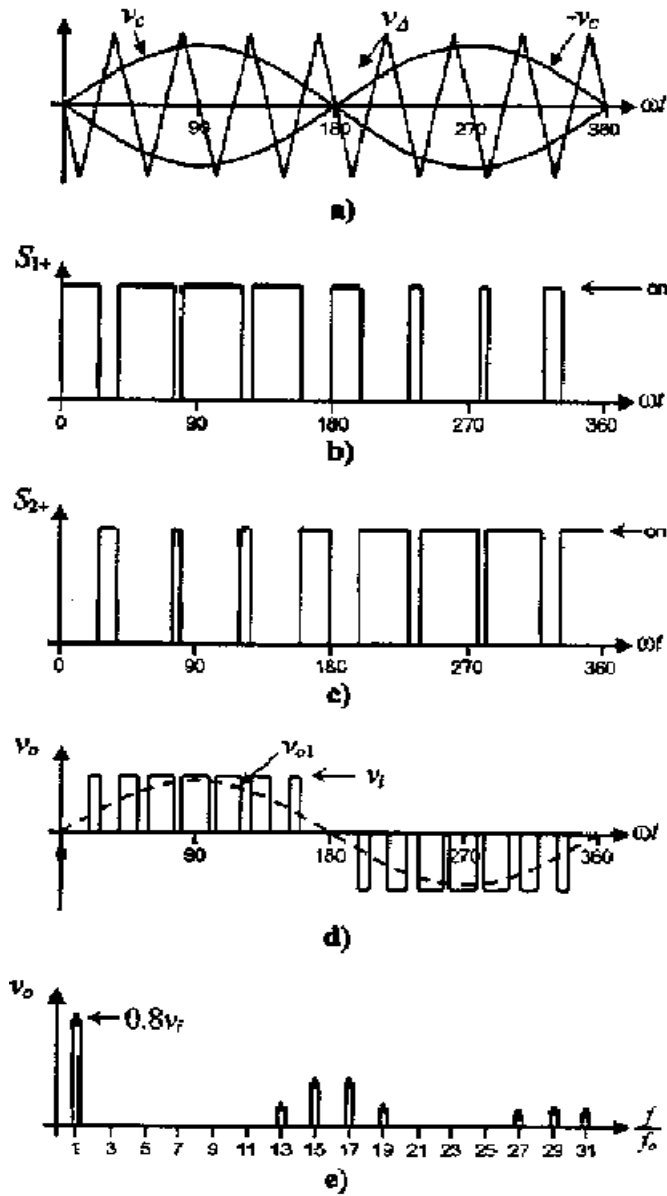
Όταν ο συντελεστής m_a είναι μεγαλύτερος της μονάδας έχουμε υπερδιαμόρφωση, με αποτέλεσμα η τάση εξόδου v_o να περιέχει περισσότερες αρμονικές στις πλευρικές ζώνες σε σύγκριση με τη γραμμική περιοχή. Για μεγάλες τιμές του λόγου m_a , η κυματομορφή εξόδου του αντιστροφέα εκφυλίζεται σε τετραγωνική. Τότε η τάση εξόδου λαμβάνει τιμές:

$$V_i < V_{oi} = V_{ab} < \frac{4}{\rho} V_i$$

$$(5.19)$$

B. Διαμόρφωση με μονοπολική τάση εξόδου

Σε αντίθεση με την διαμόρφωση με διπολική τάση εξόδου, η μονοπολική χρησιμοποιεί και τις τέσσερις διακοπτικές καταστάσεις του πίνακα 5.1. Με αυτό τον τρόπο η εναλλασσόμενη τάση εξόδου μπορεί να πάρει τις τρεις τιμές που φαίνονται στον ίδιο πίνακα, δηλαδή v , $-v$, 0 . Συγκεκριμένα χρησιμοποιείται εκτός από το σήμα αναφοράς v_C και άλλο ένα με αντίθετο πρόσημο $-v_C$ (Σχήμα 5.18).



Σχήμα 5.18 Διαμόρφωση με μονοπολική τάση εξόδου a) Σήμα φορέα και σήματα αναφοράς, b) Κατάσταση διακόπτη S_{1+} , c) Κατάσταση διακόπτη S_{2+} , d) Εναλλασσόμενη τάση εξόδου, e) Κατανομή συχνοτήτων τάσης εξόδου.

Στον κλάδο 1 του μονοφασικού αντιστροφέα πλήρους γέφυρας του σχήματος 5.16 συγκρίνεται το σήμα αναφοράς v_C με το v_h , ενώ στον κλάδο 2 γίνεται σύγκριση

μεταξύ του $-v_C$ και του v_h . Έτσι για το σκέλος 1 προκύπτει:

- $v_N = v_i$ όταν $v_C > v_{\Delta}$ και ο διακόπτης S_{1+} άγει,
- $v_{aN} = 0$ όταν $v_C < v_{\Delta}$ και ο διακόπτης S_{1-} άγει,

ενώ για το σκέλος 2:

- $v_{hM} = v$ όταν $-v_C > v_{\Delta}$ και ο διακόπτης S_{2+} άγει,
- $v_{bN} = 0$ όταν $-v_C < v_{\Delta}$ και ο διακόπτης S_{2-} άγει

Παρόμοια συμπεράσματα με την περίπτωση της διπολικής διαμόρφωσης μπορούν να εξαχθούν και σε αυτή την περίπτωση όσον αφορά το πλάτος της θεμελιώδους αρμονικής της τάσης εξόδου και όσον αφορά τη λειτουργία για μικρές και μεγάλες τιμές της παραμέτρου m_f και για την περίπτωση της υπερδιαμόρφωσης.

Όμως επειδή οι τάσεις v_{aN} και v_{bN} αν και έχουν το ίδιο πλάτος, εμφανίζουν διαφορά

φάσης 180° , η τάση εξόδου δεν θα περιέχει άρτιες αρμονικές. Έτσι αν επιλεγεί το m_f

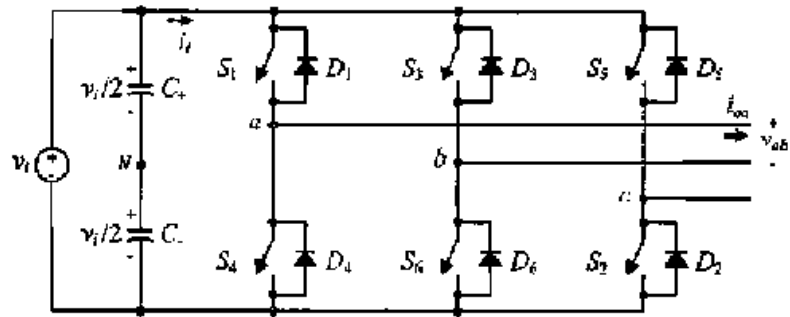
να είναι περιττό, τότε οι αρμονικές στην έξοδο του αντιστροφέα εμφανίζονται σε κανονικοποιημένες περιττές συχνότητες f_h γύρω από το διπλάσιο της κανονικοποιημένης συχνότητας m_f και των πολλαπλασίων της (Σχήμα 5.18).

Συγκεκριμένα έχουμε:
$$h = l.m_f \pm k \quad l = 2, 4, \dots$$
(5.20)

όπου $k = 1, 3, 5, \dots$ Το γεγονός αυτό προσδίδει ένα πλεονέκτημα στη τεχνική της διαμόρφωση με μονοπολική τάση εξόδου, έναντι της διαμόρφωσης με διπολική τάση, καθώς οι αρμονικές στην έξοδο εμφανίζονται σε μεγαλύτερες συχνότητες, γεγονός που συνεπάγεται μικρότερο και φθηνότερο φίλτρο.

5.5.2 Τριφασικός αντιστροφέας

Οι τριφασικοί αντιστροφείς χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές μέσης και υψηλής ισχύος. Σκοπός τους είναι να παρέχουν μια τριφασική πηγή τάσης ή έντασης, όπου το πλάτος, η φάση και η συχνότητα να είναι ανά πάσα στιγμή ελεγχόμενα. Η τοπολογία ενός τριφασικού αντιστροφέα ελεγχόμενου από πηγή τάσης φαίνεται στο σχήμα 5.19, ενώ οι επιτρεπόμενοι συνδυασμοί των καταστάσεων των διακοπών δίνονται στον πίνακα 4.2.



Σχήμα 5.19 Τοπολογία τριφασικού αντιστροφέα ελεγχόμενου από πηγή τάσης. Παρατηρούμαι ότι υπάρχουν οκτώ επιτρεπόμενες διακοπτικές καταστάσεις. Όπως και στον μονοφασικό αντιστροφέα, έτσι και εδώ, δεν γίνεται οι διακόπτες του ίδιου κλάδου να είναι ταυτόχρονα κλειστοί, καθώς τότε δημιουργείται βραχυκύκλωμα στη πλευρά DC. Ακόμα σε περίπτωση που οι διακόπτες αυτοί είναι ταυτόχρονα ανοιχτοί τότε καταλήγουμε σε απροσδιόριστες καταστάσεις, για αυτό και οι καταστάσεις αυτές είναι μη επιτρεπόμενες. Τέλος υπάρχουν δύο καταστάσεις, που η τάση στη πλευρά AC μηδενίζεται.

Πίνακας 5.2 Διακοπτικές καταστάσεις για τριφασικό αντιστροφέα.

a/α	Κατάσταση		V _a	V _b	V _{ab}
1	S ₁ , S ₂ , S ₆ ON	S ₄ , S ₅ , S ₃ OFF	-v	0	v
2	S ₂ , S ₃ , S ₁ ON	S ₅ , S ₆ , S ₄ OFF	-v	v	0
3	S ₃ , S ₄ , S ₂ ON	S ₆ , S ₁ , S ₅ OFF	0	v	-v
4	S ₄ , S ₅ , S ₃ ON	S ₁ , S ₂ , S ₆ OFF	v	0	-v
5	S ₅ , S ₆ , S ₄ ON	S ₂ , S ₃ , S ₁ OFF	v	-v	0
6	S ₆ , S ₁ , S ₅ ON	S ₃ , S ₄ , S ₂ OFF	0	-v	v
7	S ₁ , S ₃ , S ₅ ON	S ₄ , S ₆ , S ₂ OFF	0	0	0
8	S ₄ , S ₆ , S ₂ ON	S ₁ , S ₃ , S ₅ OFF	0	0	0

Διαμόρφωση με την τεχνική SPWM

Η τεχνική αυτή είναι μια επέκταση αυτής που παρουσιάστηκε στους μονοφασικούς αντιστροφείς. Για τον τριφασικό αντιστροφέα χρησιμοποιούνται τρεις ημιτονοειδείς κυματομορφές αναφοράς με διαφορά φάσης 120° και μια τριγωνική κυματομορφή φορέα. Το πλάτος της κυματομορφής αναφοράς είναι μεταβλητό σε σχέση με το πλάτος της κυματομορφής του φορέα, το οποίο παραμένει σταθερό. Στο σχήμα 5.20 παρουσιάζονται οι κυματομορφές ενός ιδανικού τριφασικού αντιστροφέα. Ο συντελεστής διαμόρφωσης συχνότητας επιλέγεται να είναι περιττό πολλαπλάσιο του 3. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι φασικές τάσεις να μην έχουν άρτιες αρμονικές και επιπλέον οι αρμονικές σε συχνότητες πολλαπλάσιες του 3, κάθε φάσης, να είναι ίδιες τόσο σε πλάτος όσο και σε φάση. Άρα, επιπλέον οι φασικές τάσεις δεν περιέχουν αρμονικές σε συχνότητες πολλαπλάσιες του 3. Τότε οι αρμονικές στην έξοδο του αντιστροφέα εμφανίζονται σε κανονικοποιημένες συχνότητες f_h γύρω από την κανονικοποιημένη συχνότητα m_f και τα πολλαπλάσιά της (Σχήμα 5.18e).

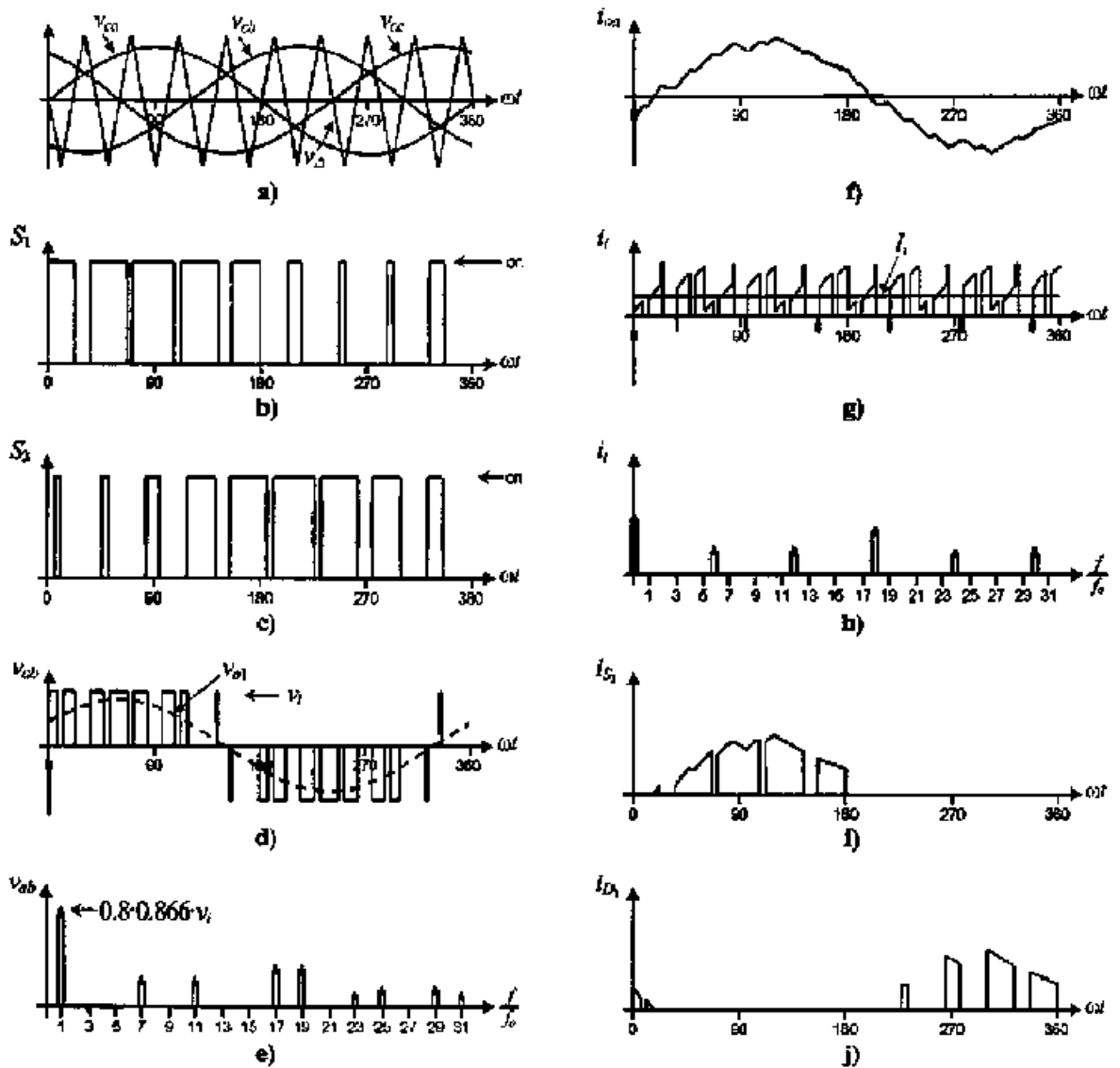
Συγκεκριμένα:

$$h = l \cdot m_f \pm k \quad l = 1, 2, 3, \dots \quad (5.21)$$

Όπου $l = 1, 3, 5, \dots$ για $k = 2, 4, 6, \dots$ και $l = 2, 4, 6, \dots$ για $k = 1, 5, 7, \dots$, έτσι ώστε το h να μην είναι πολλαπλάσιο του 3. Δηλαδή οι αρμονικές θα εμφανιστούν σε συχνότητες:

$$m_f \pm 2, m_f \pm 4, \dots, 2m_f \pm 1, 2m_f \pm 5, \dots, 3m_f \pm 2, 3m_f \pm 4, \dots, \text{κτλ.}$$

(5.22)



Σχήμα 5.20 Τριφασικός αντιστροφέας VSI, διαμόρφωση SPWM α) Σήμα φορέα και σήμα αναφοράς, β), γ) Καταστάσεις διακοπών S_1 , S_3 , δ) Εναλλασσόμενη τάση εξόδου, ε) Κατανομή συχνοτήτων τάσης εξόδου, ς) Ρεύμα εξόδου γ) Συνεχές ρεύμα, η) Κατανομή συχνοτήτων συνεχούς ρεύματος, ι) Ρεύμα διακόπτη S_1 , ι) Ρεύμα διόδου D_1 .

Στη γραμμική περιοχή διαμόρφωσης ($m_a < 1$), το πλάτος της βασικής αρμονικής συνιστώσας της πολικής τάσης εξόδου του αντιστροφέα είναι:

$$V_{ab,l} = \frac{\sqrt{3}}{2} m_a v_i \quad (5.23)$$

Ενώ στην περίπτωση της υπερδιαμόρφωση προκύπτει:

$$\frac{\sqrt{3}}{2} V_i < V_{ab,l} < \frac{4}{p} = \frac{\sqrt{3}}{2} v_i \quad (5.24)$$

5.5.3 Ηλεκτρική απομόνωση των μετατροπέων ισχύος

Πιο πάνω περιγράφηκαν οι βασικές θεωρητικές τοπολογίες με τις οποίες γίνεται η μετατροπή μιας συνεχούς τάσης εισόδου σε ημιτονική τάση εξόδου, ελεγχόμενη κατά πλάτος και συχνότητα. Διάφορες εφαρμογές απαιτούν είτε την ύπαρξη μόνο μιας γέφυρας DC/AC, για την μετατροπή της εισερχόμενης τάσης κατευθείαν σε εναλλασσόμενη, είτε την μετατροπή της (μη σταθερής) DC εισερχόμενης τάσης σε μια στάθμη σταθερής τιμής και στη συνέχεια την μετατροπή αυτής σε εναλλασσόμενη. Ένας αντιστροφέας ωστόσο δεν περιλαμβάνει μόνο τις διατάξεις που επιτυγχάνουν αυτή τη μετατροπή, αλλά και σειρά άλλων που αφορούν τον έλεγχο, την προστασία και την βελτίωση της ποιότητας της παραγόμενης τάσης.

Ασφάλειες, αυτόματοι διακόπτες, και κυκλώματα εντοπισμού υπερτάσεων αποτελούν διατάξεις προστασίας του αντιστροφέα. Φίλτρα πηνίων και πυκνωτών χρησιμοποιούνται για την εξομάλυνση των ρευμάτων εισόδου και εξόδου.

Πολύ σημαντική είναι και η παρεμβολή ενός μετασχηματιστή, έτσι ώστε να υπάρχει πλήρης ηλεκτρική απομόνωση της πλευράς εισόδου από την έξοδο. Ένας μετασχηματιστής απομόνωσης χαμηλής συχνότητας μπορεί να τοποθετείται κατευθείαν στο στάδιο εξόδου, οπότε η παραγόμενη ημιτονική κυματομορφή οδηγείται μέσω αυτού στο κύκλωμα της εναλλασσόμενης τάσης (π.χ. ηλεκτρικό δίκτυο πόλης). Μεγάλη συζήτηση διεξάγεται σχετικά με το αν είναι απαραίτητη η ύπαρξη ενός μετασχηματιστή απομόνωσης, σε αντιστροφείς που συνδέονται με το κεντρικό δίκτυο. Κανονισμοί μερικών χωρών καθιστούν υποχρεωτική την ύπαρξη αυτού στους αντιστροφείς που συνδέονται στο δίκτυο τους. Είναι πολύ πιθανό όταν δεν υπάρχει μετασχηματιστής απομόνωσης, είτε σε κανονική λειτουργία, είτε πολύ περισσότερο σε περιπτώσεις σφάλματος, ο αντιστροφέας να εισάγει μια DC συνιστώσα ρεύματος στην ημιτονική κυματομορφή εξόδου του, κάτι εντελώς ανεπιθύμητο για το ηλεκτρικό δίκτυο και τις συσκευές που βρίσκονται κοντά, προκαλώντας υπερθέρμανση στα τυλίγματα κινητήρων και μετασχηματιστών ή παρεμβολές σε άλλες συσκευές. Η παρεμβολή αυτού του μετασχηματιστή λειτουργεί ως ένα αδιαπέραστο φίλτρο τυχόν DC ρευμάτων. Η ύπαρξη μετασχηματιστή χαμηλής συχνότητας, επιτρέπει απόδοση του αντιστροφέα μέχρι 92%.

Μια διαφορετική τοπολογία που επιτρέπει την γαλβανική απομόνωση της DC από την AC πλευρά, είναι η τοποθέτηση μετασχηματιστή υψηλής συχνότητας πριν τη γέφυρα παραγωγής της ημιτονοειδούς τάσης. Κατά τη διάταξη αυτή, η εισερχόμενη DC τάση εισέρχεται σε μια διάταξη DC/DC μετατροπέα η οποία και λειτουργεί με υψηλή διακοπτική συχνότητα. Η συνεχής τάση εισόδου μετατρέπεται με γέφυρα διακοπών σε τάση υψηλής συχνότητας και έπειτα ανορθώνεται ώστε να μετατραπεί σε DC τάση ελεγχόμενου πλάτους. Στο ενδιάμεσο στάδιο του μετατροπέα αυτού, είναι δυνατόν να παρεμβληθεί ο υψίσυχνος μετασχηματιστής. Έτσι πάλι επιτυγχάνεται απομόνωση της εισόδου από την έξοδο του αντιστροφέα, η οποία ωστόσο πάλι είναι πιθανό να μην αποκλείει την ενδεχόμενη έγχυση DC ρεύματος, από το μετέπειτα στάδιο της

PWM γέφυρας DC/AC, στο ηλεκτρικό δίκτυο. Ωστόσο με την τοπολογία αυτή επιτυγχάνονται αποδόσεις λίγο μεγαλύτερες (της τάξης του 94%), καθώς ο μετασχηματιστής υψηλής συχνότητας, λόγω της ισχυρής μαγνητικής του σύζευξης, έχει μικρότερες απώλειες απ' ό,τι ένας που λειτουργεί στα 50Hz. Παράλληλα μειώνονται ο όγκος, το βάρος και το κόστος του μετασχηματιστή εν συγκρίσει με αυτά ενός χαμηλής συχνότητας.

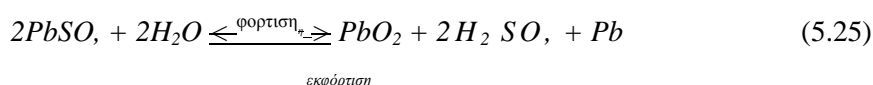
5.6 ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ

Οι συσσωρευτές παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα, όπου αποτελούν και ένα αρκετά μεγάλο κομμάτι της οικονομικής επιβάρυνσης. Στα διασυνδεδεμένα συστήματα δεν υπάρχει λόγος χρησιμοποίησης συσσωρευτών, εκτός και αν το διασυνδεδεμένο σύστημα τροφοδοτεί άμεσα κάποια φορτία (τα φορτία δηλαδή αυτά τροφοδοτούνται κατευθείαν από το φ/β σύστημα και όχι μέσω του κεντρικού δικτύου) και τα οποία θεωρούνται ότι δεν πρέπει σε καμία περίπτωση να μείνουν εκτός λειτουργίας σε μια ενδεχόμενη βλάβη.

Τα αυτόνομα φ/β συστήματα επομένως χρειάζεται να αποθηκεύουν μια ποσότητα από την περίσσεια της ηλεκτρικής τους παραγωγής, ώστε να χρησιμοποιηθεί όταν η ζήτηση είναι μεγαλύτερη από την παραγωγή της φ/β γεννήτριας. Η ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που πρέπει να προνοείται να αποθηκεύεται, εξαρτάται από τις τοπικές συνθήκες και απαιτήσεις και κυρίως από το μέγιστο πλήθος των πιθανών συνεχόμενων ημερών συννεφιάς, τις αιχμές της κατανάλωσης και τον βαθμό αξιοπιστίας που θα πρέπει να παρουσιάζει το σύστημα, σε συνδυασμό με την ύπαρξη ή όχι βοηθητικών ενεργειακών πηγών.

Φόρτιση - Εκφόρτιση

Υπάρχουν διάφορων τύπων ηλεκτρικοί συσσωρευτές, ανάλογα με το υλικό των ηλεκτροδίων τους. Έχει όμως διαπιστωθεί ότι οικονομικότεροι για χρησιμοποίηση σε φ/β συστήματα είναι οι συσσωρευτές μολύβδου. Τα ηλεκτρόδιά τους είναι πλάκες από κράματα μολύβδου βυθισμένες σε διάλυμα θειικού οξέος. Η λειτουργία τους στηρίζεται σε μια αντιστρεπτή ηλεκτροχημική διαδικασία, που περιγράφεται από τηναμφίδρομη αντίδραση



Συγκεκριμένα οι συσσωρευτές αποτελούνται από κυψελίδες, δηλαδή ζεύγη μονωμένων μεταξύ τους πλακών βυθισμένων στο ίδιο διάλυμα θειικού οξέος. Οι πλάκες του αφόρτιστου συσσωρευτή καλύπτονται από θειικό μόλυβδο ($PbSO_4$). Κατά το στάδιο της φόρτισης, διασπάται ο θειικός μόλυβδος και σχηματίζεται οξειδίο του μολύβδου (PbO_2) στις πλάκες των θετικών ηλεκτροδίων και μεταλλικός (Pb) στις πλάκες των αρνητικών. Αντίστροφα κατά την εκφόρτιση του συσσωρευτή και την τροφοδότηση των ηλεκτρικών καταναλώσεων, ο μόλυβδος οξειδώνεται στις πλάκες των αρνητικών ηλεκτροδίων προς ιόντα Pb^{2+} και δίνει ηλεκτρόνια στο εξωτερικό κύκλωμα:

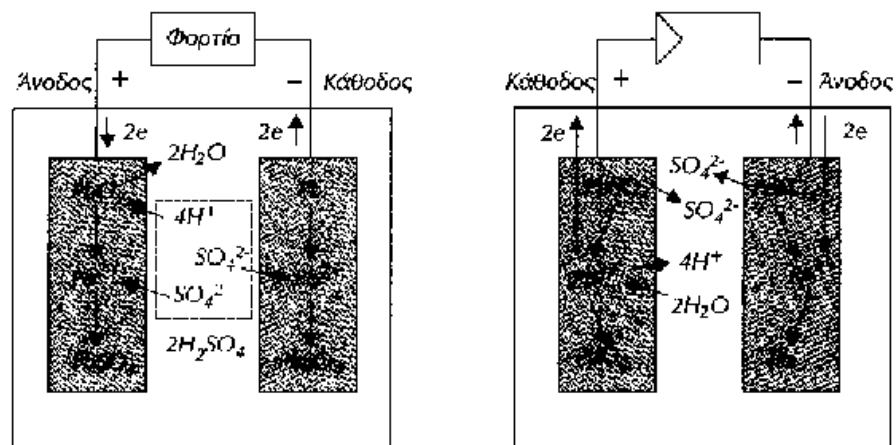


Ενώ στις πλάκες των θετικών ηλεκτροδίων ο Pb^{4+} ανάγεται προς Pb^{2+} , παίρνοντας ηλεκτρόνια από το εξωτερικό κύκλωμα:

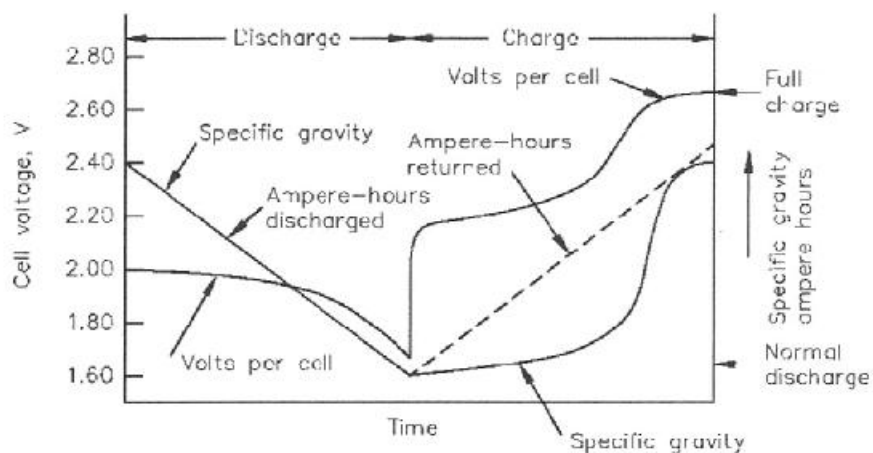


Τα προϊόντα των δύο αντιδράσεων, δηλαδή τα ιόντα Pb^{2+} , ενώνονται με θειικά ιόντα (SO_4^{2-}) από το διάλυμα και ξανασχηματίζουν τον θειικό μόλυβδο πάνω στις

πλάκες των κυψελίδων. Έτσι καταναλώνεται θειικό οξύ και αραιώνεται το διάλυμα στις κυψελίδες. Με την φόρτιση όμως που ακολουθεί, τα θειικά ιόντα επιστρέφουν στο διάλυμα, όπως δείχνει η αμφίδρομη αντίδραση και η περιεκτικότητά του αποκαθίσταται στην κανονική τιμή.



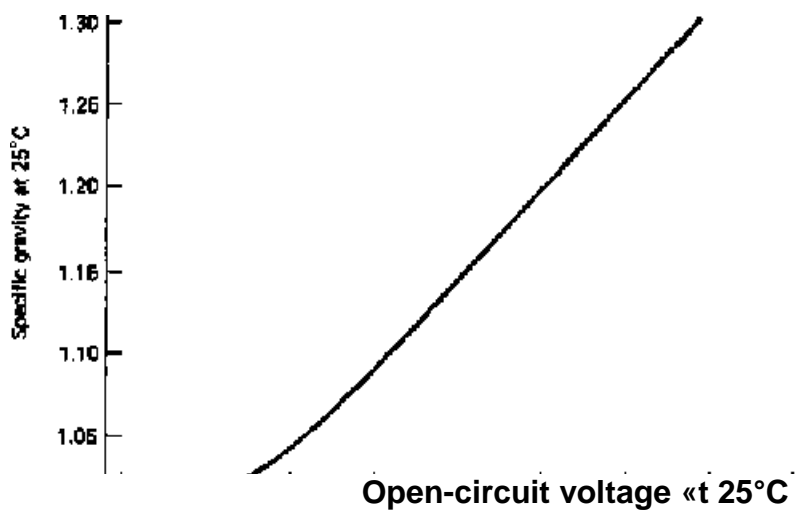
Σχήμα 5.21 Λειτουργία συσσωρευτή μολύβδου-οξέος.



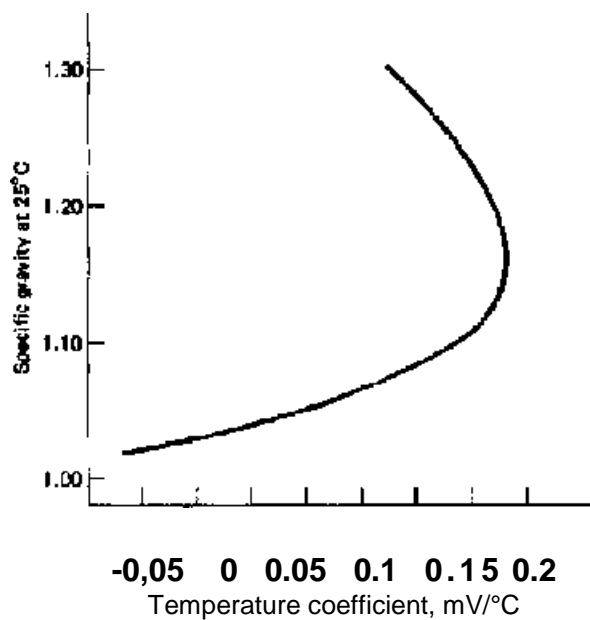
Σχήμα 5.22 Τυπικές χαρακτηριστικές τάσης και ειδικού βάρους στη συνεχόμενη φόρτιση και εκφόρτιση.

Χαρακτηριστικές ανοιχτού κυκλώματος

Από τις παραπάνω αντιδράσεις που πραγματοποιούνται στον συσσωρευτή, η μέγιστη τάση ανοιχτού κυκλώματος που μπορεί να αναπτυχθεί σε μια κυψέλη μολύβδου είναι 2,041V.



Σχήμα 5.23 Ειδικό βάρος του ηλεκτρολύτη ενός συσσωρευτή μολύβδου σε συνάρτηση με τη τάση ανοιχτοκύκλωσης.



Σχήμα 5.24 Ειδικό βάρος του ηλεκτρολύτη ενός συσσωρευτή μολύβδου σε κατάσταση ανοιχτού κυκλώματος, σε σχέση με το θερμοκρασιακό συντελεστή.

Μια πολύ σημαντική παράμετρος για την λειτουργία μιας μπαταρίας είναι το ειδικό βάρος του ηλεκτρολύτη. Χρησιμοποιείται ως ένας δείκτης της κατάστασης φόρτισης, στην οποία βρίσκεται μια κυψελίδα ή μια μπαταρία. Η τάση ανοιχτοκυκλώματος για ένα συσσωρευτή είναι μια συνάρτηση της θερμοκρασίας και της συγκέντρωσης του ηλεκτρολύτη, όπως φαίνεται και στην παρακάτω εξίσωση:

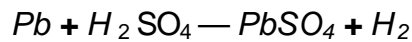
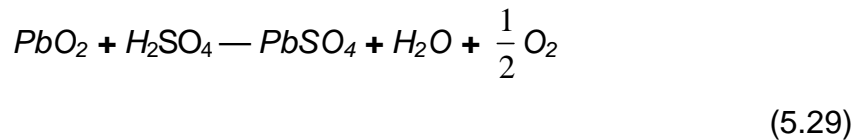
$$V_{oc} = 2.047 + \frac{RT}{F} \ln \left[\frac{aH_2SO_4}{aH_2O} \right] \quad (5.28)$$

Όπου R η εσωτερική αντίσταση του συσσωρευτή, T η θερμοκρασία και F η σταθερά του Faraday (96,487 Coulomb). Στο σχήμα 5.23 φαίνεται το διάγραμμα της τάσης ανοιχτοκύκλωσης σε σχέση με την συγκέντρωση του ηλεκτρολύτη σε θερμοκρασία 25 °C, το οποίο εμφανίζει μια γραμμική συμπεριφορά για τιμές του ειδικού βάρους μεγαλύτερες από 1,10, ενώ για μικρότερες τιμές εμφανίζει έντονη απόκλιση από τη γραμμικότητα. Ενώ η επίδραση της θερμοκρασίας στη συγκέντρωση του ηλεκτρολύτη παρουσιάζεται στο σχήμα 5.24.

Αυτό-εκφόρτιση

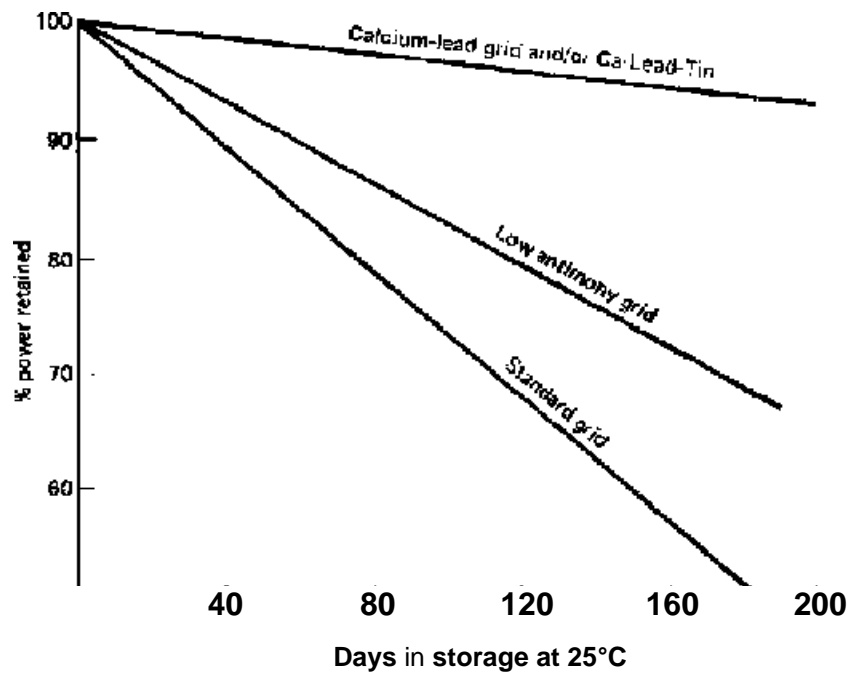
Ακόμα και αν ένας φορτισμένος συσσωρευτής παραμείνει μη συνδεδεμένος με κάποιο εξωτερικό φορτίο για ένα χρονικό διάστημα, εμφανίζει μείωση της στάθμης φόρτισής του. Ο ρυθμός αυτός της αυτό-εκφόρτισης σε μια κυψελίδα μολύβδου είναι αρκετά μεγάλος, αλλά μπορεί να μειωθεί αρκετά με κατάλληλες σχεδιαστικές παρεμβάσεις.

Ο μόλυβδος και το διοξείδιο του μολύβδου είναι θερμοδυναμικά ασταθή και αντιδρούν με τον ηλεκτρολύτη. Στο θετικό ηλεκτρόδιο παράγεται οξυγόνο και στο αρνητικό υδρογόνο, με ρυθμό που εξαρτάται από τη θερμοκρασία και τη συγκέντρωση, σύμφωνα με τα παρακάτω:

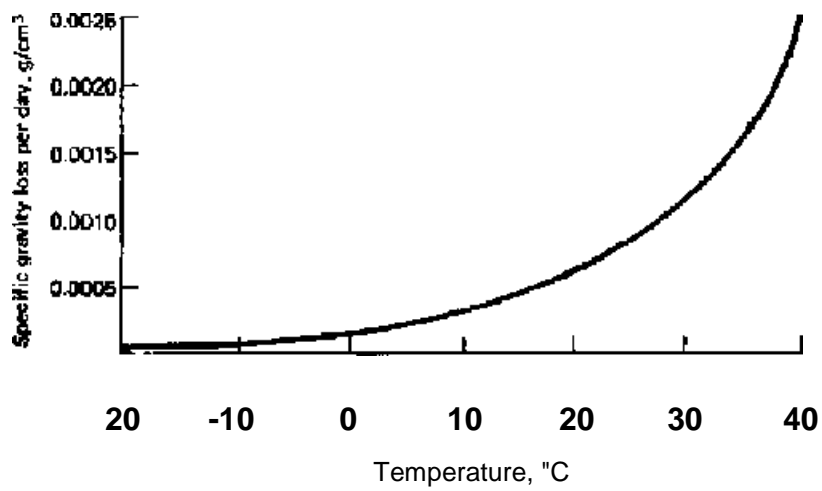


Η πρώτη αντίδραση συμβαίνει στο θετικό ηλεκτρόδιο και ο μηχανισμός αυτό-εκφόρτισης είναι εν γένει μικρός (μικρότερος από 0,5% την ημέρα στους 25 °C). Αντίθετα η δεύτερη αντίδραση στο αρνητικό ηλεκτρόδιο έχει ταχύτερο ρυθμό, ειδικά σε κυψελίδες με καταλυτικά μεταλλικά ιόντα. Για έναν καινούργιο συσσωρευτή με μείγμα μολύβδου-αντιμονίου οι απώλειες φόρτισης ανέρχονται περίπου στο 1% την ημέρα, αλλά οι απώλειες αυτές αυξάνονται κατά ένα παράγοντα που κυμαίνεται μεταξύ του 2 και του 5 καθώς ο συσσωρευτής παλιώνει. Συσσωρευτές χωρίς αντιμόνιο εμφανίζουν μικρότερες απώλειες 0,5% την ημέρα, χωρίς να αυξάνεται ο ρυθμός αυτός με την πάροδο του χρόνου (Σχήμα 5.25α). Επειδή όμως το αντιμόνιο εμφανίζει και θετικά αποτελέσματα, η πλήρης απουσία του δεν είναι επιθυμητή και για αυτό ένας χρήσιμος συμβιβασμός προκύπτει αν χρησιμοποιηθούν μείγματα με χαμηλή περιεκτικότητα αντιμονίου.

Η ρυθμός αυτό-εκφόρτισης εξαρτάται ακόμα από την θερμοκρασία όπως φαίνεται στο σχήμα 5.25β. Παρατηρείται απότομη αύξηση των απωλειών για θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 30 °C και για αυτό συνίσταται η διατήρηση των συσσωρευτών σε μέρη με θερμοκρασία μικρότερη από αυτή, όχι όμως μικρότερη των 5 °C, καθώς μετά δημιουργούνται προβλήματα κατά την κανονική λειτουργία τους.



(a)

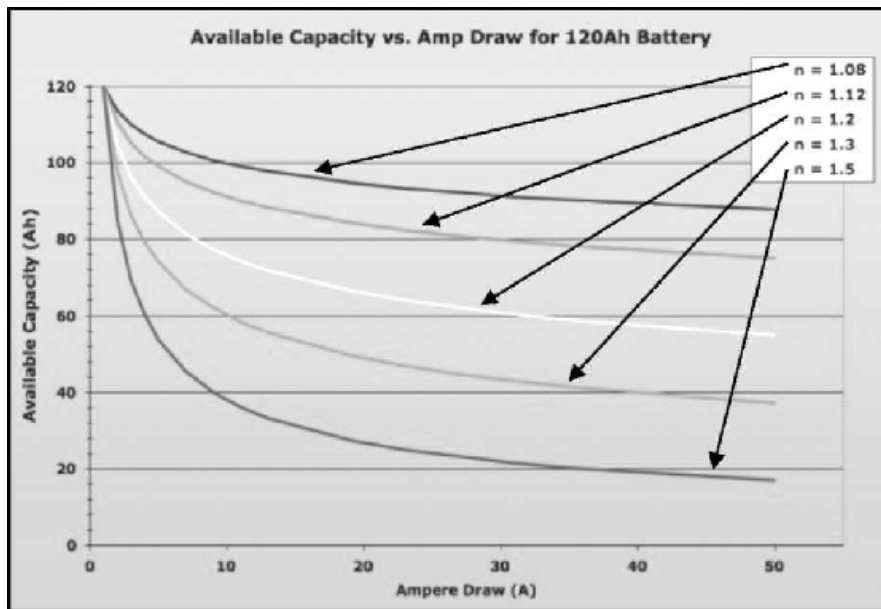


(b)

Σχήμα 5.25 Φαινόμενο αυτό-εκφόρτισης (a) Εναπομένουσα ενέργεια σε συνάρτηση με τον χρόνο σε θερμοκρασία 25 °C και για 3 διαφορετικά μείγματα συσσωρευτών μολύβδου, (b) Απώλειες ειδικού βάρους ανά μέρα σε συνάρτηση με την θερμοκρασία.

Χωρητικότητα συσσωρευτών

Η χωρητικότητα ενός συσσωρευτή μετράται συνήθως σε αμπερώρια (Ah), που είναι σε ιδανικές συνθήκες το γινόμενο της μέσης έντασης του ρεύματος, που δίνει ο συσσωρευτής, ανεξάρτητα από την τάση του, επί το πλήθος των ωρών μέχρι να εκφορτιστεί, ξεκινώντας από πλήρη φόρτιση. Αντίθετα η ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας, που μπορεί να αποθηκεύσει ένας συσσωρευτής εξαρτάται από την τάση του. Οι κατασκευαστές συνήθως αναφέρουν την χωρητικότητα σε αμπερώρια (Ah) για έναν συγκεκριμένο ρυθμό εκφόρτισης. Για παράδειγμα αν η χωρητικότητα μιας μπαταρίας δίνεται 200 Ah για χρόνο εκφόρτισης 10 ωρών, αυτό σημαίνει ότι η μπαταρία για αυτό το χρονικό διάστημα θα δίνει 20A ρεύματος υπό ιδανικές συνθήκες (25 °C).



Σχήμα 5.26 Φαινόμενο Peukert. Χωρητικότητα ενός συσσωρευτή του ρεύματος εκφόρτισης για διαφορετικές τιμές της σταθεράς n.

Από τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό ότι η χωρητικότητα μιας μπαταρίας εξαρτάται από τον ρυθμό εκφόρτισής της. Εξήγηση για αυτή τη σχέση χωρητικότητας - ρυθμού εκφόρτισης δίνει το φαινόμενο Peukert. Σύμφωνα με το φαινόμενο Peukert, ο χρόνος για την εκφόρτιση ενός συσσωρευτή μεταβάλλεται αντιστρόφως ανάλογα με το ρεύμα με το οποίο γίνεται αυτή η εκφόρτιση. Μια εμπειρική σχέση για το φαινόμενο Peukert είναι η εξής:

$$I_n \cdot t = K \quad (5.30)$$

όπου I το ρεύμα εκφόρτισης σε Ampere, t ο χρόνος εκφόρτισης σε sec, και K , η σταθερά που εξαρτώνται από το είδος του συσσωρευτή. Επειδή η σταθερά K

κάθε συσσωρευτή εξαρτάται από τη θερμοκρασία και τη συγκέντρωση του ηλεκτρολύτη, εισάγοντας διόρθωση θερμοκρασίας θα έχουμε:

$$K = K_0(1 + a.T) \quad (5.31)$$

όπου K_0 , a σταθερές και T η θερμοκρασία.

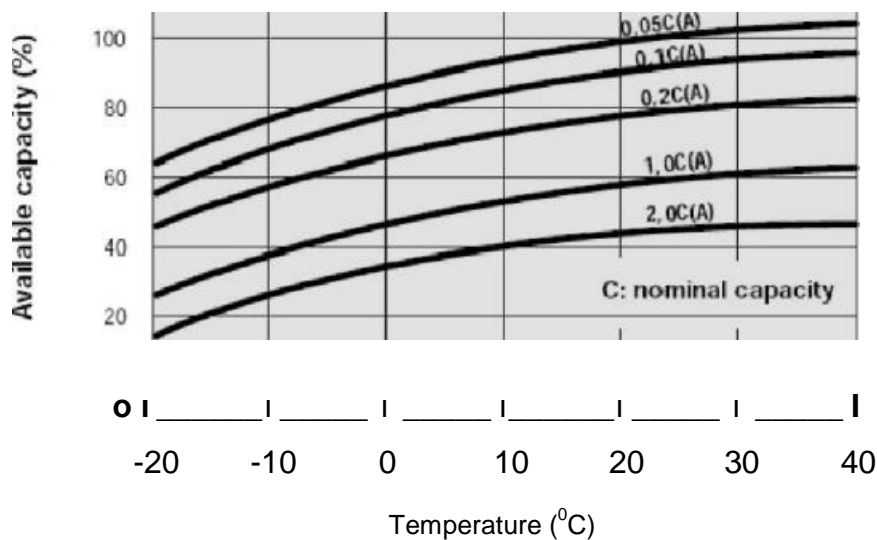
Στην εξίσωση Peukert μπορεί επιπρόσθετα να εισαχθεί και ένας παράγοντας ώστε να ληφθεί υπ' όψιν και το πάχος των ηλεκτροδίων, οπότε γίνεται:

$$I_n \left(\frac{t}{d^{2-n}} \right) = K_0(1 + a.T) \quad (5.32)$$

όπου d το πάχος των πλακών του συσσωρευτή. Από τη σχέση αυτή είναι φανερή η αλληλεπίδραση μεταξύ ρεύματος εκφόρτισης, χρόνου εκφόρτισης και θερμοκρασίας. Γι' αυτό το λόγο η χωρητικότητα ενός συσσωρευτή αναφέρεται πάντα συναρτήσει των ωρών που διαρκεί αυτή ή του ρεύματος εκφόρτισης, μετρημένες σε μια θερμοκρασία αναφοράς, συνήθως τους 25 °C.

Η αποθηκευμένη ενέργεια στον συσσωρευτή μπορεί να υπολογιστεί πολλαπλασιάζοντας την χωρητικότητά του σε Ah επί την ονομαστική τάση αυτού. Πρέπει να σημειωθεί ότι η ονομαστική αυτή χωρητικότητα δεν είναι ποτέ και η πραγματική. Λόγω της εσωτερικής αντίστασης των συσσωρευτών, συνήθως ένα 80% αυτής της ενέργειας μπορεί να εξαχθεί από ένα συσσωρευτή. Αυτό πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψη κατά τη σχεδίαση ενός αυτόνομου συστήματος.

Ακόμα από την εξίσωση Peukert φαίνεται ότι χωρητικότητα αυξάνει με την θερμοκρασία του συσσωρευτή. Συγχρόνως όμως επιταχύνονται οι μηχανισμοί διάβρωσης και μειώνεται η διάρκεια ζωής του (Σχήμα 5.27).



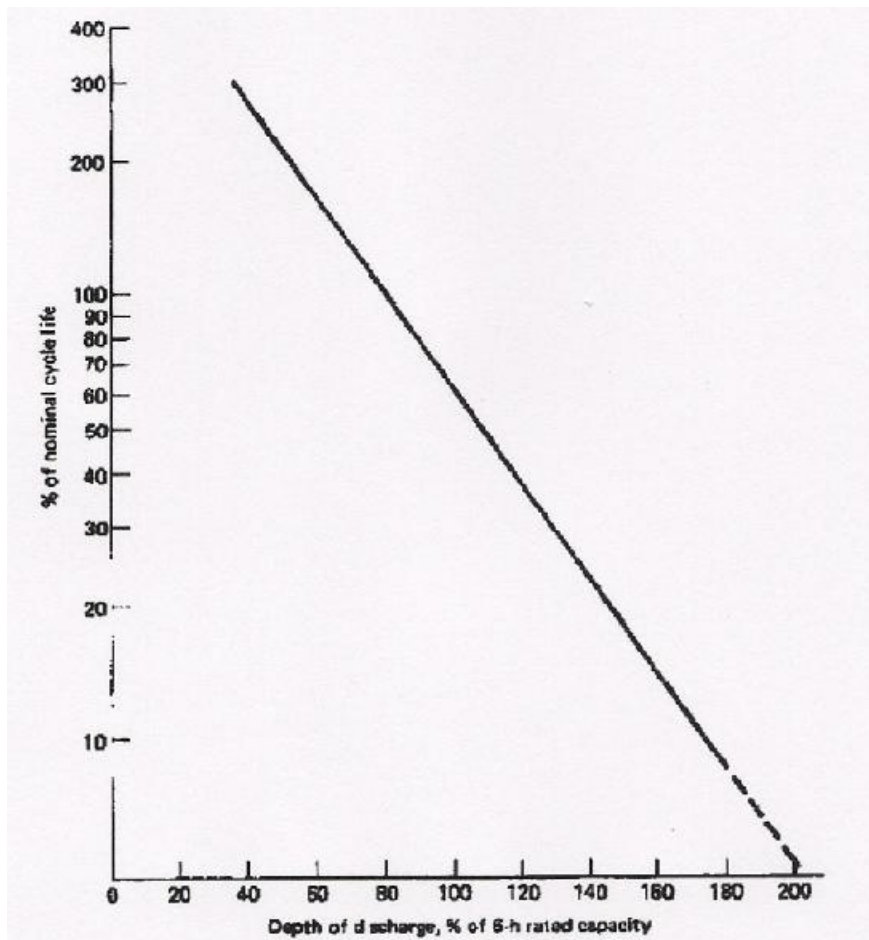
Σχήμα 5.27 Διαθέσιμη χωρητικότητα σε σχέση με τη θερμοκρασία για διάφορες τιμές ρεύματος.

Διάρκεια ζωής

Οι σημαντικότεροι παράγοντες που επηρεάζουν αρνητικά τη διάρκεια ζωής ενός συσσωρευτή είναι:

- Η θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία του περιβάλλοντος τόσο μειώνεται η διάρκεια ζωής του συσσωρευτή.
- Το βάθος εκφόρτισης (Σχήμα 5.28). Η εκφόρτιση των συσσωρευτών πέρα από την επιτρεπόμενη από τον κατασκευαστή τιμή του, μειώνει δραστικά τόσο τη διάρκεια ζωής όσο και τη χωρητικότητα. Αν το βάθος εκφόρτισης υπερβεί το 80% τότε ο συσσωρευτής αποκλίνει από την ονομαστική διάρκεια ζωής του.
- Το ποσοστό υπερφόρτισης. Αντίστοιχα αποτελέσματα έχει η φόρτιση του συσσωρευτή πάνω από τα επιτρεπτά όρια.

- Η τάση και το ρεύμα φόρτισης. Κατά τη διάρκεια της φόρτισης ένα αρχικό ρεύμα μεγάλης τιμής μπορεί να έχει αρνητικές συνέπειες. Το ίδιο συμβαίνει και με μια πιθανή υπέρταση.



Σχήμα 5.28 Διάρκεια ζωής ως ποσοστό της ονομαστικής ,σε συνάρτηση με το βάθος εκφόρτισης

Διαστασιολόγηση συσσωρευτή

Ένας συσσωρευτής ονομαστικής χωρητικότητας C_N , έχει αξιοποιήσιμη (ενεργό) χωρητικότητα C :

$$C = \beta C_N \quad (5.33)$$

όπου β το βάθος εκφόρτισης. Η μέγιστη ηλεκτρική ενέργεια που μπορεί να αποθηκευτεί και να ανακτηθεί, σε ιδανικές συνθήκες είναι:

$$E = C \cdot V = \beta C_N \cdot V \quad (5.34)$$

Ως συντελεστής απόδοσης a , ενός συσσωρευτή ορίζεται ο λόγος της μέγιστης ενέργειας που μπορεί να ανακτηθεί προς την ενέργεια που έχει απορροφηθεί από την εξωτερική πηγή ηλεκτρικού ρεύματος, σε κάθε κύκλο φόρτισης-εκφόρτισης.

Επομένως η ενέργεια που ζητείται από τον συσσωρευτή αντιστοιχεί σε ενέργεια φόρτισης E_ϕ , που δίνεται από τη σχέση:

$$E_j = \frac{E}{a} \quad (5.35)$$

λόγο της σχέσης αυτής και της 5.34 η ονομαστική χωρητικότητα προκύπτει :

$$C_N = \frac{E_j}{b \cdot V} = \frac{E}{a \cdot b \cdot V} \quad (5.36)$$

Αν είναι γνωστή η μέση ισχύς της κατανάλωσης που απαιτείται για διάστημα μ ημερών, τότε μπορεί να υπολογιστεί η ενεργός χωρητικότητα του συσσωρευτή:

$$C_N = \frac{24.m}{a.V} \quad (5.37)$$

5.7 ΣΥΝΔΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ

Η λειτουργία ενός ηλεκτρικού δικτύου ελέγχεται από συσκευές προστασίας και ρύθμισης της τάσης, που έχουν σκοπό την παροχή προς τους καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας αποδεκτής ποιότητας, ελαχιστοποιώντας τον αριθμό των σφαλμάτων και προσφέροντας υψηλό επίπεδο ασφάλειας. Η σύνδεση στο δίκτυο μονάδων παραγωγής πρέπει να συμβαδίζει με αυτές τις γενικές αρχές, ώστε αφενός μεν να μην προκαλούνται ενοχλήσεις στους λοιπούς καταναλωτές και αφετέρου να υπάρχει συμβατότητα μεταξύ του δικτύου διανομής και των εγκαταστάσεων των παραγωγών.

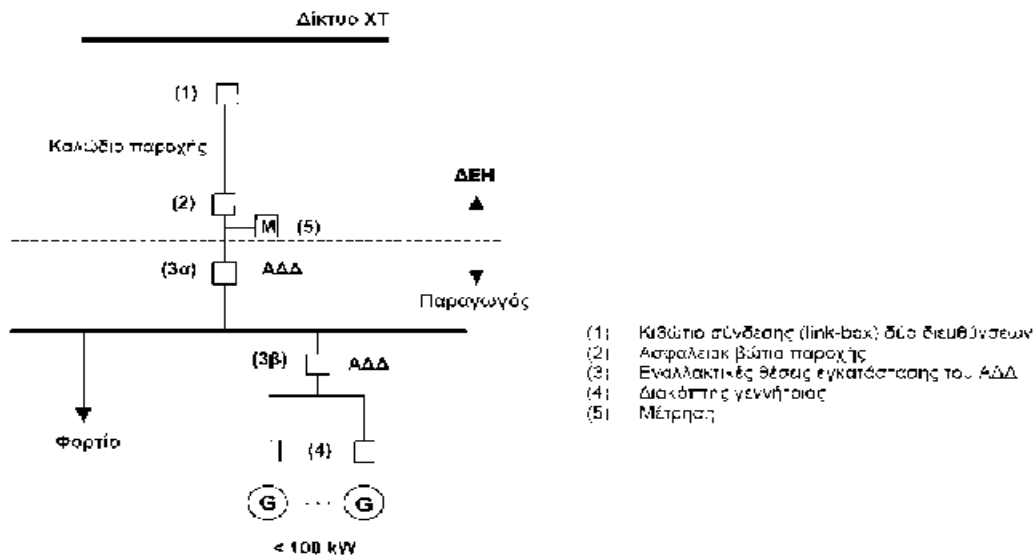
Ο τρόπος σύνδεσης μιας δεδομένης εγκατάστασης παραγωγής δεν προκύπτει μονοσήμαντα από την ονομαστική ισχύ της. Δηλαδή σταθμοί παραγωγής ίδιας ισχύος μπορεί να συνδέονται στο δίκτυο κατά τελείως διαφορετικούς τρόπους, ανάλογα με τα ειδικά τεχνικά τους χαρακτηριστικά, την κατά περίπτωση υφιστάμενη κατάσταση δικτύων και την προβλεπόμενη ανάπτυξή τους. Παρ' όλα αυτά υπάρχουν οι ακόλουθοι δύο περιορισμοί ως προς το επίπεδο τάσης στο οποίο μπορεί να συνδεθεί μια εγκατάσταση παραγωγής, οι οποίοι εφαρμόζονται κατά την εξέταση, ασχέτως των λοιπών τεχνικών κριτηρίων:

- Εγκαταστάσεις συμφωνημένης ισχύος μεγαλύτερης των 100 kW δεν μπορούν να συνδεθούν στο δίκτυο ΧΤ.
- Εγκαταστάσεις συμφωνημένης ισχύος μεγαλύτερης των 20 MW δεν μπορούν να συνδεθούν στο δίκτυο ΜΤ.

Γενικά η επιλογή του τρόπου σύνδεσης αποτελεί αντικείμενο τεχνικοοικονομικής εξέτασης, λαμβάνοντας υπόψη το κόστος κεφαλαίου των έργων ενίσχυσης και επέκτασης του δικτύου και αφετέρου τις απώλειες ενέργειας κάθε τρόπου διασύνδεσης καθ' όλη τη διάρκεια ζωής της εγκατάστασης, αλλά και άλλους παράγοντες (χρόνος και δυνατότητα κατασκευής των έργων, χρηματοδότησή τους κλπ.).

Σύνδεση στο δίκτυο ΧΤ

Η σύνδεση παραγωγών στο δίκτυο ΧΤ επιτρέπεται για εγκαταστάσεις συνολικής ισχύος μέχρι 100 kW. Ανάλογα με την ισχύ των γεννητριών που θα συνδεθούν στο δίκτυο ΧΤ, εξετάζεται αν είναι δυνατή η σύνδεση χωρίς επαύξηση της παροχής του παραγωγού. Αν απαιτείται επαύξηση της παροχής, γίνεται μελέτη επάρκειας του δικτύου.



Σχήμα 5.29 Τυπική διάταξη σύνδεσης παραγωγού στο δίκτυο ΧΤ[18].

Στο Σχήμα 5.29 φαίνεται μια τυπική διάταξη σύνδεσης παραγωγού στο δίκτυο ΧΤ. Βασική απαίτηση για λόγους ασφάλειας είναι η ύπαρξη μέσω διακοπής (με ικανότητα διακοπής ρεύματος φορτίου) και ορατής απόζευξης, προσιτών ανά πάσα στιγμή στο προσωπικό της ΔΕΗ, ώστε να εξασφαλίζεται η απομόνωση του παραγωγού από το δίκτυο όταν αυτό απαιτείται από τη ΔΕΗ. Η απαίτηση ορατής απόζευξης ικανοποιείται τόσο από το κιβώτιο σύνδεσης (1), όσο και από τις ασφάλειες της παροχής (2). Για εγκαταστάσεις μικρής ισχύος τα μέσα αυτά μπορούν σε έκτακτες περιπτώσεις να χρησιμοποιηθούν και για τη διακοπή της εγκατάστασης. Σε εγκαταστάσεις μεγαλύτερης ισχύος είναι αναγκαία η ύπαρξη διακόπτη φορτίου ή ισχύος. Το μέσο διακοπής (3) είναι ο αυτόματος διακόπτης της διασύνδεσης (ΑΔΔ). Μπορεί να τοποθετηθεί εναλλακτικά σε δύο θέσεις, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.1, ανάλογα με την επιθυμία του παραγωγού. Εάν επιλεγεί η θέση (3α), τότε είναι εφικτή η απομονωμένη λειτουργία της συνολικής εγκατάστασης (εγκατάσταση παραγωγής και φορτία). Ο παραγωγός θα πρέπει να παρέχει πρόσβαση στον

ΑΔΔ και στο σχετικό σύστημα προστασίας στο αρμόδιο προσωπικό της ΔΕΗ. Είναι γενικά αποδεκτό, αλλά απαιτεί προηγούμενη συμφωνία με τη ΔΕΗ, οι λειτουργίες του ΑΔΔ να πραγματοποιούνται από τον διακόπτη και το σύστημα προστασίας των γεννητριών, όταν δεν προβλέπεται η απομονωμένη λειτουργία των εγκαταστάσεων.

Το είδος και ο αριθμός των απαιτούμενων μετρητικών διατάξεων και συσκευών ρύθμισης καθορίζονται σύμφωνα με τους όρους της σύμβασης ΔΕΗ-Παραγωγού. Σε κάθε περίπτωση, πάντως, χρησιμοποιούνται μετρητικές διατάξεις χωρίς δυνατότητα αντίθετης περιστροφής και πραγματοποιείται ανεξάρτητη μέτρηση της παραγόμενης και καταναλισκόμενης ενέργειας στις εγκαταστάσεις του παραγωγού. Εάν η παροχή είναι τριφασική, ο μετρητής της παρεχόμενης στο δίκτυο ενέργειας πρέπει να είναι τριφασικός, ακόμη και για μονοφασικές εγκαταστάσεις παραγωγής.

Συνθήκες ζεύξης

Για εγκαταστάσεις παραγωγής με αντιστροφείς ΣΡ/ΕΡ, η ζεύξη πρέπει να γίνεται με την πλευρά ΕΡ του μετατροπέα χωρίς τάση.

Προστασία απόζευξης

Η εγκατάσταση παραγωγής πρέπει να διαθέτει προστασία έναντι βραχυκυκλώματος, έναντι υπερφόρτισης και έναντι άμεσης και έμμεσης επαφής. Επιπλέον, για την προστασία της ίδιας της εγκατάστασης, αλλά και των άλλων εγκαταστάσεων του δικτύου, απαιτείται η ύπαρξη συστήματος προστασίας απόζευξης το οποίο επενεργεί στον ΑΔΔ και εξασφαλίζει την αποσύνδεση της εγκατάστασης από το δίκτυο όταν εμφανιστούν αποκλίσεις τάσης ή/και συχνότητας άνω των προβλεπόμενων ορίων.

Σε εγκαταστάσεις παραγωγής με αντιστροφείς ΣΡ/ΕΡ η επιτήρηση συχνότητας μπορεί να απουσιάζει, εάν ο αντιστροφέας δεν διαθέτει τη

δυνατότητα αυτή. Αντίθετα, η επιτήρηση της τάσης (προστασίες υπότασης και υπέρτασης) είναι πάντοτε αναγκαία, η δε συνιστώμενη ρύθμιση για την προστασία υπέρτασης είναι 1,10-Un.

Επιπτώσεις στην τάση του δικτύου

Η σύνδεση εγκαταστάσεων παραγωγής σε κάποιο σημείο του δικτύου ΧΤ είναι δυνατή, υπό την προϋπόθεση ότι η λειτουργία τους δεν προκαλεί υπέρβαση της επιτρεπόμενης στάθμης διαταραχών για δημόσια δίκτυα ΧΤ και άρα δεν παρενοχλεί άλλες εγκαταστάσεις και συσκευές του δικτύου. Διαταραχές οι οποίες εξετάζονται είναι οι προκαλούμενες μεταβολές της τάσης στο σημείο κοινής σύνδεσης, το flicker και η αρμονική παραμόρφωση της τάσης εξαιτίας της λειτουργίας των εγκαταστάσεων. Η λειτουργία μιας εγκατάστασης παραγωγής είναι αποδεκτή όταν δεν γίνεται υπέρβαση των ορίων που καθορίζονται από τα θεσπισμένα πρότυπα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 - ΜΕΛΕΤΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟΥ Φ/Β
ΣΤΑΘΜΟΥ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ 100kWp

6.1 ΣΕΝΑΡΙΟ

Σκοπός της μελέτης είναι η εγκατάσταση ενός φ/β σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που θα έχει ονομαστική ισχύ περί τα 100kWp στον ελλαδικό

χώρο. Αρχικά εξετάζεται το ηλιακό δυναμικό της Ελλάδας, αφού πρώτα χωριστεί η

χώρα σε 7 περιοχές ανάλογα με την ετήσια ηλιακή ακτινοβολία που δέχονται και επιλεγούν ενδεικτικά συγκεκριμένες τοποθεσίες-πόλεις από κάθε μια από αυτές τις

περιοχές. Έπειτα επιλέγεται μια πόλη που και γίνεται λεπτομερέστερη ανάλυση του

ηλιακού δυναμικού. Η πόλη που επιλέγεται είναι η Σπάρτη. Όσον αφορά την κλίση των συστοιχιών εξετάζεται το ηλιακό δυναμικό:

- Σταθερή ετήσια κλίση, σε αμετακίνητες βάσεις στήριξης

Δεν εξετάζεται η περίπτωση ενός συστήματος με κινούμενες συστοιχίες που θα ακολουθούν τις ακτίνες του ήλιου για λόγους ταχύτητας διεκπεραίωσης του έργου, συντήρησης και για λόγους μεγάλης οικονομικής επιβάρυνσης. Η μορφολογία του εδάφους δεν είναι ομαλή, αλλά παρουσιάζει μια κλίση 8% στη διεύθυνση Βορρά- Νότου με υπερύψωση στον Βορρά και μια μικρή κλίση 3% στη διεύθυνση Ανατολής- Δύσης με υπερύψωση στη Δύση. Η ευρύτερη περιοχή έχει θαμνώδη βλάστηση, ενώ δεν υπάρχουν σε κοντινή απόσταση κτίρια ή κάποιο ψηλό βουνό ή κάποιο άλλο εμπόδιο, που θα μπορούσε να δημιουργήσει προβλήματα σκίασης. Στην περιοχή πνέουν αρκετά ισχυροί άνεμοι με μέσο όρο 3m/s. Η έκταση γης, στην οποία θα τοποθετηθεί η φ/β γεννήτρια βρίσκεται σε κοντινή απόσταση με το δίκτυο ΧΤ,

γεγονός που δεν δικαιολογεί επιπλέον έξοδα υποδομών για διασύνδεση στο δίκτυο. Επιπλέον εξετάζονται αναλυτικά διάφορα μέτρα για την προστασία της εγκατάστασης, όπως γειώσεις και αντικεραυνική προστασία. Αφού υπολογιστεί η παραγόμενη ετήσια ενέργεια από το φ/β πάρκο, γίνεται διερεύνηση του αντίστοιχου μεγέθους και για τις άλλες 6 πόλεις. Τέλος γίνεται μια οικονομοτεχνική μελέτη του φ/β πάρκου και εξετάζεται η βιωσιμότητα μιας τέτοιας επένδυσης.

6.2 ΑΝΑΛΥΣΗ

Κριτήρια επιλογής ισχύος

Ο σχεδιασμός ενός Φ/Β πάρκου όπως και κάθε σχεδιασμός τεχνικού έργου προαπαιτεί την επιλογή συγκεκριμένων μεγεθών. Μέγεθος αφετηρία για τη σχεδίαση

ενός Φ/Β πάρκου αποτελεί η ισχύς του, η οποία καθορίζεται κατά περίπτωση από τα

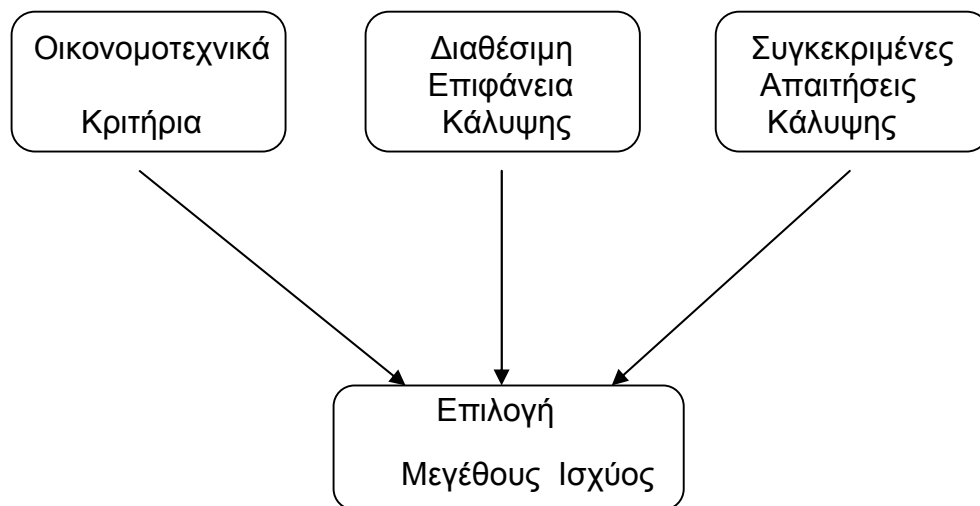
παρακάτω κριτήρια (Σχήμα 6.1):

α) Οικονομοτεχνικά κριτήρια (απαιτήσεις επενδυτή, μέγεθος επένδυσης). Στην περίπτωση αυτή, στην οποία απαιτείται οικονομοτεχνική μελέτη, εμπίπτουν κυρίως οι αυτοπαραγωγοί, με απευθείας διασυνδεδεμένα στο δίκτυο Φ/Β συστήματα.

β) Κριτήρια με βάση την διαθέσιμη επιφάνεια κάλυψης. Στην περίπτωση αυτή η ισχύς του πάρκου είναι ίση με την ισχύ που προκύπτει αν «καλύψουμε» πλήρως με συλλέκτες την διαθέσιμη επιφάνεια (εννοείται ότι συνυπολογίζονται οι ζώνες σκίασης και επισκεψιμότητας). Το σύστημα μπορεί να λειτουργεί αυτόνομα με συσσωρευτές ή χωρίς, με απευθείας διασύνδεση στο δίκτυο.

γ) Καθαρά τεχνικά κριτήρια. Τα κριτήρια αυτά αφορούν τον καθορισμό συγκεκριμένου μεγέθους ισχύος που απορρέει από συγκεκριμένες απαιτήσεις

κατανάλωσης (αυτόνομα συστήματα μη διασυνδεδεμένα, είτε αυτοπαραγωγοί όπως στο πρώτο κριτήριο). Το μειονέκτημα του αυτόνομου συστήματος είναι ότι δεν αξιοποιεί την ενέργεια όταν δεν υπάρχει κατανάλωση, πράγμα που δεν ισχύει με το απευθείας διασυνδεδεμένο σύστημα.

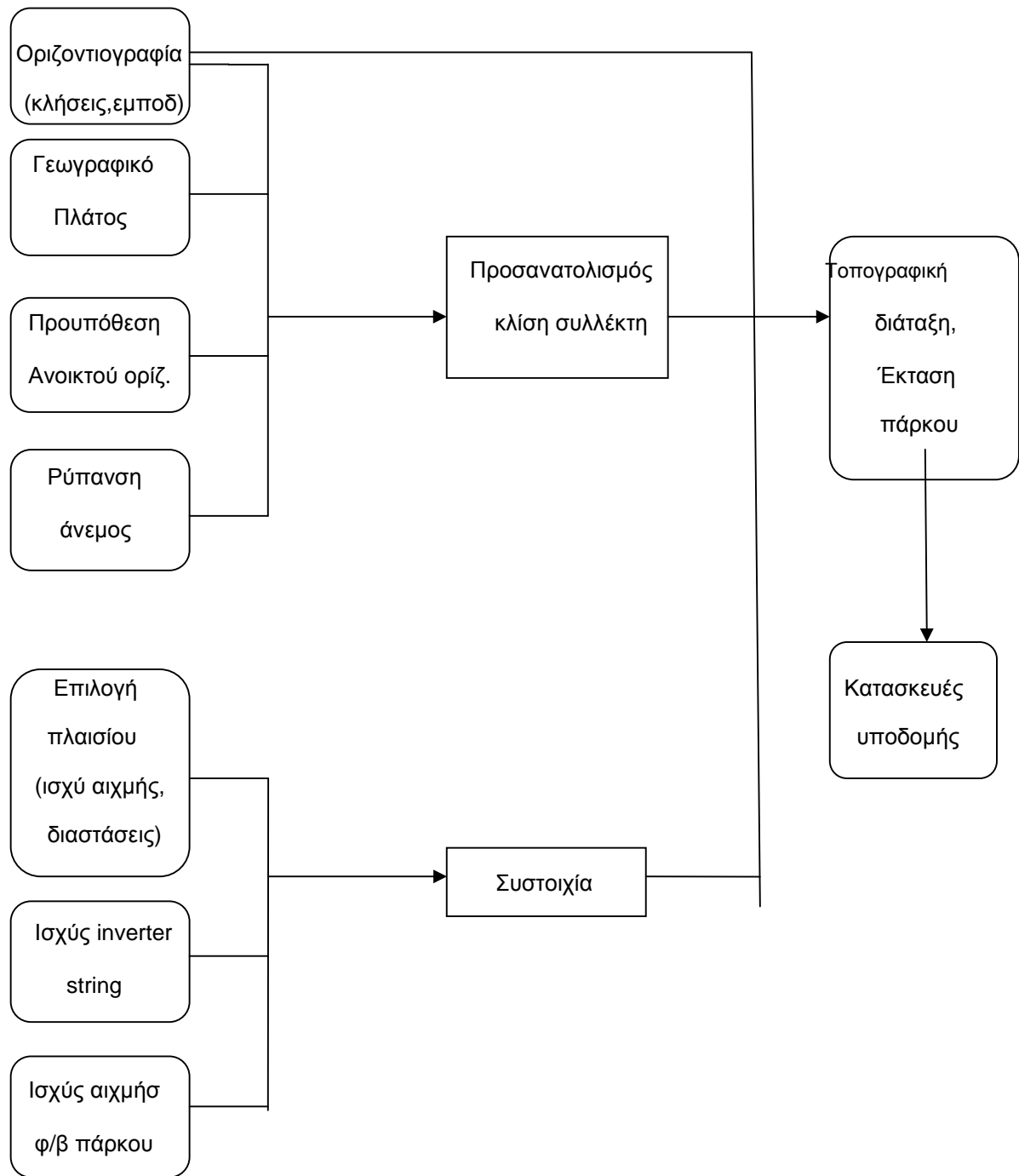


Σχήμα 6.1 Κριτήρια επιλογής ισχύος

Στην περίπτωση μας, όπως είναι φανερό, το μοναδικό κριτήριο που θα καθορίσει το μέγεθος της ισχύος του φ/β πάρκου είναι το ποσό της επένδυσης που είναι διαθέσιμο. Εφόσον, σύμφωνα με το σενάριο, έχουμε στη διάθεσή μας την απαραίτητη έκταση και πρόθεσή μας είναι να υλοποιηθεί το έργο με όσο δυνατόν μεγαλύτερη ισχύ, αλλά χωρίς να υπερβαίνει τα 100kWp (γεγονός που θα δημιουργούσε καθυστερήσεις λόγω γραφειοκρατίας και επιπλέον αδειών, βεβαιώσεων κτλ.) επιλέγεται αυτό το μέγεθος της ισχύος.

Αλγόριθμος Υπολογισμού Διασυνδεδεμένου Φ/β Σταθμού Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας

Για να υπολογιστεί η τοπογραφική διάταξη και η έκταση ενός φ/β σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, που θα καθορίσουν και την κατασκευή των απαραίτητων υποδομών, πρέπει να ληφθούν υπόψη πολλοί παράγοντες. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 6.2 τα κυρίαρχα μεγέθη που το καθορίζουν είναι ο προσανατολισμός και η κλίση των συλλεκτών, η μορφολογία του εδάφους και η κυκλωματική διάταξη της συστοιχίας, που με τη σειρά τους καθορίζονται από την επιλογή πλαισίου, αντιστροφέα και φυσικά την ισχύ της εγκατάστασης.

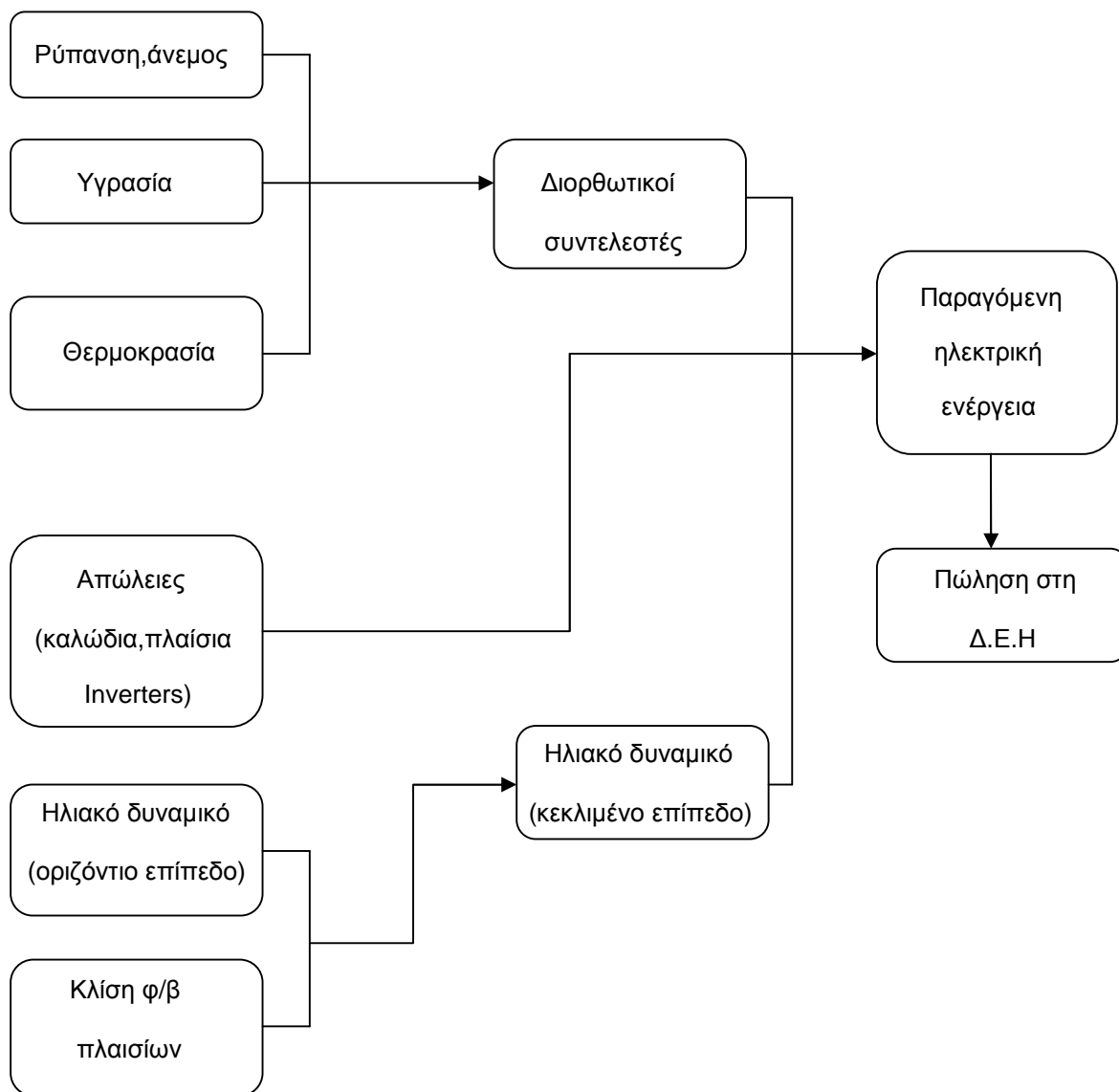


Σχήμα 6.2 Αλγόριθμος υπολογισμού διασυνδεδεμένου φ/β σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Αλγόριθμος Παραγόμενης Ηλεκτρικής Ενέργειας Φ/β Πάρκου

Το ζητούμενο σε κάθε εγκατάσταση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι η μεγιστοποίηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Για να γίνει αυτό πρέπει να είναι κατανοητό από ποιούς παράγοντες εξαρτάται. Σε μία φ/β εγκατάσταση

προφανώς τον πρωταρχικό ρόλο παίζει το διαθέσιμο ηλιακό δυναμικό της περιοχής. Έπειτα σημαντικότερη είναι η συνεισφορά της φ/β γεννήτριας στην καλή απόδοση του συστήματος. Επομένως λαμβάνονται υπόψη οι αποδόσεις των πλαισίων των αντιστροφών, οι απώλειες των καλωδίων κτλ. Τέλος δεν πρέπει να παραληφθούν διάφοροι διορθωτικοί συντελεστές όπως η θερμοκρασία, ο άνεμος και η ρύπανση.

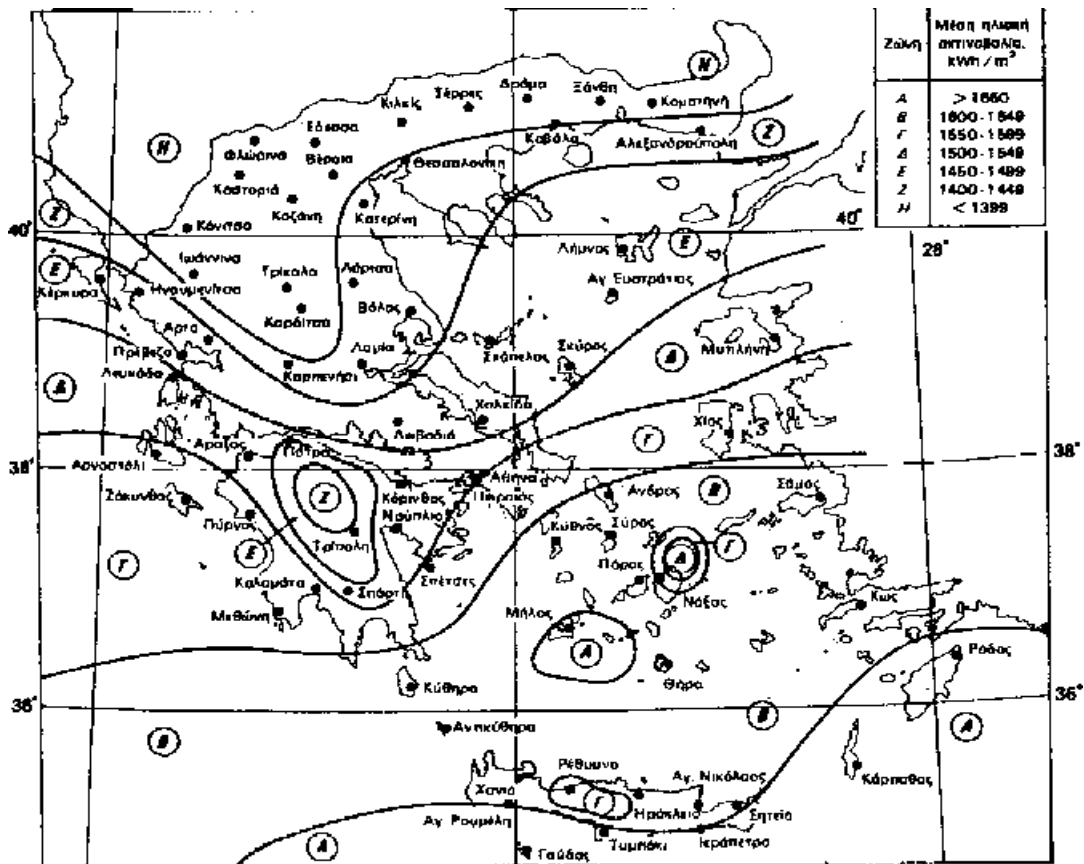


Σχήμα 6.3 Αλγόριθμος υπολογισμού παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας φ/β πάρκου.

6.3 ΗΛΙΑΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Η τοποθεσία ενός φωτοβολταϊκού σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας επηρεάζει την παραγόμενη ισχύ, λόγω των καιρικών φαινομένων της συγκεκριμένης περιοχής και της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται. Το ηλιακό δυναμικό της Ελλάδας θεωρείται από τα υψηλότερα της Ευρώπης, κάνοντας τα φ/β ελκυστικά για αξιοποίηση. Όμως δεν μπορούν να εξαχθούν ανάλογα συμπεράσματα για όλες τις περιοχές της χώρας, καθώς κάποια σημεία δέχονται υψηλά ποσά ηλιακής ακτινοβολίας (π.χ. νησιά νοτιοανατολικού Αιγαίου), ενώ άλλα πολύ χαμηλότερα (π.χ. βόρεια Ελλάδα). Για αυτό το λόγο ακολουθεί η παρακάτω ανάλυση, που σκοπό έχει να δείξει τις περιοχές μεγάλου ηλιακού δυναμικού, αλλά και την εύρεση της βέλτιστης κλίσης ανά τοποθεσία.

Ο Ελλαδικός χώρος μπορεί να χωριστεί σε 7 ζώνες ανάλογα με το ποσό της ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται (Σχήμα 6.4).



Σχήμα 6.4 Κατανομή της μέσης συνολικής ετήσιας έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας, σε οριζόντιο επίπεδο, στις διάφορες περιοχές της Ελλάδας

Από τον παραπάνω χάρτη είναι εμφανή τα σημεία που έχουν υψηλές τιμές ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας και είναι τα νησιά του νότιου, νοτιοανατολικού Αιγαίου και η Κρήτη. Αν συγκρίνουμε την ετήσια ηλιακή ακτινοβολία στις περιοχές με υψηλό δυναμικό με αυτές που έχουν το χαμηλότερο, τότε οι πρώτες εμφανίζονται να έχουν ετήσια ηλιακή ακτινοβολία κατά 25% περίπου υψηλότερο.

Για την εύρεση της βέλτιστης ετήσιας κλίσης, χρησιμοποιείται η ανάλυση του κεφαλαίου 2. Παρακάτω επιλέγονται 7 πόλεις της Ελλάδας, μια από κάθε περιοχή και υπολογίζεται η βέλτιστη γωνία κλίσης και η αντίστοιχη μέγιστη ηλιακή ακτινοβολία. Ως αφετηρία χρησιμοποιείται η τιμή της ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο[1]. Οι πόλεις φαίνονται στον Πίνακα 6.1, ενώ

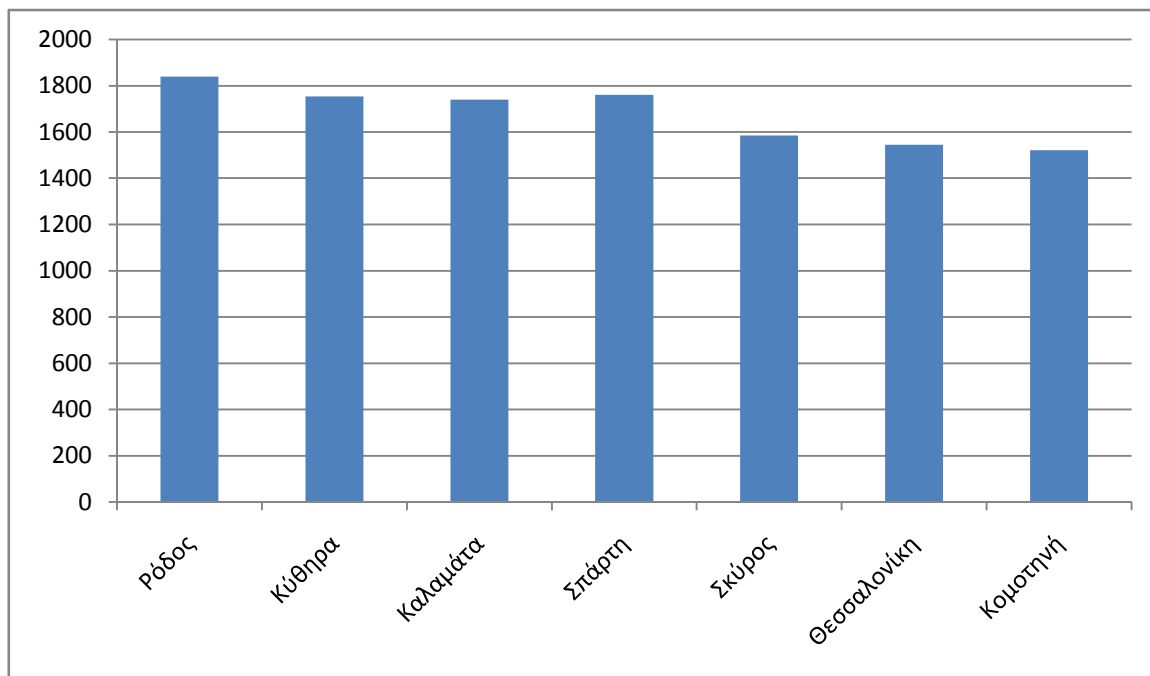
στον Πίνακα 6.2 εκτός από τη $\beta_{\text{ορι}}$ και το αντίστοιχο H_{Tmax} δίνεται και η διαφορά ανάμεσα στο γεωγραφικό πλάτος και το $\beta_{\text{ορι}}$. Παρατηρούμε ότι η διαφορά αυτή μεγαλώνει όσο μεγαλώνει και το γεωγραφικό πλάτος. Στο σχήμα 6.6 φαίνονται οι καμπύλες της ηλιακής ακτινοβολίας συναρτήσει της κλίσης για τις 7 παραπάνω πόλεις.

Πίνακας 6.1

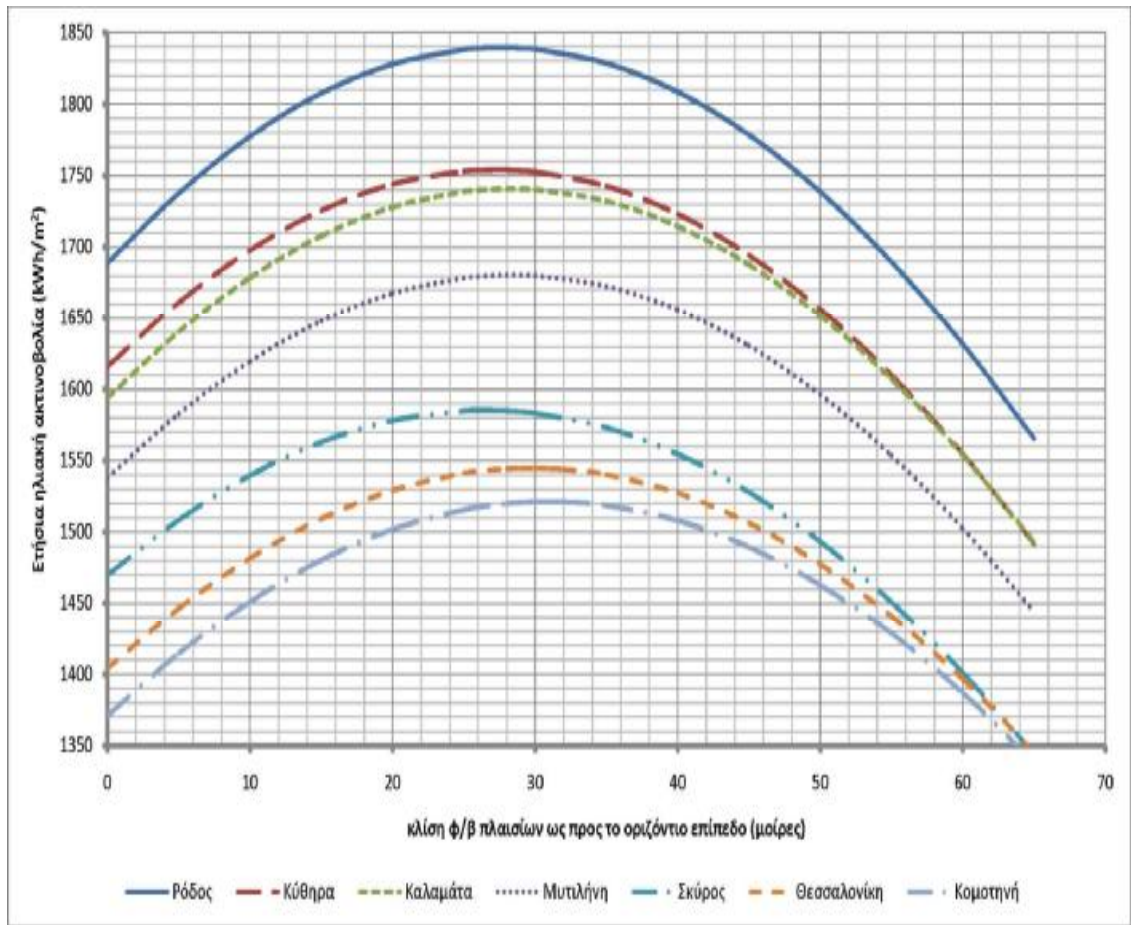
Πόλη	Ζώνη	Συνολική ετήσια ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο H (kWh/m ²)	Γεωγραφικό Πλάτος φ (μοίρες)
Ρόδος	A	1686	36,17
Κύθηρα	B	1615	36,17
Καλαμάτα	Γ	1596	37,03
Σπάρτη	Δ	1630	37,00
Σκύρος	E	1480	38,90
Θεσσαλονίκη	Z	1403	40,64
Κομοτηνή	H	1368	41,10

Πίνακας 6.2

Πόλη	Ζώνη	β_{opt} (μοίρες)	Συνολική ετήσια ηλιακή ακτινοβολία για β_{opt} (kWh/m ²)
Ρόδος	A	28	1839
Κύθηρα	B	27	1754
Καλαμάτα	Γ	28	1740
Σπάρτη	Δ	28	1760
Σκύρος	E	27	1585
Θεσσαλονίκη	Z	30	1544
Κομοτηνή	H	31	1521



Σχήμα 6.5 Μέγιστη ετήσια ηλιακή ακτινοβολία για γωνία κλίσης β_{opt} για 7 πόλεις της Ελλάδας.



Σχήμα 6.6 Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας συναρτήσει της κλίσης για 7 πόλεις της Ελλάδας

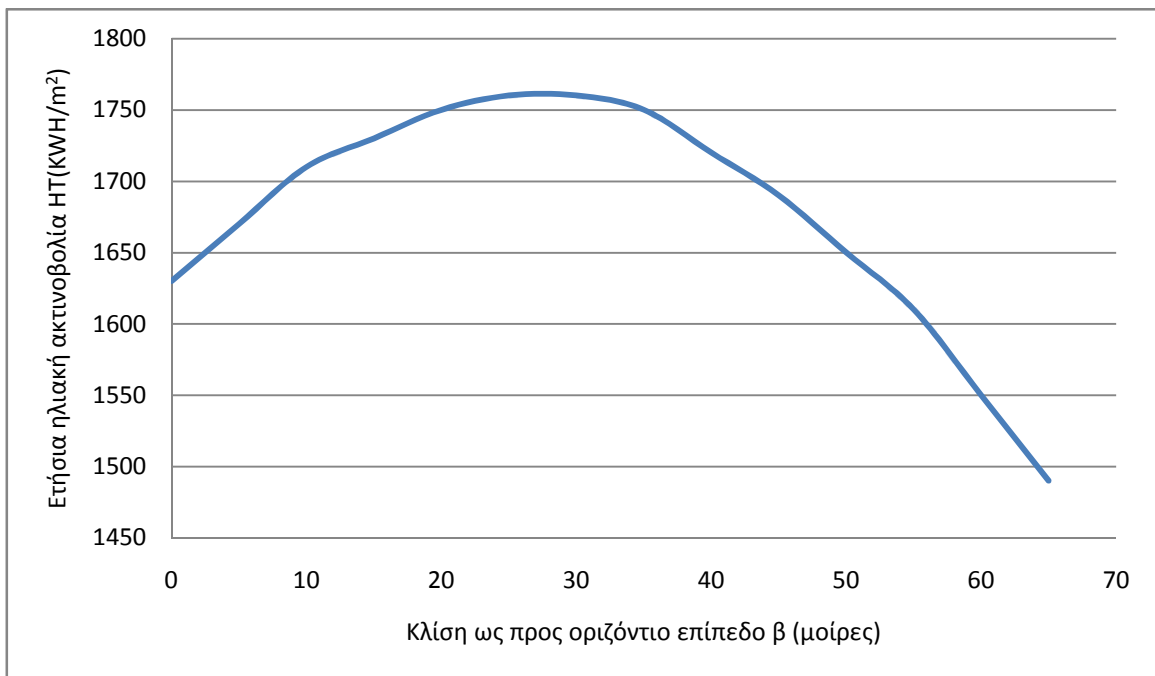
6.3.1 Ηλιακό δυναμικό για την πόλη της Σπάρτης

6.3.1.1 Σταθερή ετήσια κλίση

Αρχικός στόχος είναι η εύρεση της βέλτιστης κλίσης των φ/β συστοιχιών ως προς το οριζόντιο επίπεδο σε ετήσια βάση, δηλαδή εκείνη η κλίση που θα εξασφαλίσει τη μέγιστη ετήσια ηλιακή ακτινοβολία. Όσον αφορά την τιμή της αζιμούθιας γωνίας γ , προφανώς αυτή επιλέγεται μηδενική, δηλαδή επιλέγεται απόλυτα νότιος προσανατολισμός. Οι τιμές της ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο στην Σπάρτη, όπου θα εγκατασταθεί η φ/β γεννήτρια, καθώς και οι τιμές της για κλίσεις από 0° μέχρι 65° υπολογίστηκαν και παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.3, ενώ η καμπύλη που προέκυψε φαίνεται στο σχήμα 6.7. Παρατηρούμε ότι η βέλτιστη γωνία κλίσης β_{opt} είναι κοντά στις 26° - 32° .

Πίνακας 6.3

Κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο β (μοίρες)	Ετήσια ηλιακή ακτινοβολία H_T (kWh/m ²)
0	1630
5	1670
10	1710
15	1730
20	1750
25	1760
30	1760
35	1750
40	1720
45	1690
50	1650
55	1610
60	1550
65	1490



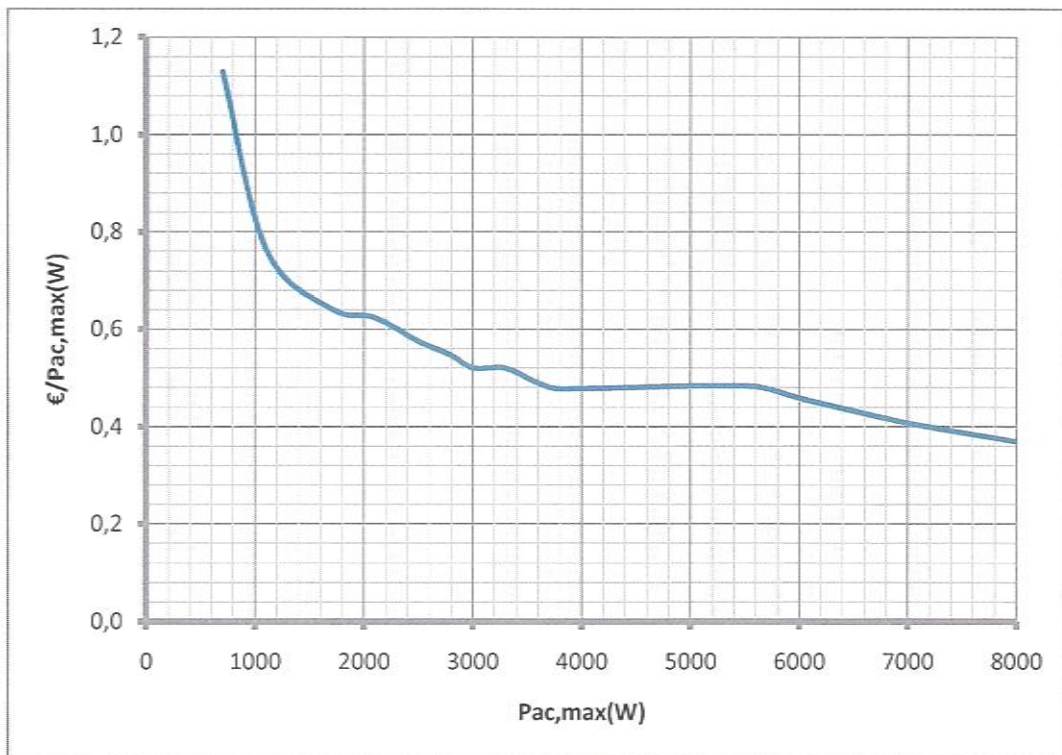
Σχήμα 6.7 Ετήσια ηλιακή ακτινοβολία συναρτήσει της κλίσης β.

6.4 ΕΠΙΛΟΓΗ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑ

Η επιλογή των αντιστροφών είναι ίσως το σημαντικότερο κομμάτι στη μελέτη μιας φ/β εγκατάστασης. Αν η προσέγγιση γίνει μόνο από οικονομικής πλευράς τότε αναμφισβήτητα θα καταλήξουμε στην επιλογή αντιστροφών μεγάλης ισχύος, γιατί η διαφορά στην τιμή είναι αρκετά μεγάλη και η πολυπλοκότητα του φ/β συστήματος μικρή (Σχήμα 6.11). Ως ακραίο παράδειγμα

θα μπορούσαμε να θεωρήσουμε ότι το συγκεκριμένο φ/β πάρκο ισχύος 100kWp καλύπτεται από ένα και μόνο αντιστροφέα. Όμως μια τέτοια επιλογή, προφανώς είναι λανθασμένη, καθώς περιέχει τον κίνδυνο να αποκοπεί όλο το σύστημα σε περίπτωση βλάβης του μοναδικού αντιστροφέα. Επισημαίνεται ότι ο τύπος των αντιστροφέων για απευθείας διασύνδεση είναι συγκεκριμένος και με ειδικές διατάξεις όπως αυτές του σκανδαλισμού, της διάγνωσης και του εύρους λειτουργίας. Για τη λειτουργία τους προαπαιτείται η ύπαρξη τάσης στο δίκτυο (σκανδαλισμός).

Ακόμα πρέπει να τονιστεί ότι η ονομαστική ισχύς εξόδου του αντιστροφέα δεν πρέπει να ταυτίζεται σε καμία περίπτωση με την ισχύ αιχμής των φ/β πλαισίων στην είσοδό του. Μια τέτοια επιλογή θα ήταν λανθασμένη, καθώς τα φ/β πλαίσια παράγουν την ονομαστική ισχύ αιχμής τους υπό ιδανικές συνθήκες, οι οποίες δεν συναντώνται στην πράξη και αν συμβεί ποτέ αυτό διαρκεί για ένα πολύ μικρό διάστημα. Επιπλέον και οι εταιρίες, οι οποίες παράγουν αντιστροφείς προτείνουν η μέγιστη ονομαστική ισχύς της γεννήτριας να είναι αυξημένη κατά ένα ποσοστό σε σχέση με την ονομαστική ισχύ εισόδου του αντιστροφέα. Η τιμή αυτή μπορεί να είναι κατά 10-20% μεγαλύτερη από την ονομαστική ισχύ εξόδου του αντιστροφέα. Σε αντίθετη περίπτωση, δηλαδή αν επιλεγεί μικρότερη τιμή, αυτό θα είχε σαν αποτέλεσμα μη αποδοτική χρήση των αντιστροφέων και ακόμα μεγαλύτερο κόστος, καθώς θα απαιτούνται περισσότεροι αντιστροφείς για την υλοποίηση της ίδιας φ/β εγκατάστασης.



Σχήμα 6.11 Κόστος αντιστροφέων σε σχέση με την μέγιστη ισχύ εξόδου. Οι τιμές αφορούν αντιστροφείς της εταιρίας SMA (σειρές Sunny Boy και Sunny Mini Central) και προέκυψαν από μια στοιχειώδη έρευνα αγοράς στο διαδίκτυο. Σκοπός είναι να φανεί ότι το κόστος ανά Watt μειώνεται με την αύξηση της ισχύος του αντιστροφέα.

Η ισχύς του αντιστροφέα πρέπει να συμβιβάζει πολλούς παραμέτρους. Για το συγκεκριμένο φ/β πάρκο εξετάστηκαν τα προϊόντα μιας εκ των μεγαλύτερων εταιριών στον χώρο, της SMA. Η εταιρία αυτή δραστηριοποιείται πολλά χρόνια στο χώρο των αντιστροφέων για φ/β συστήματα και τα προϊόντα της θεωρούνται κορυφαία όσον αφορά την αξιοπιστία και την απόδοση.

Η προσέγγιση που ακολουθείται για την επιλογή του κατάλληλου μοντέλου αντιστροφέα έχει πρώτα από όλα να κάνει με την επιλογή της κατάλληλης ισχύος. Η επιλογή αυτή πρέπει να συμβιβάζει τους παράγοντες του κόστους, της αξιοπιστίας και ευκολίας χειρισμού του συστήματος. Θεωρούμε ότι όλοι οι

αντιστροφείς που θα χρησιμοποιηθούν είναι όμοιοι, γεγονός που εξασφαλίζει ότι και τα string των φ/β πλαισίων, καθώς και οι συστοιχίες θα προκύψουν ίδιες. Αυτό θα έχει με τη σειρά του σαν αποτέλεσμα να απλοποιηθεί η τοπογραφική διάταξη της εγκατάστασης και να γίνει ευκολότερη η κυκλωματική σύνδεση. Εφόσον η συνολική εγκατάσταση έχει ισχύ 100kWp, η ισχύς των αντιστροφέων πρέπει να επιλεγεί αναλογικά με αυτή την τιμή. Εξετάζονται οι διάφορες υλοποιήσεις που μπορούν να προκύψουν χρησιμοποιώντας τους αντιστροφείς της SMA της σειράς SUNNY MINI CENTRAL, οι οποίοι είναι κατάλληλοι για εγκαταστάσεις μέσης και μεγάλης ισχύς. Τα μοντέλα που εξετάστηκαν είναι τα : SMC 6000TL, SMC 7000TL και SMC 8000TL. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά αυτών των αντιστροφέων φαίνονται στον πίνακα 6.7, ενώ αναλυτικά datasheet δίνονται στο παράρτημα Γ.

Πίνακας 6.7 Τεχνικά στοιχεία των αντιστροφέων SUNNY MINI CENTRAL της εταιρίας SMA.

	SMC 6000TL	SMC 7000TL	SMC 8000TL
Τιμές Εισόδου			
Μέγιστη ισχύς DC	6200W	7200W	8250W
Εύρος τάσης DC	335V-700V	335V-700V	335V-700V
Ονομαστική τάση DC	350V	350V	350V
Μέγιστη τάση DC	700V	700V	700V
Μέγιστο ρεύμα εισόδου	19A	22A	25A
Διακύμανση τάσης DC	<10%	<10%	<10%
Μέγιστος αριθμός παράλληλων string	4	4	4
Τιμές Εξόδου			
Μέγιστη ισχύς AC	6000W στους 40°C	7000W στους 40°C	8000W στους 40°C
Ονομαστική ισχύς AC	6000W	7000W	8000W
Μέγιστο ρεύμα εξόδου	27A	31A	35A
THD ρεύματος AC	<4%	<4%	<4%
Ονομαστική τάση AC	220V-240V	220V-240V	220V-240V
Ονομαστική συχνότητα AC	50Hz	50Hz	50Hz
Απόδοση			
Μέγιστη απόδοση	98%	98%	98%
Euro-eta	97,7%	97,7%	97,7%

Μηχανολογικά στοιχεία			
Βάρος	31kg	32kg	33kg
Ύψος/Μήκος/Πλάτος/ (mm)	613/468/242	613/468/242	613/468/242

Επόμενο βήμα είναι ο υπολογισμός του πλήθους των αντιστροφέων σε κάθε περίπτωση. Επειδή η φ/β εγκατάσταση πρόκειται να συνδεθεί στο δίκτυο ΧΤ μέσω τριών αγωγών στις τρεις φάσεις του δικτύου (τριφασική σύνδεση) εξετάζεται το κατά πόσο είναι δυνατόν οι τρεις αυτοί αντιστροφείς να προσφέρουν μια υλοποίηση στην οποία θα υπάρχει συμμετρία ισχύος μεταξύ των τριών φάσεων. Εφόσον έχει επιλεγεί η χρήση ενός τύπου αντιστροφέα αυτό συνεπάγεται ότι ο συνολικός αριθμός των αντιστροφέων πρέπει να είναι πολλαπλάσιος του 3, για να μπορούν να ομαδοποιηθούν συμμετρικά, όσον αφορά την ισχύ, οι έξοδοί τους. Αν δεν καταστεί δυνατή μια τέτοια υλοποίηση με κανέναν από τους αντιστροφείς που θα επιλεγούν τότε θα εξεταστεί μια διαφορετική προσέγγιση.

Εξετάζοντας τον αντιστροφέα SMC 6000TL, παρατηρούμε ότι η ισχύς εισόδου είναι 6kW. Λαμβάνοντας υπόψη όσα έχουν αναφερθεί παραπάνω για την ισχύ αιχμής των πλαισίων προκύπτει ότι η ιδανική ισχύς στην είσοδό του κυμαίνεται μεταξύ 6.000Wp και 7.200Wp (έως 20% αυξημένη). Οι τιμές αυτές μας οδηγούν στην επιλογή 15 τέτοιων αντιστροφέων (αριθμός πολλαπλάσιος του 3), που θα δέχονται στη είσοδό τους 6.667Wp (100.000Wp/15~6.667Wp). Τα αντίστοιχα μεγέθη για τους άλλους δύο αντιστροφείς προκύπτουν με τον ίδιο τρόπο και είναι: 12 αντιστροφείς SMC 7000TL που θα δέχονται στη είσοδο ισχύ περί τα 8.333Wp, 12 αντιστροφείς SMC 8000TL με ισχύ εισόδου την ίδια με πριν δηλαδή 8.333Wp, καθώς αν επιλέγαμε 9 η ισχύς στην είσοδό του θα ήταν πάρα πολύ μεγάλη (11.111Wp). Είναι ακόμα προφανές ότι αν πρέπει να επιλέξουμε ανάμεσα στους 2 τελευταίους αντιστροφείς, προφανώς συμφέρει ο

αντιστροφέας SMC 7000TL, καθώς είναι φθηνότερος, όμως θα πρέπει πρώτα να εξεταστεί κατά πόσο είναι δυνατόν να συνδυαστεί με τα επιλεγόμενα πλαίσια, γεγονός που εξετάζεται στο αμέσως επόμενο κεφάλαιο.

Τέλος οι παραπάνω τιμές ισχύος εισόδου των αντιστροφένων είναι ενδεικτικές, ενώ οι ακριβείς θα υπολογιστούν με βάση την ισχύ των φ/β πλαισίων.

6.5 ΕΠΙΛΟΓΗ Φ/Β ΠΛΑΙΣΙΩΝ

Η επιλογή του φωτοβολταϊκού πλαισίου είναι γενικά ένα πολυσύνθετο πρόβλημα. Η πληθώρα κατασκευαστικών εταιριών και πλαισίων επιτείνουν ακόμα περισσότερο τη δυσκολία της επιλογής.

Οι παράμετροι σύμφωνα με τις οποίες έγινε η επιλογή των πλαισίων ήταν η αξιοπιστία και η τεχνογνωσία της κατασκευάστριας εταιρίας, η μέγιστη ισχύς που παράγουν, η απόδοσή τους και φυσικά το κόστος.

Η αρχική απόφαση που έπρεπε να ληφθεί είχε να κάνει με τη επιλογή του είδους του φωτοβολταϊκού πλαισίου όσον αφορά την τεχνολογία κατασκευής του. Πολύ γρήγορα η επιλογή κατέληξε ανάμεσα σε πλαίσια μονοκρυσταλλικού πυριτίου και πολυκρυσταλλικού πυριτίου, καθώς όλες οι άλλες κατηγορίες που έχουν αναφερθεί στον κεφάλαιο 4 έχουν χρησιμοποιηθεί σε περιορισμένες εφαρμογές, δεν εμφανίζουν υψηλή απόδοση, ή όταν εμφανίζουν υψηλή απόδοση, κρίνονται οικονομικά ασύμφωρες. Σύγκριση των υλικών που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή φ/β στοιχείων δίνεται στον πίνακα 6.8.

Μετά από μια στοιχειώδη έρευνα αγοράς διαπιστώνεται ότι το κόστος των μονοκρυσταλλικών γεννητριών είναι αρκετά υψηλότερο από αυτό των πολυκρυσταλλικών και είναι της τάξεως του 10-15% ακριβότερες. Από την άλλη παρουσιάζουν καλύτερη απόδοση κατά 1,5-3% από τις πολυκρυσταλλικές. Όμως εύκολα διαπιστώνει κανείς ότι η καλύτερη απόδοση που εμφανίζουν δεν

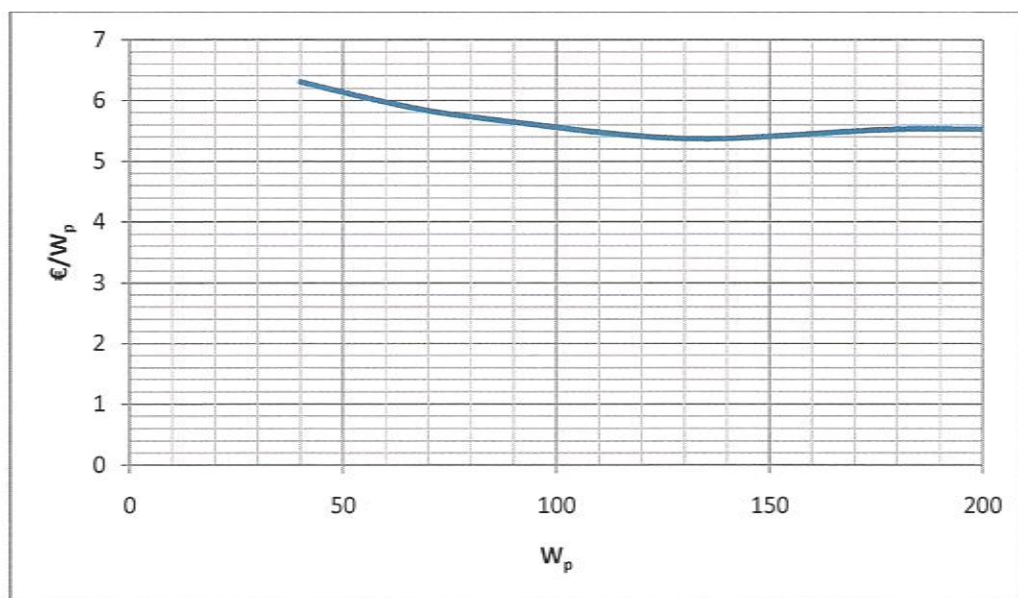
αντισταθμίζει το κόστος αγοράς τους. Επομένως ως πρώτο βήμα αποφασίζεται η επιλογή ενός πολυκρυσταλλικού πλαισίου.

Πίνακας 6.8 Συγκριτικός πίνακας των υλικών που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή

Υλικό φ/β στοιχείων	Απόδοση φ/β στοιχείων του εμπορίου	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Μονοκρυσταλλικό Πυρίτιο	14-19%	<ul style="list-style-type: none"> Ομοιόμορφη μοριακή δομή Μεγάλος βαθμός απόδοσης 	<ul style="list-style-type: none"> Υψηλό κόστος παραγωγής Μεγάλες απώλειες κατά τη διαδικασία κοπής Ενεργοβόρα διαδικασία παραγωγής
Πολυκρυσταλλικό Πυρίτιο	10-14%	<ul style="list-style-type: none"> Οικονομικότερη παραγωγική διαδικασία από το μονοκρυσταλλικό πυρίτιο Τετραγωνικά δισκίδια επιτρέπουν μεγαλύτερο δείκτη κάλυψης 	<ul style="list-style-type: none"> Χαμηλότερη απόδοση συγκρινόμενη με το μονοκρυσταλλικό πυρίτιο Μεγάλες απώλειες κατά τη διαδικασία κοπής
Ribbon Πυρίτιο	Έως 15%	<ul style="list-style-type: none"> Λιγότερες απώλειες πυριτίου στην παραγωγή 	<ul style="list-style-type: none"> Χειρότερη ποιότητα πυριτίου από αυτή του μον/κού Περιορισμένες εμπορική παραγωγή μέχρι σήμερα
Thin-film Πυρίτιο	Έως 17% (ραγδαία εξελισσόμενη έρευνα)	<ul style="list-style-type: none"> Λιγότερο χρησιμοποιούμενο υλικό Όχι μεγάλες απαιτήσεις σε υλικό υποστρώματος Πολλά υποσχόμενη τεχνολογία 	<ul style="list-style-type: none"> Περιορισμένες εμπορική παραγωγή μέχρι σήμερα
Άμορφο Πυρίτιο	6-9%	<ul style="list-style-type: none"> Χαμηλό κόστος παραγωγής συγκρινόμενο με το κρυσταλλικό πυρίτιο Υψηλό επίπεδο απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας 	<ul style="list-style-type: none"> Μικρός βαθμός απόδοσης Βαθμιαία μείωση της απόδοσης με την πάροδο του χρόνου
Αρσενικούχο γάλλιο	25-30%	<ul style="list-style-type: none"> Μεγάλος βαθμός απόδοσης Υψηλή θερμική αδράνεια 	<ul style="list-style-type: none"> Υψηλό κόστος παραγωγής (5πλασιο του κρυσταλλικού πυριτίου)
Δισεληνιούχος Ινδιούχος Χαλκός	Έως 10%	<ul style="list-style-type: none"> Υψηλό επίπεδο απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας Δεν εμφανίζει βαθμιαία πτώση 	<ul style="list-style-type: none"> Πολύπλοκο υλικό Αυξημένα μέτρα προστασίας κατά την παραγωγική διαδικασία Περιορισμένες εμπορική παραγωγή μέχρι

		της απόδοσης όπως το άμορφο πυρίτιο	σήμερα
Τελλουριούχο Κάδμιο	6-13%	<ul style="list-style-type: none"> Υψηλό επίπεδο απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας Χαμηλό κόστος παραγωγής 	<ul style="list-style-type: none"> Αυξημένα μέτρα προστασίας κατά την παραγωγική διαδικασία Περιορισμένες εμπορική παραγωγή μέχρι σήμερα

Προφανώς για την επιλογή της κατασκευάστριας εταιρίας δεν ήταν δυνατόν να εξεταστούν όλες οι εκατοντάδες εταιρίες που δραστηριοποιούνται στο χώρο. Επιλέχθηκαν 4-5 μεγάλες εταιρίες που δραστηριοποιούνται για πολλά χρόνια στο χώρο, έχουν την απαραίτητη τεχνογνωσία και η αντοχή των προϊόντων (γεγονός υψίστης σημασίας για φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις) έχει αποδειχθεί στη πράξη. Οι εταιρίες αυτές είναι η BP Solar, Shell, Kyocera, Siemens και η Sharp.



Σχήμα 6.12 Κόστος φ/β πλαισίων σε σχέση με την ισχύ που παράγουν. Οι τιμές αφορούν πλαίσια της εταιρίας Kyocera και προέκυψαν από μια στοιχειώδη έρευνα αγοράς στο διαδίκτυο.

Σκοπός είναι να φανεί ότι το κόστος των μικρών πλαισίων (μέχρι 100W_p) είναι υψηλότερο από τα μεγαλύτερα πλαίσια.

Από την άποψη της ισχύος συμφέρει περισσότερο η επιλογή ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου με μεγάλη ισχύ αντί πολλών πλαισίων με μικρότερες ισχύεις ειδικά για μεγάλες φ/β εγκαταστάσεις, που λειτουργούν ως σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Τα μεγάλα πλαίσια δουλεύονται πιο εύκολα στην εγκατάσταση τους, απαιτούνται λιγότερες συνδέσεις και το κόστος εγκατάστασης είναι μικρότερο. Επίσης το κόστος ανά W_p μειώνεται ελαφρά με την αύξηση της ισχύος ενός πλαισίου, αλλά για πλαίσια μεγαλύτερα των 120W_p είναι ουσιαστικά σταθερό (Σχήμα 6.12)

Από την άλλη η επιλογή ενός πλαισίου με πολύ μεγάλη ισχύ μπορεί να έχει και αρνητικές επιπτώσεις, γιατί μια ενδεχόμενη σκίαση ενός μέρους του, θα έχει ως αποτέλεσμα μεγαλύτερη μείωση στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ότι σε ένα πλαίσιο μικρότερης ισχύος. Συμβιβάζοντας τα παραπάνω επιλέγεται η ισχύς του πλαισίου να κυμαίνεται μεταξύ 120W_p και 200W_p.

Τελικά μελετώντας τα datasheet των πλαισίων από τις παραπάνω εταιρίες, επιλέχθηκαν τρία πλαίσια τις εταιρίας Kyocera, τα οποία θα εξεταστούν, αν μπορούν να συνδυαστούν και με ποιο τρόπο, με τους αντιστροφείς της προηγούμενης παραγράφου, για να επιτευχθεί ο τελικός στόχος, που είναι η εγκατάσταση ενός φ/β συστήματος 100kW_p. Τα πλαίσια αυτά είναι τα: KC130 GHT-2, KC175GHT-2 και KC200GHT-2, ονομαστικής ισχύος 130W_p, 175W_p και 200W_p αντίστοιχα. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους φαίνονται στον πίνακα 6.9 και αναλυτικά datasheet δίνονται στο παράρτημα Β.

Η απόδοση των πλαισίων μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση 4.12 και προκύπτει:

$$n_m = \frac{P_m}{G.S} = \frac{130}{1000 \cdot 0.9291} = 0.1399 = 13.99\% \text{ για το πλαίσιο KC130GT-1}$$

$$n_m = \frac{175}{1000 \cdot 1.2771} = 0.1370 = 13.70\% \text{ για το πλαίσιο KC175GHT-2}$$

$$n_m = \frac{200}{1000 \cdot 1.4108} = 0.1418 = 14.18\% \text{ για το πλαίσιο KC200GHT-3}$$

Πίνακας 6.9 Τεχνικά χαρακτηριστικά των επιλεγμένων φ/β πλαισίων εταιρίας Kyocera.

KYOCERA-KC 175 GHT-2			
Ηλεκτρική απόδοση υπό κανονικές συνθήκες (STC*)			
	KC130 GHT-2	KC175GHT-2	KC200GHT-2
Ονομαστική μέγιστη ισχύς P_{max}	130W	175W	200W
Ονομαστική τάση φόρτισης V_{mpp}	17,6V	23,6V	26,3V
Ονομαστικό ρεύμα φόρτισης I_{mp}	7,39A	7,42A	7,61A
Τάση ανοιχτού κυκλώματος V_{oc}	21,9V	29,2V	32,9V
Ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{sc}	8,02A	8,09A	8,21A
Τάση μέγιστης ισχύος συστήματος	750V	1000V	1000V
Πλήθος φ/β στοιχείων ανά πλαίσιο	36	48	54
Τεχνολογία φ/β στοιχείων	Πολυκρυσταλλικό πυρίτιο	Πολυκρυσταλλικό πυρίτιο	Πολυκρυσταλλικό πυρίτιο
Μορφή φ/β στοιχείων	πολυγωνική	πολυγωνική	πολυγωνική
Διαστάσεις (μήκοςΧπλάτοςΧύψος) Mm	1425x652x36	1290x990x36	1425x990x36
Βάρος	11,9kg	16,0kg	18,5kg

*STC Ηλιακή ακτινοβολία=1kW/m², AM=1.5, θερμοκρασία πλαισίου=25⁰ C

Πρέπει να τονιστεί ότι η επιλογή του φ/β πλαισίου εξαρτάται άμεσα από την επιλογή του αντιστροφέα και ουσιαστικά δεν μπορεί να γίνει χωρίς να ληφθούν

υπόψη τα τεχνικά χαρακτηριστικά του τελευταίου. Ακόμα οι διατάσεις του πλαισίου θα καθορίσουν τις βάσεις στήριξης που θα χρησιμοποιηθούν και γενικότερα τις απαραίτητες κατασκευαστικές υποδομές. Εκτός από τις διαστάσεις του πλαισίου και την ισχύ αιχμής του, ρόλο κλειδί έχουν τα μεγέθη της τάσης και έντασης στο σημείο λειτουργίας μέγιστης ισχύος (MPP), καθώς και το ρεύμα βραχυκύκλωσης και η τάση ανοιχτού κυκλώματος, που επηρεάζονται άμεσα από τα χαρακτηριστικά μεγέθη του αντιστροφέα. Τέλος άμεσα συνυφασμένη με τα παραπάνω είναι και η κυκλωματική διάταξη της συστοιχίας.

Συνδυασμός πλαισίου-αντιστροφέα

Με βάση την επιλογή των αντιστροφέων και των φ/β πλαισίων , που έγινε παραπάνω, εξετάζονται όλοι οι δυνατοί συνδυασμοί για την υλοποίηση του φ/β πάρκου. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε φαίνεται αμέσως παρακάτω και βασίστηκε στα εξής:

- a) Τα πλαίσια που συνδέονται σε έναν αντιστροφέα πρέπει να έχουν τα ίδια ακριβώς χαρακτηριστικά, σε διαφορετική περίπτωση δεν υπάρχει η καλύτερη δυνατή εκμετάλλευση των δυνατοτήτων τους. Γενικότερα πρέπει μια τέτοια υλοποίηση να αποφεύγεται, καθώς μπορούν να ανακύψουν και τεχνικά προβλήματα (π.χ ανάστροφο ρεύμα προς κάποιο παράλληλο string, γεγονός που εξετάζεται παρακάτω).
- b) Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, προτιμήθηκε οι αντιστροφείς που θα χρησιμοποιηθούν στην εγκατάσταση να είναι οι ίδιοι (κυρίως να έχουν την ίδια ισχύ) και ο συνολικός αριθμός τους να είναι πολλαπλάσιο του 3.

c) Από τα παραπάνω προκύπτει ότι όλα τα πλαίσια, που θα χρησιμοποιηθούν σε όλη την εγκατάσταση θα είναι τα ίδια.

Έστω ότι επιλέγονται 15 αντιστροφείς SMC 6000TL, ο καθένας εκ των οποίων πρέπει να δέχεται στην είσοδο του 6667Wp για να φτάσουμε τα 100kWp που είναι η επιθυμητή τιμή της εγκατάστασης. Εξετάζοντας τα πλαίσια που έχουμε στη διάθεσή μας καταλήγουμε στο γεγονός ότι το πλαίσιο, το οποίο είναι το πιο ιδανικό από τα 3 να συνδυαστεί με τον συγκεκριμένο αντιστροφέα (σκοπός πάντα είναι, η εγκατεστημένη ισχύς να είναι όσο το δυνατόν πιο κοντά στα 100kWp, χωρίς όμως να τα ξεπερνάει) είναι το KC175GHT-2.

Το επόμενο βήμα είναι να βρεθεί ο κατάλληλος αριθμός των πλαισίων και η κυκλωματική σύνδεσή τους. Υπολογίζεται ότι σε κάθε αντιστροφέα συνδέονται 38 πλαίσια των 175W_p (**175W_px38=6650W_p**). Τα πλαίσια αυτά οργανώνονται σε 2 παράλληλα string των 19 πλαισίων το καθένα. Αυτό σημαίνει ότι η είσοδος του αντιστροφέα δέχεται:

$$\mathbf{19\text{πλαίσια εν σειρά }x23,6V=448,4V}$$

από ένα string (επί συνόλου 2 string ανά αντιστροφέα), που είναι η απαραίτητη τάση εισόδου προκειμένου να μεγιστοποιηθεί η ισχύς εξόδου. Ακόμα δέχεται:

$$\mathbf{2\text{παράλληλα string}x7,42A=14,84A}$$

που παρατηρούμε ότι βρίσκεται μέσα στα όρια του αντιστροφέα. Ο συνολικός αριθμός των φ/β πλαισίων της εγκατάστασης προκύπτει:

$$\mathbf{38\text{πλαίσια/αντιστροφέα}x15\text{ αντιστροφείς}=570\text{ φ/β πλαίσια}$$

Τέλος η συνολική ισχύς της εγκατάστασης είναι:

$$\mathbf{6650Wp/αντιστροφέα}x15\text{ αντιστροφείς}=\mathbf{99.750Wp}$$

που είναι πολύ κοντά στο επιθυμητό. Πρέπει να τονιστεί ότι ο συνδυασμός με τα άλλα 2 πλαίσια που εξετάστηκαν, έδιναν συνολική ισχύ εγκατάστασης είτε μεγαλύτερη από το επιθυμητό είτε αρκετά μικρότερη. Για αυτό τον λόγο επιλέγεται ο συγκεκριμένος συνδυασμός πλαισίου-αντιστροφέα.

Έστω τώρα ότι επιλέγονται 12 αντιστροφείς SMC 7000TL, ο καθένας εκ των οποίων πρέπει να δέχεται στην είσοδο του 8333Wp για να φτάσουμε τα 100kWp που είναι η επιθυμητή τιμή της εγκατάστασης. Εξετάζοντας τα πλαίσια που έχουμε στη διάθεσή μας καταλήγουμε στο γεγονός ότι κανένα από τα 3 φ/β πλαίσια δεν μπορεί να συνδυαστεί με τον συγκεκριμένο αντιστροφέα καθώς προκύπτει η συνολική επιτρεπτή ισχύς στην είσοδό του κατά πολύ μικρότερη από το επιθυμητό. Συγκεκριμένα το πρόβλημα είναι ότι τα συγκεκριμένα φ/β πλαίσια δεν μπορούν να οργανωθούν αποδοτικά σε 2 παράλληλα string, καθώς τότε η τάση εισόδου είναι εκτός ορίων MPP του αντιστροφέα, αλλά ούτε και σε 3 παράλληλα string, καθώς τότε το ρεύμα εισόδου είναι εκτός ορίων MPP του αντιστροφέα. Με τη ίδια λογική εξετάστηκε και ο τρίτος αντιστροφέας και τα αποτελέσματα που προέκυψαν φαίνονται στον πίνακα 6.10.

Πίνακας 6.10 Πιθανοί συνδυασμοί

	1η περίπτωση	2 η περίπτωση	3 η περίπτωση
Αντιστροφέας (INV)	SMC6000TL (6kW)	SMC 7000TL (7kW)	SMC 8000TL (8kW)
Πλαίσιο	KC 175 GHT-2 (175Wp)	KC 200 GHT-2 (200Wp)	KC 130 GHT-2 (130Wp)
Πλήθος αντιστροφέων	15	12	12
Πλαίσια/Αντιστροφέα	38	38	63
Ισχύς PV στην είσοδο αντιστροφέα $P_{in,dc}$	6650Wp	7600Wp	8190Wp
Παράλληλα String/αντιστροφέα	2	2	3
Πλαίσια εν σειρά/αντιστροφέα	19	19	21
Τάση στην είσοδο αντιστροφέα V_{indc}	448,4V	499,7V	369,6V
Ένταση ρεύματος στην είσοδο αντιστροφέα $i_{in,dc}$	14,84A	15,22A	22,17A
Συνολικός αριθμός πλαισίων	570	456	756
Συνολική ισχύς εγκατάστασης	99.750Wp	91.200Wp	98.280Wp
Κόστος αντιστροφέων	15x2.750€=41.250€	12x2.850€=34.200€	12x2.950€=35.400€

Από τα παραπάνω σίγουρα αποκλείεται η 2η περίπτωση, καθώς απέχει πολύ από τον στόχο των 100kWp και ανάμεσα στις άλλες δύο προτιμάται η περίπτωση 3, καθώς το κόστος των αντιστροφέων σε αυτή τη περίπτωση προκύπτει αρκετά μικρότερο.

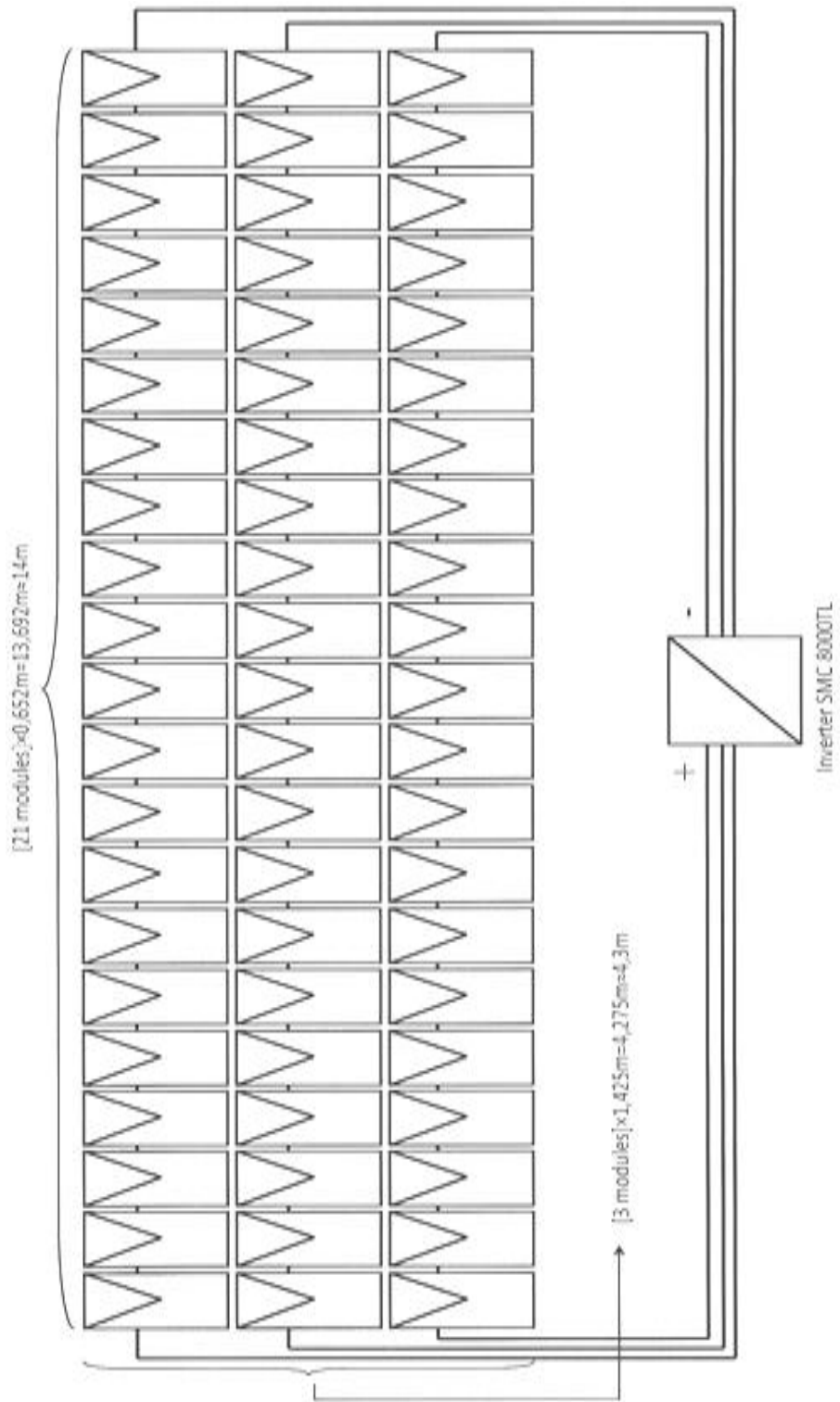
6.6 ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΥΣΤΟΙΧΙΑΣ

Είναι πολύ βολικό να επιλεγούν οι συστοιχίες του φ/β πάρκου να αποτελούνται από 63 φ/β πλαίσια με την κυκλωματική σύνδεση που περιγράφηκε παραπάνω (Σχήμα 6.13). Αυτό σημαίνει ότι θα υπάρχει ένας αντιστροφέας ανά συστοιχία. Η λύση αυτή σαφώς και δεν είναι η μοναδική. Μια εναλλακτική υλοποίηση φαίνεται στο σχήμα 6.14, όπου έχει επιλεγεί κάθε string με 21 πλαίσια εν σειρά να αποτελεί και μια συστοιχία. Σε αυτή την διάταξη σε κάθε αντιστροφέα καταλήγουν 3 συστοιχίες παράλληλα, χωρίς βέβαια να μεταβάλλεται ο συνολικός αριθμός των πλαισίων που παραμένει 63πλαίσια/αντιστροφέα. Η διαφορά ανάμεσα στις δύο υλοποιήσεις έχει να κάνει με το γεγονός ότι η δεύτερη περίπτωση έχει μικρότερες συστοιχίες και απαιτείται μεγαλύτερο μήκος καλωδίων για τις συνδέσεις από την πρώτη περίπτωση. Από την άλλη μικρότερη συστοιχία συνεπάγεται και μικρότερης έκτασης και μεγέθους απαιτήσεις στην υποδομή στήριξης. Τονίζεται ότι δεν προκύπτει καμία διαφορά ανάμεσα στις δύο περιπτώσεις, όσον αφορά την τελική απαιτούμενη έκταση του φ/β πάρκου, όπως φαίνεται στο κεφάλαιο 6.7. Επιπλέον δεν είναι δεσμευτικό ότι η σε σειρά σύνδεση των φ/β πλαισίων ενός string πρέπει να αποτελεί και το μήκος μιας συστοιχίας. Θα μπορούσε ως μήκος της συστοιχίας να επιλεγεί οποιοσδήποτε αριθμός φ/β πλαισίων χωρίς να υπάρχει κάποιο πρόβλημα στην λειτουργία, κάνοντας απλά τη σύνδεσή τους πιο πολύπλοκη.

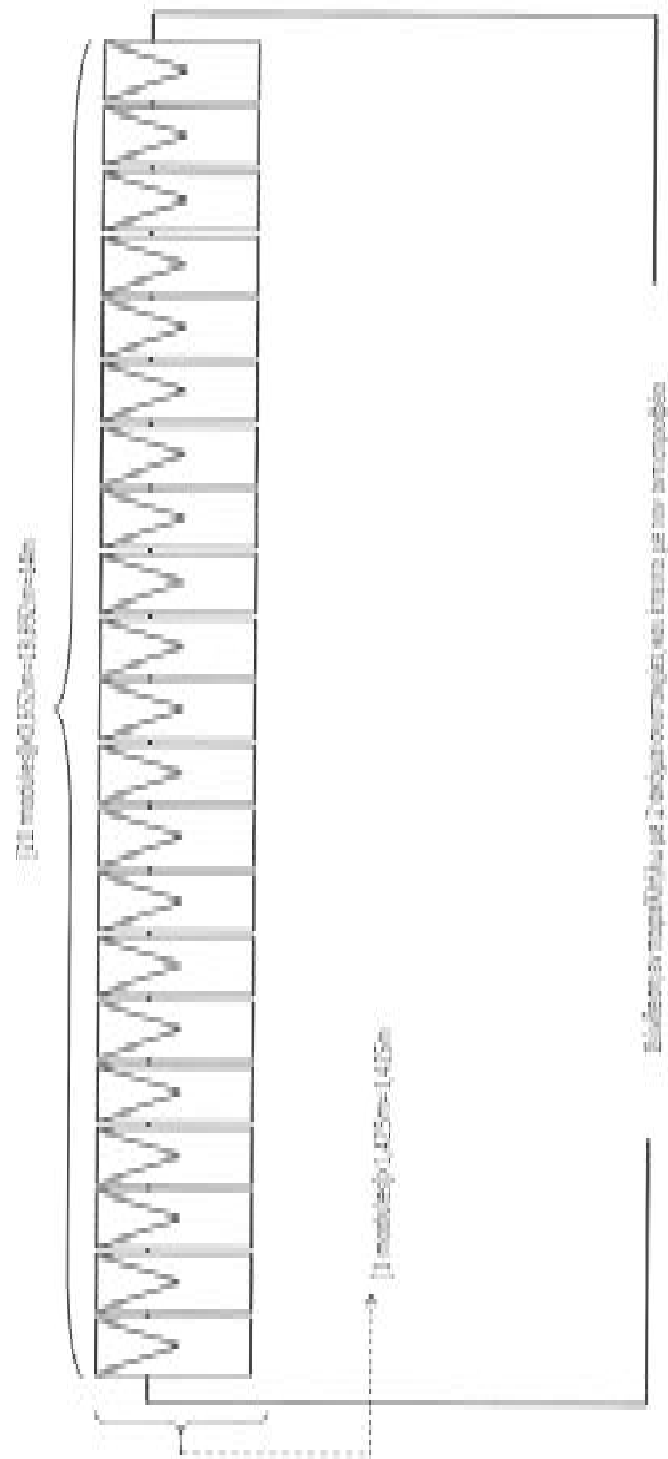
6.6.1 Ανάστροφο ρεύμα

Το φαινόμενο της αντιστροφής ροής του ρεύματος προς τα πλαίσια σε μια φ/β συστοιχία, που συνδέεται σε έναν αντιστροφέα είναι γενικά ένα ανεπιθύμητο φαινόμενο. Μπορεί να εμφανιστεί μόνο στην περίπτωση, την οποία υπάρχουν φ/β πλαίσια συνδεδεμένα παράλληλα και η τάση ανοιχτού κυκλώματος στα

άκρα των παράλληλων strings είναι διαφορετική. Σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας το φαινόμενο αυτό μπορεί να αποφευχθεί εάν επιλεγούν παράλληλα strings ίδιου μήκους και ισχύος. Επιπλέον το φαινόμενο της σκίασης δεν συνεπάγεται εμφάνιση ανάστροφου ρεύματος σημαντικής τιμής, καθώς η επίδρασή του στην τάση ανοιχτού κυκλώματος είναι ασήμαντη. Επομένως σε μια φ/β γεννήτρια, η οποία έχει διαστασιολογηθεί σωστά και για κατάσταση λειτουργίας χωρίς σφάλματα, η εμφάνιση του ανάστροφου ρεύματος είναι τελείως ανεπαίσθητη.



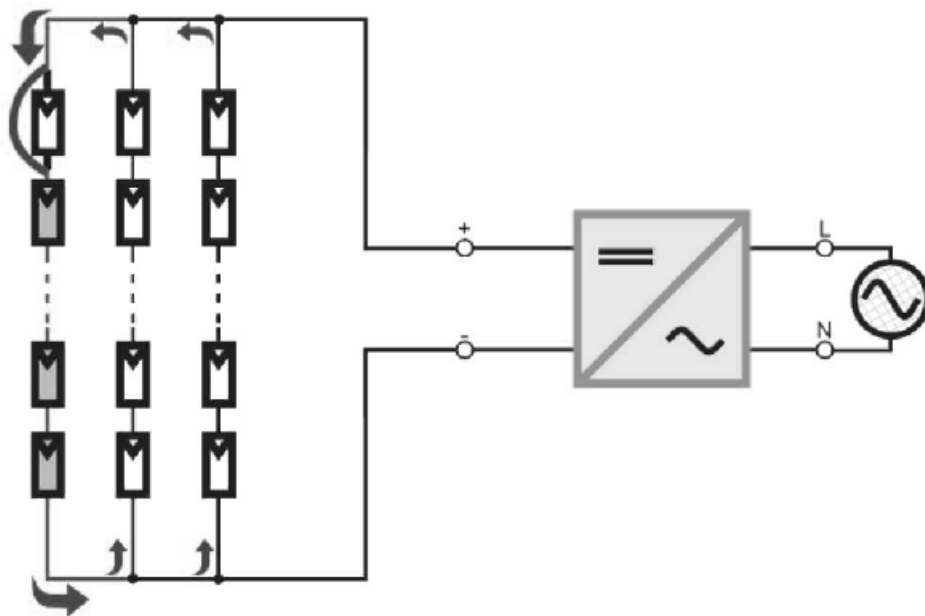
Σχήμα 6.13 Κυκλωματική Διάταξη Συστοιχίας



Σχήμα 6.14 Εναλλακτική Διάταξη Συστοιχίας

Το ανάστροφο ρεύμα μπορεί να εμφανιστεί μόνο σε περιπτώσεις σφαλμάτων της φ/β γεννήτριας (π.χ. βραχυκύκλωμα σε ένα ή περισσότερα πλαίσια), τα οποία μπορούν να μειώσουν σημαντικά την τάση ανοιχτού κυκλώματος ενός string σε σχέση με τα άλλα παράλληλα string. Σε μία τέτοια περίπτωση η δίοδος παράκαμψης (bypass diode), που έχουν όλα τα φ/β πλαίσια, αναγκάζει το ανάστροφο ρεύμα να περάσει μέσα από το string, το οποίο εμφάνισε το σφάλμα και ανάλογα με την τιμή αυτού του ρεύματος μπορεί να οδηγήσει σε θέρμανση και πιθανώς καταστροφή όλων των πλαισίων, που είναι συνδεδεμένα σε σειρά στο συγκεκριμένο string.

Παρόλο που τέτοια φαινόμενα σφαλμάτων είναι αρκετά απίθανα, και πολύ σπάνια συμβαίνουν στην πράξη, πρέπει να λαμβάνονται τα απαραίτητα μέτρα προφύλαξης.



Σχήμα 6.15 Φαινόμενο της αντίστροφης ροής ρεύματος[SMA].

Όπως φαίνεται και στο σχήμα 6.15 η τιμή του ανάστροφου ρεύματος ισούται με το συνολικό ρεύμα βραχυκύκλωσης των υπολοίπων strings. Στην περίπτωση

της συστοιχίας, που έχει επιλεγεί για την εγκατάσταση του φ/β πάρκου, η τιμή αυτή προκύπτει:

$$\text{Ανάστροφο Ρεύμα} = (3 \text{ παράλληλα strings} - 1) \times 8,02\text{A} = 16,04\text{A}$$

Για να αντιμετωπιστεί το φαινόμενο της αντίστροφης ροής του ρεύματος σε μια συστοιχία, μπορούν να εφαρμοστούν οι παρακάτω μέθοδοι:

- **Διαστασιολόγηση των strings.** Με την κατάλληλη επιλογή των στοιχείων που αποτελούν ένα string (πλαίσια, καλώδια, ακροδέκτες σύνδεσης), έτσι ώστε να αντέχουν το άθροισμα των ρευμάτων βραχυκύκλωσης των υπολοίπων strings. Όταν ο μέγιστος αριθμός των παράλληλων strings είναι 2, ο περιορισμός αυτός ικανοποιείται πάντα, καθώς το ανάστροφο ρεύμα που θα δεχθεί το string, όπου εμφανίστηκε το σφάλμα, θα προέρχεται από το ρεύμα βραχυκύκλωσης του άλλου string και θα ισούται με αυτό. Επομένως δεν χρειάζεται καμία επιπλέον προστασία έναντι του ανάστροφου ρεύματος όταν υπάρχουν 2 παράλληλα strings.

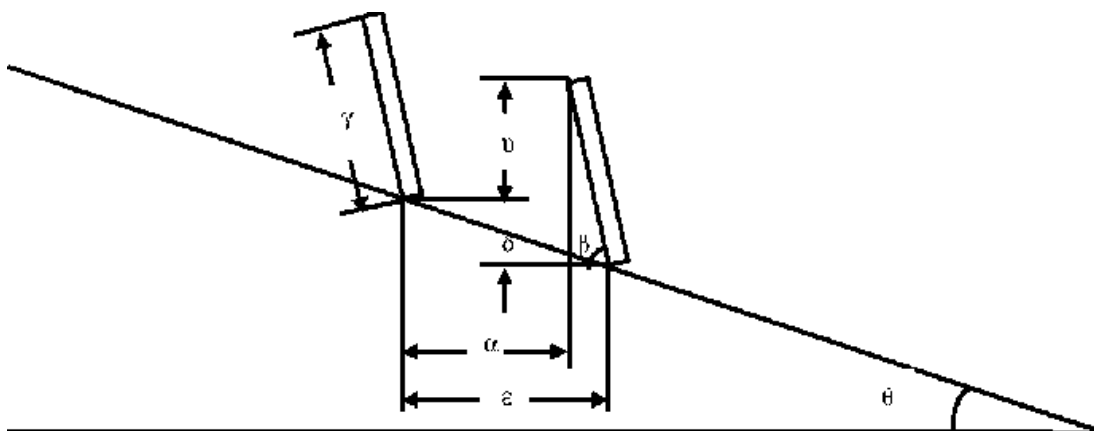
- **Δίοδοι φραγής (String Diodes).** Οι δίοδοι αυτές συνδέονται εν σειρά με κάθε παράλληλο string για να αποτρέψουν την διέλευση ανάστροφου ρεύματος. Το μειονέκτημα είναι ότι στην κανονική λειτουργία της γεννήτριας σε κάθε string περνάει από τη δίοδο αυτή το ρεύμα κανονικής λειτουργίας με αποτέλεσμα να υπάρχουν απώλειες. Επιπλέον μια ενδεχόμενη βλάβη της δίοδου μπορεί να αναιρέσει τον προστατευτικό της ρόλου ή ακόμα και να επιφέρει αστοχία όλου του string.

- **Ασφάλειες τήξης (String Fuses).** Συνδέονται και αυτές εν σειρά με κάθε παράλληλο string και έχουν κατάλληλη τιμή έτσι ώστε να προστατεύουν από το ανάστροφο ρεύμα. Πλεονεκτούν σε σχέση με τις δίοδους φραγής καθώς έχουν ασήμαντες απώλειες κατά την κανονική λειτουργία, ενώ και η περίπτωση βλάβης τους μπορεί εύκολα να γίνει αντιληπτή.

Ακόμα πρέπει να τονιστεί ότι η μέγιστη τιμή του ανάστροφου ρεύματος που μπορούν να δεχθούν τα φ/β πλαίσια είναι μια παράμετρος που δεν δίνεται από τους κατασκευαστές. Κάποιες εταιρίες μόνο δίνουν την μέγιστη τιμή της ασφάλειας που απαιτείται. Ως γενικός κανόνας πάντως μπορεί να χρησιμοποιηθεί ότι για τιμές του ανάστροφου ρεύματος μεγαλύτερες από το διπλάσιο του ρεύματος βραχυκύκλωσης των πλαισίων πρέπει να λαμβάνονται μέτρα προστασίας.

Στην συγκεκριμένη περίπτωση επιλέγεται η προστασία έναντι του αντίστροφου ρεύματος να γίνει με ασφάλειες τήξης όπως φαίνεται και στην κυκλωματική διάταξη του σχήματος 6.25.

6.7 ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΟΥ ΠΑΡΚΟΥ



Σχήμα 6.16 Διάταξη φ/β συστοιχιών σε πλαγία κλίσης $K=\tan\theta$, με απόλυτα νότιο προσανατολισμό

Ένα πολύ σημαντικό γεγονός στις φ/β εγκαταστάσεις είναι η τοπογραφική διάταξη να είναι βέλτιστη. Γεγονός που εξασφαλίζεται αν έχει επιτευχθεί:

- Η βέλτιστη τοποθέτηση των πλαισίων όσον αφορά την κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο και τον προσανατολισμό προς τον νότο (αζιμούθιο 180°), όπως έχει προκύψει από την μελέτη.
- Η ελάχιστη δυνατή χρησιμοποίηση των επιφανειών που θα τοποθετηθούν τα πλαίσια, χωρίς σε καμία περίπτωση να επηρεάζεται η προσλαμβανόμενη ηλιακή ενέργεια (αποφυγή φαινομένων σκίασης μεταξύ γειτονικών συστοιχιών).
- Η ελάχιστη χρησιμοποίηση καλωδίων για τις ενώσεις μεταξύ των πλαισίων, των συστοιχιών, των αντιστροφών κτλ.

Αρχικά υπολογίζεται η ελάχιστη απόσταση μεταξύ δύο συνεχόμενων συστοιχιών ϵ κατά μήκος του άξονα B-N, που εξασφαλίζει ότι η μία συστοιχία δεν θα σκιάζει την επόμενη. Στο σχήμα 6.16 φαίνεται η διάταξη δύο συνεχόμενων συστοιχιών στη πλαγία.

Γνωρίζουμε ότι:

- Η κλίση της πλαγιάς που θα τοποθετηθούν τα φ/β πλαίσια είναι 8% κατά τη διεύθυνση B-N με υπερύψωση στον Βορρά. Άρα **$K=\tan\theta=0,08$** .
- Η κλίση β των πλαισίων επιλέχτηκε ίση με 28° που είναι και η βέλτιστη τιμή. Άρα **$\beta=28^\circ$** .
- Το ύψος γ της συστοιχίας προέκυψε περίπου 4,3m. Άρα **$\gamma=4,3\mu$** .
- Το γεωγραφικό πλάτος της Σπάρτης είναι $37,04^\circ$, Επομένως σύμφωνα με το διάγραμμα της εταιρίας Monogon (Σχήμα 4.16) προκύπτει ο λόγος της ελεύθερης απόστασης α προς το ύψος u , **$\alpha/u=2,45$** .

Από τη σχέση (4.11) προκύπτει η απόσταση ϵ :

$$e = g \frac{\frac{a}{u} \sin b + \cos b}{1 + \frac{a}{u} k} = 4,3 \frac{2,45 \sin 28^\circ + \cos 28^\circ}{1 + 2,45 \cdot 0,08} = 7,31m \cong 8m$$

τιμή την οποία στρογγυλεύουμε στα 8m.

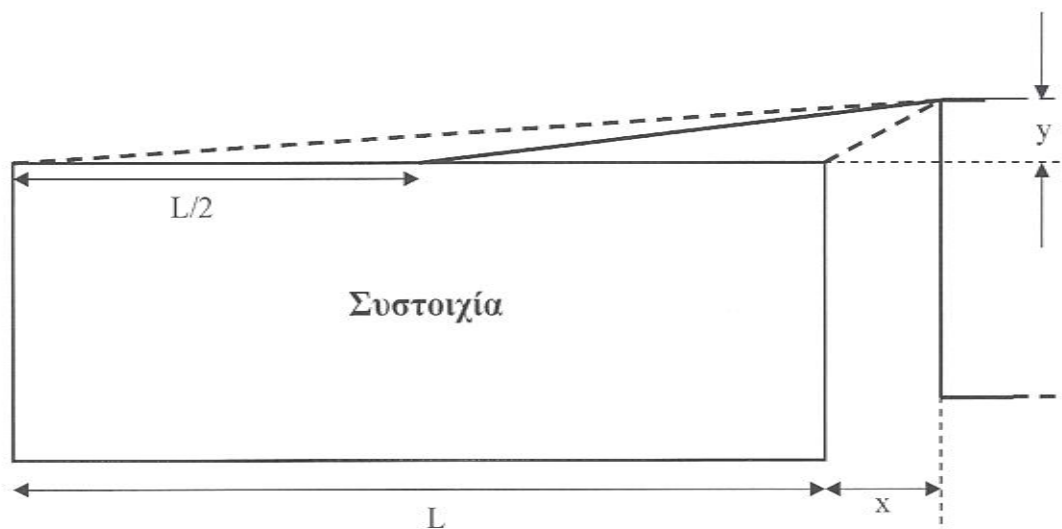
Μέχρι στιγμής έχει υπολογιστεί η απόσταση των συστοιχιών στη διεύθυνση B-N. Απομένει διερεύνηση όσον αφορά τη διεύθυνση A-Δ. Στη διεύθυνση αυτή παρατηρούμε μια μικρή κλίση του εδάφους ίση με 3%, που σημαίνει ότι η οριζοντίωση μιας συστοιχίας απαιτεί μια υπερύψωση του άκρου της συστοιχίας που βρίσκεται στη Δύση. Συγκεκριμένα η διαφορά ύψους κατά μήκος της συστοιχίας προκύπτει 0,42m (0,03 x 14m).

Η τοποθέτηση των συστοιχιών μπορεί να γίνει με σύμφωνα με τους παρακάτω τρόπους:

- A. Τοποθέτηση των συστοιχιών χωρίς να γίνει οριζοντίωσή τους ακολουθώντας την φυσική κλίση.
- B. Οριζοντίωση κάθε συστοιχίας κατά τον άξονα A-Δ, ακολουθώντας κλιμακωτά τη φυσική κλίση.
- C. Οριζοντίωση όλων των συστοιχιών που θα τοποθετηθούν στη διεύθυνση A-Δ.

Η επιλογή του τρίτου τρόπου τοποθέτησης, δηλαδή η οριζοντίωση όλων των συστοιχιών μπορεί να δημιουργήσει κατασκευαστικά προβλήματα και προβλήματα αντοχής των βάσεων στήριξης, ειδικά στη περίπτωση που επιλεγεί να τοποθετηθούν πολλές συστοιχίες κατά τη διεύθυνση A-Δ. Μια τέτοια επιλογή θα σήμαινε ότι η ανατολικότερη συστοιχία θα απαιτούσε μια μεγάλη υπερύψωση, η οποία θα ήταν τελείως μη πρακτική, αντισυμβατική και αντιαισθητική. Όσον αφορά τους άλλους δύο τρόπους θα μπορούσαν να

υλοποιηθούν χωρίς μεγάλα προβλήματα. Η επιλογή του πρώτου τρόπου τοποθέτησης, δηλαδή ακολουθώντας την κλίση του εδάφους συνεπάγεται καταρχήν ότι όλες οι συστοιχίες θα σκιάζονται κατά τη δύση του ήλιου και για όσο χρονικό διάστημα το ύψος του γίνεται μικρότερο από τη γωνία κλίσης. Βέβαια στη περίπτωση που μελετάται, η κλίση είναι μικρή και η επίδραση της σκίασης τελείως αμελητέα. Επιπλέον η τοποθέτηση σύμφωνα με αυτόν τον τρόπο μπορεί να συναντήσει και κατασκευαστικές δυσκολίες ειδικά εάν η κλίση δεν είναι ομαλή κατά μήκος του άξονα Α-Δ, καθώς και δυσκολίες κατά την τοποθέτηση των πλαισίων στις βάσεις. Τέλος ο δεύτερος τρόπος τοποθέτησης, εξασφαλίζει ότι οι δυτικότερες συστοιχίες δεν θα σκιάζονται καθόλου, αλλά προκύπτουν προβλήματα σκίασης μεταξύ των άλλων συστοιχιών (Σχήμα 6.17).



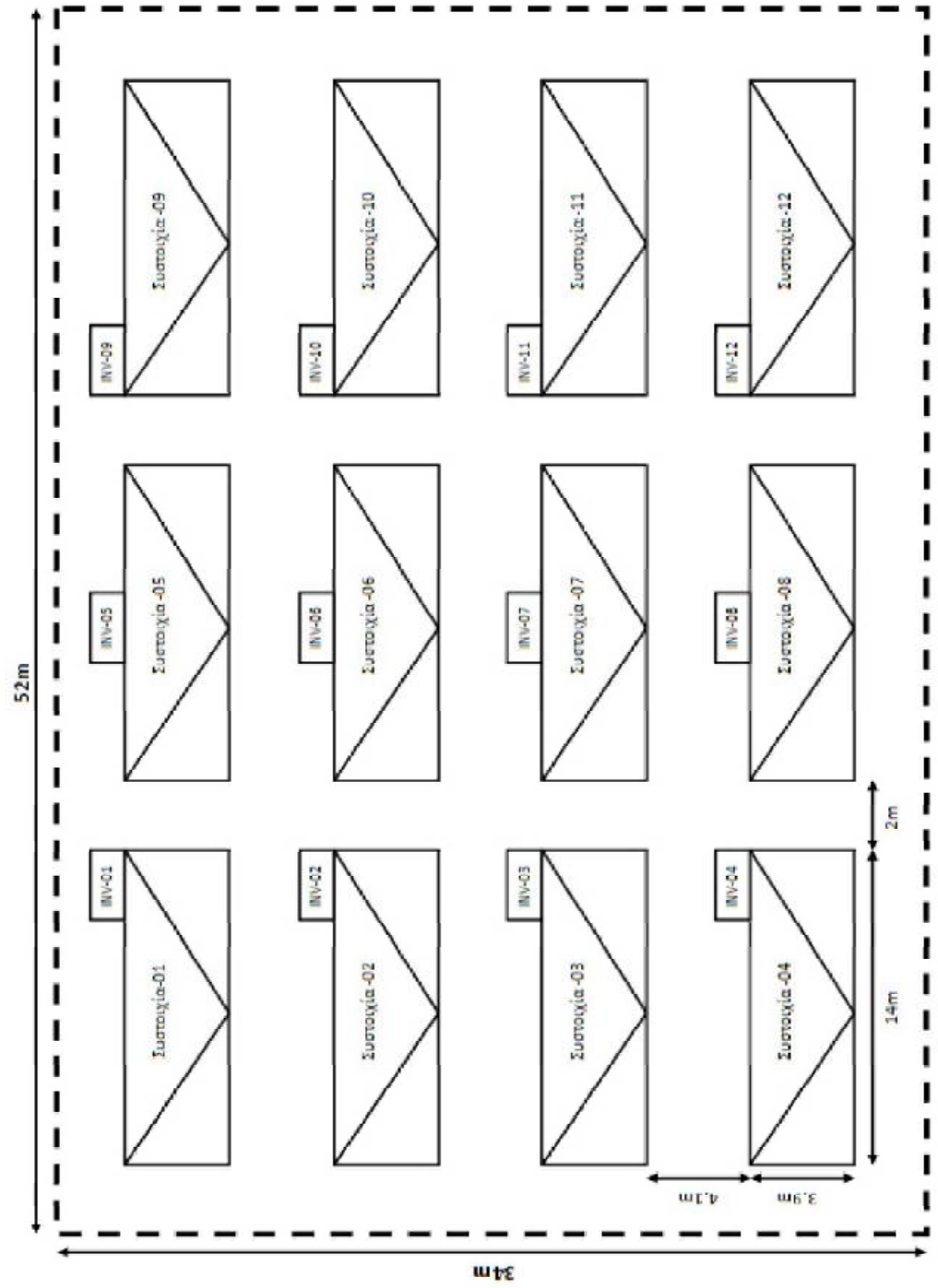
Σχήμα 6.17 Σκίαση από διπλανή συστοιχία κατά τη διεύθυνση Α-Δ.

Αν επιλεγεί η ελεύθερη ζώνη μεταξύ δύο συνεχόμενων συστοιχιών κατά τον άξονα Α-Δ να είναι 2m, τότε οι συνολικές απώλειες λόγω σκίασης μπορούν να υπολογιστούν σύμφωνα με το προσεγγιστικό μοντέλο της παραγράφου 2.7 και τους υπολογισμούς του παραρτήματος Α (θεωρώντας ότι τα αποτελέσματα για

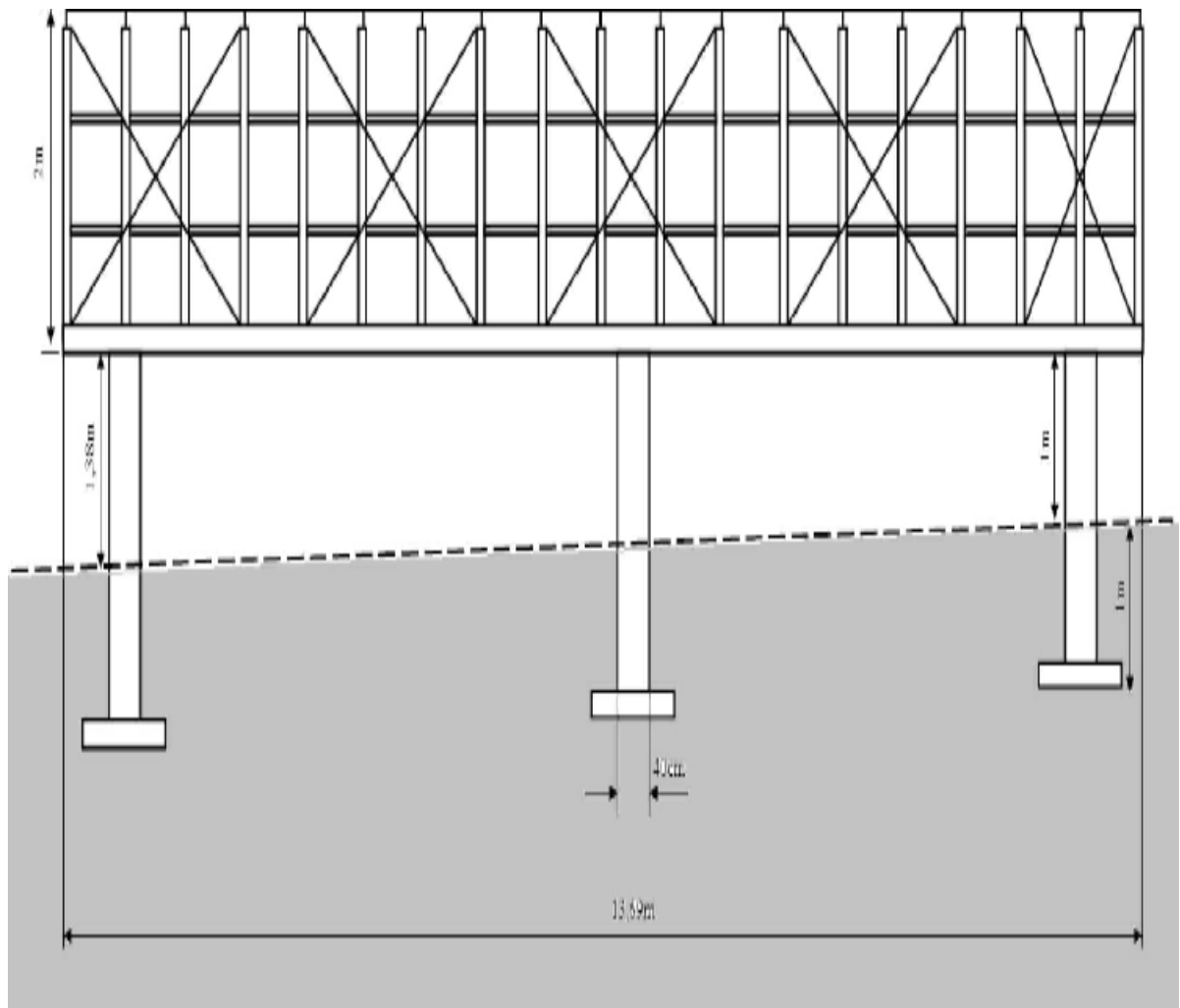
οριζόντιο επίπεδο μπορούν να εφαρμοστούν με προσέγγιση και για κεκλιμένο και ότι η διάρκεια σκίασης της συστοιχίας μπορεί να περιγραφεί από τη διάρκεια της σκίασης του μέσου της) και είναι μόλις 0,21%.

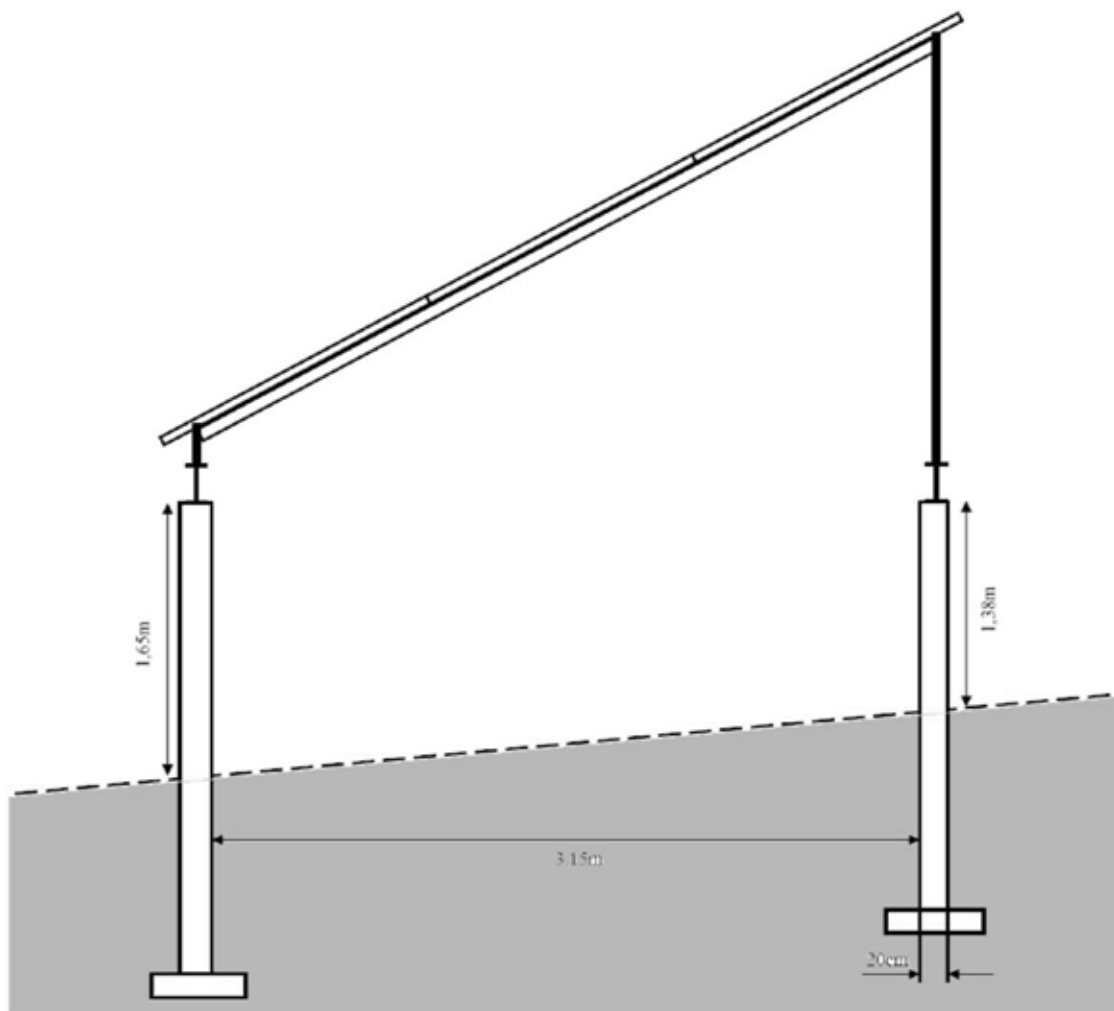
Τελικά επιλέγεται ο δεύτερος τρόπος τοποθέτησης καθώς εμφανίζει τις λιγότερες κατασκευαστικές απαιτήσεις, οι απώλειες λόγω σκίασης είναι πολύ μικρές και αισθητικά είναι ο πιο άρτιος. Οι 12 συστοιχίες επιλέγονται να τοποθετηθούν σε τρεις σειρές των τεσσάρων συστοιχιών η κάθε μια.

Σχήμα 6.18 Τοπογραφική διάταξη των φ/β σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.



Σχήμα 6.19 Διάταξη συστοιχίας, βάσεων στήριξης και στύλων στον χώρο (πίσω όψη).





Σχήμα 6.20 Διάταξη συστοιχίας, βάσεων στήριξης και στύλων στον χώρο (πλάγια όψη).

Η τοπογραφική διάσταση της εγκατάστασης παρουσιάζεται στο σχήμα 6.18 (κάτωψη), στο οποίο μπορεί κανείς να διακρίνει και τα όρια της περιοχής που απαιτείται και τη θέση των αντιστροφών. Η περιοχή οριοθετείται από μια περίφραξη του χώρου με συρματόπλεγμα, το οποίο είναι απαραίτητο για να διαφυλάξει την εγκατάσταση ανέπαφη από τυχόν κινδύνους (π.χ. από οικόσιτα και άγρια ζώα).

Κατασκευές υποδομής-Βάσεις στήριξης

Για την εγκατάσταση των συστοιχιών επιλέχθηκε κάθε συστοιχία να τοποθετηθεί σε 6 στύλους (2 σειρές των 3 στύλων) 40x20cm από εμφανές μπετό, οι οποίοι θεμελιώνονται σε βάθος περίπου 1m και στηρίζονται σε μια πεδιλοδοκό 100x100x30cm. Οι κεφαλές των 6 στύλων της κάθε συστοιχίας ορίζουν μια κοινή οριζόντια στάθμη, εφόσον έχει επιλεγεί να οριζοντιωθεί η κάθε συστοιχία. Πάνω στους στύλους εδράζονται οι μεταλλικές βάσεις στήριξης μέσω των οποίων επιτυγχάνεται και η επιθυμητή κλίση των 28°. Οι βάσεις στήριξης μπορούν να υλοποιηθούν από μια πληθώρα συνδυασμών μεταλλικών δοκών ή και να επιλεγούν έτοιμες βάσεις στήριξης του εμπορίου. Σε κάθε περίπτωση στόχος είναι η ελαχιστοποίηση του βάρους της κατασκευής, χωρίς όμως σε καμία περίπτωση να τίθεται σε κίνδυνο η ασφάλεια και η αντοχή της κατασκευής. Ο ακριβής τύπος μεταλλικών δοκών και το μέγεθος κάθε μιας από αυτές αποτελούν αντικείμενο της αντοχής υλικών και ξεφεύγουν από τα όρια αυτής της μελέτης. Ενδεικτικά μια υλοποίηση φαίνεται στα σχήματα 6.19(πίσω όψη) και 6.20(πλάγια όψη), όπου μπορεί κανείς να παρατηρήσει εκτός από την μεταλλική κατασκευή, τη θέση των στύλων και τα θεμέλιά τους, καθώς και τη θέση στην οποία τοποθετείται ο αντιστροφέας της συστοιχίας. Αυτός εγκαθίσταται πάνω στους στύλους χωρίς να υπάρχει κανένα πρόβλημα, καθώς είναι ενδεδειγμένη η εξωτερική χρήση τους. Εκτός από τους αντιστροφείς στους

στύλους τοποθετούνται και τα μέσα προστασία και απόζευξης (διακόπτες, ασφάλειες κλπ)(Σχήμα 6.25). Ακόμα στους στύλους βρίσκονται και οι αναμονές των γειώσεων, οι οποία εξετάζεται αμέσως παρακάτω.

6.8 ΓΕΙΩΣΗ

Στις συνήθεις κτιριακές και βιομηχανικές εγκαταστάσεις διακρίνει κανείς τρεις κατηγορίες γειώσεων:

- 1. Γείωση λειτουργίας.** Ονομάζεται η γείωση που γίνεται για λειτουργικούς λόγους (π.χ. γείωση του κόμβου του μετασχηματιστή). Αυτή διακρίνεται σε:
 - Άμεση, εφόσον δεν περιλαμβάνει άλλη αντίσταση πλην της αντίστασης γείωσης.
 - Έμμεση, εφόσον εκτός από την αντίσταση γείωσης περιλαμβάνει και ωμικές, επαγωγικές και χωρητικές αντιστάσεις.
- 2. Γείωση προστασίας.** Ονομάζεται η αγώγιμη σύνδεση των μεταλλικών μερών μιας εγκατάστασης, που δεν ανήκουν στο κύκλωμα λειτουργίας, και εξασφαλίζει την προστασία των ανθρώπων που μπορεί να έρθουν σε επαφή με αυτά.
- 3. Γείωση ασφαλείας ή αντικεραυνικής προστασίας.** Η γείωση ασφαλείας χρησιμεύει για την ασφάλεια των παρευρισκόμενων στο περιβάλλον που έχει κατασκευαστεί. Ενδεικτικά παραδείγματα του είδους αυτού είναι οι γειώσεις των αλεξικέραυνων, οι γειώσεις των αντιστατικών δαπέδων των χώρων επείγουσας ιατρικής και των χώρων με μηχανήματα προηγμένης τεχνολογίας.

Οι μέθοδοι γείωσης που χρησιμοποιούνται στις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις είναι οι παρακάτω:

- Η **ουδετέρωση**, δηλαδή η αγώγιμη σύνδεση με τον ουδέτερο αγωγό ή άλλο γειωμένο αγωγό φάσης δικτύου.
- Η **άμεση γείωση**, με απευθείας αγώγιμη σύνδεση με το σύστημα γείωσης το οποίο μπορεί να είναι μια πλάκα γείωσης, ένα ηλεκτρόδιο, ένα τρίγωνο κλπ.
- Η γείωση **μέσω διακόπτη διαφυγής**, για την αυτόματη απομόνωση του προβληματικού μέρους της εγκατάστασης. Υπάρχουν δυο ειδών διακόπτες διαφυγής, τάσης ($\Delta\Delta T$) και έντασης ($\Delta\Delta E$). Ο διακόπτης διαφυγής τάσης παρακολουθεί την τάση ως προς γη των μεταλλικών περιβλημάτων όπου είναι συνδεδεμένος και αν αυτή υπερβεί τα 50 V τότε αποσυνδέει το κύκλωμα. Το γειωμένο άκρο του $\Delta\Delta T$ συνδέεται με ιδιαίτερο ηλεκτρόδιο γείωσης. Ο διακόπτης διαφυγής έντασης παρακολουθεί το ρεύμα διαρροής ως προς τη γη (Σχήμα 20). Αν αυτό υπερβεί μία τιμή, συνήθως 30 mA, τότε αποζεύει το κύκλωμα. Σε αντιδιαστολή με τους $\Delta\Delta T$, έχουμε εδώ και μία προστασία κατά της πυρκαγιάς, γιατί περιορίζεται άμεσα το ρεύμα διαρροής προς γη.

Για την εγκατάσταση που μελετάται επιλέγεται ο συνδυασμός άμεσης θεμελιακής γείωσης με διακόπτες διαφυγής έντασης. Η θεμελιακή γείωση αποτελείται από ταινία ή κυλινδρικό αγωγό, που τοποθετείται στο κάτω μέρος των θεμελίων των κτιρίων, μέσα στο σκυρόδεμα. Στην φ/β εγκατάσταση που μελετάται η θεμελιακή γείωση συνδέεται με τα βάθρα των συστοιχιών, τα οποία είναι χυτά από Ο/Σ (οπλισμένο σκυρόδεμα) και θεμελιωμένα σε βάθος περίπου 1m. Η θεμελιακή γείωση καθώς συνδέεται ηλεκτρικά με τον οπλισμό της εγκατάστασης αποκτά εντυπωσιακά χαμηλές τιμές αντίστασης, διότι σχηματίζει ένα πολύ μεγάλο ηλεκτρόδιο γείωσης.

Σε εγκαταστάσεις μεγάλων διαστάσεων (με τη μία τουλάχιστον διάσταση μεγαλύτερη από 25m) επιλέγεται η από τη θεμελιακή γείωση περικλειόμενη επιφάνεια να κατανέμεται σε μικρότερα τμήματα - βρόχους, μέγιστων διαστάσεων (20 m x 20 m). Στην περίπτωση του φ/β πάρκου που εξετάζεται, αυτό έχει ληφθεί υπόψη και η θεμελιακή γείωση αποτελείται από έξι βρόχους (Σχήμα 6.21)

Ως ηλεκτρόδια θεμελιακής γείωσης χρησιμοποιούνται χαλύβδινες ταινίες με ελάχιστες διαστάσεις διατομής 30 mm x 3.5 mm ή χαλύβδινοι αγωγοί κυκλικής διατομής με ελάχιστη διάμετρο 10 mm. Όμως χαμηλότερη αντίσταση γείωσης επιτυγχάνεται με την χρήση ταινίας. Αν χρησιμοποιηθεί ηλεκτρόδιο γείωσης σε μορφή ταινίας, αυτή πρέπει να τοποθετηθεί με τη μεγαλύτερη διάσταση της διατομής της κατακόρυφα.

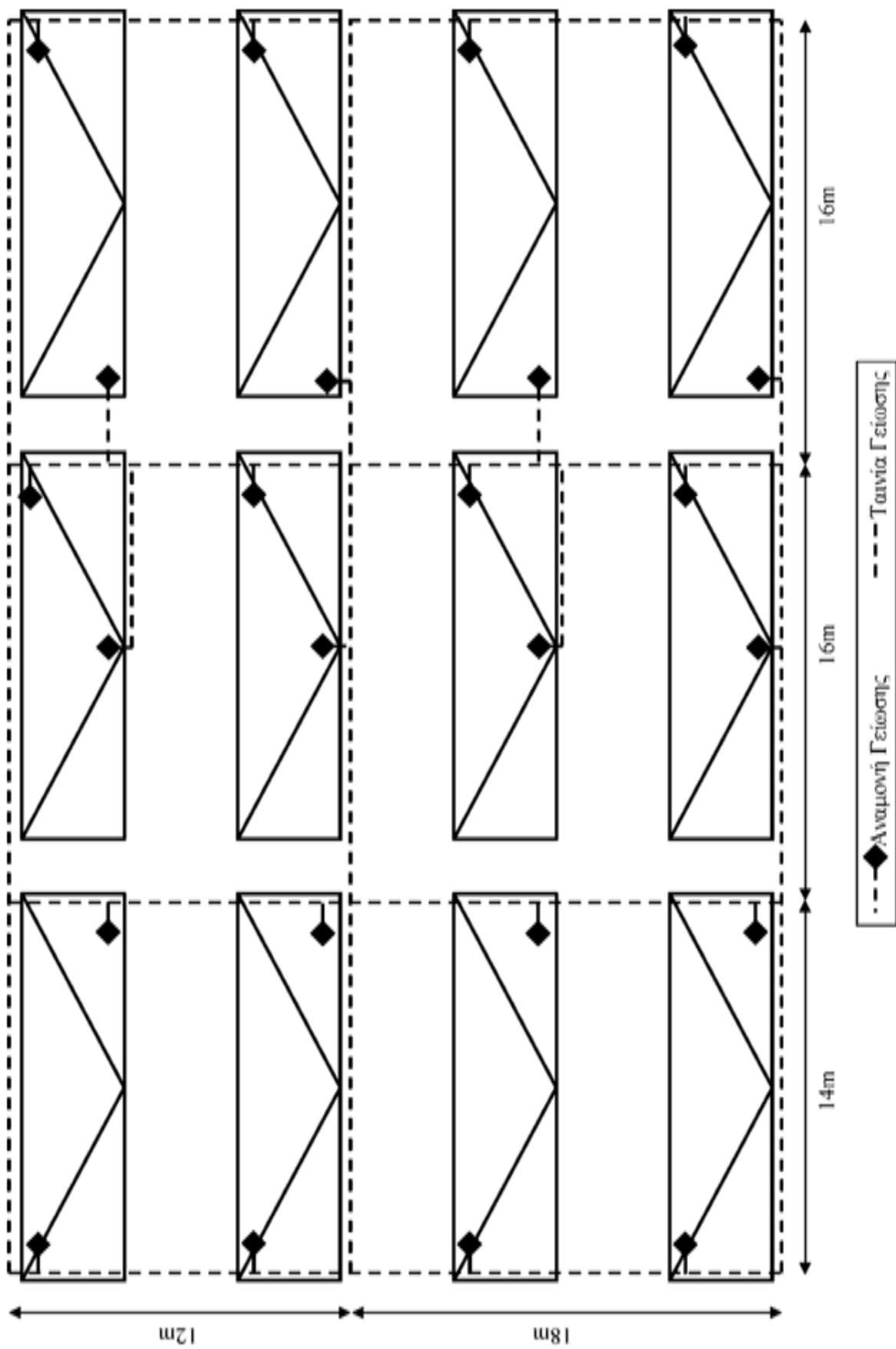
Τα εξαρτήματα για τη σύνδεση των αγωγών ή των ταινιών μεταξύ τους καθώς και με το σιδηρό οπλισμό πρέπει να είναι κατασκευασμένα από θερμά γαλβανισμένο ή ανοξείδωτο χάλυβα, να έχουν αντοχή σε διάβρωση και ικανότητα να άγουν το αναμενόμενο ρεύμα σφάλματος.

Για τη σύνδεση της ηλεκτρικής εγκατάστασης, των ισοδυναμικών συνδέσεων κλπ. με τη θεμελιακή γείωση κατασκευάζονται λήψεις όσο το δυνατόν πλησιέστερα στις θέσεις εγκατάστασης πινάκων διανομής που προβλέπεται η άμεση σύνδεσή τους στη γείωση καθώς και όπου θα πραγματοποιηθούν οι κύριες και συμπληρωματικές ισοδυναμικές συνδέσεις (Σχήμα 6.21). Οι λήψεις θεμελιακής γείωσης είναι κατασκευασμένες από υλικό ανθεκτικό στη διάβρωση (γαλβανισμένο ή ανοξείδωτο χάλυβα). Μπορεί να είναι σε μορφή ακροδέκτη γείωσης ή ζυγού γείωσης ή σε μορφή στρογγυλού αγωγού ή ταινίας. Πρέπει να επισημαίνονται (π.χ. με επικάλυψη ταινίας, χρωματισμό κλπ.) και να προστατεύονται κατάλληλα από φθορά κατά τη φάση κατασκευής του κτιρίου. Τα εξαρτήματα σύνδεσης της ηλεκτρικής εγκατάστασης και των ισοδυναμικών συνδέσεων με τις λήψεις της θεμελιακής γείωσης, καθώς και τα σημεία

σύνδεσης των εξαρτημάτων διαστολής με τις λήψεις της θεμελιακής γείωσης πρέπει να έχουν αντοχή σε διάβρωση στο περιβάλλον που εγκαθίστανται, ικανότητα να άγουν το αναμενόμενο ηλεκτρικό ρεύμα και επαρκή μηχανική αντοχή ώστε να εξασφαλίζεται η διατήρηση της ηλεκτρικής συνέχειας.

Εάν η θεμελιακή γείωση χρησιμοποιείται και ως γείωση αντικεραυνικής προστασίας, όπως συμβαίνει και στην εγκατάσταση που μελετάται, θα πρέπει οι

Σχήμα 6.21 Σύστημα θεμελίωσης γείωσης με ταινία και



συνδετήρες - σφικκτήρες να έχουν υποστεί τις προβλεπόμενες εργαστηριακές δοκιμές των Προτύπων της σειράς ΕΛΟΤ EN 50164.

6.9 ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ

Αν και η πιθανότητα να χτυπήσει κεραυνός την φ/β εγκατάσταση είναι αρκετά μικρή εντούτοις η ζημιά που μπορεί να προκαλέσει ένα τέτοιο ενδεχόμενο είναι πολύ μεγάλη στα φ/β πλαίσια και τον ηλεκτρολογικό εξοπλισμό (inverters, καλώδια, συστήματα ελέγχου κλπ.).

Στόχος είναι να προστατευτούν οι φ/β συστοιχίες από μια ενδεχόμενη φωτιά εξαιτίας ενός άμεσου χτυπήματος από κεραυνό και η προστασία του ηλεκτρονικού και ηλεκτρολογικού εξοπλισμού από έναν ηλεκτρομαγνητικό παλμό που μπορεί να προκληθεί από τον κεραυνό. Για να προστατευτεί η εγκατάσταση στον χώρο που καταλαμβάνουν τα φ/β πλαίσια πρέπει να εγκατασταθεί ένα σύστημα αντικεραυνικής προστασίας. Ανάλογα με τον τύπο της αντικεραυνικής προστασίας και το ύψος των απαιτούμενων ράβδων - αλεξικέραυνων, καθορίζεται η ποσότητά τους καθώς και η απόστασή τους. Για τους υπολογισμούς αυτούς χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της κυλιόμενης σφαίρας για αντικεραυνική προστασία τύπου III (υπάρχουν συνολικά τέσσερις τύποι προστασίας και ξεκινώντας από την προστασία τύπου I, που προσφέρει τη μέγιστη ασφάλεια καταλήγουμε στην τύπου IV, που προσφέρει συγκριτικά με τις υπόλοιπες τη λιγότερη ασφάλεια) κατά VDE V 0185-3. Η ακτίνα της κυλιόμενης σφαίρας για τύπου III προστασία είναι 45m και η κοιλία της σφαίρας αυτής σε σχέση με την απόσταση μεταξύ των αλεξικέραυνων (Σχήμα 6.22) δίνεται από τη σχέση:

$$p = R - \sqrt{R^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2} \quad (6.1)$$

Όπου p η κοιλία που εμφανίζει η σφαίρα, R η ακτίνα της και d η απόσταση μεταξύ των αλεξικέραυνων. Προφανώς το ύψος στο οποίο θα αναρτηθούν τα αλεξικέραυνα θα πρέπει να είναι μεγαλύτερο από την τιμή που βρίσκεται από τη σχέση 6.1 και το ύψος αυτό μετράται από το επίπεδο που ορίζουν τα υψηλότερα σημεία των φ/β συστοιχιών.

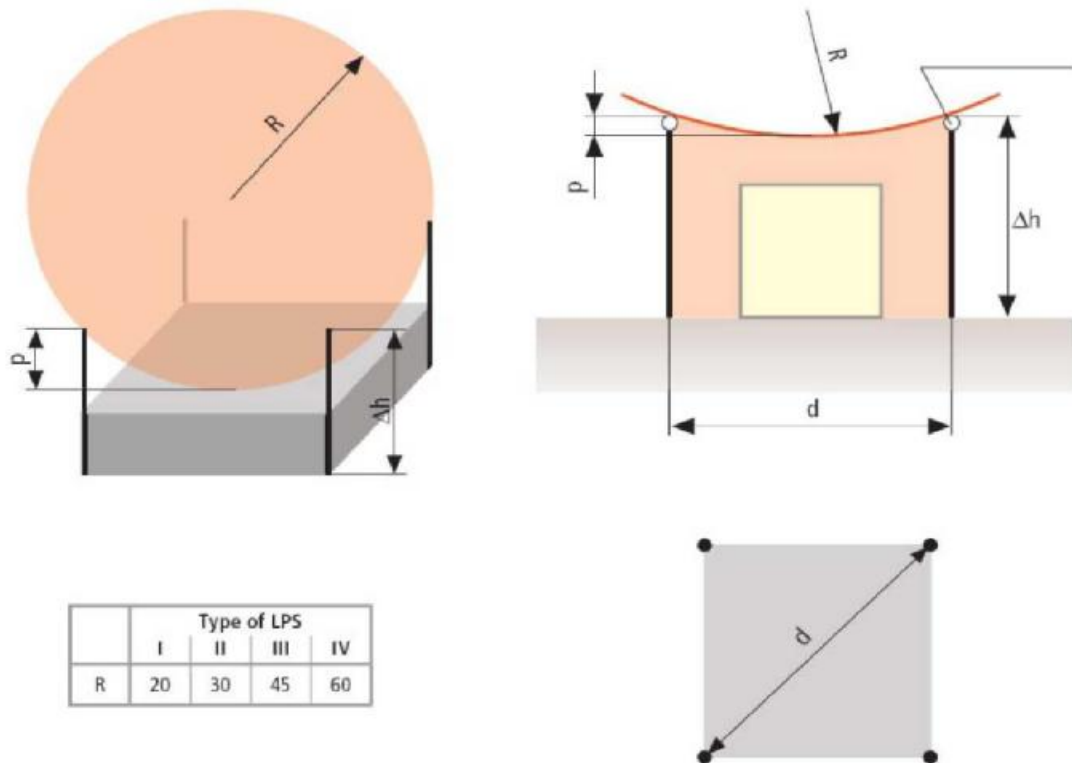
Στην εγκατάσταση που μελετάται επιλέγεται η τοποθέτηση 8 τερματικών ακίδων σύλληψης σε σημεία της εγκατάστασης που φαίνονται στο σχήμα 6.23. Τα σημεία τοποθέτησης, εκτός από την αντικεραυνική προστασία, εξασφαλίζουν ότι η σκίαση που δημιουργείται είναι αμελητέα. Ακόμα δημιουργούν ανά τέσσερα, νοητά ορθογώνια το μεγαλύτερο εκ των οποίων είναι διαστάσεων 28,5m x 16m. Δεδομένου αυτού του μεγέθους, η απόσταση d προκύπτει:

$$d = \sqrt{28,5^2 + 16^2} = 32,68m$$

Και αντικαθιστώντας στη σχέση 6.1 έχουμε:

$$p = 45 - \sqrt{45^2 - \left(\frac{32,68}{2}\right)^2} = 3,07m$$

Για την υλοποίηση της αντικεραυνικής προστασίας χρησιμοποιήθηκαν ακίδες σύλληψης και κυλινδρικοί μεταλλικοί δοκοί για τη στήριξή τους, οι οποίοι θα εδράζονται σε μια βάση από μπετόν και επιπλέον επειδή έχουν μεγάλο ύψος, θα στηρίζονται, όπου είναι απαραίτητο, από τις βάσεις στήριξης των συστοιχιών μέσω ηλεκτρομονωτικού υλικού.



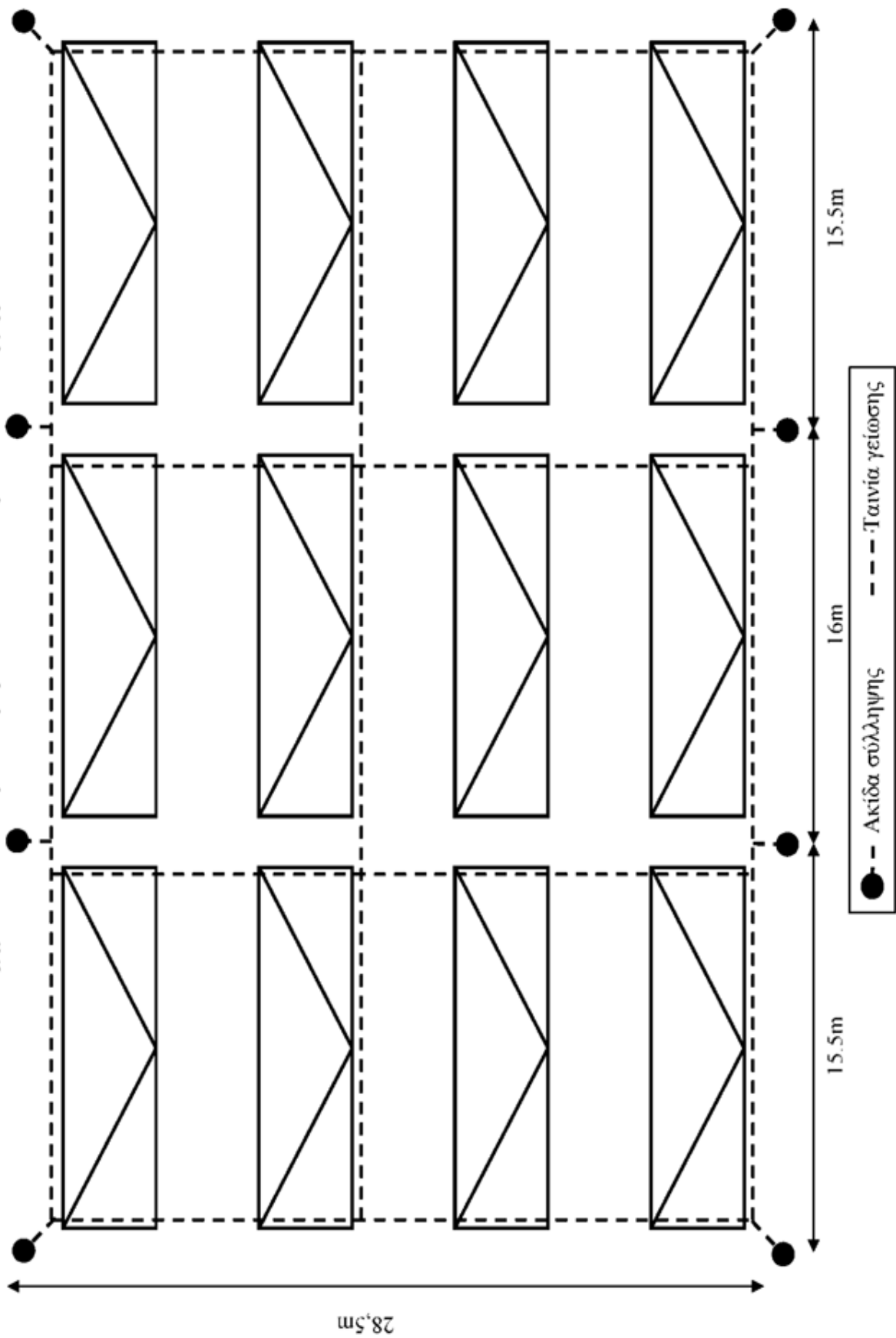
Σχήμα 6.22 Μοντέλο της κυλιόμενης σφαίρας[25].

Ηλεκτρική απομόνωση του συστήματος αντικεραυνικής προστασίας

Ανάμεσα σε μια εγκατάσταση αντικεραυνικής προστασίας και τον μεταλλικό και ηλεκτρολογικό εξοπλισμό της κατασκευής μπορεί να δημιουργηθεί μη ελεγχόμενη διαπήδηση ηλεκτρικού σπινθήρα εάν δεν υπάρχει μεταξύ τους η απαραίτητη απόσταση ασφαλείας. Ο τύπος που επιτρέπει τον υπολογισμό αυτής της απόστασης στην γενική περίπτωση είναι αρκετά σύνθετος:

$$s = k_i \left[\frac{k_c}{k_m} \right] D \quad (6,2)$$

Σχήμα 6.23 Αντικεραιονική προστασία – Θέσεις ακίδων σύλληψης



όπου το k_t εξαρτάται από τον τύπο της προστασίας που έχει επιλεγεί, το k_c είναι ο συντελεστής διαχωρισμού ρεύματος και εξαρτάται από την τοπολογία του συστήματος, το k_m εξαρτάται από το υλικό που περιβάλλει τον αγωγίμο δρόμο και το

L είναι η κατακόρυφη απόσταση μεταξύ της ισοδυναμικής επιφάνειας λόγω των ηλεκτροδίων γείωσης και του σημείου ενδιαφέροντος.

Για την φ/β εγκατάσταση που μελετάται έχει επιλεγεί η αντικεραυνική προστασία τύπου III η οποία καθορίζει την τιμή του συντελεστή: $k_i = 0,05$.

Για τον υπολογισμό του συντελεστή διαχωρισμού του ρεύματος, παρατηρούμε ότι τα επιλεγόμενα στοιχεία οδήγησης του κεραύνιου ρεύματος δεν είναι συνδεδεμένα, παρά μόνο στο υπέδαφος δημιουργώντας εκεί μια ισοδυναμική επιφάνεια. Αυτό συνεπάγεται ότι το ρεύμα που θα προκληθεί από ένα κεραυνό και θα οδηγηθεί στο έδαφος μέσω αυτών των στοιχείων δεν θα διαχωριστεί σε κανένα σημείο της διαδρομής και θα καταλήξει στη γη ως έχει. Σε αυτή τη περίπτωση ο συντελεστής λαμβάνει την τιμή: $k_c = 1$

Για τον υπολογισμό του συντελεστή μόνωσης του υλικού που παρεμβάλλεται μεταξύ των αλεξικέραυνων και του εξοπλισμού που πρέπει να προστατευθεί, παρατηρούμε ότι αυτό στην περίπτωση μας είναι ο αέρας και επομένως: $k_m = 1$.

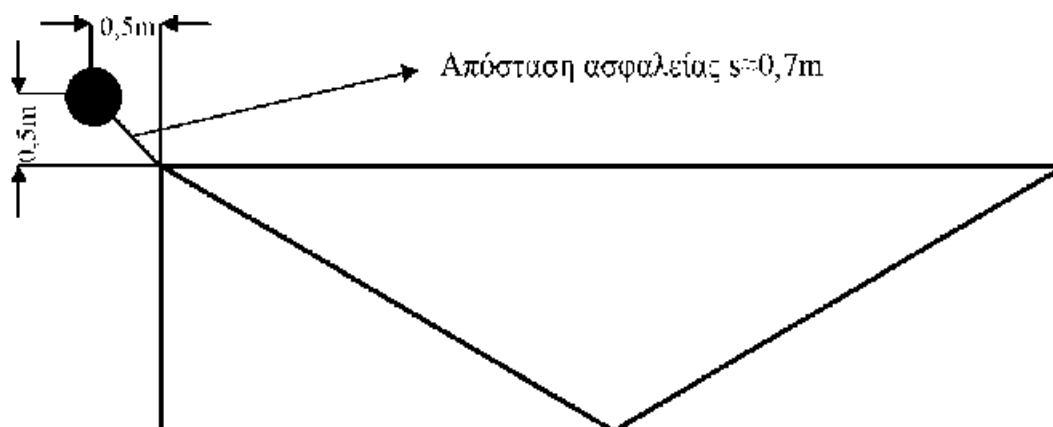
Τέλος το μήκος L όπως φαίνεται και στο σχήμα 6.19 έχει μεγαλύτερη τιμή:

$$L \cong 3,4m .$$

Τελικά η απόσταση διαχωρισμού, που απαιτείται να υπάρχει για λόγους ασφαλείας δίνεται από τη σχέση 6.2 και προκύπτει:

$$s = 0,05 \sqrt{\frac{1}{2}} 3,4 = 0,17m$$

Στο φ/β πάρκο που μελετάται και λαμβάνοντας υπόψη τη διαστασιολόγησή του, η ελάχιστη απόσταση ασφαλείας αυτή δεν αποτελεί πρόβλημα και έχει επιλεγεί να είναι αρκετά μεγαλύτερη (Σχήμα 6.24).



Σχήμα 6.24 Απόσταση ασφαλείας των ακίδων σύλληψης στην εγκατάσταση.

6.10 ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ

Αντιστροφείς

Είναι πολύ σημαντικό να τονιστεί ότι οι αντιστροφείς που χρησιμοποιήθηκαν, ικανοποιούν όλες τις απαιτήσεις ασφαλείας σύμφωνα με τον «Οδηγό σύνδεσης φωτοβολταϊκών σταθμών στο δίκτυο χαμηλής τάσης»

της Δ.Ε.Η.. Το πιστοποιητικό που συνοδεύει τους αντιστροφείς δίνεται στο Παράρτημα C, τα σημαντικότερα σημεία του οποίου είναι:

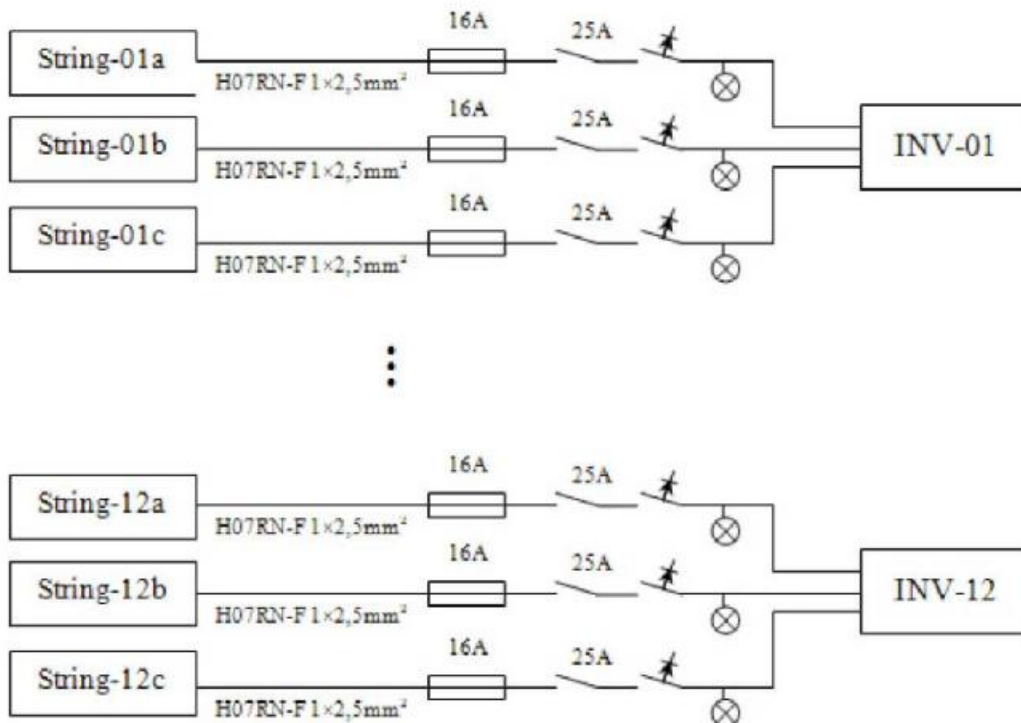
- Η εισαγωγή συνεχούς ρεύματος (χωρίς τη χρήση ΜΣ) είναι μικρότερη του 0,5% της ονομαστικής του τιμής.
- Η συνολική αρμονική παραμόρφωση του ρεύματος (THDI) είναι μικρότερη από 4%.
- Η σύνδεση και η αποσύνδεση γίνεται μέσω ηλεκτρονόμων που ελέγχονται μέσω λογισμικού και περιλαμβάνει αυτόματη (επανα)σύνδεση εφόσον οι τιμές τάσης και συχνότητας εμπίπτουν στα όρια $0,8xV_{nom}$ - $1,15xV_{nom}$ και 49,5Hz - 50,5Hz και άμεση αποσύνδεση εφόσον δεν πληρούνται τα όρια αυτά.
- Η ενεργός προστασία έναντι της νησιδοποίησης μέσω μέτρησης της σύνθετης αντίστασης

Καλώδια

Τα καλώδια, με τα οποία συνδέονται τα φ/β πλαίσια μεταξύ τους, είναι ειδικού τύπου διατομής $2,5\text{mm}^2$ και μπορεί κάποιος να τα προμηθευτεί μαζί με τις γεννήτριες. Στα datasheet των εταιριών (Παράρτημα Β) φαίνεται η θέση του κιβωτίου σύνδεσης σε κάθε φ/β πλαίσιο. Στο κιβώτιο αυτό, ένας ακροδέκτης παρέχει δύο πολικότητες, επικοινωνώντας με το εξωτερικό μέσω δύο οπών με στυπαιοθλίπτες καλωδίου. Σήμερα ωστόσο αυξάνεται ο αριθμός των προκαλωδιωμένων στοιχείων που διαθέτουν στεγανούς συνδετήρες και επιτρέπουν τη γρήγορη σύνδεση χωρίς να είναι αναγκαίο το άνοιγμα κιβωτίων σύνδεσης. Η προκαλωδίωση αυτή περιλαμβάνει καλώδια διαφορετικού μήκους με αρσενικό και θηλυκό βύσμα για τις δύο πολικότητες. Στο εσωτερικό του κιβωτίου σύνδεσης υπάρχουν επίσης μία ή δύο δίοδοι by-pass που συνήθως

τοποθετούνται από τον κατασκευαστή με σκοπό να περιορίζουν τις βλάβες από σκίαση.

Ακόμα η σύνδεση της συστοιχίας με τον αντιστροφέα μπορεί να γίνει με καλώδια νεοπρενίου ή PVC, τα οποία ενδείκνυνται για μεσαία και υψηλή καταπόνηση και είναι ανθεκτικά στις καιρικές συνθήκες. Ο υπολογισμός αυτών των καλωδίων, γίνεται με βάση τις τιμές της τάσης και της έντασης στην είσοδο του αντιστροφέα, οι οποίες τιμές φαίνονται στον πίνακα 6.9 στην περίπτωση 3. Τελικά η παροχή ισχύος από τις φ/β συστοιχίες γίνεται μέσω καλωδίων τύπου H07RN-F (νεοπρενίου) διατομής $1 \times 2,5 \text{mm}^2$, που μεταφέρουν συνεχές ρεύμα έντασης 7,39A από τα φ/β πλαίσια στον αντιστροφέα.



Σχήμα 6.25 Διάγραμμα σύνδεσης στην πλευρά του συνεχούς ρεύματος.

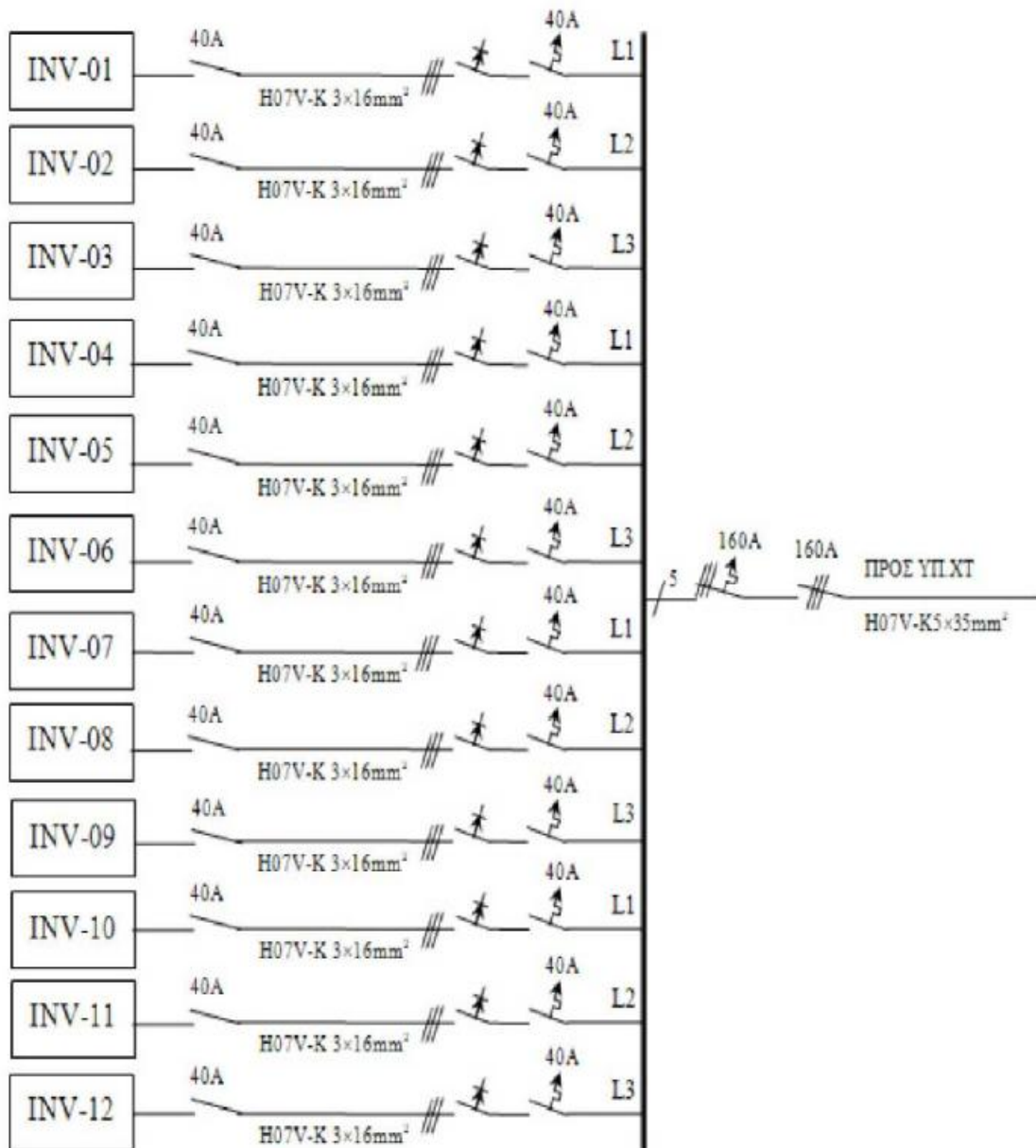
Από την άλλη η σύνδεση του αντιστροφέα με τον πίνακα χαμηλής τάσης της εγκατάστασης γίνεται με καλώδια τύπου H07v-K (παλιότερα γνωστά ως NYAF) διατομής $3 \times 16 \text{mm}^2$. Είναι πολύ σημαντικό οι απώλειες των καλωδίων αυτών να μην ξεπερνούν το 1%, όπως χαρακτηριστικά ορίζεται στα datasheet των αντιστροφέων. Οι απώλειες εξαρτώνται τόσο από τη διατομή των αγωγών όσο και από το μήκος τους. Για τη συγκεκριμένη διατομή που επιλέχτηκε, η απαίτηση οι απώλειες να περιορίζονται στο 1% ικανοποιείται όταν το μέγιστο μήκος των καλωδίων είναι 31,1m. Η θέση του πίνακα στην εγκατάσταση ικανοποιεί εύκολα την απαίτηση αυτή (Σχήμα 6.29).

Τα καλώδια στον πίνακα ομαδοποιούνται σε τρεις φάσεις και έπειτα αναχωρούν για τη σύνδεσή τους με την ΧΤ του δικτύου με καλώδια τύπου H07v-K διατομής $5 \times 35 \text{mm}^2$ και προστατεύονται με διακόπτη μικροαυτόματο 160A και αποζεύκτη επίσης 160A.

Μέσα προστασίας

Η είσοδος κάθε αντιστροφέα προστατεύεται με διάταξη ασφάλεια τήξης σε συνδυασμό με αποζεύκτη (ασφαλειοαποζεύκτης), διακόπτη διαρροής έντασης και ενδεικτική λυχνία. Οι ασφάλειες θα είναι των 16A και οι διακόπτες των 25A, ενώ ο διακόπτης διαφυγής έντασης θα είναι των 30mA. Η διάταξη με την σειρά της προστατεύεται από στεγανό ανοιγόμενο κιτίο.

Στην πλευρά του εναλλασσόμενου ρεύματος, στην έξοδο του αντιστροφέα, θα υπάρχει επίσης διακόπτης διαφυγής έντασης και μικροαυτόματος διακόπτης των 40A.



Σχήμα 6.26 Διάγραμμα σύνδεσης στην πλευρά του εναλλασσόμενου ρεύματος

Εξωτερικός Πίνακας Pillar

Οι έξοδοι όλων των αντιστροφών συγκεντρώνονται σε ένα πίνακα χαμηλής τάσης, όπου και ομαδοποιούνται σε τρεις φάσεις και στη συνέχεια αναχωρεί μια

τριφασική γραμμή για να συνδεθεί με το δίκτυο. Λόγω της φύσης της εγκατάστασης προτιμήθηκε η χρήση ενός πίνακα Pillar (Σχήμα 6.27). Οι πίνακες εξωτερικού χώρου - Pillar είναι πίνακες διανομής, τροφοδότησης κινητήρων, φωτισμού για υπαίθρια εγκατάσταση, όπου λόγω αντίξωων περιβαλλοντικών συνθηκών απαιτείται μεγάλη στεγανότητα και εύκολη επεκτασιμότητα. Κατασκευάζονται από χαλυβοέλασμα γαλβανιζέ πάχους 2mm σε διάφορες διαστάσεις , ενώ ο βαθμός προστασίας τους είναι IP40 ή ανάλογα με τις προδιαγραφές μέχρι και IP66. Ανάλογα με τις διαστάσεις και το ηλεκτρολογικό υλικό χωρίζονται σε μονομερή, διμερή, τριμερή και τετραμερή αριθμό διαμερισμάτων, γεγονός που δίνει μεγάλη ευελιξία τοποθέτησης υλικών. Το ηλεκτρολογικό υλικό κουμπώνεται σε ειδική γαλβανιζέ ράγα. Η κατασκευή του είναι τέτοια, ώστε τα διάφορα όργανα να είναι εύκολα προσιτά και τοποθετημένα σε κανονικές αποστάσεις μεταξύ τους και έτσι εξασφαλίζεται η άνετη αφαίρεση, επισκευή και επανατοποθέτηση τους, χωρίς να μεταβάλλεται η κατασκευή των γειτονικών οργάνων.



Σχήμα 6.27 Παράδειγμα τοποθέτησης αντιστροφέα σε στύλο που στηρίζει φ/β συστοιχία και διατάξεων προστασίας και απόζευξης.

Η θέση του πίνακα στην εγκατάσταση είναι πολύ σημαντική, καθώς από αυτή εξαρτάται άμεσα το μήκος των καλωδίων που απαιτούνται για την σύνδεση των αντιστροφέων. Σύμφωνα με τη τοπογραφική διάταξη της εγκατάστασης το σημείο τοποθεσίας του πίνακα ΧΤ, που θα έχει ως αποτέλεσμα το μικρότερο δυνατό μήκος των καλωδίων βρίσκεται στον γεωμετρικό τόπο των σημείων που ορίζει η γραμμή που χωρίζει στη μέση την εγκατάσταση κατά τη διεύθυνση Β-Ν. Στη συγκεκριμένη περίπτωση το σημείο που τοποθετήθηκε ο πίνακας φαίνεται στο σχήμα 6.29. Η θέση αυτή εξασφαλίζει όχι μόνο συνολικά το μικρότερο μήκος των καλωδίων, αλλά και ξεχωριστά τα καλώδια, που έρχονται από τις εξόδους των αντιστροφέων δεν ξεπερνούν στη χειρότερη περίπτωση τα 25m. Το γεγονός αυτό εξασφαλίζει ότι οι απώλειες των καλωδίων θα είναι μικρότερες από 1%. Τέλος οι διαστάσεις του ποικίλουν ανάλογα με τις απαιτήσεις που υπάρχουν. Στην περίπτωσή μας το ύψος του δεν θα ξεπερνάει τα 1,5m και έτσι δεν θα δημιουργεί κανένα πρόβλημα σκίασης στην εγκατάσταση, καθώς τοποθετείται πίσω από τη βάση στήριξης.



Σχήμα 6.28 Εξωτερικός πίνακας - Pillar

Σύστημα παρακολούθησης και ελέγχου

Είναι πολύ σημαντικό να μπορεί να γίνεται η παρακολούθηση και καταγραφή της απόδοσης μιας φ/β εγκατάστασης, καθώς και η εύκολη επέμβαση στις παραμέτρους του συστήματος όταν είναι αυτό αναγκαίο. Για το λόγο αυτό είναι απαραίτητο ένα σύστημα ελέγχου. Η εταιρία SMA, ταυτόχρονα με την παραγωγή των αντιστροφένων, προσφέρει και μια πληθώρα προϊόντων καταγραφής, αλλά και λογισμικού επεξεργασίας σε οποιοδήποτε ηλεκτρονικό υπολογιστή. Για την εγκατάσταση που μελετάται μια πολύ καλή λύση προσφέρει ο συνδυασμός του Sunny Boy Control με το λογισμικό Sunny Data Control.

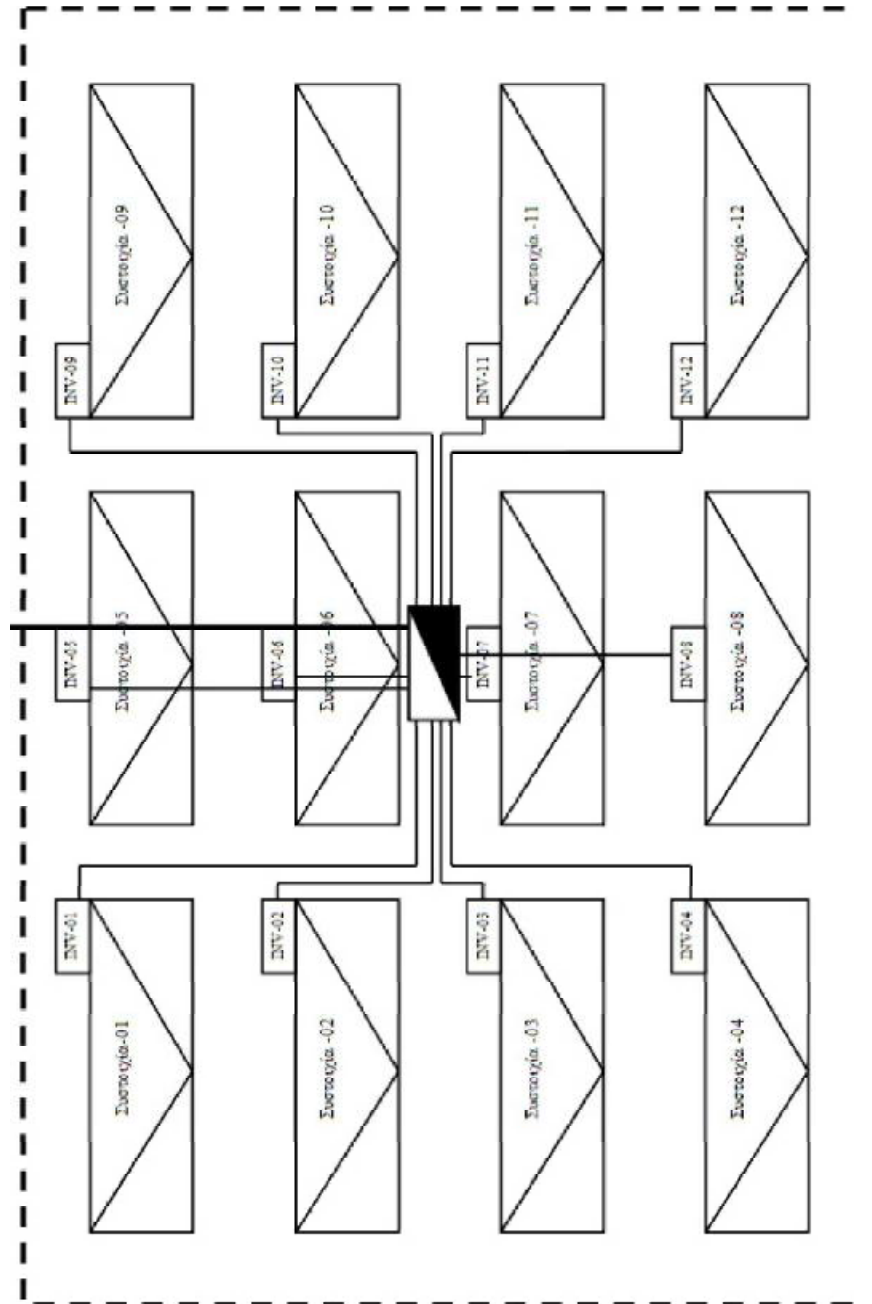
Το Sunny Boy Control μπορεί να καταγράψει μια πληθώρα μεταβλητών του φ/β συστήματος, να τις αποθηκεύσει και έπειτα να αποστείλει κάθε ώρα ή κάθε μέρα μια αναφορά για την κατάσταση της εγκατάστασης ή μια αναφορά σφαλμάτων μέσω email ή Fax. Για το σκοπό αυτό συνδέεται σε ένα εξωτερικό μόντεμ, το οποίο επιτρέπει από οποιοδήποτε σημείο και με την βοήθεια του λογισμικού για ηλεκτρονικό υπολογιστή Sunny Data Control, την πρόσβαση στην φ/β εγκατάσταση, τον έλεγχο της τρέχουσας κατάστασής της και τις ενεργειακές αποδόσεις που επιτεύχθηκαν. Η επικοινωνία με τους μετατροπείς γίνεται είτε μέσω αγωγού δικτύου (Powerline) είτε μέσω διεπαφής RS485. Με ένα μόνο SunnyBoy Control είναι εφικτή η επιτήρηση έως και 50 αντιστροφένων, ακόμη και διαφορετικών κατηγοριών απόδοσης.

6.11 ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

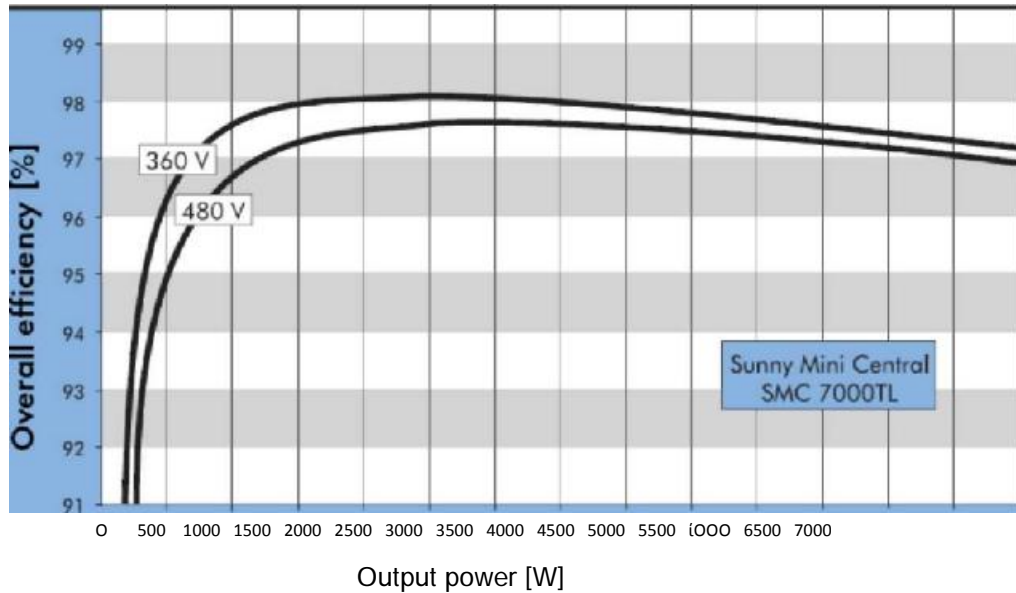
Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια του φ/β σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας δίνεται από τη σχέση:

$$E = H_T S_K a \quad (6.3)$$

όπου H_T η μηνιαία ολική ηλιακή ακτινοβολία σε κεκλιμένου επίπεδου στο οποίο έχουν τοποθετηθεί τα πλαίσια, S_K η συνολική ενεργός επιφάνεια των φ/β πλαισίων και a ο συνολικός συντελεστής απόδοσης της εγκατάστασης.



Σχήμα 6.29 Σύνδεση των αντιστροφών στον πίνακα χαμηλής τάσης και αναχώρηση τριφασικής γραμμής..



Σχήμα 6.30 Απόδοση αντιστροφέα SMC 7000TL.[SMA]

Η συνολική επιφάνεια κάλυψης των φ/β πλαισίων δίνεται από τη σχέση:

$$S_K = N \cdot S \quad (6.4)$$

όπου N ο συνολικός αριθμός των φ/β πλαισίων της εγκατάστασης ($N = 756$), S η επιφάνεια ενός φ/β πλαισίου ($S = \text{μηκος} \times \text{πλάτος} = 1,425\text{m} \times 0,652\text{m} = 0,9291\text{m}^2$). Τελικά προκύπτει:

$$S_K = 702,4\text{m}^2$$

Τέλος ο συνολικός συντελεστής απόδοσης της εγκατάστασης δίνεται από τη σχέση:

$$a = n_{mod} n_{inv} (1 - a_{cab}) (1 - a_{sh}) \sigma_r \sigma_q \quad (6.5)$$

όπου η_{mod} ο βαθμός απόδοσης των φ/β πλαισίων που υπολογίζεται από τη σχέση 4.12 ($n_{mod} = 0,1399$), η_{inv} ο βαθμός απόδοσης των αντιστροφέων που προκύπτει από το διάγραμμα απόδοσης του σχήματος 6.30 ($\eta_{inv} = 0,97$), a_{cab} οι απώλειες στα καλώδια ($a_{cab} = 0,01$), a_{sh} οι απώλειες λόγω σκίασης ($a_{sh} = 0,01$), σ ο συντελεστής καθαρότητας, ο οποίος προκύπτει με βάση το

γεγονός ότι η περιοχή έχει σχετικά μικρή ρύπανση $\sigma_p = 0,95$ και σ_θ ο θερμοκρασιακός συντελεστής που υπολογίζεται

από τη σχέση 4.17 με βάση τις θερμοκρασίες αέρα του εκάστοτε μήνα. Επομένως έχουμε:

$$a = 0,1264\sigma_\theta$$

Στον παρακάτω πίνακα υπολογίζεται η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια ανά μήνα για την βέλτιστη γωνία κλίσης β_{opt} στην οποία έχουν τοποθετηθεί τα πλαίσια.

Πίνακας 6.11 Στον πίνακα φαίνεται η μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία για $\beta_{opt} = 28^\circ$ H_T , η μέση μηνιαία θερμοκρασία του αέρα για τις ώρες της ημέρας με ηλιοφάνεια T_a , η αντίστοιχη θερμοκρασία των φ/β πλαισίων T_{mod} , ο θερμοκρασιακός συντελεστής σ_θ και η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια E .

Μήνας	H_T (kWh/m ²)	T_a (°C)	$T_{m \cdot d}$ (°C)	σ_θ	E (kWh)
Ιανουάριος	97,94	12,8	42,8	0,886	7.701,00
Φεβρουάριος	99,32	13,2	43,2	0,884	7.792,25
Μάρτιος	134,74	14,6	44,6	0,877	10.486,94
Απρίλιος	138,97	17,5	47,5	0,863	10.637,68
Μάιος	183,55	21,3	51,3	0,844	13.740,97
Ιούνιος	190,23	25,6	55,6	0,822	13.878,06
Ιούλιος	201,09	28,4	58,4	0,808	14.420,23
Αύγουστος	198,42	28,5	58,5	0,808	14.219,75
Σεπτέμβριος	167,88	25,7	55,7	0,822	12.239,57
Οκτώβριος	136,09	21,8	51,8	0,841	10.157,47
Νοέμβριος	109,97	18,1	48,1	0,860	8.388,74
Δεκέμβριος	82,63	14,4	44,4	0,878	6.438,50
Σύνολο	1.740,83				130.101,14

Η συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας επομένως προκύπτει:

$$E = 130,101 \text{ MWh} / \text{έτος}$$

Και η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια ανά εγκατεστημένο kWp :

$$E = 1.323,78 \text{ kWh} / kWp \cdot \text{έτος}$$

6.12 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ

Το σημαντικότερο μειονέκτημα των φ/β εγκαταστάσεων είναι το υψηλό κόστος αγοράς των φ/β γεννητριών. Παρακάτω ακολουθεί μια τεχνοοικονομική ανάλυση του φ/β σταθμού παραγωγής 100kWp. Εξετάζεται η περίπτωση επιδότησης κατά 50% και πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας σύμφωνα με τις τιμές που θεσπίστηκαν στον αναπτυξιακό νόμο 3468/2006 .

Αρχικά υπολογίζεται το κόστος προμήθειας και εγκατάστασης των φ/β γεννητριών.

Συγκεντρωτικός Πίνακας Κόστους

ΠΡΟΪΟΝ	ΜΟΝΑΔΑ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΤΙΜΗ ΜΟΝΑΔΑΣ	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΤΙΜΗ
KYOCERA-ΚC 130 GHT-2	Τεμ.	756	620 €	468.720 €
SMA-SUNNY MINI CENTRAL 8000TL	Τεμ.	12	2.950 €	35.400 €
ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΔΙΑΧΕΙΡΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	Τεμ.	1	3.000 €	3.000 €
ΠΡΟΣΘΕΤΟ ΥΛΙΚΟ ΓΙΑ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΙΣ				1.200 €
ΧΩΜΑΤΟΥΡΓΙΚΕΣ- ΟΙΚΟΔΟΜΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ				3.000 €
ΕΓΚΑΤΣΤΑΣΗ Φ/Β ΣΥΣΤΟΙΧΙΩΝ	Τεμ.	12	2.000 €	24.000 €
ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ (ΚΑΛΩΔΙΑ, ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ κ.τ.λ.)				25.000 €
ΛΟΙΠΑ ΕΞΟΔΑ (ΓΡΑΦΕΙΟΚΡΑΤΙΚΑ κ.τ.λ.)				2.500 €
ΣΥΝΟΛΟ				562,820€

Έπειτα παρουσιάζεται η τιμή πώλησης της ενέργειας από την εγκατάσταση που υλοποιήθηκε σύμφωνα με τον αναπτυξιακό νόμο 3468/2006. Εφόσον πρόκειται για διασυνδεδεμένο σύστημα με εγκατεστημένη ισχύ μικρότερη από 100kWp, τότε η τιμή της ενέργειας είναι 0,45€/kWh.

ΤΙΜΗ ΠΩΛΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ

Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από:	Τιμή Ενέργειας (€/kWh)	
	Διασυνδεδεμένο Σύστημα	Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά
Ηλιακή ενέργεια που αξιοποιείται από φωτοβολταϊκές μονάδες, με εγκατεστημένη ισχύ μικρότερη ή ίση των 100kWp	0,45	0,5
Ηλιακή ενέργεια που αξιοποιείται από φωτοβολταϊκές μονάδες, με εγκατεστημένη ισχύ μεγαλύτερη των 100kWp	0,4	0,45

ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ

1.	Γενική Περιγραφή	
1.1	Συνολική Ισχύς Σταθμού	98.280 Wp
1.2	Στατιστικές Ώρες	1.324 h
1.3	Ετήσια Παραγωγή Ενέργειας	130.088 kWh
2.	Συνολική Επένδυση	
2.1	Κόστος Εξοπλισμού και Εγκατάστασης	560.000 €
2.2	Κόστος Απόκτησης Εκτάσεως	0 €
2.3	Συνολικό Κόστος	560.000 €
2.4	Επιχορήγηση	280.000 €
2.5	Ίδια Συμμετοχή	140.000 €
2.6	Δάνειο	140.000 €
2.7	Επιτόκιο Αναγωγής	7 %
2.8	Έξοδα Εξυπηρέτησης Δανείου	15.371 €
3.	Τιμές Πώλησης	
3.1	Τιμή Πώλησης Ενέργειας (με προσαύξηση 2,5% ετησίως)	0,45 €/kWh
4.	Ετήσια Αποτελέσματα	
4.1	Έσοδα από Πώληση Ενέργειας	58.540
4.2	Λειτουργικά Έξοδα(με προσαύξηση 2,5% ετησίως)	600 €
4.3	Έξοδα Ασφάλισης (με προσαύξηση 2,5% ετησίως)	1.000 €
4.4	Συντελεστής Φόρων	20 %
4.5	Μεικτό Κέρδος (χωρίς εξυπηρέτηση δανείου)	56.940 €
5.	Δείκτες ανά kWp	
5.1	Ύψος επένδυσης ανά kWp	1.425 €/kWp
5.2	Μεσοσταθμικός Τζίρος ανά έτος και ανά kWp	36,06 €/kWp/έτος
5.3	Μεσοσταθμικό Κέρδος ανά έτος και ανά kWp	24,75 €/kWp/έτος
6.	Δείκτες Χρηματικών Ροών	
6.1	Καθαρή Παρούσα Αξία-NPV	389.707 €
6.2	Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης-IRR	29,03 %
6.3	Έντοκη Περίοδος Αποπληρωμής (έτη)	4,20 έτη

Όροι και Αποπληρωμή Δανείου

1.1 Όροι Δανείου

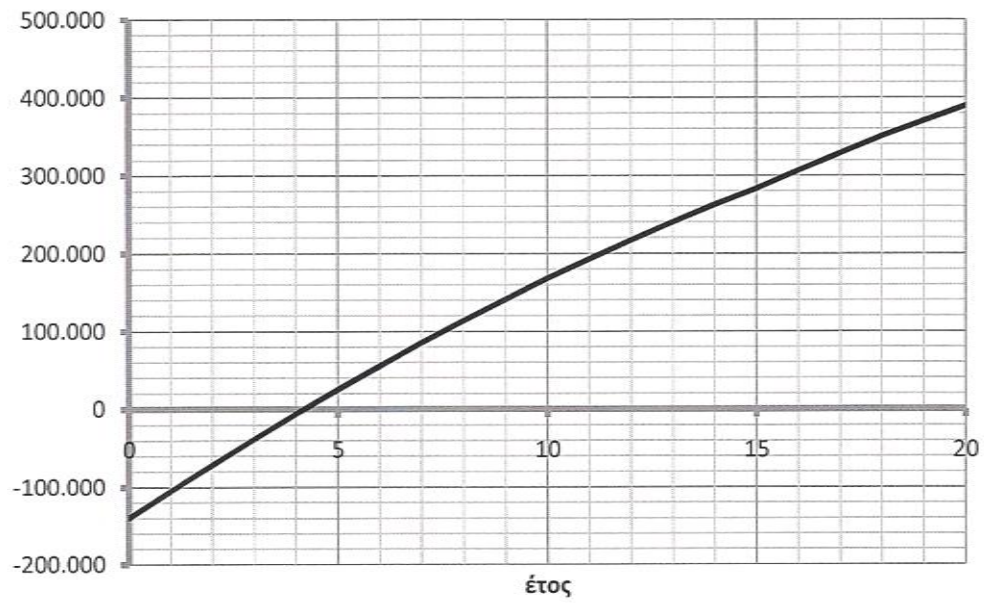
α. Ποσό Δανείου	140.000 €
β. Ετήσιο Επιτόκιο	7%
γ. Διάρκεια Δανείου	15 έτη

Έτος	Ποσό Δανείου	Ετήσια Τοκοχρεολυτική Δόση	Χρεολύσιο	Τόκος	Τόκοι Πληρωτέοι	Ανεξόφλητο Υπόλοιπο
0	140.000					
1		15.371	5.571	9.800	9.800	134.429
2		15.371	5.961	9.410	9.410	128.468
3		15.371	6.379	8.992	8.992	122.089
4		15.371	6.825	8.546	8.546	115.264
5		15.371	7.303	8.068	8.068	107.961
6		15.371	7.814	7.557	7.557	100.147
7		15.371	8.361	7.010	7.010	91.786
8		15.371	8.946	6.425	6.425	82.840
9		15.371	9.572	5.799	5.799	73.268
10		15.371	10.243	5.128	5.128	63.025
11		15.371	10.959	4.412	4.412	52.066
12		15.371	11.727	3.644	3.644	40.339
13		15.371	12.548	2.823	2.823	27.791
14		15.371	13.426	1.945	1.945	14.366
15		15.371	14.366	1.005	1.005	0
Σύνολο		230.565	140.000	90.565	90.565	

Απόδοση Επένδυσης με Επιχορήγηση επί των Ίδιων Κεφαλαίων (Μετά Τοκοχρεολυσίων και Φόρων)

Έτος	Έσοδα	Λειτουργικές	Μεικτό	Αποσβέσεις	Χρεολύσιο	Τόκοι	Φόροι	Καθαρή	Αθροιστική	Παρούσα	Αθροιστική
0									-140.000		-140.000
1	58.540	1.600	56.940	18.667	5.571	9.800	4.580	36.989	-103.011	34.895	-105.105
2	60.004	1.640	58.364	18.667	5.961	9.410	4.865	38.127	-64.884	33.933	-71.172
3	61.504	1.681	59.823	18.667	6.379	8.992	5.157	39.295	-25.590	32.993	-38.179
4	63.041	1.723	61.318	18.667	6.825	8.546	5.456	40.491	14.902	32.073	-6.107
5	64.617	1.766	62.851	18.667	7.303	8.068	5.763	41.717	56.619	31.174	25.067
6	66.233	1.810	64.422	18.667	7.814	7.557	6.077	42.974	99.593	30.295	55.362
7	67.888	1.856	66.033	18.667	8.361	7.010	6.399	44.263	143.856	29.437	84.800
8	69.586	1.902	67.684	18.667	8.946	6.425	6.729	45.584	189.440	28.600	113.399
9	71.325	1.949	69.376	18.667	9.572	5.799	7.068	46.937	236.377	27.782	141.181
10	73.108	1.998	71.110	18.667	10.243	5.128	7.415	48.325	284.702	26.984	168.166
11	71.189	2.048	69.141	18.667	10.959	4.412	7.021	46.749	331.451	24.627	192.793
12	72.969	2.099	70.870	18.667	11.727	3.644	7.366	48.132	379.584	23.920	216.713
13	74.793	2.152	72.641	18.667	12.548	2.823	7.721	49.550	429.133	23.231	239.944
14	76.663	2.206	74.458	18.667	13.426	1.945	8.084	51.003	480.136	22.558	262.502
15	74.444	2.261	72.183	18.667	14.366	1.005	7.629	49.183	529.319	20.522	283.025
16	76.305	2.317	73.988				14.798	59.190	588.509	23.300	306.325
17	78.213	2.375	75.837				15.167	60.670	649.179	22.531	328.855
18	80.168	2.435	77.733				15.547	62.187	711.366	21.787	350.642
19	77.607	2.495	75.112				15.022	60.089	771.455	19.860	370.502
20	79.547	2.558	76.989				15.398	61.592	833.047	19.205	389.707

Αθροιστική Παρούσα Αξία



Βιβλιογραφία

- [1] Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία, Κ. Καγκαράκης Καθηγητής Ε.Μ.Π.
- [2] Ηλεκτρισμός από Ηλιακή Ενέργεια, Thomas Markvart, Επιμέλεια Ελληνικής Έκδοσης Παναγιώτης Σκούτζος, Εκδόσεις ΙΩΝ [3] Solar Engineering of Thermal Processes 2nd Edition, Duffie J., and Beckman W.
- [4] Handbook of Photovoltaic Science and Engineering, Antonio Luque and Steven Hegedus
- [5] Ηλεκτρονικά Ισχύος, Στέφανος Ν. Μανιάς Καθηγητής Ε.Μ.Π., Εκδόσεις Συμεών Αθήνα 2000 [6] Σημειώσεις Εγκαταστάσεων Φωτοβολταϊκών Συστημάτων και Ανεμογεννητριών, Στέφανος Ν. Μανιάς Καθηγητής Ε.Μ.Π., Κ.Ε.Κ. Αγίων Αναργύρων
- [7] First Course on Power Electronics and Drivers, Ned Mohan, Professor of Power Electronics and Systems, University of Minnesota, 2003 Edition.
- [8] Power Electronics Handbook, MUHAMMAD H. RASHID, Ph.D., Fellow IEE, Fellow IEEE, Professor University of West Florida,. Copyright © 2001 by ACADEMIC PRESS
- [9] Power Electronics, Converters, Applications and Design, Second Edition, Mohand/Underland/Robbins, John Wiley & Sons Inc. [10] Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας Από Ανανεώσιμες Πηγές, Μιχ. Π. Παπαδόπουλος Καθηγητής Ε.Μ.Π., Αθήνα 1997
- [11] Βιομηχανικά Ηλεκτρονικά, Στέφανος Ν. Μανιάς Καθηγητής Ε.Μ.Π.
- [12] Φυσική, Τεχνολογία και Χρήσεις Φωτοβολταϊκών, Κ.Θ. Δέρβος Καθηγητής Ε.Μ.Π., Αθήνα 2006 [13] Photovoltaic Solar Energy Generation, Professor Dr. Adolf Goetzberger and Dipl.-Wirt Volker U. Hoffmann, © Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2005
- [14] Proceedings of Solar Forum 2001: Solar Energy: The power to choose, April 21-25, 2001 Washington DC. 'Effects of tilt and azimuth on annual incident solar radiation for United States Locations', Craig B. Christensen and Greg M. Barker

- [15] Σημειώσεις Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, Δρ. Π. Αξαόπουλος
- [16] Μελέτη και Κατασκευή Φωτοβολταϊκού Πάρκου για Κάλυψη Ενεργειακών Εφαρμογών σε Παραγωγικές Μονάδες, Π. Γκουλιάρης, Δ. Γκουλιάρης, Φ. Γκουλιάρης
- [17] Σύνδεση Εγκαταστάσεων Παραγωγής στα Δίκτυα Διανομής, Σημειώσεις Α.Π.Ε., Σταύρος Αθ. Παπαθανασίου, Λέκτορας ΕΜΠ, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2003
- [18] Handbook of Batteries Third Edition, David Linden & Thomas B. Reddy, McGraw-Hill Companies, Inc. [19] Handbook Primer on Lead-Acid Storage Batteries, US Department of Energy [20] Οικονομική Ανάλυση Επιχειρήσεων, Π.Κάπρος Καθηγητής Ε.Μ.Π., Αθήνα Δεκέμβριος 2001
- [21] Διαχείριση Ενέργειας και Περιβαλλοντική Πολιτική, Ιωάννης Ψαρράς, Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π., Κωνσταντίνος Δ. Παλιτζιάνος, Επ. Συνεργάτης Ε.Μ.Π., Αθήνα 2005
- [22] Ήπιες Μορφές Ενέργειας III, Μηχανική των Φωτοβολταϊκών Συστημάτων. Τεχνολογία, Μελέτες, Εφαρμογές, Σ.Ν.Καπλάνης, Εκδόσεις ΙΩΝ. [23] Αυτόνομες Εφαρμογές ηλιακής Ενέργειας Μικρού και Μεσαίου Μεγέθους, Βασίλης Μαλαμής, Εκδόσεις ΙΩΝ [24] Απαιτήσεις για θεμελιακή γείωση, Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης, ΕΛΟΤ-1424, 3/11/2006 [25] Lightning Protection Guide, ©DEHN, Revised: May 2004, Publication No. DS702/E/2004
- [26] Προστασία Κατασκευών από Κεραυνούς, Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης, ΕΛΟΤ-1197, 17/6/2002 [27] Maximum Power Tracking for Photovoltaic Power Systems, Joe-Air Jiang, Tsong-Liang Huang, Ying-Tung Hsiao and Chia-Hong Chen, Tamkang Journal of Science and Engineering, Vol. 8, No 2, pp. 147 153 (2005) [28] Ανάλυση της Λειτουργίας Εργαστηριακού Πρωτότυπου Μικροδικτύου, Διπλωματική Εργασία, Χαράλαμπος Ι. Αναστασόπουλος, Ε.Μ.Π, Σχολή Η.Μ.Μ.Υ., Αθήνα Ιούλιος 2004 [29] Έλεγχος Φόρτισης στα Φωτοβολταϊκά Συστήματα, Πτυχιακή Εργασία, Κυριάκος Τανατζής, Τ.Ε.Ι. Δυτικής Μακεδονίας, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, Τμήμα Ηλεκτρολογίας [30] Μελέτη Εγκατάστασης Φωτοβολταϊκής Γεννήτριας στο Νέο Κτίριο των

Ηλεκτρολόγων του Ε.Μ.Π., Μεταπτυχιακή Διπλωματική, Δημητρόπουλος Δημήτριος, Ε.Μ.Π., Σχολή Η.Μ.Μ.Υ., Αθήνα 2004 [31] Πρακτικά Όγδου Συνεδρίου για τις Ήπιες Μορφές Ενέργειας, Θεσσαλονίκη 29-31 Μαρτίου 2006, Ινστιτούτο Ηλιακής Ενέργειας.

Ακόμα χρησιμοποιήθηκαν πολλές πληροφορίες από το διαδίκτυο. Παρακάτω δίνονται κάποιες διευθύνσεις από τις οποίες αντλήθηκαν πληροφορίες για την συγγραφή της παρούσας διπλωματικής εργασίας:

- [32] www.sma.de
- [33] <http://global.kyocera.com>
- [34] www.rae.gr
- [35] www.desmie.gr
- [36] www.ypan.gr
- [37] www.cres.gr
- [38] www.iea.org
- [39] www.aenaon.net/gr/

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

THE NEW VALUE FRONTIER



KC130GHT-2

HIGH EFFICIENCY MULTICRYSTAL PHOTOVOLTAIC MODULE



Kyocera is "ISO9001" certified and registered.

TUVdotCOM Internet platform for tested quality and service ID 000007958.

HIGHLIGHTS OF KYOCERA PHOTOVOLTAIC MODULES

Kyocera's advanced cell processing technology and automated production facilities produce a highly efficient multicrystal photovoltaic module.

The conversion efficiency of the Kyocera solar cell is over 16%.

These cells are encapsulated between a tempered glass cover and a potant with back sheet to provide efficient protection from the severest environmental conditions.

The entire laminate is installed in an anodized aluminum frame to provide structural strength and ease of installation. Equipped with plug in connectors.

APPLICATIONS

Grid-Connected Systems

- Residential Solar Power Systems
- Public and Industrial Solar Power Systems

Stand-Alone Solar Power Systems for

- Villages in remote areas
- Homes and summer cottages
- Microwave / Radio repeater stations
- Medical facilities in rural areas

- Emergency communication
- Water quality and environmental data monitoring
- Drinking water and livestock water pumping
- Irrigation pumping
- Cathodic protection
- Aviation obstruction lights
- Environmental data monitoring
- Railway signals
- Street lighting
- Desalination
- etc.

LIMITED WARRANTY

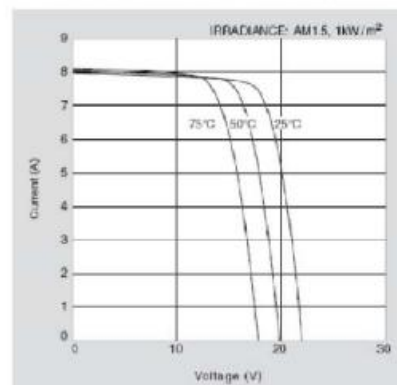
⊕ Limited warranty on material and workmanship: For warranty period, please refer to Warranty issued by Kyocera

⊕ 20 years limited warranty on power output: For detail, please refer to "category IV" in Warranty issued by Kyocera

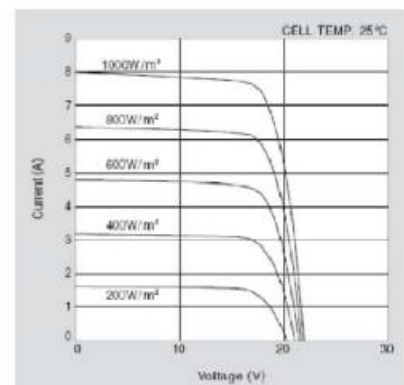
(Long term output warranty shall warrant if PV Modules exhibits power output of less than 90% of the original minimum rated power specified at the time of sale within 10 years and less than 80% within 20 years after the date of sale to the Customer. The power output values shall be those measured under Kyocera's standard measurement conditions. Regarding the warranty conditions in detail, please refer to Warranty issued by Kyocera)

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Current-Voltage characteristics of Photovoltaic Module KC130GHT-2 at various cell temperatures



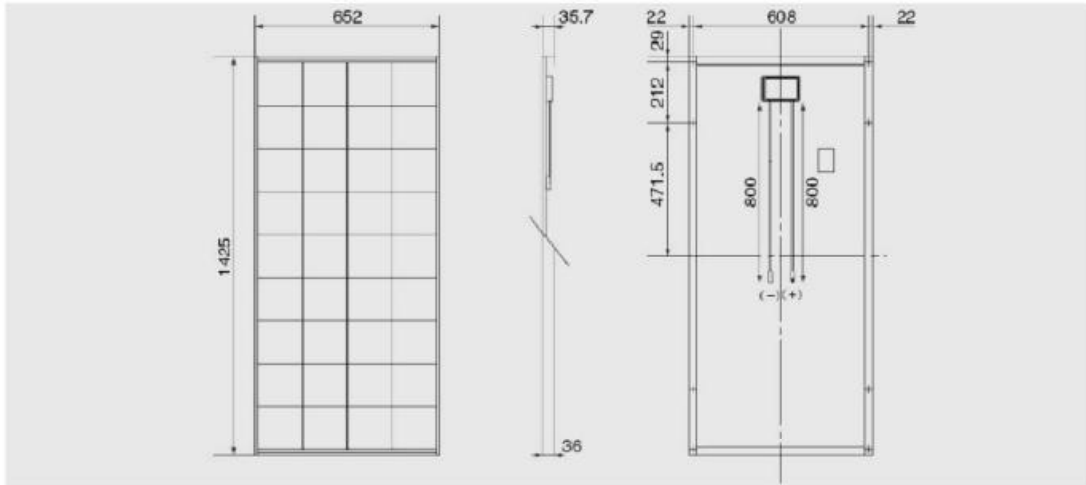
Current-Voltage characteristics of Photovoltaic Module KC130GHT-2 at various irradiance levels



MODEL
KC130GHT-2

Physical Specifications

(Unit : mm)



Specifications

Electrical Performance under Standard Test Conditions (*STC)	
Maximum Power (Pmax)	130W (+10%/-5%)
Maximum Power Voltage (Vmpp)	17.6V
Maximum Power Current (Impp)	7.39A
Open Circuit Voltage (Voc)	21.9V
Short Circuit Current (Isc)	8.02A
Max System Voltage	1000V
Temperature Coefficient of Voc	-8.21 x 10 ⁻² V/°C
Temperature Coefficient of Isc	3.18 x 10 ⁻³ A/°C

*STC : Irradiance 1000W/m², AM1.5 spectrum, module temperature 25°C

Electrical Performance at 800W/m ² , NOCT*, AM1.5	
Maximum Power (Pmax)	92W
Maximum Power Voltage (Vmpp)	15.5V
Maximum Power Current (Impp)	5.94A
Open Circuit Voltage (Voc)	19.9V
Short Circuit Current (Isc)	6.47A

*NOCT (Nominal Operating Cell Temperature): 47°C

Cells	
Number per Module	36
Cell Technology	Multicrystal
Cell Shape	Rectangular

Module Characteristics	
Length x Width x Depth without Box	1425 x 652 x 36mm
Weight	12.2kg
Cable	(+)800/(-)800mm

Junction Box Characteristics	
Length x Width x Depth	113.6 x 76 x 9mm
IP Code	IP65

Reduction of Efficiency under Low Irradiance	
Reduction	4.3%

Reduction of efficiency from an irradiance of 1000W/m² to 200W/m² (module temperature 25°C)

Please contact our office for further information



KYOCERA Corporation

KYOCERA Corporation Headquarters

CORPORATE SOLAR ENERGY DIVISION
6 Takada Tobradono-cho
Fushimi-ku, Kyoto
612-8501, Japan
TEL:(81)75-604-3476 FAX:(81)75-604-3475
http://www.kyocera.com

● KYOCERA Solar, Inc.
7812 East Acorn Drive
Scottsdale, AZ 85260, USA
TEL:(1)480-949-6003 or (800)229-0590 FAX:(1)480-492-6431
http://www.kyocerasolar.com

● KYOCERA Solar do Brasil Ltda.
Av. Gulgnard 661, Loja A
22790-200, Recreio dos Bandeirantes, Rio de Janeiro, Brazil
TEL:(55)21-2407-8525 FAX:(55)21-2437-2338
http://www.kyocerasolar.com.br

● KYOCERA Solar Pty Ltd.
Level 3, 6-10 Talavera Road, North Ryde
N.S.W. 2113, Australia
TEL:(61)2-9870-9918 FAX:(61)2-9889-9588
http://www.kyocerasolar.com.au

● KYOCERA Fineceramics GmbH
Fritz-Mueller-Strasse 107, 73730 Esslingen, Germany
TEL:(49)7141-93934-999 FAX:(49)7141-93934-950
http://www.kyocerasolar.eu

● KYOCERA Asia Pacific Pte. Ltd.

298 Tiong Bahru Road, #10-03/05
Central Plaza, Singapore 108730
TEL:(65)6271-0500 FAX:(65)6271-0500

● KYOCERA Asia Pacific Ltd.

Room 801-802, Tower 1, South Seas Centre, 75 Mody Road,
Tsimshatsui East, Kowloon, Hong Kong
TEL:(852)2-7237188 FAX:(852)2-7244501

● KYOCERA Asia Pacific Ltd. Taipei Office

10 Fl., No.68, Nanjing West Road, Taipei, Taiwan
TEL:(886)2-2555-3609 FAX:(886)2-2559-4131

● KYOCERA(Tianjin) Sales & Trading Corporation

19F Tower C, HeGiao Building 8A Guanghua Rd.,
Chao Yang District, Beijing 100026, China
TEL:(86)10-6599-2270 FAX:(86)10-6599-2250



THE NEW VALUE FRONTIER



KC175GHT-2

HIGH EFFICIENCY MULTICRYSTAL PHOTOVOLTAIC MODULE



Kyocera is "ISO9001" certified and registered.
TUVdotCOM Internet platform for tested quality and service ID 000007146.

HIGHLIGHTS OF KYOCERA PHOTOVOLTAIC MODULES

Kyocera's advanced cell processing technology and automated production facilities produce a highly efficient multicrystal photovoltaic module.
The conversion efficiency of the Kyocera solar cell is over 16%.
These cells are encapsulated between a tempered glass cover and a potant with back sheet to provide efficient protection from the severest environmental conditions.
The entire laminate is installed in an anodized aluminum frame to provide structural strength and ease of installation. Equipped with plug in connectors.

APPLICATIONS

Grid-Connected Systems

- Residential Solar Power Systems
- Public and Industrial Solar Power Systems

Stand-Alone Solar Power Systems for

- Villages in remote areas
- Homes and summer cottages
- Microwave / Radio repeater stations
- Medical facilities in rural areas

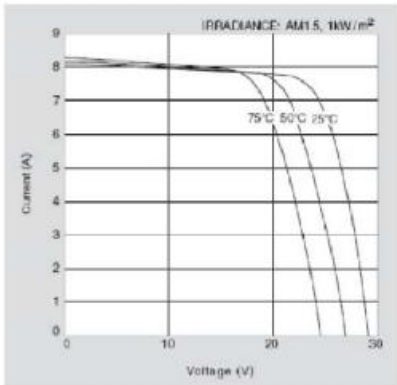
- Emergency communication
- Water quality and environmental data monitoring
- Drinking water and livestock water pumping
- Small-scale irrigation pumping
- Cathodic protection
- Aviation obstruction lights
- Environmental data monitoring
- Railway signals
- Street lighting
- Small-scale desalination
- etc.

LIMITED WARRANTY

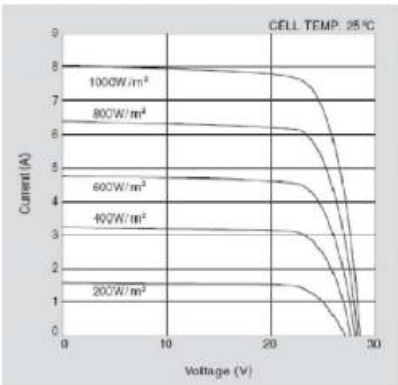
⚠ Limited warranty on material and workmanship: For warranty period, please refer to Warranty issued by Kyocera
⚠ 20 years limited warranty on power output: For detail, please refer to "category IV" in Warranty issued by Kyocera
(Long term output warranty shall warrant if PV Module(s) exhibits power output of less than 90% of the original minimum rated power specified at the time of sale within 10 years and less than 80% within 20 years after the date of sale to the Customer. The power output values shall be those measured under Kyocera's standard measurement conditions. Regarding the warranty conditions in detail, please refer to Warranty issued by Kyocera)

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Current-Voltage characteristics of Photovoltaic Module KC175GHT-2 at various cell temperatures

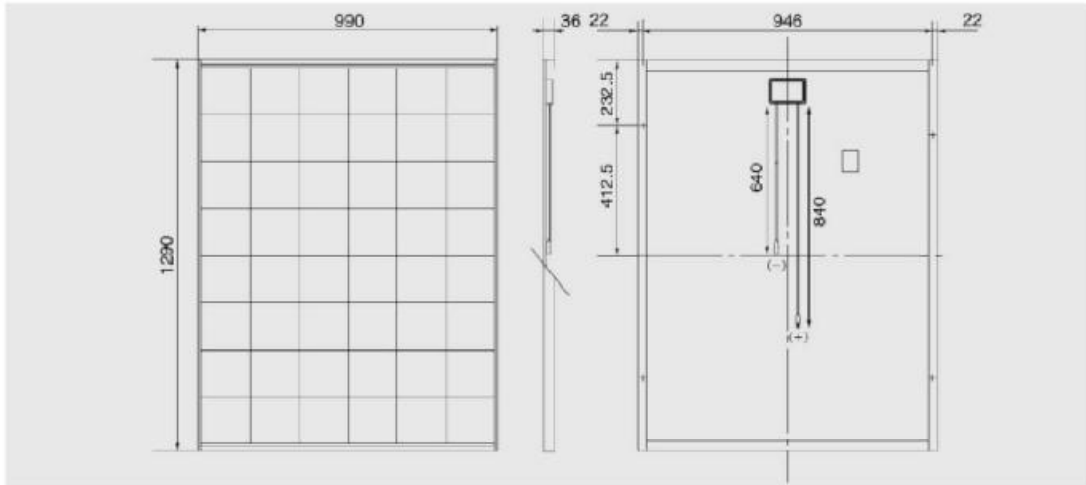


Current-Voltage characteristics of Photovoltaic Module KC175GHT-2 at various irradiance levels



Physical Specifications

(Unit: mm)



Specifications

Electrical Performance under Standard Test Conditions (*STC)	
Maximum Power (P _{max})	175W (+10%/−5%)
Maximum Power Voltage (V _{mpp})	23.6V
Maximum Power Current (I _{mpp})	7.42A
Open Circuit Voltage (V _{oc})	29.2V
Short Circuit Current (I _{sc})	8.09A
Max System Voltage	1000V
Temperature Coefficient of V _{oc}	−1.09×10 ^{−1} V/°C
Temperature Coefficient of I _{sc}	3.18×10 ^{−3} A/°C

*STC: Irradiance 1000W/m², AM1.5 spectrum, module temperature 25°C

Electrical Performance at 800W/m ² , NOCT*, AM1.5	
Maximum Power (P _{max})	125W
Maximum Power Voltage (V _{mpp})	20.9V
Maximum Power Current (I _{mpp})	5.99A
Open Circuit Voltage (V _{oc})	26.5V
Short Circuit Current (I _{sc})	6.53A

*NOCT (Nominal Operating Cell Temperature): 47°C

Cells	
Number per Module	48
Cell Technology	Multicrystal
Cell Shape	Rectangler

Module Characteristics	
Length × Width × Depth without Box	1290×990×36mm
Weight	16.0kg
Cable	(+)840/(−)640mm

Junction Box Characteristics	
Length × Width × Depth	113.6×76×9mm
IP Code	IP65

Reduction of Efficiency under Low Irradiance	
Reduction	5.1%

Reduction of efficiency from an irradiance of 1000W/m² to 200W/m² (module temperature 25°C)

Please contact our office for further information



KYOCERA Corporation

KYOCERA Corporation Headquarters

CORPORATE SOLAR ENERGY DIVISION
6 Takada Tobadono-cho
Fushimi-ku, Kyoto
612-8501, Japan
TEL:(81)75-604-3476 FAX:(81)75-604-3475
<http://www.kyocera.com>

● KYOCERA Solar, Inc.
7812 East Acorn Drive
Scottsdale, AZ 85260, USA
TEL:(1)480-949-6003 or (800)229-0590 FAX:(1)480-492-6431
<http://www.kyocerasolar.com>

● KYOCERA Solar do Brasil Ltda.
Av. Gulgnard 661, Loja A
22790-200, Recreio dos Bandeirantes, Rio de Janeiro, Brazil
TEL:(55)21-2437-8525 FAX:(55)21-2437-2338
<http://www.kyocerasolar.com.br>

● KYOCERA Solar Pty Ltd.
Level 3, 6-10 Talavera Road, North Ryde
N.S.W. 2113, Australia
TEL:(61)2-9870-9518 FAX:(61)2-9888-9588
<http://www.kyocerasolar.com.au/>

● KYOCERA Fineceramics GmbH
Fritz-Mueller-Strasse 107, 73730 Esslingen, Germany
TEL:(49)7141-93934-999 FAX:(49)7141-93934-950
<http://www.kyocerasolar.eu>

● KYOCERA Asia Pacific Pte. Ltd.

298 Tiong Bahru Road, #10-03/05
Central Plaza, Singapore 108730
TEL:(65)6271-0500 FAX:(65)6271-0500

● KYOCERA Asia Pacific Ltd.

Room 801-802, Tower 1, South Seas Centre, 75 Mody Road,
Tsimshatsui East, Kowloon, Hong Kong
TEL:(852)2-7237188 FAX:(852)2-7244501

● KYOCERA Asia Pacific Ltd. Taipei Office

10 Fl., No.68, Nanjing West Road, Taipei, Taiwan
TEL:(886)2-2555-3609 FAX:(886)2-2559-4131

● KYOCERA(Tianjin) Sales & Trading Corporation

19F Tower C, HeGiao Building 8A Guanghua Rd.,
Chao Yang District, Beijing 100026, China
TEL:(86)10-6593-2270 FAX:(86)10-6593-2250

THE NEW VALUE FRONTIER



KC200GHT-2

HIGH EFFICIENCY MULTICRYSTAL PHOTOVOLTAIC MODULE



Kyocera is "ISO9001" certified and registered.
TUVdotCOM Internet platform for tested quality and service ID 000007358.

HIGHLIGHTS OF KYOCERA PHOTOVOLTAIC MODULES

Kyocera's advanced cell processing technology and automated production facilities produce a highly efficient multicrystal photovoltaic module.

The conversion efficiency of the Kyocera solar cell is over 16%.

These cells are encapsulated between a tempered glass cover and a pottant with back sheet to provide efficient protection from the severest environmental conditions.

The entire laminate is installed in an anodized aluminum frame to provide structural strength and ease of installation. Equipped with plug in connectors.

APPLICATIONS

Grid-Connected Systems

- Residential Solar Power Systems
- Public and Industrial Solar Power Systems

Stand-Alone Solar Power Systems for

- Villages in remote areas
- Homes and summer cottages
- Mikrowave / Radio repeater stations
- Medical facilities in rural areas

- Emergency communication
- Water quality and environmental data monitoring
- Drinking water and livestock water pumping
- Irrigation pumping
- Cathodic protection
- Aviation obstruction lights
- Environmental data monitoring
- Railway signals
- Street lighting
- Desalination
- etc.

LIMITED WARRANTY

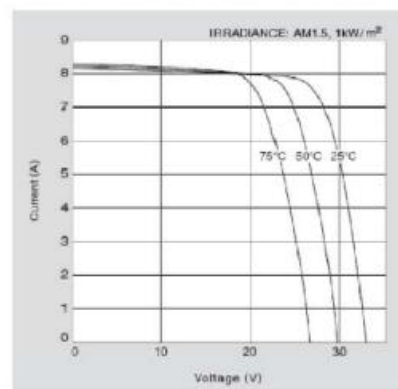
⊕ Limited warranty on material and workmanship: For warranty period, please refer to Warranty issued by Kyocera

⊕ 20 years limited warranty on power output: For detail, please refer to "category IV" in Warranty issued by Kyocera

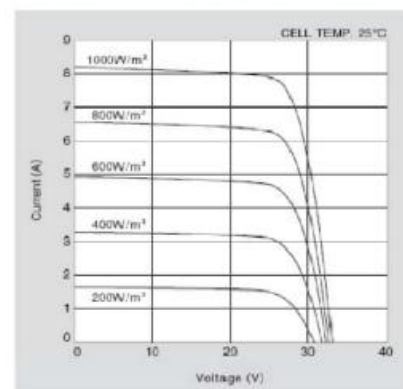
(Long term output warranty shall warrant if PV Module(s) exhibits power output of less than 90% of the original minimum rated power specified at the time of sale within 10 years and less than 80% within 20 years after the date of sale to the Customer. The power output values shall be those measured under Kyocera's standard measurement conditions. Regarding the warranty conditions in detail, please refer to Warranty issued by Kyocera)

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Current-Voltage characteristics of Photovoltaic Module KC200GHT-2 at various cell temperatures



Current-Voltage characteristics of Photovoltaic Module KC200GHT-2 at various irradiance levels

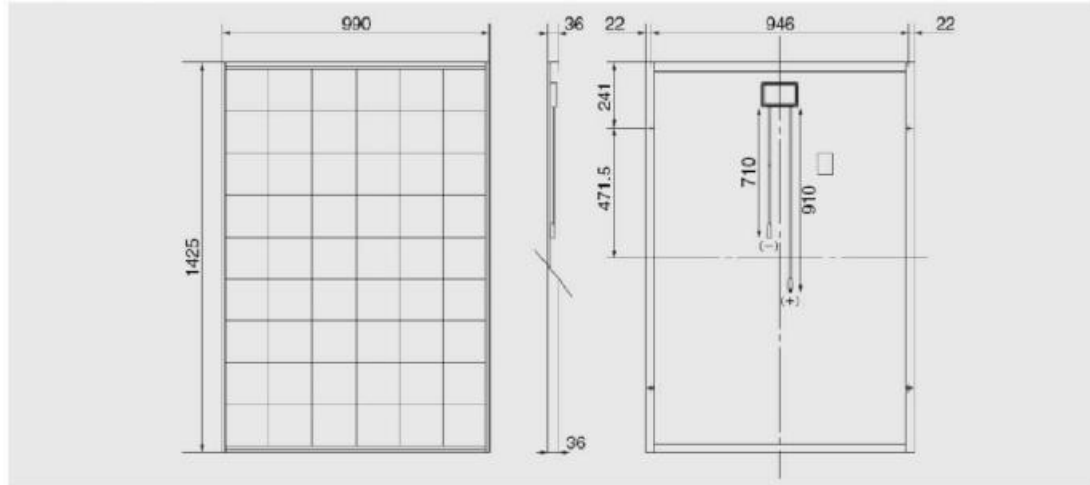


SPECIFICATIONS

KC200GHT-2

Physical Specifications

(Unit : mm)



Specifications

Electrical Performance under Standard Test Conditions (*STC)	
Maximum Power (P _{max})	200W (+1.0%/−5%)
Maximum Power Voltage (V _{mpp})	26.3V
Maximum Power Current (I _{mp})	7.61A
Open Circuit Voltage (V _{oc})	32.9V
Short Circuit Current (I _{sc})	8.21A
Max System Voltage	1000V
Temperature Coefficient of V _{oc}	−1.23×10 ^{−1} V/°C
Temperature Coefficient of I _{sc}	3.18×10 ^{−3} A/°C

*STC: Irradiance 1000W/m², AM1.5 spectrum, module temperature 25°C

Electrical Performance at 800W/m ² , NOCT [†] , AM1.5	
Maximum Power (P _{max})	142W
Maximum Power Voltage (V _{mpp})	23.2V
Maximum Power Current (I _{mp})	6.13A
Open Circuit Voltage (V _{oc})	29.9V
Short Circuit Current (I _{sc})	6.62A

[†]NOCT: Nominal Operating Cell Temperature: 47°C

Cells	
Number per Module	54
Cell Technology	Multicrystal
Cell Shape	Rectangular

Module Characteristics	
Length × Width × Depth without Box	1425×990×36mm
Weight	18.5kg
Cable	(+)910(−)710mm

Junction Box Characteristics	
Length × Width × Depth	113.6×76×9mm
IP Code	IP65

Reduction of Efficiency under Low Irradiance	
Reduction	7.8%

Reduction of efficiency from an irradiance of 1000W/m² to 200W/m² (module temperature 25°C)

Please contact our office for further information



KYOCERA Corporation

KYOCERA Corporation Headquarters

CORPORATE SOLAR ENERGY DIVISION
8 Takeda Tobadono-cho
Fushimi-ku, Kyoto
612-8501, Japan
TEL: (81) 75-604-3476 FAX: (81) 75-604-3475
<http://www.kyocera.com>

● KYOCERA Solar, Inc.
7612 East Acacia Drive
Scottsdale, AZ 85260, USA
TEL: (1) 480-948-8003 or (800) 223-9580 FAX: (1) 480-483-6431
<http://www.kyocerasolar.com>

● KYOCERA Solar do Brasil Ltda.
Av. Guignard 661, Loja A
22730-200, Recreio dos Bandeirantes, Rio de Janeiro, Brazil
TEL: (55) 21-2437-8525 FAX: (55) 21-2437-2338
<http://www.kyocerasolar.com.br>

● KYOCERA Solar Pty Ltd.
Level 3, 6-10 Talavera Road, North Ryde
N.S.W. 2113, Australia
TEL: (61) 2 9570 3548 FAX: (61) 2 9588 9588
<http://www.kyocerasolar.com.au>

● KYOCERA Fineceramics GmbH
Fritz Mueller-Strasse 107, 73730 Esslingen, Germany
TEL: (49) 711-95934-999 FAX: (49) 711-95934-050
<http://www.kyocerasolar.eu>

● KYOCERA Asia Pacific Pte. Ltd.

298 Tiong Bahru Road, #13-03/05
Central Plaza, Singapore 100730
TEL: (65) 6271-0500 FAX: (65) 6271-0500

● KYOCERA Asia Pacific Ltd.

Room 801-802, Tower 1 South Seas Centre, 75 Mody Road,
Tsimshatsui East, Kowloon, Hong Kong
TEL: (852) 2-7237188 FAX: (852) 2-7244501

● KYOCERA Asia Pacific Ltd. Taipei Office

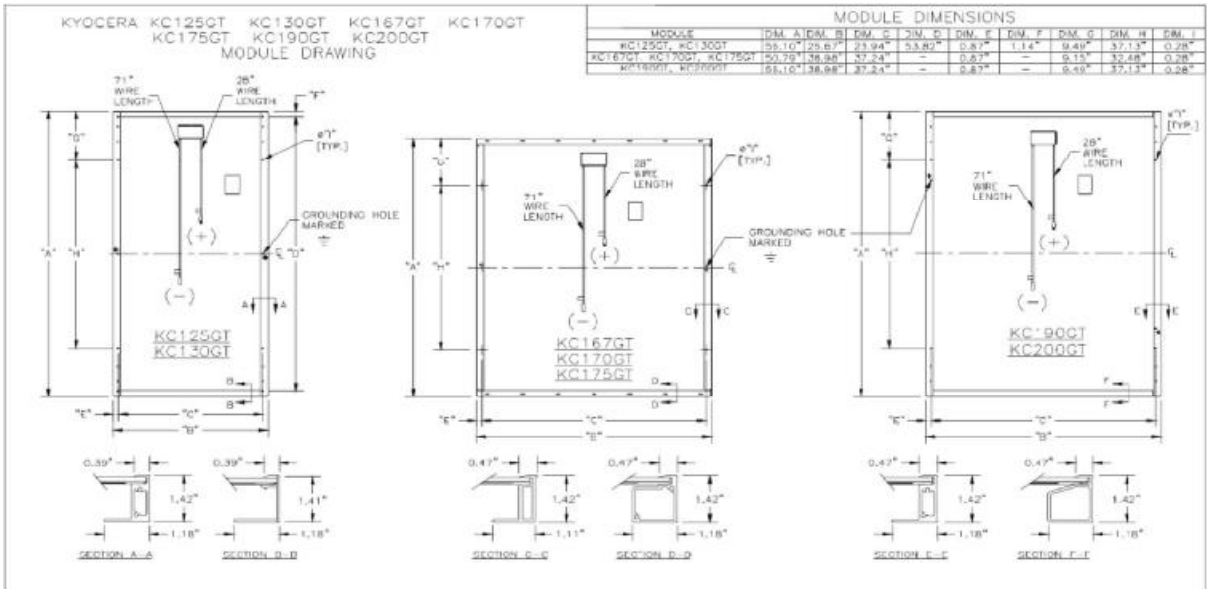
10 Fl., No. 86, Nanking West Road, Taipei, Taiwan
TEL: (886) 2-2553-3609 FAX: (886) 2-2553-4131

● KYOCERA (Tianjin) Sales & Trading Corporation

19F Tower C HeChao Building 8A Guanghua Rd.,
Chao Yang District, Beijing 100026, China
TEL: (86) 10-6563-2270 FAX: (86) 10-6563-2250

Kyocera reserves the right to modify these specifications without notice

LIE108M0703-SAGKM



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

Sunny Mini Central

SMC 6000TL, SMC 7000TL και SMC 8000TL



Υψηλότερη απόδοση παγκοσμίως, πάνω από 98 %

Χαμηλότερη τιμή μονάδας

Ελάχιστος χρόνος απόσβεσης

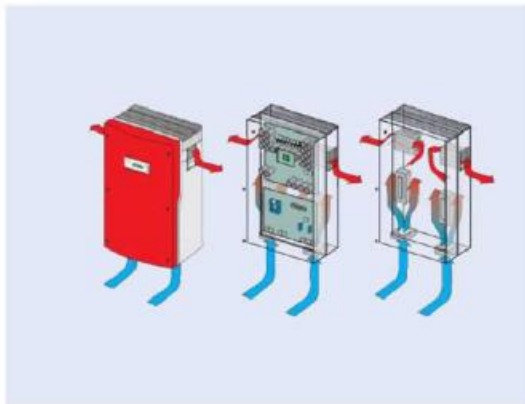
OptiCool:

Μέγιστη απόδοση σε θερμοκρασία περιβάλλοντος έως 50 °C χάρη στο σύστημα ψύξης διπλού θαλάμου SMA grid guard 2: Αυτόνομος διακόπτης σύνδεσης σε δίκτυο σύμφωνα με το πρότυπο DIN VDE 0126-1-1

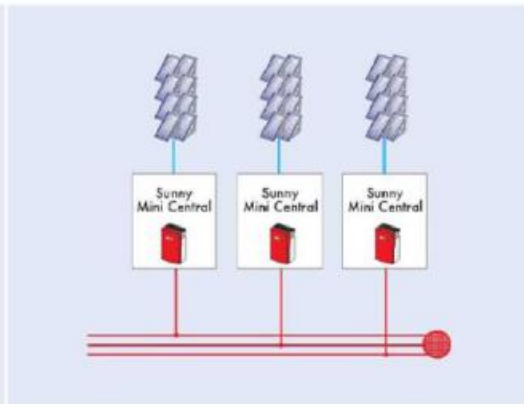
Electronic Solar Switch ESS: Ενσωματωμένος διακόπτης απτόξευξης DC σύμφωνα με το πρότυπο DIN VDE 0100-712 (προαιρετικά)
Για φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις τριφασικής τροφοδοσίας
Εγγύηση 5 ετών από την SMA

Η νέα σειρά προϊόντων Sunny Mini Central σας προσφέρει ακόμα περισσότερα: με απόδοση πάνω από 98% και την χαμηλότερη τιμή αγοράς σας εγγυάται την ταχύτερη απόσβεση των ηλιακών μετατροπέων.

Κλιμακωτές κατηγορίες ισχύος 6,7 και 8 kW, όπως επίσης και δυνατότητα συνδυασμού όλων των προϊόντων της σειράς, εξασφαλίζουν ευελιξία στο σχεδιασμό της



OptiCool: Σύστημα ψύξης δύο θαλάμων για την επίτευξη της πλήρους ονομαστικής ισχύος σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος έως 40 °C



Παράδειγμα σύνδεσης του Sunny Mini Central (τρίφαση) σάνδρα δικτύου

Τεχνικά χαρακτηριστικά:

	SMC 6000TL	SMC 7000TL	SMC 8000TL
Τιμές εισόδου			
Μέγιστη ισχύς DC	6200 W	7200 W	8250 W
Εύρος τάσης DC	335 V - 700 V	335 V - 700 V	335 V - 700 V
Ονομαστική τάση λειτουργίας ($U_{VOC,MPPT}$)	350 V	350 V	350 V
Μέγ. τάση MPP ($U_{MPP,MPPT}$)	500 V	500 V	500 V
Μέγ. τάση DC ($U_{DC,max}$)	700 V	700 V	700 V
Μέγ. ρεύμα εισόδου ($I_{VOC,MPPT}$)	19 A	22 A	25 A
Κυμάτωση τάσης DC (U_{VOC})	< 10 %	< 10 %	< 10 %
Μέγ. αριθμός strings (παράλληλα)	4	4	4
Σύνδεση DC	Βύσμα σύνδεσης (MC ή Tyco)	Βύσμα σύνδεσης (MC ή Tyco)	Βύσμα σύνδεσης (MC ή Tyco)
Θερμικά ελεγχόμενες μεταβλητές αντιστάσεις	ναι	ναι	ναι
Διόταξη απήχρησης γείωσης	ναι	ναι	ναι
Προστασία από αναστροφή τάσης	Δίοδος βραχυκύκλισης	Δίοδος βραχυκύκλισης	Δίοδος βραχυκύκλισης
Τιμές εξόδου			
Μέγιστη ισχύς AC ($P_{AC,max}$)	6000 W στους 40 °C	7000 W στους 40 °C	8000 W στους 40 °C
Ονομαστική ισχύς AC ($P_{AC,rated}$)	6000 W	7000 W	8000 W
Μέγ. ρεύμα εξόδου ($I_{AC,rated}$)	27 A	31 A	35 A
Συντελεστής παραμόρφωσης ρεύματος δικτύου	< 4 %	< 4 %	< 4 %
Ονομαστική τάση AC ($U_{AC,rated}$)	220 V - 240 V	220 V - 240 V	220 V - 240 V
Ονομαστική συχνότητα AC ($f_{AC,rated}$)	50 Hz	50 Hz	50 Hz
Συντελεστής ισχύος (cos φ)	1	1	1
Ανοχή σε βραχυκύκλιση	ναι, ρύθμιση ρεύματος	ναι, με ρύθμιση ρεύματος	ναι, ρύθμιση ρεύματος
Σύνδεση δικτύου	Ακροδέκτης εναλλασσόμενου ρεύματος	Ακροδέκτης εναλλασσόμενου ρεύματος	Ακροδέκτης εναλλασσόμενου ρεύματος
Αποδοτικότητα			
Μέγιστη απόδοση (η_{Max})	98 %	98 %	98 %
Εσοδα (η_{Eso})	97,7 %	97,7 %	97,7 %
Ηλεκτρονικά ισχύος			
Σχεδίαση συνδέσεων	H5 γύφωρα (χωρίς μετασχηματιστή)	H5 γύφωρα (χωρίς μετασχηματιστή)	H5 γύφωρα (χωρίς μετασχηματιστή)
Επιτήρηση δικτύου (DIN VDE 0126-1-1)	SMA grid guard 2	SMA grid guard 2	SMA grid guard 2
Αριθμός φάσεων τροφοδοσίας	1	1	1
Περιβάλλον			
σύμφωνα με το πρότυπο DIN EN 60529	IP65 (ανθεκτικό στη σκόνη και στο νερό)	IP65 (ανθεκτικό στη σκόνη και στο νερό)	IP65 (ανθεκτικό στη σκόνη και στο νερό)
Σχεδίαση αντιστάματος ψύξης	OptiCool	OptiCool	OptiCool
Επιπεριποίηση θερμοκρασία περιβάλλοντος	-25 °C έως +60 °C	-25 °C έως +60 °C	-25 °C έως +60 °C
Μηχανολογικά μεγέθη			
Βάρος	31 kg	32 kg	33 kg
Πλάτος / Ύψος / Βάθος σε mm	468 / 613 / 242	468 / 613 / 242	468 / 613 / 242
Εξοπλισμός			
Επικοινωνία	Προαιρετικά: RS232/RS485/ασύρματη	Προαιρετικά: RS232/RS485/ασύρματη	Προαιρετικά: RS232/RS485/ασύρματη
Οθόνη	Βασικός εξοπλισμός: Οθόνη 2 γραμμών	Βασικός εξοπλισμός: Οθόνη 2 γραμμών	Βασικός εξοπλισμός: Οθόνη 2 γραμμών
Εγγύηση	5 χρόνια (Προαιρετικά: 10 χρόνια)	5 χρόνια (Προαιρετικά: 10 χρόνια)	5 χρόνια (Προαιρετικά: 10 χρόνια)
Διόταξη απομόνωσης DC	Προαιρετικά: ESS	Προαιρετικά: ESS	Προαιρετικά: ESS
Επιτήρηση εγκατάστασης	Συμβατό π.χ. με Sunny Boy Control, Sunny Beam, Sunny WebBox και Sunny Portal	Συμβατό π.χ. με Sunny Boy Control, Sunny Beam, Sunny WebBox και Sunny Portal	Συμβατό π.χ. με Sunny Boy Control, Sunny Beam, Sunny WebBox και Sunny Portal

www.SMA.de
Καλέστε +49 561 9522 4000

Καινοτομία στη μηχανική συστημάτων
με σκοπό την επιτυχία στα φωτοβολταϊκά



SMC6000TL, SMC7000TL, SMC8000TL: Το Sunny Boy και Sunny Beam είναι ανεξάρτητα εθνοσήματα της εταιρείας SMA Solar Technology AG. Ηλεκτρονική επεξεργασία: Ηλεκτρονική επεξεργασία: Ηλεκτρονική επεξεργασία



**Certificate for inverters in PV systems connected to the public grid.
Πιστοποιητικό για μετατροπείς σε φωτοβολταϊκά συστήματα συνδεδεμένα στο
δημόσιο δίκτυο.**

Transformerless Inverters / Μετατροπείς χωρίς μετασχηματιστή

SB 3300 TL (HC)	SB 4200TL (HC)	SB 5000TL (HC)
SMC 6000TL	SMC 7000TL	SMC 8000TL

Inverters with transformer / Μετατροπείς με μετασχηματιστή

SB 700	SB 1100 (LV)	SB 1700	SB 2500
SB 2800i	SB 3000	SB 3300	SB 3800
SMC 5000(A)	SMC 6000(A)	SMC 7000HV	

Serial number / Αριθμός σειράς: -----

Manufactured by the company / Κατασκευάζονται από την:

**SMA Technologie AG, Hannoversche Strasse 1-5;
D-34266 Niestetal / Γερμανία**

1.) SMA inverters fulfill all safety requirements according to the "Guide of connection of PV-Stations to the low voltage-grid" of PPC.

2.) If the distribution line - for any reason - gets disconnected from the public grid the PV installations (especially the inverter) will not maintain voltage on the distribution line.

3.) The disconnection and connection of the inverter to the point of power injection is done with internal relays which are controlled by a software which will initiate :

- an automatic (re-)connection to the public grid provided that voltage and frequency are **within the range** of $0.8 \times V_{nom} - 1.15 \times V_{nom}$ and 49.5 Hz - 50.5 Hz.
- an **immediate** (< 0.5 s) disconnection if the voltage, the frequency or both are not within these limits
- the software with its adjustments can not be accessed by the end-user.

4.) Reconnection time after clearance of grid failure is not shorter than 180 s.

5.) In case of transformerless inverter, the injected DC current into the grid is < 0.5 % of nominal current.

6.) The inverter has been tested during final factory test and the above mentioned limits have been checked.

7.) The total harmonic distortion of the output current (THDI) is lower than 4 %.

8.) For active anti islanding protection, a sophisticated impedance measurement acc. to the DIN VDE 0126-1-1 (2.06) is implemented inside the inverter.

1.) Οι μετατροπείς της SMA ικανοποιούν όλες τις απαιτήσεις ασφαλείας σύμφωνα με τον «Οδηγό σύνδεσης φωτοβολταϊκών σταθμών στο δίκτυο χαμηλής τάσης» της Δημόσιας Επιχείρησης Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ).

2.) Εάν, για οποιονδήποτε λόγο, η γραμμή διανομής αποσυνδεθεί από το δημόσιο δίκτυο, οι φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις (ιδίως ο μετατροπέας) δεν διατηρούν τάση στη γραμμή διανομής.

3.) Ο μετατροπέας συνδέεται στο σημείο εισαγωγής ισχύος και αποσυνδέεται από αυτό με τη βοήθεια εσωτερικών ηλεκτρονόμων που ελέγχονται μέσω λογισμικού το οποίο πραγματοποιεί:

- αυτόματη (επανα-)σύνδεση στο δημόσιο δίκτυο, εφόσον οι τιμές τάσης και συχνότητας εμπίπτουν εντός του εύρους $0,8 \times V_{nom} - 1,15 \times V_{nom}$ και 49,5 Hz - 50,5 Hz.
- άμεση ($< 0,5$ s) αποσύνδεση, εφόσον η τάση, η συχνότητα ή και τα δύο μεγέθη δεν εμπίπτουν εντός του προαναφερόμενου εύρους τιμών
- ο τελικός χρήστης δεν έχει πρόσβαση στο λογισμικό ούτε στις ρυθμίσεις του.

4.) Ο χρόνος επανασύνδεσης μετά την επαναφορά του δικτύου είναι τουλάχιστον 180 s.

5.) Σε μετατροπείς χωρίς μετασχηματιστή, το συνεχές ρεύμα (DC) που εισάγεται στο δίκτυο είναι $< 0,5$ % του ονομαστικού ρεύματος.

6.) Ο μετατροπέας έχει υποβληθεί σε τελικές εργασιαστικές δοκιμές και έχουν ελεγχθεί τα όρια ισχύος του μαγνητικού πεδίου που αναφέρονται πιο πάνω.

7.) Η συνολική αρμονική παραμόρφωση του ρεύματος εξόδου (THDI) είναι μικρότερη από 4 %.

8.) Για την ενεργό προστασία του δικτύου από τη νησιδοποίηση, εντός του μετατροπέα πραγματοποιείται μέτρηση σύνθετης αντίστασης σύμφωνα με το πρότυπο DIN VDE 0126-1-1 (2.06).

Niestetal, 25.01.2007
SMA Technologie AG

i.V. Tobias Henne
Head of Department Product Management Solar Technology

Zert_N_GR-12-BG1707