

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ
ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΗΛΙΑΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ 100 KW
ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΜΕΓΙΣΤΟΥ ΣΗΜΕΙΟΥ ΙΣΧΥΟΣ (MAXIMUM POWER
POINT TRACKING).

Επιβλέποντες: Κ. Αλαφοδήμος
Π. Φετφατζής
Π. Κοφινάς

Σπουδάστρια



ΜΠΕΝΤΟ ΚΩΣΤΑΝΤΙΝΑ (Α.Μ: 36103)

ΜΑΪΟΣ 2013

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής άσκησης είναι να μελετηθεί οικονομικοτεχνικά ένα ηλιακό πάρκο στο οποίο με βάση την έρευνα αγοράς και μελέτης που έχει γίνει, θα τοποθετηθούν κατάλληλα τα επιλεγόμενα ηλεκτομηχανικά στοιχεία ώστε να αποδωθεί με τον καλύτερο δυνατό τρόπο το ηλιακό πάρκο 100 KW. Επίσης θα γίνει και η κατάλληλη μελέτη και προσομοίωση του μέγιστου σημείου ισχύος του.

Η πτυχιακή χωρίζεται σε 7 μέρη:

Στο πρώτο μέρος σημειώνονται γενικά στοιχεία για τα φωτοβολταϊκά, τους inverters, τις αναλώσιμες πηγές ενέργειας και τη χρήση τους, τα φωτοβολταϊκά πάρκα.

Στο δεύτερο μέρος γίνεται η απαραίτητη έρευνα αγοράς για τα φωτοβολταϊκά panels.

Στο τρίτο μέρος θα γίνει η απαραίτητη έρευνα αγοράς για τα inverters.

Στο τέταρτο μέρος θα καταγραφεί η σχετική νομοθεσία που ισχύει για τα φωτοβολταϊκά πάρκα, οι διαδικασίες αδειοδότησης και τι ισχύει ως προς τη χρηματοδότηση των εταιριών.

Στο πέμπτο μέρος θα καταγραφούν τα εργαλεία σχεδίασης του φωτοβολταϊκού πάρκου και η οικονομικοτεχνική μελέτη του.

Στο έκτο μέρος θα γίνει η μελέτη συστημάτων παρακολούθησης μέγιστου σημείου ισχύος και προσομοίωσης τους καθώς και τα αποτελέσματα αυτής.

Στο έβδομο μέρος θα καταγραφούν τα γενικά συμπεράσματα της συνολικής έρευνας.



ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Τα τελευταία χρόνια το κοινωνικό, επιστημονικό και πολιτικό ενδιαφέρον για την χρησιμοποίηση των Ήπιων Μορφών Ενέργειας (Η.Μ.Ε) συνεχώς επεκτείνεται.

Το ζήτημα της Αειφόρου Ανάπτυξης, αλλά και της οικονομίας και ανταγωνιστικότητας σε μικροκλίμακα και μακροκλίμακα εδράζεται στην ορθολογική χρήση των πηγών ενέργειας και το υγιεινό, καθαρό, πράσινο περιβάλλον.

Στην εποχή μας, 2 δις άνθρωποι, περίπου το 1/3 του πληθυσμού του πλανήτη μας δεν έχουν πρόσβαση στο ηλεκτρικό δίκτυο. Η ηλεκτρική ενέργεια, βέβαια, δεν είναι η μόνη μορφή ενέργειας που απαιτούν οι ανθρώπινες δραστηριότητες. Εξετάζοντας τα ποσά της συνολικής αναγκαίας ενέργειας διαπιστώνουμε ότι το ήμισυ του παγκόσμιου πληθυσμού στηρίζεται για την κάλυψη των ενεργειακών του αναγκών στη βιομάζα, καύση ξύλου, αν και αυτή η μορφή συνεισφέρει μόνο στο 7% της καταναλισκόμενης ενέργειας σήμερα.

Όταν το πρόγραμμα της φωτοβολταϊκής (PV) τεχνολογίας ξεκίνησε οργανωμένα σε παγκόσμιο επίπεδο και κυρίως στις Η.Π.Α και την Ευρώπη, πριν από 20 χρόνια, ουσιαστικά δεν υπήρχε αγορά για τις PV-εφαρμογές παρά μόνον σε εξειδικευμένες περιπτώσεις και ιδίως στην διαστημική τεχνολογία.

Σε αντίθεση με την κατάσταση που επικρατούσε πριν 20 χρόνια σχετικά με την κάλυψη ενεργειακών αναγκών μέσω PV γεννητριών, διαπιστώνουμε ότι το 1999 οι πωλήσεις PV γεννητριών παγκοσμίως ξεπέρασαν τα 200 MW, με ευρείες εφαρμογές στην παραγωγή, στις μεταφορές, στην αγροτική οικονομία και στον οικιακό τομέα.

Οι PV-γεννήτριες χρησιμοποιούνται ακόμα και για τις ανάγκες συστημάτων επικοινωνίας, συστημάτων μετρήσεων μετεωρολογικών και άλλων φυσικών μεγεθών και φαινομένων, ηλεκτροφωτισμού περιοχής, στάθμευσης, στα έξυπνα κτήρια, σε εφαρμογές για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε περιοχές απομακρυσμένες του δικτύου κτλ.

Τα τελευταία χρόνια η αγορά των PV γεννητριών αυξάνει παγκοσμίως με ετήσιο ρυθμό άνω του 20%, ενώ προβλέπεται ακόμη ταχύτερη αύξηση των πωλήσεων, λόγω της βελτίωσης της PV τεχνολογίας, της αύξησης της απόδοσης των εγκαταστάσεων και της μείωσης του κόστους των PV γεννητριών. Βέβαια το τελευταίο χρόνο παρουσιάζεται μια κάμψη.

Ο βασικός παράγοντας που συνεισφέρει στην αύξηση της χρήσης της PV τεχνολογίας, είναι και αυτός της «πράσινης» ενέργειας, με στόχο ένα καθαρό περιβάλλον και με σύγχρονη μείωση των επιπτώσεων του φαινομένου του θερμοκηπίου (Σύμφωνο του Κιότο).

Συμπερασματικά η τεχνολογία των PV στοιχείων φαίνεται να αποτελεί ένα σημαντικό μέρος της βιομηχανίας του 21^{ου} αιώνα. Στις Η.Π.Α υπολογίζεται ότι μέχρι το 2020 θα έχουν πωληθεί PV πλαίσια ισχύος $7 \cdot 10^9$ Watts με περισσότερο από 3 δις Watts για τον οικιακό τομέα.

ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ
ΚΑΙ ΣΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ**1.1 ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ**

Η ηλιακή ενέργεια σήμερα είναι 90% φθηνότερη από ό,τι τη δεκαετία του 1970. Στα σπίτια που διαθέτουν ηλιακή οροφή μπορεί να παράγεται περισσότερη ενέργεια από όση χρειάζονται ορισμένες ώρες της ημέρας, η οποία δυνητικά θα μπορούσε να μεταπωλείται στις τοπικές εταιρείες ηλεκτρισμού. Χρησιμοποιείται περισσότερο για θερμικές εφαρμογές (ηλιακοί θερμοσίφωνες και φούρνοι) ενώ η χρήση της για την παραγωγή ηλεκτρισμού έχει αρχίσει να κερδίζει έδαφος, με την βοήθεια της πολιτικής προώθησης των Ανανεώσιμων Πηγών από το ελληνικό κράτος και την Ευρωπαϊκή Ένωση. Η ηλιακή ενέργεια είναι καθαρή, ανεξάντλητη, ήπια και ανανεώσιμη. Η ηλιακή ακτινοβολία δεν ελέγχεται από κανέναν και αποτελεί ένα ανεξάντλητο εγχώριο ενεργειακό πόρο, που παρέχει ανεξαρτησία, προβλεψιμότητα και ασφάλεια στην ενεργειακή τροφοδοσία.

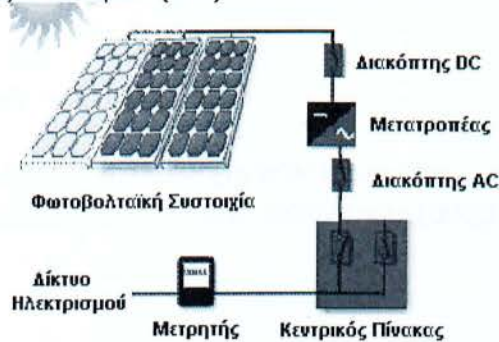
Υπάρχουν τρεις τρόποι για να αξιοποιήσει κανείς την ηλιακή ενέργεια:

- Αξιοποιώντας τη θαλπωρή του ήλιου για θέρμανση, ψύξη και ζεστό νερό με τα **ηλιοθερμικά** συστήματα. (ενεργητικά ηλιακά συστήματα).
- Παράγοντας ηλιακό ηλεκτρισμό μέσω των **φωτοβολταϊκών** συστημάτων.
- Κατασκευάζοντας **βιοκλιματικά** κτήρια (παθητικά ηλιακά συστήματα).
-

Ας επικεντρωθούμε στα φωτοβολταϊκά συστήματα:

Η εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας και η μετατροπή του σε ηλεκτρικό ρεύμα είναι σήμερα δυνατή μέσω της **Φωτοβολταϊκής Τεχνολογίας**. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρικό ρεύμα μέσω της απορρόφησης των φωτονίων της από ειδικούς ημιαγωγούς τοποθετημένους σε ειδικές φωτοβολταϊκές κυψέλες (συλλέκτες). Η διαρκής έκθεση των συλλεκτών στην ηλιακή ακτινοβολία έχει τελικά σαν αποτέλεσμα την παραγωγή συνεχούς ηλεκτρικού ρεύματος το οποίο στη συνέχεια μπορεί να μετατραπεί σε εναλλασσόμενο με τη χρήση ειδικών μετατροπέων. Αυτό με τη σειρά του μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε για ίδια χρήση είτε να δοθεί προς πώληση στο δίκτυο ηλεκτρισμού. Όταν τα φωτοβολταϊκά εκτεθούν στην ηλιακή ακτινοβολία μετατρέπουν ένα 5-17% της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Το πόσο ακριβώς είναι αυτό το ποσοστό εξαρτάται από την τεχνολογία που χρησιμοποιούμε. Υπάρχουν π.χ. τα λεγόμενα μονοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά, τα πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά και τα άμορφα. Η επιλογή του είδους των φωτοβολταϊκών είναι συνάρτηση των αναγκών, του διαθέσιμου χώρου ή ακόμα και της οικονομικής ευχέρειας του χρήστη. Τα φωτοβολταϊκά μπορούν να τοποθετηθούν σε οικόπεδα, στέγες (επίπεδες και κεκλιμένες) ή και σε προσόψεις κτηρίων. Υπάρχουν δύο τρόποι να τα χρησιμοποιήσει κανείς. Ανεξάρτητα από το δίκτυο της ΔΕΗ ή σε συνεργασία μ' αυτό. Μια φωτοβολταϊκή εγκατάσταση μπορεί να αποτελεί λοιπόν ένα **αυτόνομο σύστημα** που να καλύπτει το σύνολο των ενεργειακών αναγκών ενός κτηρίου ή μιας επαγγελματικής χρήσης. Για τη συνεχή εξυπηρέτηση του καταναλωτή, η εγκατάσταση θα πρέπει να περιλαμβάνει και μια μονάδα αποθήκευσης (μπαταρίες) και διαχείρισης της ενέργειας. Εναλλακτικά, ένα σύστημα παραγωγής ηλεκτρισμού με φωτοβολταϊκά μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό

με το δίκτυο της ΔΕΗ (διασυνδεδεμένο σύστημα). Στην περίπτωση αυτή, καταναλώνει κανείς ρεύμα από το δίκτυο όταν το φωτοβολταϊκό σύστημα δεν επαρκεί (π.χ. όταν έχει συννεφιά ή κατά τη διάρκεια της νύχτας) και δίνει ενέργεια στο δίκτυο όταν η παραγωγή υπερκαλύπτει τις ανάγκες του, π.χ. τις ηλιόλουστες ημέρες ή όταν λείπει κανείς. Σε ορισμένες περιπτώσεις, τα φωτοβολταϊκά χρησιμοποιούνται για **παροχή ηλεκτρικής ενέργειας εφεδρείας (δηλαδή ως συστήματα αδιάλειπτης παροχής – UPS)**. Στην περίπτωση αυτή, το σύστημα είναι μεν διασυνδεδεμένο με τη ΔΕΗ, αλλά διαθέτει και μπαταρίες (συν όλα τα απαραίτητα ηλεκτρονικά συστήματα) για να αναλαμβάνει την κάλυψη των αναγκών σε περίπτωση διακοπής του ρεύματος και για όσο διαρκεί αυτή. Ένα τυπικό φωτοβολταϊκό ισχύος 1 κιλοβάτ (kW)



Σχεδιαγραμματικά μία φωτοβολταϊκή εγκατάσταση (Πηγή:ΕΝΓΑΙΑ)

παράγει κατά μέσο όρο 1.200-1.500 κιλοβατώρες το χρόνο (ανάλογα με την ηλιοφάνεια της περιοχής) και αποτρέπει κατά μέσο όρο κάθε χρόνο την έκλυση 1.450 κιλών διοξειδίου του άνθρακα, όσο δηλαδή θα απορροφούσαν δύο στρέμματα δάσους. Τα φωτοβολταϊκά εγγυώνται:

- μηδενική ρύπανση
- αθόρυβη λειτουργία
- αξιοπιστία και μεγάλη διάρκεια ζωής (που φθάνει τα 30 χρόνια)
- απεξάρτηση από την τροφοδοσία καυσίμων για τις απομακρυσμένες περιοχές
- δυνατότητα επέκτασης ανάλογα με τις ανάγκες
- ελάχιστη συντήρηση

Τα φωτοβολταϊκά **μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως δομικά υλικά**, υποκαθιστώντας άλλα παραδοσιακά υλικά (π.χ. κεραμοσκεπές ή υαλοστάσια σε προσόψεις). Κατ' αυτό τον τρόπο εξοικονομούνται χρήματα και φυσικοί πόροι. Στην περίπτωση μάλιστα των υαλοστασίων σε προσόψεις εμπορικών κτιρίων, διατίθενται σήμερα **διαφανή φωτοβολταϊκά με θερμομονωτικές ιδιότητες**. Στο μεγαλύτερο τμήμα της χώρας μας η ηλιοφάνεια διαρκεί περισσότερες από 2700 ώρες το χρόνο. Στη Δυτική Μακεδονία και την Ήπειρο εμφανίζει τις μικρότερες τιμές κυμαινόμενη από 2200 ως 2300 ώρες, ενώ στη Ρόδο και τη νότια Κρήτη ξεπερνά τις 3100 ώρες ετησίως. Τα Φ/Β παράγουν συνεχές ρεύμα το μετατρέπουμε σε εναλλασσόμενο 220 V στη χώρα μας (ρεύμα ίδιο με της ΔΕΗ) με

ηλεκτρονικές συσκευές (αντιστροφείς συνεχούς-εναλλασσόμενου). Μπορούμε να "πουλήσουμε" ρεύμα στη ΔΕΗ (Ν. 2244/94 για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας).



Πηγή: Greenpeace

Τέλος αναφορικά άλλες μορφές ήπιας ενέργειας είναι:

ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

ΒΙΟΜΑΖΑ – ΒΙΟΕΝΕΡΓΕΙΑ

ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

ΥΔΑΤΟΠΤΩΣΕΙΣ

ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΟ ΤΗ ΘΑΛΑΣΣΑ: Α. ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΤΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ,

Β.ΠΑΛΙΡΡΟΪΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ, Γ.ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΠΟ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΕΣ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΤΩΝ ΩΚΕΑΝΩΝ.

1.2 Βασικοί ορισμοί

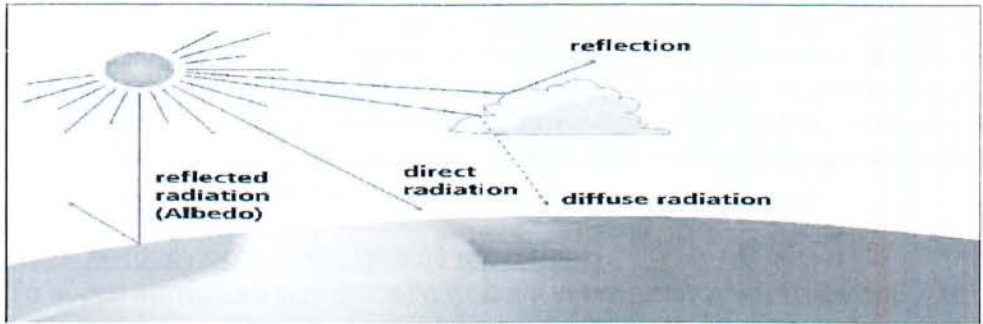
Ηλιακή ενέργεια χαρακτηρίζεται το σύνολο των διαφόρων μορφών ενέργειας που προέρχονται από τον Ήλιο. Τέτοιες είναι το φως ή φωτεινή ενέργεια, η θερμότητα ή θερμική ενέργεια καθώς και διάφορες ακτινοβολίες ή ενέργεια ακτινοβολίας. Όσον αφορά την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας, θα μπορούσαμε να πούμε ότι χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες εφαρμογών: τα παθητικά ηλιακά συστήματα, τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα, και τα φωτοβολταϊκά συστήματα (Σχ.1.2.1). Τα παθητικά και τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα στηρίζονται στη μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε θερμότητα, ενώ τα φωτοβολταϊκά συστήματα στη μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου.



Σχ. 1.2.1 Εφαρμογές της ηλιακής ενέργειας

Άμεση ακτινοβολία (direct radiation) είναι η συνιστώσα της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια της γης η οποία λαμβάνεται χωρίς να έχει υποστεί σκέδαση στην ατμόσφαιρα (Σχ. 1.2.2).

Διάχυτη ακτινοβολία (diffuse radiation) είναι η συνιστώσα της ηλιακής ακτινοβολίας που λαμβάνεται αφού έχει αλλάξει διεύθυνση ύστερα από σκέδαση στην ατμόσφαιρα (Σχ. 1.2.2).



Σχ. 1.2.2. Ηλιακή ακτινοβολία καθώς διαπερνά την ατμόσφαιρα

Ολική ακτινοβολία είναι το άθροισμα της διάχυτης και της άμεσης ακτινοβολίας που λαμβάνεται σε μία επιφάνεια.

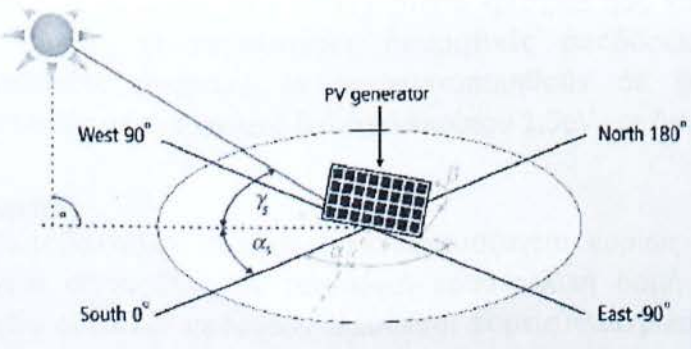
Γεωγραφικό πλάτος (ϕ) ενός τόπου είναι η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της ευθείας που ενώνει το κέντρο της γης με τον τόπο και του ισημερινού επιπέδου. Το γεωγραφικό πλάτος παίρνει τιμές από 0° μέχρι 90° για το βόρειο ημισφαίριο και από 0° μέχρι -90° για το νότιο ημισφαίριο.

Αζιμούθια γωνία του ήλιου (α_s) είναι η γωνιακή απόσταση επί του οριζοντος με αρχή τον Νότιο (South) θετική προς τα δυτικά αρνητική προς τα ανατολικά ($-180 < \alpha < 180$) (Σχ.1.2.3).

Ύψος (γ_s) είναι η γωνιακή απόσταση του ήλιου από τον ορίζοντα του τόπου(Σχ.1.2.3).

Αζιμούθια γωνία φωτοβολταϊκής επιφάνειας (α) είναι η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της διεύθυνσης Βορρά-Νότου και της προβολής του καθέτου διανύσματος της επιφάνειας στο οριζόντιο επίπεδο (Σχ.1.2.3). Για νότιο προσανατολισμό $\alpha=0$.Για γωνίες δυτικά $\alpha \rightarrow(+)$.Για γωνίες ανατολικά $\alpha \rightarrow(-)$.

Κλίση φωτοβολταϊκής επιφάνειας (β) είναι η κλίση της επιφάνειας ως προς το οριζόντιο επίπεδο (Σχ.1.2.3).



Σχ.1.2.3. Ορισμός γωνιών $\alpha_s, \gamma_s, \alpha, \beta$

Γωνία πρόσπτωσης (θ) είναι η γωνία ανάμεσα στη δέση της ηλιακής ακτινοβολίας και στην κάθετο προς την επιφάνεια του φωτοβολταϊκού συστήματος. Παίζει καθοριστικό ρόλο για τον προσδιορισμό της προσπίπτουσας στην επιφάνεια της φωτοβολταϊκής διάταξης ακτινοβολίας και επηρεάζει το ποσοστό της ακτινοβολίας που μεταφέρεται μέσω του προστατευτικού

καλύμματος και μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια. Καθώς η γωνία πρόσπτωσης αυξάνεται, αυξάνεται και το ποσοστό της ακτινοβολίας που ανακλάται από το κάλυμμα(γυάλινη επίστρωση).

Το φωτοβολταϊκό (Φ/Β) φαινόμενο αφορά τη μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Το Φ/Β φαινόμενο ανακαλύφθηκε το 1839 από τον Ανρί Μπεκερέλ (Becquerel). Περιληπτικά πρόκειται για την απορρόφηση της ενέργειας του φωτός από τα ηλεκτρόνια των ατόμων του Φ/Β στοιχείου και την απόδραση των ηλεκτρονίων αυτών από τις κανονικές τους θέσεις με αποτέλεσμα την δημιουργία ρεύματος. Το ηλεκτρικό πεδίο που προϋπάρχει στο Φ/Β στοιχείο οδηγεί το ρεύμα στο φορτίο.

Αρχή λειτουργίας φωτοβολταϊκού στοιχείου:

Τα κύρια συστατικά των φωτοβολταϊκών γεννητριών είναι τα φωτοβολταϊκά στοιχεία ή φωτοστοιχεία ή ηλιακά κύτταρα. Αυτά είναι δίοδοι ημιαγωγών σε μορφή δίσκου, που καθώς δέχονται στην επιφάνεια τους την ηλιακή ακτινοβολία, αναπτύσσεται μία διαφορά δυναμικού ανάμεσα στην εμπρός και στην πίσω όψη τους. Ανάλογα με το υλικό κατασκευής τους και την ένταση ακτινοβολίας που δέχονται, ένα ηλιακό κύτταρο μπορεί να δώσει μέχρι 0.5-1.0 Volt και πυκνότητα ρεύματος μέχρι 20-40mA ανά cm² της επιφανείας του. Το είδος του ημιαγωγού που επιλέγεται ως υλικό κατασκευής φωτοβολταϊκών στοιχείων, καθορίζεται με κυριότερο κριτήριο όπως θα δούμε και στη συνέχεια, από την τιμή του ενεργειακού διακένου του η οποία καθορίζει και την απόδοση του στοιχείου. Ός απόδοση ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου ορίζεται ο λόγος της μέγιστης ηλεκτρικής ισχύος που παράγει το στοιχείο

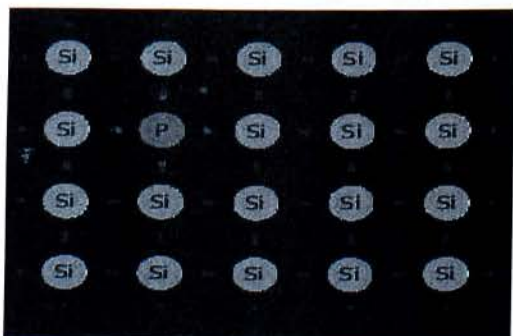
προς την ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται στην επιφάνεια του. Όπως θα αναφερθεί και παρακάτω, ένας ημιαγωγός μπορεί να απορροφήσει μόνο τα φωτόνια που έχουν ενέργεια μεγαλύτερη από το ενεργειακό του διάκενο. Και μάλιστα, από τα φωτόνια αυτά αξιοποιείται το μέρος μόνο της ενέργειας τους που ισούται με το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού, ενώ η υπόλοιπη ενέργεια μετατρέπεται σε συνήθως ανεπιθύμητη θερμότητα. Επομένως, η τιμή του ενεργειακού διακένου των ημιαγωγών είναι ένα από τα κυριότερα κριτήρια που καθορίζουν την απόδοσή τους. Έτσι λοιπόν, οι μεγαλύτερες θεωρητικές αποδόσεις μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολίας μπορούν να πραγματοποιηθούν σε φωτοβολταϊκά στοιχεία από ημιαγωγούς με ενεργειακό διάκενο περίπου 1,5eV και δεν ξεπερνούν το 29%.

Ημιαγωγοί

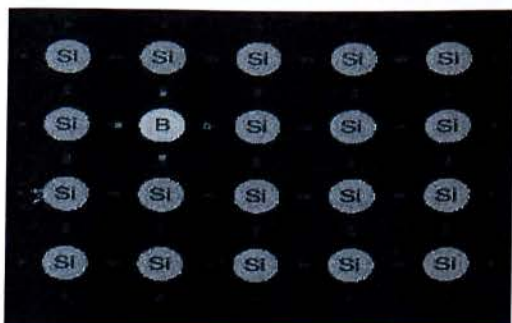
Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία κατασκευάζονται κυρίως από ημιαγωγούς που είναι στοιχεία τετρασθενή με τετραδική κρυσταλλική δομή όπως το πυρίτιο (Si). Στα στοιχεία αυτά δεν υπάρχουν ελεύθεροι φορείς ηλεκτρικού ρεύματος και δε διαθέτουν ηλεκτρική αγωγιμότητα στην υποθετική περίπτωση που ο ημιαγωγός βρίσκεται στη θεμελιώδη ενεργειακή κατάσταση, δηλαδή είναι εντελώς υποβαθμισμένος ενεργειακά. Όταν όμως απορροφήσουν κάποια αξιόλογη ενέργεια, π.χ. με τη μορφή θερμότητας ή ακτινοβολίας, πραγματοποιείται μια ριζική μεταβολή. Η ενέργεια που παρέχεται, κατανέμεται στα άτομα του ημιαγωγού και προκαλεί την απελευθέρωση πολλών

ηλεκτρονίων από τους δεσμούς. Τα ηλεκτρόνια σθένους απομακρύνονται από την περιοχή του δεσμού τους στο κρυσταλλικό πλέγμα, χάρη στην κινητική ενέργεια που απόκτησαν και γίνονται ευκίνητοι φορείς του ηλεκτρισμού, δίνοντας στον ημιαγωγό μια αξιόλογη ηλεκτρική αγωγιμότητα. Αν στα ηλεκτρόνια των δεσμών του κρυστάλλου προσφερθεί μια ποσότητα ενέργειας π.χ. αν δεχθούν μια δέσμη ακτινοβολίας που αποτελείται από φωτόνια με ενέργεια $h\nu$ μικρότερη από το ενεργειακό διάκενο ($E_g < h\nu$), δε μπορούν να την απορροφήσουν και μένουν στη ζώνη σθένους. Αν όμως τα ενεργειακά κβάντα που προσφέρονται είναι ίσα ή μεγαλύτερα από το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού ($E_g \geq h\nu$), τότε κάθε κβάντο μπορεί να απορροφηθεί από ένα ηλεκτρόνιο σθένους και να το διεγείρει προς τη ζώνη αγωγιμότητας. Αν τώρα ο τετρασθενής ημιαγωγός Si, νοθευτεί με κάποιο πεντασθενές στοιχείο (φώσφορος, P) ή με κάποιο τρισθενές στοιχείο (βόριο, B), τότε έχουμε ημιαγωγό προσμίξεως τύπου-n και τύπου-p αντίστοιχα.

(Σχήμα 1.2.4.)Κρυσταλλικό πλέγμα πυριτίου με άτομα νόθευσης τύπου-n



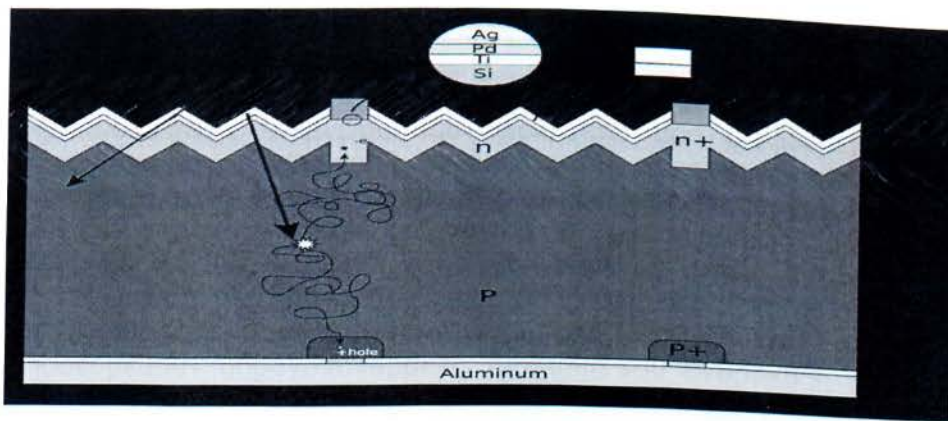
(Σχήμα 1.2.5)Κρυσταλλικό πλέγμα πυριτίου με άτομα νόθευσης τύπου-p



Τέσσερα από τα πέντε ηλεκτρόνια σθένους κάθε ατόμου P, θα ενωθούν με ηλεκτρόνια σθένους των γειτονικών ατόμων Si και θα σχηματίσουν ομοιοπολικούς δεσμούς (Σχήμα 1.2.4.). Το πέμπτο ηλεκτρόνιο (φορέας πλειονότητας) θα συγκρατείται πολύ χαλαρά από το θετικό πυρηνικό φορτίο του P και με λίγη ενέργεια μπορεί να αποσπασθεί και να κινείται σαν ελεύθερο ηλεκτρόνιο, αφήνοντας ένα ανιόν (P^-) που μένει ακίνητο στο

πλέγμα. Δηλαδή το πεντασθενές άτομο συμπεριφέρεται στο πλέγμα σαν δότης ηλεκτρονίων (τύπου-n ημιαγωγός). Αντίστοιχα, με την πρόσμιξη τρισθενών ατόμων B σε πλεγματικές θέσεις του Si, δημιουργούνται κενές θέσεις ηλεκτρονίων στους δεσμούς (Σχήμα 1.2.5.). Με την απορρόφηση λίγης ενέργειας, ένα ηλεκτρόνιο από ένα γειτονικό πλήρη δεσμό μπορεί να καλύψει την κενή θέση, αφήνοντας παράλληλα στην προηγούμενη θέση του μια οπή και μετατρέποντας το άτομο B σε κατίον (B-). Δηλαδή το τρισθενές άτομο συμπεριφέρεται σαν αποδέκτης ηλεκτρονίων (φορείς μειονότητας) ή δότης οπών (τύπου-p ημιαγωγός). Όταν σε μια περιοχή του ημιαγωγού υπάρχει δημιουργία ή έκχυση φορέων σε περίσσεια, αυτοί διαχέονται προς τις άλλες περιοχές του ημιαγωγού όπου η συγκέντρωση των αντίστοιχων φορέων είναι μικρότερη. Επίσης όταν έλθουν σε στενή επαφή ένας ημιαγωγός τύπου p με έναν ημιαγωγό τύπου n, δηλαδή σχηματίζεται μια ένωση p-n (διάταξη διόδου ημιαγωγού), τότε ένα μέρος από τις οπές του τεμαχίου τύπου p διαχέεται προς το τεμάχιο τύπου n όπου οι οπές είναι λιγότερες και συγχρόνως ένα μέρος από τα ελεύθερα ηλεκτρόνια του τεμαχίου τύπου n διαχέεται προς το τεμάχιο τύπου p όπου τα ελεύθερα ηλεκτρόνια είναι πολύ λιγότερα. Η ανάμιξη αυτή των φορέων και η αύξηση της συγκέντρωσης των φορέων μειονότητας στις περιοχές κοντά στη διαχωριστική επιφάνεια (περιοχή αραίωσης) των τεμαχίων τύπου p και n, ανατρέπουν την ισορροπία που υπήρχε πριν. Η αποκατάσταση των συνθηκών ισορροπίας γίνεται με επανασυνδέσεις των φορέων, μέχρι οι συγκεντρώσεις τους να πάρουν τιμές που να ικανοποιούν τον νόμο δράσης των μαζών. Η συγκέντρωση των κατιόντων στα οποία μετατράπηκαν οι αποδέκτες στο τμήμα τύπου p και n, παραμένουν αμετάβλητες αφού τα ιόντα, όπως συνήθως όλα τα άτομα στα στερεά, μένουν ακίνητα στο σώμα. Έτσι το υλικό χάνει τοπικά την ηλεκτρική ουδετερότητα και οι δύο πλευρές της ένωσης p-n φορτίζονται με αντίθετα ηλεκτρικά φορτία. Δημιουργείται λοιπόν μια διαφορά δυναμικού, που η τιμή της είναι σχετικά μικρή, αλλά το ενσωματωμένο αυτό ηλεκτροστατικό πεδίο εμποδίζει την παραπέρα διάχυση των φορέων πλειονότητας προς το απέναντι τμήμα της ένωσης. Το αποτέλεσμα είναι ότι η δίοδος που περιέχει την ένωση p-n, παρουσιάζει εντελώς διαφορετική συμπεριφορά στη ροή του ηλεκτρικού ρεύματος, ανάλογα με την φορά του.

Στο Σχήμα 1.2.6. φαίνεται η βασική δομή ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου από πυρίτιο και ο μηχανισμός λειτουργίας του:



1.3 ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ- ΗΠΙΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Ιστορική αναδρομή

Οι πρόγονοί μας στα πρώτα χρόνια της ζωής τους πάνω στη γη, δε γνώριζαν πολλά πράγματα για τη χρήση της ενέργειας. Χρησιμοποιούσαν μόνο τη μυϊκή τους δύναμη και αργότερα τη μυϊκή δύναμη των ζώων για τις μεταφορές τους και την καλλιέργεια της γης. Αργότερα διαπίστωσαν ότι ο άνεμος, η φωτιά και το νερό είχαν ενέργεια που μπορούσαν να την εκμεταλλευτούν. Αυτή η διαπίστωση οδήγησε τους ανθρώπους στο σχεδιασμό και την δημιουργία εργαλείων και μηχανών με τα οποία μείωσαν τον προσωπικό τους μόχθο (ανεμόμυλοι, υδραυλικοί τροχοί κ.ά). Αρκετά αργότερα εμφανίστηκαν οι θερμικές μηχανές και μετά η ατμομηχανή. Από κει και πέρα η τεχνολογική εξέλιξη ήταν ραγδαία.

Στα νεότερα χρόνια, το μεγαλύτερο ποσοστό της ενέργειας προέρχεται από τη χρήση καυσίμων υλών, που προέρχονται από μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Ιδιαίτερα το αργό πετρέλαιο και τα προϊόντα του αποτελούν μία από τις βασικότερες ύλες, που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή αγαθών σε όλο τον κόσμο. Η αλόγιστη χρήση όμως τέτοιων πηγών ενέργειας έχει αποφέρει αρνητικά αποτελέσματα στην ατμόσφαιρα και γενικότερα στο περιβάλλον. Η κλιματική αλλαγή συνιστά καίρια απειλή για το φυσικό περιβάλλον με πολλαπλές επιπτώσεις, όπως η άνοδος της στάθμης της θάλασσας, οι υψηλότερες ακραίες θερμοκρασίες, οι ξηρασίες και οι πιο ραγδαίες και συχνές καταιγίδες. Η αλλαγή του κλίματος ενδέχεται επίσης να οδηγήσει στην εξαφάνιση του 15-37% των ειδών που ζουν πάνω στον πλανήτη μέχρι το 2050.

Η αλόγιστη χρήση όμως μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αναγνωρίζεται ως ο κυριότερος παράγοντας δημιουργίας σωρείας προβλημάτων, που οδήγησαν σε οικολογική κρίση τον πλανήτη. Η αλλαγή στάσεων και συμπεριφορών σε σχέση με την αειφορική χρήση ενέργειας, καθώς και η αναγνώριση της χρήσης εναλλακτικών πηγών ενέργειας ως ζητούμενη λύση στο ενεργειακό και οικολογικό πρόβλημα, πρέπει να απασχολήσει τον άνθρωπο. Κατά προσέγγιση, το 88% της παγκόσμιας ζήτησης σε ενέργεια καλύπτεται με τη χρήση ορυκτών καυσίμων (πετρέλαιο: 44%, γαιάνθρακες: 24%, φυσικό αέριο: 23%). Ως **ανανεώσιμες πηγές** θεωρούνται γενικά οι εναλλακτικές των παραδοσιακών πηγών ενέργειας (π.χ. του πετρελαίου ή του άνθρακα) που από τη φύση τους ανανεώνονται και είναι διαρκώς διαθέσιμες. Ο χαρακτηρισμός «ανανεώσιμες» είναι κάπως καταχρηστικός, μια και ορισμένες από

αυτές τις πηγές, όπως η γεωθερμική ενέργεια δεν ανανεώνονται σε κλίμακα χιλιετιών.

Οι **ανανεώσιμες ή ήπιες μορφές ενέργειας (ΑΠΕ)** είναι μορφές εκμεταλλεύσιμης ενέργειας που προέρχεται από διάφορες φυσικές διαδικασίες, όπως ο άνεμος, η γεωθερμία, η κυκλοφορία του νερού και άλλες. Ο όρος "**ήπιες**" αναφέρεται σε δυο βασικά χαρακτηριστικά τους. Κατ' αρχήν, για την εκμετάλλευσή τους δεν απαιτείται κάποια ενεργητική παρέμβαση, όπως εξόρυξη, άντληση, καύση, όπως με τις μέχρι τώρα χρησιμοποιούμενες πηγές ενέργειας αλλά απλώς η εκμετάλλευση της ήδη υπάρχουσας ροής ενέργειας στη φύση. Δεύτερο, πρόκειται για "καθαρές" μορφές ενέργειας, πολύ φιλικές στο περιβάλλον, που δεν αποδεδεσμεύουν υδρογονάνθρακες, διοξείδιο του άνθρακα ή τοξικά και ραδιενεργά απόβλητα όπως οι υπόλοιπες πηγές που χρησιμοποιούνται σε μεγάλη κλίμακα.

Η εκμετάλλευση άλλωστε των ανανεώσιμων πηγών για ενέργεια δεν είναι κάτι νέο. Ο παλιός ανεμόμυλος, ο νερόμυλος του χωριού ακόμη και η απλή καύση των ξύλων, συντρέφουν τους προγόνους μας και υπήρξαν πρόδρομοι της γνώσης που σήμερα εφαρμόζεται τεχνολογικά αναβαθμισμένη και σε μεγαλύτερη κλίμακα. Χρησιμοποιούνται είτε άμεσα (κυρίως για θέρμανση) είτε μετατρεπόμενες σε άλλες μορφές κυρίως ηλεκτρισμό ή μηχανική ενέργεια. Υπολογίζεται ότι το τεχνικά εκμεταλλεύσιμο ενεργειακό δυναμικό απ' τις ήπιες μορφές ενέργειας είναι πολλαπλάσιο της παγκόσμιας συνολικής κατανάλωσης. Η υψηλή όμως μέχρι πρόσφατα τιμή των νέων ενεργειακών εφαρμογών, τα τεχνικά προβλήματα εφαρμογής καθώς και πολιτικές και οικονομικές σκοπιμότητες που έχουν να κάνουν με τη διατήρηση του παρόντος «στάτους» στον ενεργειακό τομέα εμπόδισαν την εκμετάλλευση έστω και μέρους αυτού του δυναμικού. Ειδικά στην Ελλάδα, που έχει μορφολογία και κλίμα κατάλληλο για νέες ενεργειακές εφαρμογές, η εκμετάλλευση αυτού του ενεργειακού δυναμικού θα βοηθούσε σημαντικά στην ενεργειακή αυτονομία της χώρας.

Το ενδιαφέρον για τις ήπιες μορφές ενέργειας δημιουργήθηκε τη δεκαετία του 1970, ως αποτέλεσμα κυρίως των αλλεπάλληλων πετρελαϊκών κρίσεων της εποχής, αλλά και της αλλοίωσης του περιβάλλοντος και της ποιότητας ζωής από τη χρήση κλασικών πηγών ενέργειας. Σήμερα όμως λαμβάνονται υπόψη στους επίσημους σχεδιασμούς των ανεπτυγμένων κρατών για την ενέργεια και, αν και αποτελούν πολύ μικρό ποσοστό της ενεργειακής παραγωγής, ετοιμάζονται βήματα για παραπέρα αξιοποίησή τους. Το κόστος δε των εφαρμογών ήπιων μορφών ενέργειας πέφτει συνέχεια τα τελευταία είκοσι χρόνια και ειδικά η αιολική και υδροηλεκτρική ενέργεια, αλλά και η βιομάζα, μπορούν πλέον να ανταγωνίζονται παραδοσιακές πηγές ενέργειας όπως ο άνθρακας και η πυρηνική ενέργεια. Ενδεικτικά, στην Ευρωπαϊκή Ένωση το 2010 το 25% της ενέργειας θα προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές (κυρίως υδροηλεκτρικά και βιομάζα). Η χώρα μας, γεωγραφικά και γεωλογικά, διαθέτει σημαντικά πλεονεκτήματα σχετικά με την εκμετάλλευση των ΑΠΕ. Έτσι, συνυπολογίζοντας τα μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα που αποτελούν περίπου το 70% του συνόλου, το ποσοστό της συνολικής ενεργειακής παραγωγής της χώρας που προέρχεται από ΑΠΕ ανέρχεται σήμερα στο 11,5%. Ο στόχος για το 2020 είναι να φτάσει το 20%. Τη στιγμή που οι περισσότερες αναπτυσσόμενες χώρες εξαρτώνται σήμερα από εισαγόμενα ορυκτά καύσιμα (ας σκεφτούμε και την επίδραση που έχει η άνοδος της τιμής του πετρελαίου, ιδίως στις αναπτυσσόμενες χώρες), οι ανανεώσιμες μορφές ενέργειας αποτελούν μια ευκαιρία για

αποκεντρωμένη προμήθεια ενέργειας. Τέτοιου τύπου αποκεντρωμένη παραγωγή ενέργειας δημιουργεί περισσότερες θέσεις εργασίας τοπικά και είναι πολύ λιγότερο επιρρεπής στη διαφθορά και στις κρίσεις. Οι ανανεώσιμες μορφές ενέργειας δεν ανοίγουν μόνο προοπτικές για την περιβαλλοντικά συμβατή αναδιάρθρωση της ενεργειακής μας αλυσίδας. Συμβάλλουν επίσης στην εκτόνωση εντάσεων στην παγκόσμια αγορά ενέργειας, και κατ' επέκταση σε πολιτική και οικονομική ασφάλεια. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή επίσης προβλέπει ότι η σταθερή προμήθεια ανανεώσιμης ενέργειας θα έχει θετικές επιπτώσεις στην απασχόληση. Η Ευρωπαϊκή Ένωση ορίζει μια Κοινοτική Στρατηγική και Σχέδιο Δράσης για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στην Λευκή Βίβλο με τίτλο "Ενέργεια για το Μέλλον: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας". Η Λευκή αυτή Βίβλος έγινε Κοινοτική Οδηγία για την προαγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές (οδηγία 77/2001/ΕΚ). Με την υιοθέτηση της Οδηγίας, η Ελλάδα δεσμεύτηκε να παράγει το 20,1% της ηλεκτρικής της ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές.

Πλεονεκτήματα των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ):

- Είναι πολύ φιλικές προς το περιβάλλον, έχοντας ουσιαστικά μηδενικά κατάλοιπα και απόβλητα.
- Δεν πρόκειται να εξαντληθούν ποτέ, σε αντίθεση με τα ορυκτά καύσιμα.
- Μπορούν να βοηθήσουν την ενεργειακή αυτάρκεια μικρών και αναπτυσσόμενων χωρών, καθώς και να αποτελέσουν την εναλλακτική πρόταση σε σχέση με την οικονομία του πετρελαίου.
- Είναι ευέλικτες εφαρμογές που μπορούν να παράγουν ενέργεια ανάλογη με τις ανάγκες του τοπικού πληθυσμού, καταργώντας την ανάγκη για τεράστιες μονάδες παραγωγής (καταρχήν για την ύπαιθρο) αλλά και για μεταφορά της σε μεγάλες αποστάσεις.
- Ο εξοπλισμός είναι απλός στην κατασκευή και τη συντήρηση και έχει μεγάλο χρόνο ζωής.

Μειονεκτήματα των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ):

- Έχουν αρκετά μικρό συντελεστή απόδοσης. Γι' αυτό το λόγο μέχρι τώρα χρησιμοποιούνται σαν συμπληρωματικές πηγές.
- Για τον παραπάνω λόγο προς το παρόν δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κάλυψη των αναγκών μεγάλων αστικών κέντρων.
- Η παροχή και απόδοση της αιολικής, υδροηλεκτρικής και ηλιακής ενέργειας εξαρτάται από την εποχή του έτους αλλά και από το γεωγραφικό πλάτος και το κλίμα της περιοχής στην οποία εγκαθίστανται.
- Για τις αιολικές μηχανές υπάρχει η άποψη ότι δεν είναι κομψές από αισθητική άποψη κι ότι προκαλούν θόρυβο και θανάτους πουλιών. Με την εξέλιξη όμως της τεχνολογίας τους και την προσεκτικότερη επιλογή χώρων εγκατάστασης (π.χ. σε πλατφόρμες στην ανοιχτή θάλασσα) αυτά τα προβλήματα έχουν σχεδόν λυθεί.
- Για τα υδροηλεκτρικά έργα λέγεται ότι προκαλούν έκλυση μεθανίου από την αποσύνθεση των φυτών που βρίσκονται κάτω απ' το νερό κι έτσι συντελούν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

1.4 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

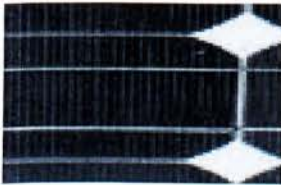
- Το φωτοβολταϊκό στοιχείο είναι γενικά ένα σύστημα δύο υλικών σε επαφή, το οποίο όταν φωτίζεται εμφανίζει στα άκρα του συνεχή ηλεκτρική τάση.
- Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο παρατηρήθηκε από το 1839 από τον BECQUEREL.

Είδη Φ/Β στοιχείων πυριτίου:

Οι κατηγορίες των φωτοβολταϊκών που κυκλοφορούν στην αγορά είναι με βάση το πάχος του υλικού που χρησιμοποιείται και είναι τα **φωτοβολταϊκά στοιχεία πυριτίου «μεγάλου πάχους»** και τα **φωτοβολταϊκά στοιχεία λεπτών επιστρώσεων (thinfilm)**.

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία πυριτίου «μεγάλου πάχους» είναι τα εξής:

Μονοκρυσταλλικού πυριτίου



39% της παραγωγής

πάχος περίπου 0,3 mm

- ❖ Μεγαλύτερος βαθμός απόδοσης 12-15%
- ❖ Μεγάλο κόστος & χρόνος παραγωγής

Οι βασικές τεχνολογίες παραγωγής μονοκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών στηρίζονται στην ανάπτυξη ράβδου πυριτίου και είναι η μέθοδος CZ (Czochralski) και η μέθοδος FZ (FloatZone). Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα τους είναι η καλύτερη σχέση απόδοσης-επιφάνειας ενώ το μεγαλύτερο μειονέκτημα τους είναι το υψηλό κόστος κατασκευής σε σχέση με τα πολυκρυσταλλικά. Το μονοκρυσταλλικό φωτοβολταϊκό με την υψηλότερη απόδοση που κυκλοφορεί στο εμπόριο σήμερα είναι της SunPower με απόδοση πλαισίου 20%. Είναι το μοναδικό που έχει τις μεταλλικές επαφές στο πίσω μέρος του πάνελ με αποτέλεσμα να κερδίζουν μεγαλύτερη επιφάνεια αλληλεπίδρασης με την ηλιακή ακτινοβολία.

Πολυκρυσταλλικού πυριτίου



44%της παραγωγής

πάχος περίπου 0,3 mm

- ❖ Μικρότερο κόστος & χρόνος παραγωγής
- ❖ Μέτριος βαθμός απόδοσης 13-15%

Οπτικά φαίνονται οι επιμέρους μονοκρυσταλλικές περιοχές και όσο μεγαλύτερες είναι σε έκταση, τόσο μεγαλύτερη είναι και η απόδοση για τα πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά κύτταρα.

Οι τεχνολογίες παραγωγής είναι η μέθοδος απ' ευθείας στερεοποίησης DS (directionalsolidification), η ανάπτυξη λιωμένου πυριτίου (χύτευση) και η ηλεκτρομαγνητική χύτευση EMC.

Φωτοβολταϊκά στοιχεία ταινίας πυριτίου (RibbonSilicon)



η απόδοσή τους κυμαίνεται από 15% έως 18%.

- ❖ Το πάχος τους είναι περίπου 0,3 mm
- ❖ Στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί ακόμα μεγαλύτερες αποδόσεις έως και 24,7%.

Είναι μία νέα τεχνολογία η οποία αναπτύσσεται από την EvergreenSolar. Προσφέρει έως και 50% μείωση στην χρήση του πυριτίου σε σχέση με τις παραδοσιακές τεχνικές κατασκευής μονοκρυσταλλικών και πολυκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών κυψελών πυριτίου.

Τα φωτοβολταϊκά υλικά λεπτών επιστρώσεων (thinfilm) είναι τα εξής:

Άμορφου πυριτίου (λεπτού υμένα)



17% της παραγωγής

- ❖ Πάχος πυριτίου περίπου 0,0001 mm και πάχος υποστρώματος από 1mm έως 3mm

- ❖ Κόστος, βάρος, αισθητική
- ❖ Μικρότερος βαθμός απόδοσης 3-6%

Πρόκειται για ταινίες λεπτών επιστρώσεων οι οποίες παράγονται με την εναπόθεση ημιαγωγού (πυρίτιο) πάνω σε υπόστρωμα υποστήριξης χαμηλού κόστους όπως γυαλί ή αλουμίνιο. Το πάχος του πυριτίου είναι περίπου 0,0001 mm ενώ το πάχος του υποστρώματος κυμαίνεται από 1 mm έως 3mm. Κύρια πλεονεκτήματα των φωτοβολταϊκών άμορφου πυριτίου είναι η χαμηλότερη τιμή του λόγω της μικρότερης ποσότητας πυριτίου που χρησιμοποιείται για την κατασκευή του καθώς και ότι δεν επηρεάζεται από υψηλές θερμοκρασίες. Επίσης, πλεονεκτεί στην αξιοποίηση της απόδοσης του σε σχέση με τα κρυσταλλικά φωτοβολταϊκά όταν υπάρχει διάχυτη ακτινοβολία. Από τα πιο σημαντικά μειονεκτήματα είναι ότι παρουσιάζει αισθητά χαμηλότερες αποδόσεις αφού η απόδοση για το πλαίσιο κυμαίνεται από 6% έως 8%. Δηλαδή, η χαμηλή ενεργειακή τους πυκνότητα το οποίο σημαίνει ότι για να παράγουμε ίδια ενέργεια χρειαζόμαστε σχεδόν διπλάσια επιφάνεια σε σχέση με τα κρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία.

Δισεληνοϊνδιούχος γαλκός (CuInSe₂ ή CIS, με προσθήκη γαλλίου CIGS)



Περιορισμένη απόδοση που δεν ξεπερνά το 11%

Το μεγαλύτερο πρόβλημα έγκειται στο γεγονός ότι το ίνδιο είναι περιορισμένο στη φύση. Το κύριο χαρακτηριστικό αυτού του φωτοβολταϊκού στοιχείου είναι η εξαιρετική απορρόφηση των φωτονίων.

Τελουριούχο Κάδμιο (CdTe)



99% δυνατότητα απορρόφησης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας

❖ Σύμφωνα με έρευνες το κάδμιο είναι καρκινογόνο.

❖ Οι αποδόσεις πλαισίου με τις σύγχρονες τεχνικές κυμαίνεται από 6% έως 8%.

Τροχοπέδη για την χρήση του αποτελεί το γεγονός ότι το κάδμιο σύμφωνα με κάποιες έρευνες είναι καρκινογόνο με αποτέλεσμα να προβληματίζει το ενδεχόμενο της εκτεταμένης χρήσης του. Ήδη η **Greenpeace** έχει εναντιωθεί στην χρήση του. Επίσης προβληματίζει ή έλλειψη του Τελλουρίου.

Επίσης, αξίζει να αναφερθούμε στα υβριδικά φωτοβολταϊκά στοιχεία. Αποτελούνται από στρώσεις υλικών διάφορων τεχνολογιών. Τα πιο γνωστά αποτελούνται από δύο επιστρώσεις άμορφου πυριτίου πάνω και κάτω, ενώ ενδιάμεσα έχουν μία στρώση μονοκρυσταλλικού πυριτίου.

Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα των υβριδικών φωτοβολταϊκών στοιχείων είναι ο υψηλός βαθμός απόδοσης του πλαισίου που φτάνει το 19%. Αυτό σημαίνει ότι χρειαζόμαστε μικρότερη επιφάνεια για να έχουμε την ίδια εγκατεστημένη ισχύ. Επίσης, χαρακτηρίζονται από υψηλή απόδοση σε υψηλές θερμοκρασίες και από την μεγάλη απόδοσή τους στην διαχεόμενη ακτινοβολία (συννεφιά). Βέβαια, αφού προσφέρουν τόσα πολλά σε σύγκριση με τα συμβατικά φωτοβολταϊκά πλαίσια, η τιμή τους είναι αρκετά μεγαλύτερη. Φυσικά, η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών δεν σταματά να εξελίσσεται και διάφορα εργαστήρια στον κόσμο παρουσιάζουν νέες τεχνολογίες. Κάποιες από τις τεχνολογίες που φαίνεται να ξεχωρίζουν είναι τα νανοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία (*nc-Si*) και τα οργανικά/πολυμερή φωτοβολταϊκά στοιχεία.

Κάποια από τα τεχνικά χαρακτηριστικά που διαφοροποιούν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια και πρέπει να προσεχθούν κατά την προμήθεια φωτοβολταϊκού εξοπλισμού είναι:

- P_m : Η ονομαστική (μέγιστη) ισχύς σε Watt
- V_{pm} : Η τάση που αντιστοιχεί στην ονομαστική ισχύ σε Volt
- I_{pm} : Η ένταση του ρεύματος που αντιστοιχεί στην ονομαστική ισχύ σε Ampere
- V_{oc} : Η τάση ανοιχτού κυκλώματος σε Volt
- I_{sc} : Η ένταση του ρεύματος βραχυκυκλώματος σε Ampere
- V_{max} : Η μέγιστη τάση του συστήματος σε Volt
- T_{coe} : Οι συντελεστές επίδρασης θερμοκρασίας a_{Pm} , a_{Isc} , a_{Voc} .

Επίσης ενδιαφέρουν η απόδοση, η εγγύηση, τα όρια ανοχής της ονομαστικής ισχύος και οι δείκτες PTC και STC. Ο δείκτης PTC (PVUSA Test Conditions) αντιπροσωπεύει μία περισσότερο πραγματική συνθήκη σε σχέση με αυτή των 1000 W ανά τετραγωνικό μέτρο ηλιακής ακτινοβολίας, 1.5 Air Mass και 20 °C στα οποία αναφέρεται ο δείκτης STC (Factory Standard Test Conditions).

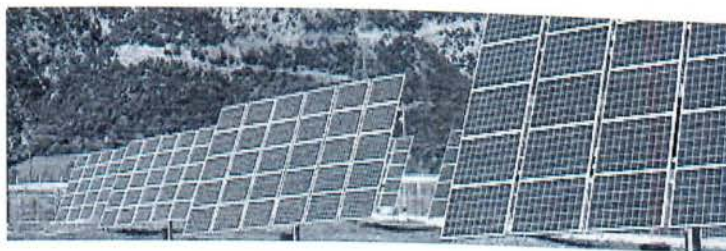
1.5 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Οι κύριες κατηγορίες φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι τα διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά συστήματα και τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα.

1) Διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά συστήματα

Το βασικό χαρακτηριστικό τους είναι ότι συνδέονται με το δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας της ΔΕΗ με τέτοιο τρόπο που τους επιτρέπει τόσο την

απορρόφηση ενέργειας από το δίκτυο όσο και την διάχυση ενέργειας προς αυτό (Σχήμα 1.5.1).



Οι κατηγορίες των διασυνδεδεμένων συστημάτων είναι οι εξής:

- Όταν ο μόνος στόχος της εγκατάστασης είναι η έγχυση ενέργειας προς το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας της ΔΕΗ. Η ισχύς που παράγουν αυτά τα συστήματα μπορεί να είναι της τάξης των KW μέχρι και MW. Αυτά τα διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά συστήματα συχνά αναφέρονται και ως φωτοβολταϊκά πάρκα. Σε αυτή την περίπτωση υπάρχει μόνο πώληση της ηλεκτρικής ισχύς στην ΔΕΗ.
- Όταν ο τοπικός φωτοβολταϊκός σταθμός της εγκατάστασης δεν επαρκεί για να καλύψει τις ανάγκες της και χρησιμοποιείται το ηλεκτρικό δίκτυο της ΔΕΗ σαν εναλλακτική πηγή τροφοδότησης. Τέτοιου είδους συστήματα ονομάζονται grid interactive. Σε αυτά τα συστήματα υπάρχει σχέση αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας από την ΔΕΗ αλλά και πώλησης ενέργειας σε αυτή όταν υπάρχει περίσσεια. Τέτοια συστήματα δεν υπάρχουν στη χώρα μας επειδή δεν αποτελεί οικονομική εγκατάσταση. Στην Ελλάδα η ΔΕΗ αγοράζει την kWh από τα οικιακά Φ/Β σε τιμή 0.5 € περίπου σήμερα και την πουλά 0.06- 0.1€. Άρα όποιος παράγει ενέργεια από Φ/Β τον συμφέρει να την πουλά πρώτα στο δίκτυο και να καλύπτει τις ανάγκες του αγοράζοντας σε πολύ χαμηλότερη τιμή.

ii) Αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα

Αυτά τα συστήματα χρησιμοποιούνται κυρίως όταν η εγκατάσταση είναι σε απομακρυσμένη από το δημόσιο ηλεκτρικό δίκτυο περιοχή.



Σχήμα 1.5.6 Αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα

Με αυτόν τον τρόπο καλύπτονται οι ενεργειακές ανάγκες της εγκατάστασης. Τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορούν, επίσης, να κατηγοριοποιηθούν σε αυτά που διαθέτουν

αποθηκευτική διάταξη ηλεκτρικής ενέργειας, συνήθως μπαταρία, και σε αυτά που συνδέονται άμεσα μόνο με τα φορτία που τροφοδοτούν χωρίς μπαταρία.

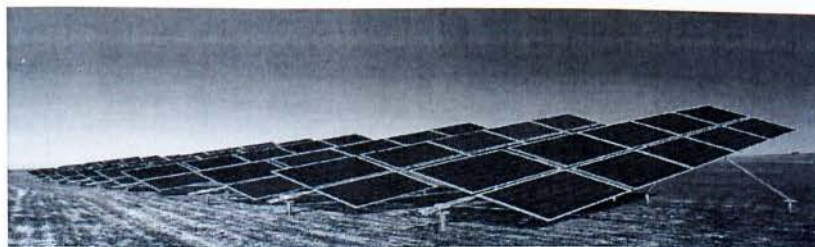
1.6 Στήριξη φωτοβολταϊκών πλαισίων

Ανάλογα με τον τρόπο στήριξης των φωτοβολταϊκών πλαισίων σε αυτές που έχουν σταθερή στήριξη των φωτοβολταϊκών πλαισίων και σε αυτές που διαθέτουν ηλιοστάτες (*solar trackers*). Οι εγκαταστάσεις στις οποίες τα πάνελ τοποθετούνται σταθερά μπορούν να τοποθετηθούν στο έδαφος, σε επίπεδη οροφή κτιρίου και σε στέγη με κλίση. Το κόστος αυτών των εγκαταστάσεων είναι χαμηλότερο καθώς και της συντήρησής τους, ενώ η τοποθέτησή τους είναι απλούστερη.



Σχήμα 1.6.1 Εγκατάσταση φωτοβολταϊκού πάνελ σε στέγη

Οι ηλιοστάτες είναι συστήματα που παρακολουθούν την κίνηση του ήλιου και προσανατολίζονται προς αυτόν με τέτοιο τρόπο που εκμεταλλεύονται την άμεση ακτινοβολία. Έτσι, με αυτά τα συστήματα είναι αυξημένη η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά συνίσταται η χρήση τους σε περιοχές που έχουν υψηλό ποσοστό άμεσης ακτινοβολίας και η εγκατάστασή τους γίνεται συνήθως μόνο στο έδαφος. Τα ποσοστά είναι συνήθως 25 – 30 % επιπλέον ενέργεια, ανάλογα με το σύστημα και την τοποθεσία.



Σχήμα 1.6.2 Ηλιοστάτης εγκατεστημένος στο έδαφος

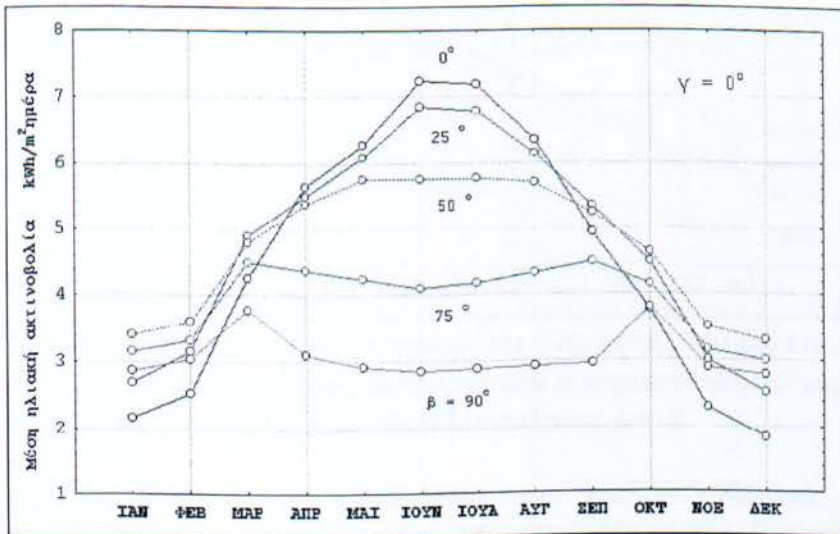
1.7 Πρακτικοί κανόνες για την συλλογή μέγιστης ηλιακής ακτινοβολίας

- Η βέλτιστη γωνία κλίσης θα πρέπει να είναι περίπου ίση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου.
- Κατά την διάρκεια της θερινής περιόδου: Η βέλτιστη γωνία κλίσης (β) πρέπει να είναι περίπου 10°-15° μικρότερη από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου.

- Κατά την διάρκεια της χειμερινής περιόδου: Η βέλτιστη γωνία κλίσης πρέπει να είναι περίπου 10° - 15° μεγαλύτερη από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου. Αν στο έδαφος υπάρχει επιφάνεια με μεγάλο συντελεστή ανάκλασης (π.χ. χιόνι) απαιτείται μεγαλύτερη κλίση.

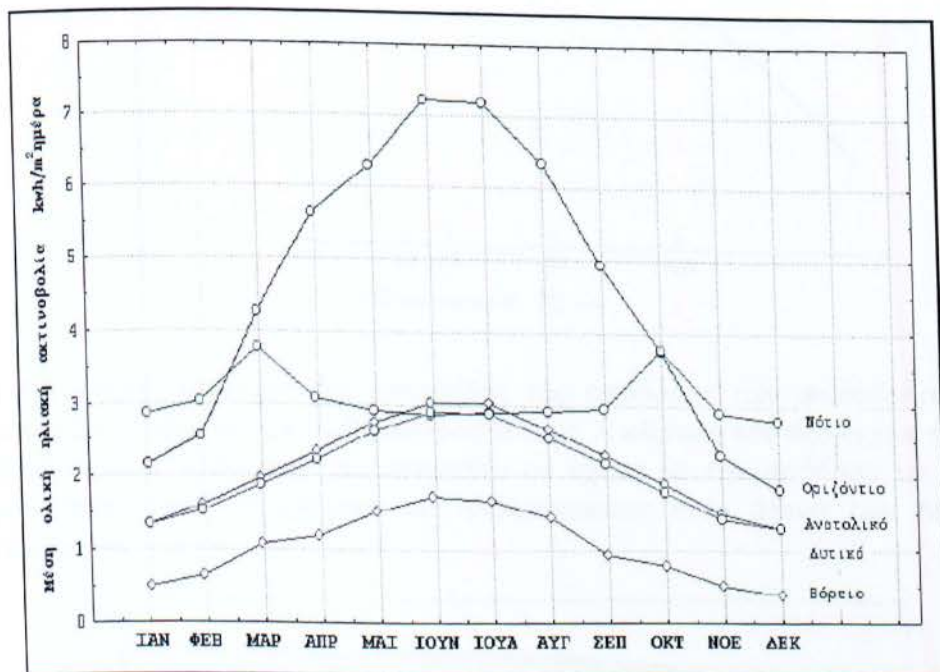
- Ο βέλτιστος προσανατολισμός (αζιμούθιο γ) είναι νότιος ($\gamma=0^{\circ}$), ενώ απόκλιση κατά 20° - 30° από νότο έχει μικρή επίδραση στην ετήσια συλλεγόμενη ενέργεια.

Στο πιο κάτω σχήμα 1.7.1. παρουσιάζεται η μέση ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία ανά μήνα, που θα δεχθεί μία επιφάνεια νότιου προσανατολισμού για διάφορες γωνίες κλίσεις. Οι τιμές αυτές αναφέρονται για βόρειο γεωγραφικό πλάτος 38° , $\rho = 0.2$ και είναι προσεγγιστικές. Ένα άλλο μέγεθος από το οποίο εξαρτάται η ηλιακή ακτινοβολία που θα δεχθεί μία επιφάνεια, είναι ο προσανατολισμός της. Θεωρώντας ότι η ηλιακή ακτινοβολία είναι συμμετρική ως προς το ηλιακό μεσημέρι, τότε ο καλύτερος προσανατολισμός για ένα επίπεδο ηλιακό συλλέκτη είναι ο νότιος ($\gamma = 0^{\circ}$). Αποκλίσεις κατά 10° μέχρι 20° ανατολικά ή δυτικά του νότου έχουν μικρή επίδραση στην ετήσια συλλεγόμενη ηλιακή ενέργεια. Ο προσανατολισμός σ' ένα επίπεδο ηλιακό συλλέκτη θα έχει επίδραση και στο χρόνο που θα δεχθεί την ηλιακή ακτινοβολία. Έτσι ένας συλλέκτης τοποθετημένος νοτιοανατολικά, θα δεχθεί το μεγαλύτερο ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας τις πρωινές ώρες.



Στο σχήμα 1.7.1. παρουσιάζεται η μέση ημερήσια ολική ηλιακή ακτινοβολία ανά μήνα, που δέχεται οριζόντια επιφάνεια και τέσσερις κάθετες επιφάνειες, με προσανατολισμό νότιο, ανατολικό, βόρειο και δυτικό. Ένα χαρακτηριστικό που παρουσιάζει το σχήμα αυτό είναι ότι όλες οι καμπύλες εκτός εκείνης της νότιας επιφάνειας έχουν ένα μέγιστο που αντιστοιχεί στο θερινό ηλιοστάσιο, ενώ της νότιας έχει δυο μέγιστα που αντιστοιχούν στην εαρινή και την φθινοπωρινή ισημερία. Επίσης από το διάγραμμα παρατηρείται ότι τους χειμερινούς μήνες η νότια επιφάνεια θα δεχθεί τα μεγαλύτερα ποσά ηλιακής ακτινοβολίας, ενώ τους καλοκαιρινούς μήνες η οριζόντια επιφάνεια υπερτερεί όλων. Οι μεγάλες τιμές του ύψους

του ήλιου κατά την θερινή περίοδο δικαιολογούν τη μορφή της καμπύλης που αναφέρεται στην οριζόντια επιφάνεια ενώ ο συνδυασμός του μικρού ύψους του ήλιου με την μεγάλη διάρκεια του ημερήσιου τόξου του, δίνουν τα δύο μέγιστα στις ισημερίες. Επίσης το πολύ μικρό ύψος του ήλιου σε συνδυασμό με το μικρό ημερήσιο τόξο του, έχουν σαν αποτέλεσμα η νότια επιφάνεια να υπερτερεί έναντι όλων των άλλων κατά την χειμερινή περίοδο. Ο εμπειρικός κανόνας που αναφέρθηκε παραπάνω για την κλίση των ηλιακών συλλεκτών, δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα όταν εφαρμοσθεί σε μικρές ηλιακές εγκαταστάσεις. Επίσης στα φωτοβολταϊκά συστήματα που το κόστος των φωτοβολταϊκών πλαισίων είναι υψηλό, θα πρέπει να μελετηθεί η βέλτιστη κλίση τους για την συγκεκριμένη εφαρμογή.

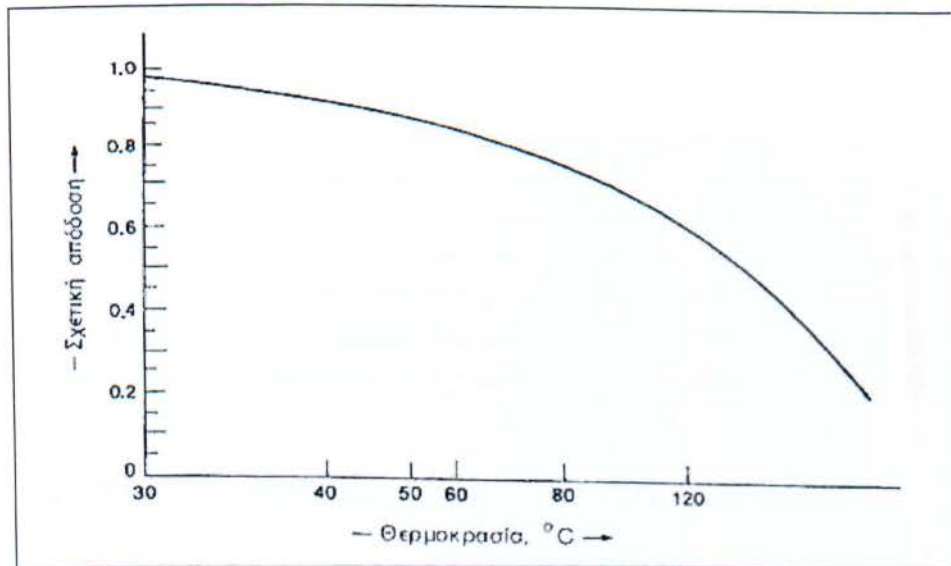


Σχ. 1.7.2. Μέση ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία ανά μήνα, που δέχεται οριζόντια επιφάνεια και τέσσερις κάθετες επιφάνειες διαφορετικού προσανατολισμού για βόρειο γεωγραφικό πλάτος του τόπου $\varphi = 38^\circ$ και συντελεστή ανάκλασης $\rho=0.2$

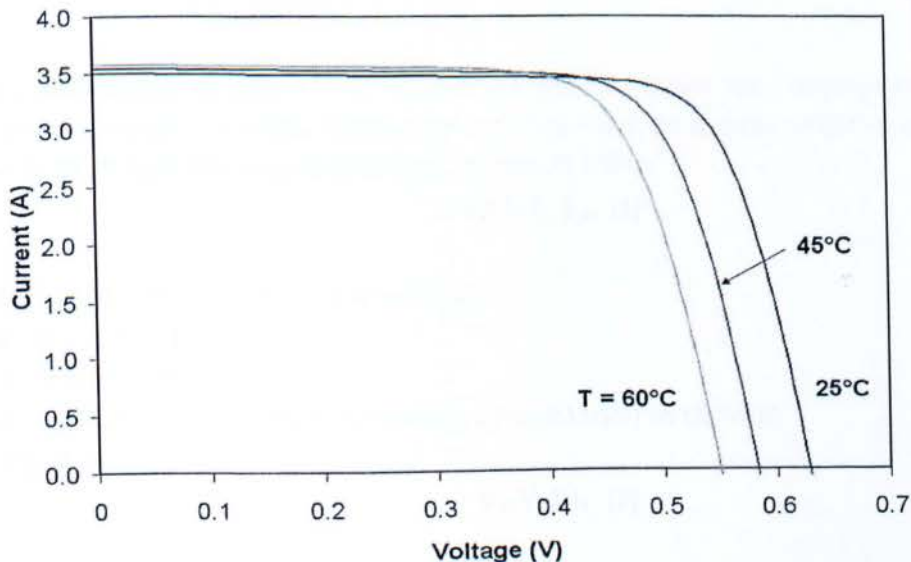
-Θερμοκρασία. Ένας ακόμα παράγοντας που επιδρά αρνητικά στην απόδοση των φωτοβολταϊκών είναι η θερμοκρασία. Με την αύξηση της θερμοκρασίας προκαλείται αντίστοιχη αύξηση της ενδογενούς συγκέντρωσης των φορέων του ημιαγωγού, με αποτέλεσμα να πραγματοποιούνται περισσότερες επανασυνδέσεις φορέων. Έτσι εκδηλώνεται ισχυρότερο ρεύμα διαρροής διαμέσου της διόδου, που συνεπάγεται μείωση της Voc και του FF.

Αν ο συντελεστής απόδοσης ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου με μια συμβατική θερμοκρασία είναι η , η τιμή του σε διαφορετική θερμοκρασία θ θα είναι: $\eta_\theta = \eta \sigma_\theta$, όπου σ_θ , είναι ένας αδιάστατος συντελεστής της θερμοκρασιακής διόρθωσης της απόδοσης. Στη συμβατική

θερμοκρασία, ο σθ είναι ίσος με τη μονάδα, και μειώνεται κατά περίπου 0,005 ανά βαθμό αύξησης της θερμοκρασίας, για τα συνηθισμένα φωτοβολταϊκά στοιχεία πυριτίου του εμπορίου. Στο σχήμα 1.7.3. παρουσιάζεται η σχέση απόδοσης-θερμοκρασίας.



Σχ.1.7.3.Τυπική απόκλιση της μεταβολής της απόδοσης των φωτοβολταϊκών στοιχείων πυριτίου σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία τους. Η κλίμακα του άξονα των τεταγμένων δίνει το ποσοστό της απόδοσης του στοιχείου σε σχέση με την απόδοση του στη συμβατική θερμοκρασία 20oC. Η κλίμακα της θερμοκρασίας στον άξονα των τετμημένων είναι λογαριθμική.

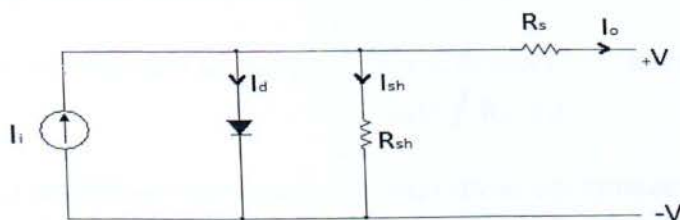


Σχ.1.7.8. Στο παραπάνω σχήμα παρατηρούμε καθαρά την διαφοροποίηση των χαρακτηριστικών καμπυλών $I-V$ του φωτοβολταϊκού πλαισίου όταν έχουμε αλλαγή της θερμοκρασίας.

1.8 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκών στοιχείων

Για να κατανοηθεί η ηλεκτρική συμπεριφορά ενός ηλιακού κυττάρου, είναι χρήσιμο να δημιουργήσουμε ένα ηλεκτρικό ισοδύναμο το οποίο βασίζεται σε ηλεκτρικά στοιχεία των οποίων η συμπεριφορά είναι γνωστή. Ένα ιδανικό ηλιακό κύτταρο μπορεί να μοντελοποιηθεί από μία πηγή ρεύματος παράλληλα συνδεδεμένη με μία δίοδο. Στην πράξη όμως δεν υπάρχει ιδανικό ηλιακό κύτταρο, έτσι προστίθενται στο μοντέλο μία σε σειρά αντίσταση R_S και μία παράλληλα συνδεδεμένη αντίσταση R_{SH} . Το ισοδύναμο κύκλωμα φαίνεται στο Σχ.1.8.1.

Σχ.1.8.1. Ηλεκτρικό Ισοδύναμο ηλιακού κυττάρου:



Από το ισοδύναμο κύκλωμα διαπιστώνουμε ότι το ρεύμα που παράγεται από το ηλιακό κύτταρο ισούται με αυτό που παράγεται από την πηγή ρεύματος μείον το ρεύμα της διόδου και μείον το ρεύμα που περνά από την αντίσταση R_{SH} :

$$I_o = I_i - I_d - I_{sh} \quad [1] ,$$

Όπου

- I_o = ρεύμα στην έξοδο του κυττάρου
- I_i = φωτόρευμα
- I_d = ρεύμα διόδου
- I_{sh} = ρεύμα που διέρχεται από την παράλληλη αντίσταση

Ισχύει επίσης:

$$V_j = V + IR_s \quad [2] ,$$

Όπου

- V_j = τάση κατά μήκος της διόδου και της παράλληλης αντίστασης

- V = τάση στην έξοδο του κυττάρου
- R_s = σε σειρά αντίσταση του κυττάρου (Ω) (παριστάνει την αντίσταση που συναντά το ηλεκτρόνιο από τη στιγμή που θα παραχθεί μέχρι «να βγει» στο εξωτερικό κύκλωμα)

Το ρεύμα που διέρχεται μέσα από τη δίοδο δίνεται από την εξίσωση:

$$I_d = I_c \cdot e^{\frac{q \cdot V_j}{n \cdot k \cdot T} - 1} \quad [3],$$

Όπου

- I_c = ρεύμα κόρου της διόδου
- n = σταθερά με τιμές μεταξύ 1 και 2. Οφείλεται σε φαινόμενα επανασύνδεσης που συμβαίνουν στην περιοχή της επαφής.
- q = φορτίο ηλεκτρονίου
- k = σταθερά του Boltzman ($= 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J / K}$)
- T = απόλυτη θερμοκρασία
- Για το πυρίτιο στους 25°C , $kT / q = 0.0259 \text{ volts}$.

Σύμφωνα με τον νόμο του Ohm, το ρεύμα που διαρρέει την R_{sh} είναι:

$$I_{sh} = V_j / R_{sh} \quad [4],$$

Όπου

- R_{sh} = παράλληλη αντίσταση (Ω) (παριστάνει την επανασύνδεση των ηλεκτρονίων και τις διαρροές των ηλεκτρονίων από τις παράπλευρες επιφάνειες).

Αντικαθιστώντας τις (2),(3),(4) στην (1) προκύπτει η εξής εξίσωση η οποία αποτελεί την χαρακτηριστική εξίσωση του ηλιακού κυττάρου:

$$I_o = I_i - I_c \cdot e^{\left(\frac{q \cdot (V + I \cdot R_s)}{n \cdot K \cdot T} - 1 \right) - (V + I \cdot R_s / R_{sh})} \quad [5],$$

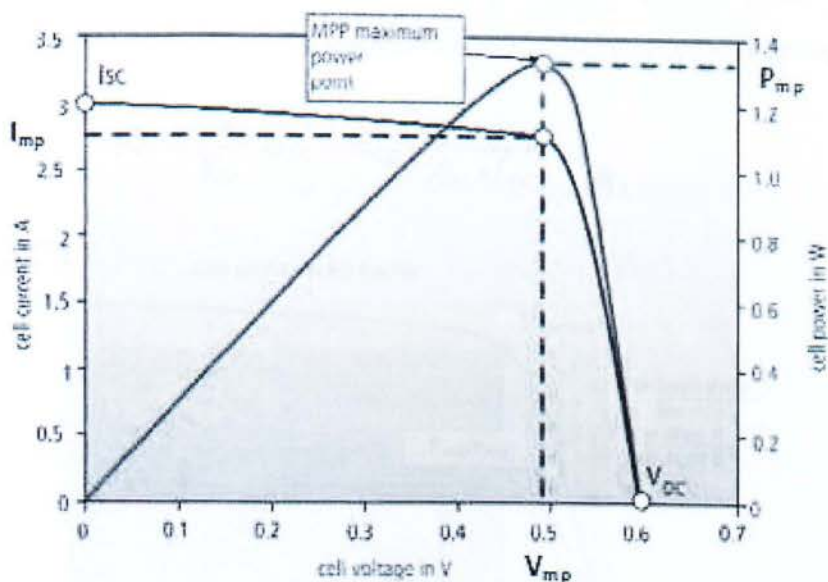
Η χαρακτηριστική εξίσωση απλοποιείται σημαντικά εάν θεωρήσουμε την παράλληλη αντίσταση R_{sh} άπειρη, οπότε προκύπτει:

$$I = I_o - I_c \cdot e^{\frac{V + I \cdot R_s}{A} - 1} \quad [6],$$

Μία διαφορετική εκδοχή της χαρακτηριστικής εξίσωσης προκύπτει αν μεταφέρουμε στο αριστερό μέλος την τάση εξόδου V . Οι δύο εξισώσεις είναι ισοδύναμες:

$$V = -I \cdot R_s + \frac{1}{A} \cdot \frac{\ln(I_o - I)}{I_c + I} \quad [7],$$

Η γραφική παράσταση μεταξύ της τάσης και του ρεύματος του ηλιακού κυττάρου ονομάζεται χαρακτηριστική I-V. (Σχήμα 1.8.2.)



Σχήμα 1.8.2. Χαρακτηριστική I-V ηλιακού κυττάρου

Οι βασικές παράμετροι που τη χαρακτηρίζουν είναι:

Ρεύμα βραχυκυκλώσεως (I_{sh}):

Είναι το ρεύμα για τάση εξόδου $V=0$ και αν θεωρήσουμε την σε σειρά αντίσταση RSn πολύ μικρή, είναι ίσο με το φωτόρευμα I_0 .

Τάση ανοιχτού κυκλώματος (V_{oc}):

Είναι η τάση για ρεύμα εξόδου $I=0$ και αν θεωρήσουμε την παράλληλη αντίσταση Rsh πολύ μεγάλη από την (6) προκύπτει:

$$V_{oc} = \frac{1}{A} * \frac{\ln I_0}{I_c + 1} \quad [8],$$

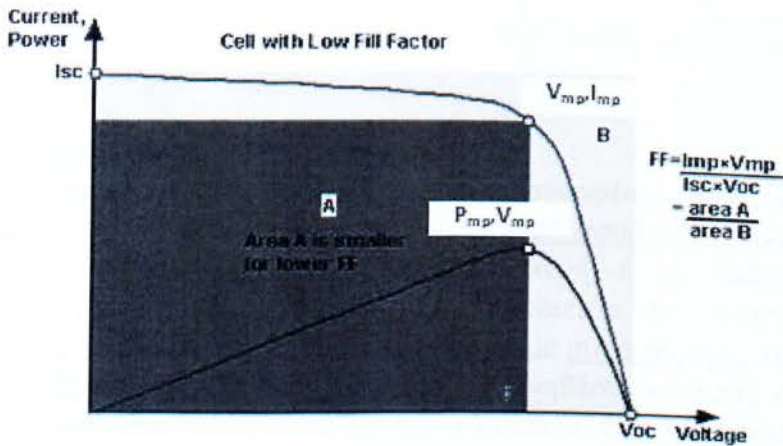
Σημείο μέγιστης ισχύος εξόδου (P_{mp}):

Αυξάνοντας την ωμική αντίσταση του φορτίου συνεχώς (συνδεδεμένου με ένα κύτταρο που φωτίζεται) από την τιμή 0 (βραχυκύκλωμα), σε μία πολύ υψηλή τιμή (ανοιχτοκύκλωμα) μπορεί να προσδιοριστεί το σημείο μέγιστης ισχύος, το σημείο δηλαδή που μεγιστοποιείται η σχέση V-I. Αυτό είναι το φορτίο για το οποίο το κύτταρο τροφοδοτεί την μέγιστη ισχύ σε συγκεκριμένο επίπεδο ακτινοβολίας, ενώ το ρεύμα και η τάση που αντιστοιχούν στο συγκεκριμένο σημείο λειτουργίας είναι I_{mp} και V_{mp} αντίστοιχα.

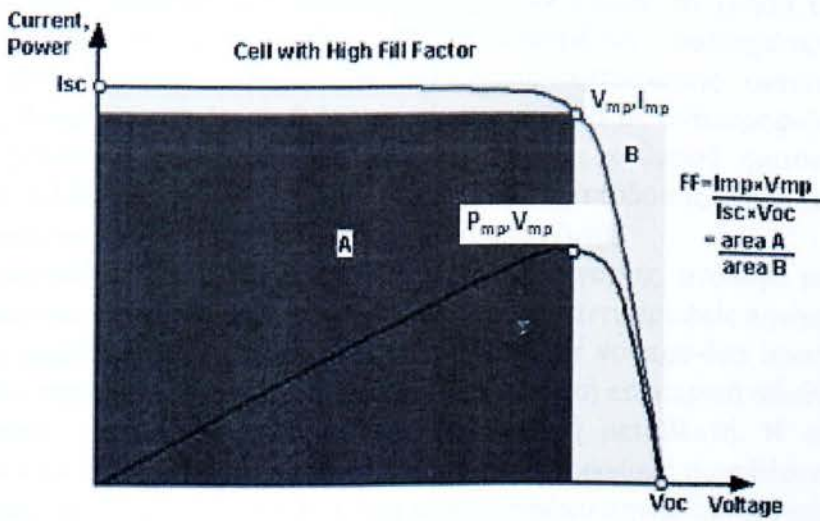
Συντελεστής πληρώσεως (Fill Factor, FF):

Αυτός ο συντελεστής είναι ένας δείκτης ο οποίος δείχνει πόσο τετράγωνη είναι η χαρακτηριστική I-V του ηλιακού κυττάρου. Η τιμή του δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$FF = \frac{P_{mp}}{V_{oc} \cdot I_{sc}} = V_{mp} \cdot \frac{I_{mp}}{V_{oc} \cdot I_{sc}} \quad [9],$$



Σχήμα 1.8.3 Χαρακτηριστική I-V με χαμηλό συντελεστή πληρώσεως



Σχήμα 1.8.4 Χαρακτηριστική I-V με υψηλό συντελεστή πληρώσεως

Οι τιμές του συνήθως κυμαίνονται από 0,7 έως 0,85.

1.9 Βαθμός απόδοσης του ηλιακού κυττάρου

Ο βαθμός απόδοσης του ηλιακού κυττάρου συμβολίζει το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας, που προσπίπτει στην επιφάνεια του ηλιακού κυττάρου, που μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια, όταν το ηλιακό κύτταρο είναι συνδεδεμένο σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα. Ο βαθμός απόδοσης των φωτοβολταϊκών κυττάρων υπολογίζεται με την παρακάτω σχέση:

$$\eta_c = P_{\max} / A_c \cdot I_T \quad , \text{ δηλαδή}$$

ισούται με την (μέγιστη) αποδιδόμενη ισχύς διά την προσπίπτουσα ένταση στο PV στοιχείο επί την επιφάνεια.

Ο βαθμός απόδοσης των φωτοβολταϊκών κυττάρων που υπάρχουν στην αγορά έχουν βαθμό απόδοσης 7% έως 21%.

1.10 Ο αντιστροφέας

Ο αντιστροφέας (επίσης μετατροπέας ή αναστροφέας) (inverter) είναι ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα που μετατρέπει τη συνεχή τάση σε εναλλασσόμενη. Ο αντιστροφέας είναι δυνατόν να υπάρχει ως αυτόνομη ηλεκτρονική συσκευή, ή ως βαθμίδα άλλης ηλεκτρονικής συσκευής. Ως αυτόνομη συσκευή, χρησιμοποιείται σε εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών συστημάτων, αυτόνομα συστήματα ενέργειας με συσσωρευτές, και όπου αλλού χρειάζεται να μετατρέψουμε συνεχή τάση 12 V ή 24 V (συνηθέστερες τιμές), σε εναλλασσόμενη 220 V. Ως τελική βαθμίδα, υπάρχει στα UPS (συστήματα αδιάλειπτης παροχής ισχύος).

1.11 Είδη μετατροπέων

Η κυριότερη διάκριση των αντιστροφέων όσον αφορά τη χρήση τους σε εγκαταστάσεις Α.Π.Ε. είναι σε αντιστροφείς "διασυνδεδεμένων συστημάτων" και "αυτόνομων συστημάτων". Όσον αφορά την τεχνολογία κατασκευής αντιστροφέων "αυτόνομων συστημάτων", η κυριότερη διάκριση είναι ανάμεσα σε αντιστροφείς "καθαρού ημιτόνου" και "τροποποιημένου ημιτόνου". Οι μετατροπείς καθαρού ημιτόνου έχουν υψηλότερο κόστος αλλά επιτυγχάνουν υψηλότερο βαθμό απόδοσης, είναι συμβατοί με όλες τις συσκευές και έχουν γενικά μεγαλύτερη διάρκεια ζωής.

Οι αντιστροφείς διακρίνονται σε δύο κύριες κατηγορίες, ανάλογα με τη μορφή της πηγής εισόδου: τους αντιστροφείς πηγής τάσης και τους αντιστροφείς πηγής ρεύματος.

Οι αντιστροφείς πηγής τάσης (voltage-source or voltage-fed inverters) τροφοδοτούνται από μια πηγή συνεχούς τάσης, ιδανικά με μηδενική εσωτερική σύνθετη αντίσταση. Η τάση της πηγής εισόδου μπορεί να είναι σταθερή ή μεταβλητή. Η συνεχής τάση εισόδου προέρχεται από μπαταρίες, από φωτοβολταϊκά στοιχεία, ή συνηθέστερα από την ανόρθωση της τάσης του δικτύου. Η έξοδος των αντιστροφέων πηγής τάσης εμφανίζει χαρακτηριστικά πηγής τάσης.

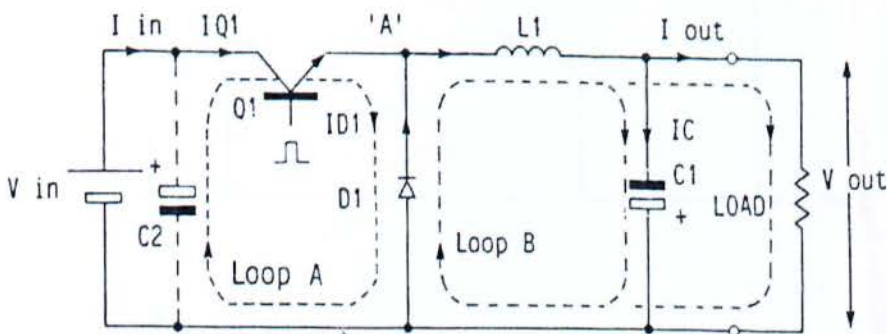
Οι αντιστροφείς πηγής ρεύματος (current-source or current-fed inverters) τροφοδοτούνται από μια μεταβλητή πηγή συνεχούς ρεύματος, ιδανικά με άπειρη εσωτερική σύνθετη

αντίσταση. Οι αντιστροφείς πηγής ρεύματος χρησιμοποιούνται κυρίως στον έλεγχο ac κινητήρων πολύ μεγάλης ισχύος. Αντίστοιχα με τους αντιστροφείς πηγής τάσης, η εναλλασσόμενη έξοδος των αντιστροφέων πηγής ρεύματος παρουσιάζει τα χαρακτηριστικά της πηγής ρεύματος.

Οι αντιστροφείς διακρίνονται ακόμη σε μονοφασικούς και πολυφασικούς, ανάλογα με τη μορφή της εναλλασσόμενης εξόδου.

1.12 Είδη μετατροπέων ισχύος

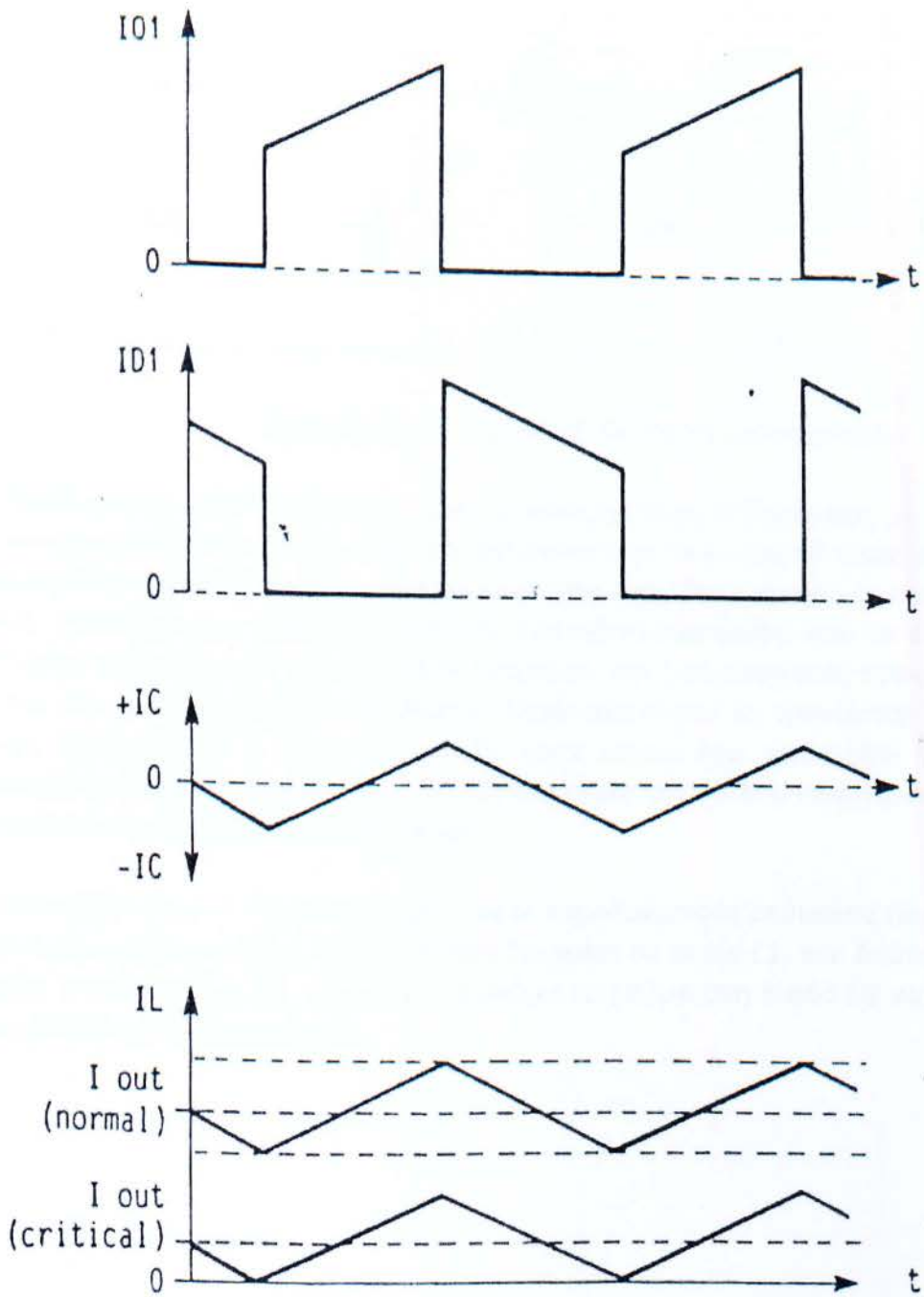
α) Buck Regulator



Σχ.α Βασικό κύκλωμα DC-DC Buck μετατροπέα

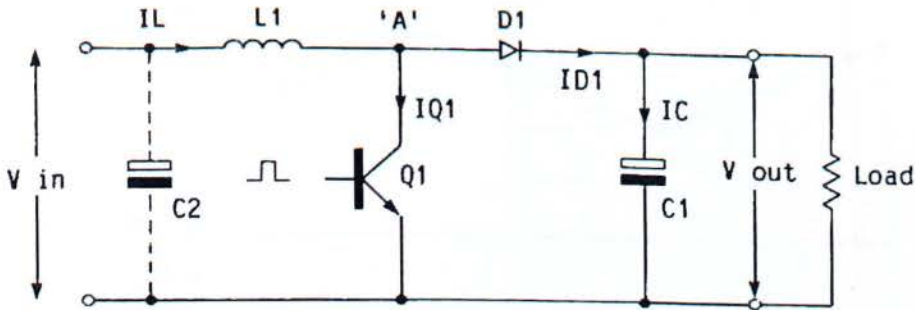
Στον Buck μετατροπέα η τάση εξόδου είναι πάντοτε ίδιας πολικότητας με την τάση εισόδου αλλά με μικρότερο δυναμικό. Κατά την διάρκεια που το διακοπτικό transistor $Q1$ βρίσκεται σε αγωγιμότητα η σύνθετη αντίσταση του πηνίου $L1$ προστίθεται σε αυτήν του φορτίου μειώνοντας την συνολική τάση που εμφανίζεται στα άκρα του φορτίου. Όταν το διακοπτικό transistor $Q1$ αποκόπτει η αποθηκευμένη ενέργεια που βρίσκεται στο πηνίο $L1$ τροφοδοτεί το φορτίο.

Στην *εικόνα 1.12.1* απεικονίζονται οι χαρακτηριστικές ρεύματος του μετατροπέα. Στην πρώτη κυματομορφή έχουμε το ρεύμα που διαρρέει το transistor $Q1$, στη δεύτερη έχουμε το ρεύμα που διαρρέει την δίοδο $D1$, στη τρίτη το ρεύμα που εμφανίζεται στο πηνίο $L1$ και στην τέταρτη κυματομορφή φαίνεται το ρεύμα που διαρρέει το φορτίο του κυκλώματος.



Εικόνα 1.12.1

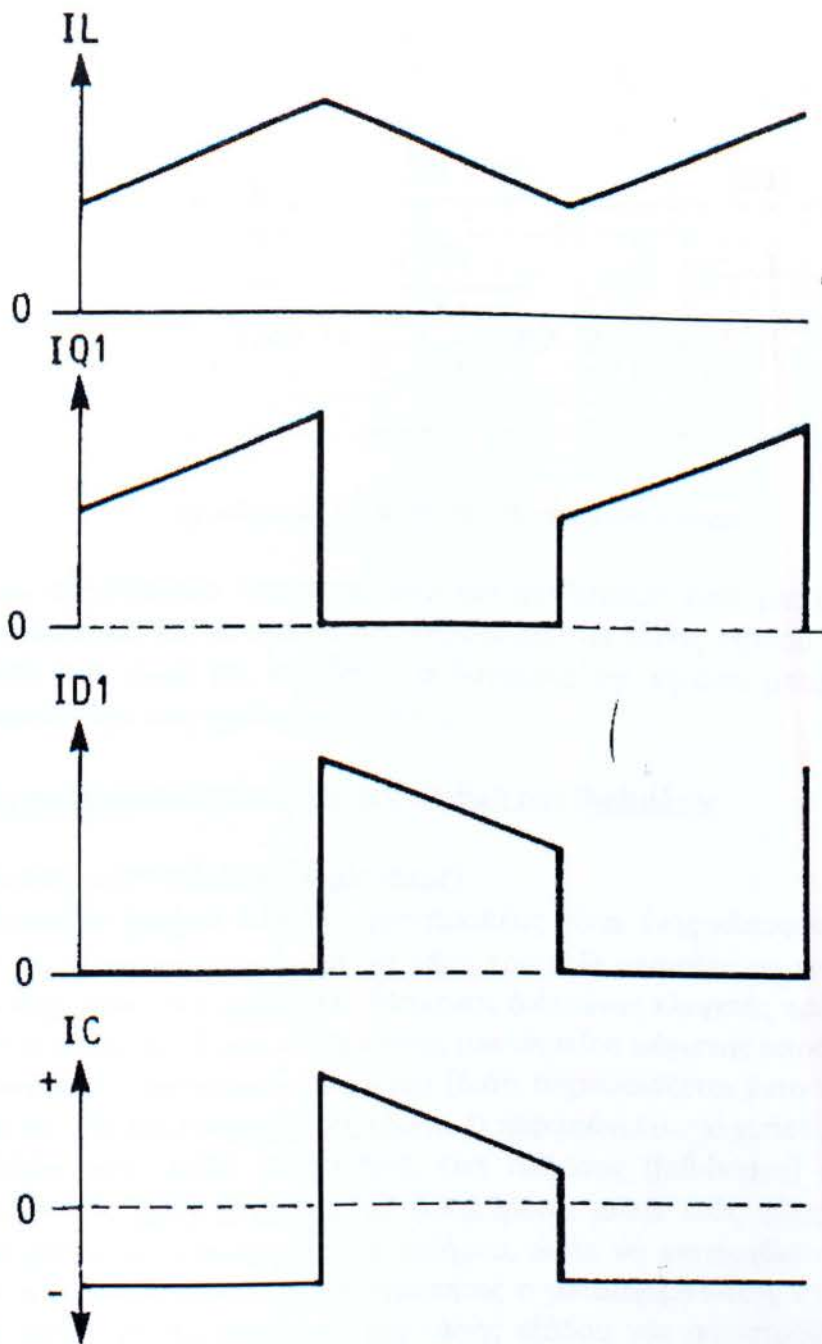
β) Boost Regulator



Σχ.β Βασικό κύκλωμα DC-DC Boost μετατροπέα.

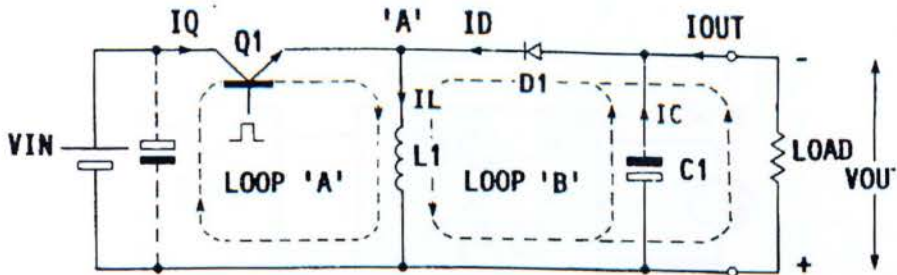
Στον Boost μετατροπέα η τάση εξόδου είναι πάντοτε ίδιας πολικότητας με την τάση εισόδου αλλά με μεγαλύτερο δυναμικό. Κατά την διάρκεια που το δυναμικό τρανζίστορ $Q1$ βρίσκεται σε αγωγιμότητα η τάση εισόδου εφαρμόζεται στα άκρα του πηνίου $L1$ και το ρεύμα ρεύμα αυξάνει. Ταυτόχρονα η διάδος $D1$ έχοντας πολωθεί ανάστροφα από το δυναμικό που έχει αναπτυχθεί στα άκρα του πυκνωτή δεν επιτρέπει την ροή ρεύματος προς το τρανζίστορ. Η τάση του πυκνωτή τροφοδοτεί το φορτίο. Όταν αποκόπτει το τρανζίστορ $Q1$ στα άκρα του φορτίου εφαρμόζεται η τάση της πηγής στην οποία έχει προστεθεί το δυναμικό που αναπτύχθηκε στα άκρα του πηνίου $L1$ τα οποία μέσω της διάδου φορτίζουν τον πυκνωτή και τροφοδοτούν το φορτίο του κυκλώματος.

Στην παρακάτω *εικόνα 1.12.2* απεικονίζονται οι κυματομορφές ρεύματος του μετατροπέα. Στο πρώτο σχήμα απεικονίζεται το ρεύμα που διαρρέει το πηνίο $L1$, στη δεύτερη το ρεύμα που διαρρέει το τρανζίστορ $Q1$, στη τρίτη το ρεύμα το ρεύμα στη διάδο $D1$ και τέλος έχουμε το ρεύμα φόρτισης του πυκνωτή C .



Εικόνα 1.12.2 Κυματομορφές ρεύματος ενός Boost regulator

c) Inverting Regulator



Σχ.γ Βασικό κύκλωμα αντιστροφέα (buck-boost)

Το κύκλωμα του αντιστροφέα προκύπτει από τον συνδυασμό ενός μετατροπέα Buck και ενός Boost μετατροπέα. Με αυτή την συνδεσμολογία της τάσης εξόδου του κυκλώματος είναι αντίστροφη από αυτή της εισόδου. Το δυναμικό της εξόδου μπορεί να είναι ίσο, μικρότερο ή μεγαλύτερο από αυτό της εισόδου.

1.13 Κατάταξη αντιστροφένων με βάση τον αριθμό των βαθμίδων

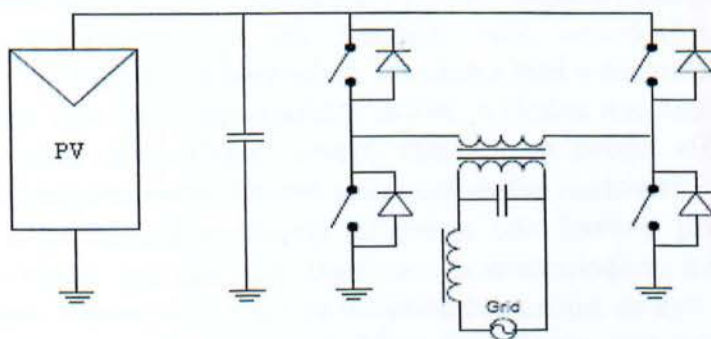
α) Μετατροπείς μιας βαθμίδας(single stage)

Σε αυτές τις διατάξεις (σχήμα 1.13.1) ο μετατροπέας είναι ένας κλασικός αντιστροφέας μιας βαθμίδας που μετατρέπει την συνεχή τάση του Φ/Β πλαισίου σε εναλλασσόμενη. Ο έλεγχος του μετατροπέα είναι σχετικά πολύπλοκος διότι ένας ελεγκτής πρέπει να κάνει τον έλεγχο του μετατροπέα, τον έλεγχο ανίχνευσης του σημείου μέγιστης αποδιδόμενης ισχύος (MPPT), τον έλεγχο του ρεύματος στο δίκτυο (διότι παρουσιάζεται έντονη κυμάτωση του ρεύματος εισόδου) και την ενίσχυση της τάσης. Ο παραπάνω μετατροπέας μπορεί να είναι ένας αντιστροφέας είτε μισής (halfbridge), είτε πλήρους (full-bridge) γέφυρας (σχήμα 1.13.2), του οποίου η τάση κατά κανόνα φιλτράρεται μέσω ενός φίλτρου LC και στην συνέχεια ανυψώνεται με μετασχηματιστή σιδήρου, ώστε να επιτευχθεί η σύνδεση με το ηλεκτρικό δίκτυο. Ο λόγος που είναι απαραίτητος ο μετασχηματιστής στους μετατροπείς μιας βαθμίδας είναι για την ανύψωση της τάσης εξόδου του αντιστροφέα στα επίπεδα τάσης του δικτύου, για την διευκόλυνση του σχεδιασμού και ελέγχου τους και επιπλέον για να εισάγουμε γαλβανική απομόνωση ανάμεσα στο πλαίσιο και το δίκτυο. Η χρήση Μ/Σ σιδήρου έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του όγκου και του βάρους του μετατροπέα με άμεση συνέπεια να οδηγούμαστε σε περιορισμό της πυκνότητας ισχύος και σε χαμηλό βαθμό απόδοσης. Για την εξάλειψη αυτών των προβλημάτων έχουν προταθεί μετατροπείς που χρησιμοποιείται υψίσυχνος Μ/Σ και η τοπολογία του αντιστροφέα τύπου flyback με δύο ανεξάρτητα δευτερεύοντα ή η τοπολογία του σχήματος 1.13.3 (χωρίς τη χρήση Μ/Σ).

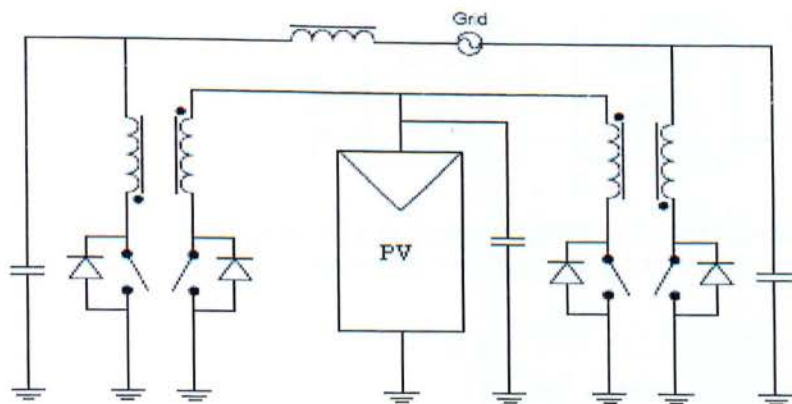
Το μοναδικό πλεονέκτημα των μετατροπέων μιας βαθμίδας είναι ο μικρός αριθμός των ηλεκτρικών στοιχείων που απαιτούνται για την κατασκευή τους, που μειώνει το κόστος και αυξάνει την αξιοπιστία τους.



Σχ. 1.13.1 Αντιστροφέας μίας βαθμίδας όπου υπάρχει ένας ελεγκτής για την ανίχνευση του σημείου μέγιστης ισχύος, την ενίσχυση της τάσης και τον έλεγχο του ρεύματος στο δίκτυο



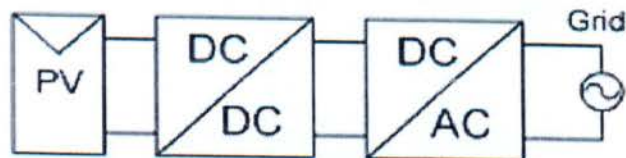
Σχ. 1.13.2. Μετατροπέας πλήρους γέφυρας με μετασχηματιστή 50 Hz



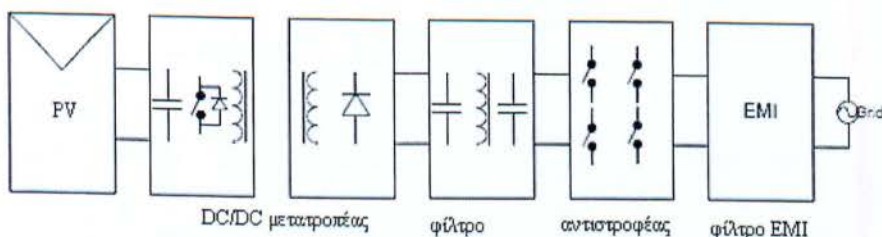
Σχήμα 1.13.3. Αντιστροφέας fly-back διπλής κατεύθυνσης

β) Μετατροπείς δύο βαθμίδων (dual stages)

Ο μετατροπέας αποτελείται από δύο τμήματα (σχήμα 1.13.4). Το πρώτο είναι ένας μετατροπέας συνεχούς τάσης σε συνεχή (boost, buck-boost, forward, push-pull), ο οποίος ανυψώνει την τάση σε σταθερή πρακτικά τιμή και πραγματοποιεί τον έλεγχο ανίχνευσης του σημείου μέγιστης αποδιδόμενης ισχύος (MPPT). Στην επόμενη βαθμίδα, δηλαδή στον αντιστροφέα, πραγματοποιείται, με την βοήθεια ενός κατωδιαβατού φίλτρου, η ημιτονοειδής μορφή του ρεύματος προκειμένου να υλοποιηθεί η διασύνδεση με το δίκτυο. Ανάλογα με τον έλεγχο που έχει ο μετατροπέας DC/AC, η έξοδος που λαμβάνουμε από τον μετατροπέα DC/DC είναι μια καθαρή συνεχή τάση, ή το ρεύμα εξόδου του DC/DC μετατροπέα είναι ρυθμισμένο να ακολουθεί μια ανορθωμένη ημιτονική κυματομορφή. Στη πρώτη περίπτωση ο αντιστροφέας ελέγχει το ρεύμα του δικτύου μέσω της μεθόδου παραγωγής παλμών PWM, στη δεύτερη περίπτωση ο αντιστροφέας αναβοσβήνει με τη συχνότητα του δικτύου «ξεδιπλώνοντας» το ανορθωμένο ρεύμα σε ένα ημίτονο πλήρους κύματος και ο DC/DC μετατροπέας αναλαμβάνει τον έλεγχο του ρεύματος. Η χρήση υψίσυχνου πηνίου ή μετασχηματιστή αντί του Μ/Σ σιδήρου, έχει ως άμεσο αποτέλεσμα τη μείωση του όγκου και του βάρους της διάταξης, διότι όσο υψηλότερη είναι η συχνότητα λειτουργίας τόσο μειώνεται το μέγεθος των παθητικών στοιχείων. Από τη άλλη υψηλή απόδοση μπορεί να επιτευχθεί μόνο αν μεταφέρεται σχετικά χαμηλή ισχύς διότι η ενέργεια που παράγεται από την φωτοβολταϊκή γεννήτρια μετασχηματίζεται δύο φορές (τόσο στο στάδιο ανύψωσης της τάσης, όσο και στο στάδιο του αντιστροφέα). Επίσης η ύπαρξη επιπλέον ημιαγωγικών στοιχείων αυξάνει τόσο τις διακοπτικές όσο και τις απώλειες αγωγής με άμεσο αποτέλεσμα τη περαιτέρω μείωση του βαθμού απόδοσης. Για μεγαλύτερη απόδοση προτείνεται η μέθοδος PWM όταν η μεταφερόμενη ισχύς είναι σχετικά μεγάλη. Ένα παράδειγμα μετατροπέα βλέπουμε στο σχήμα 1.13.5.



Σχ.1.13.4 Αντιστροφείας δύο βαθμίδων όπου ο DC-DC μετατροπέας αναλαμβάνει την ανίχνευση του σημείου μέγιστης ισχύος

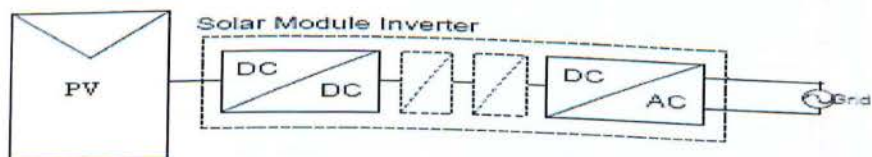


Σχ.1.13.5. Μπλοκ διάγραμμα μιας τοπολογίας με δύο βαθμίδες

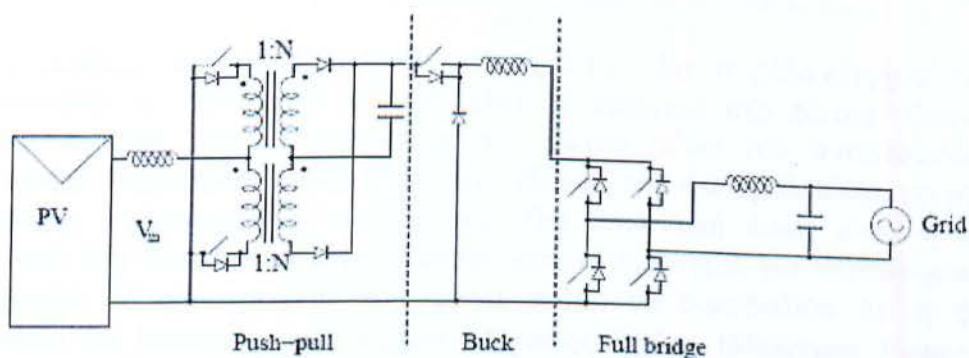
γ) Μετατροπείς πολλαπλών βαθμίδων (multi stages)

Στην τελευταία κατηγορία χρησιμοποιείται μεγάλο πλήθος εν σειρά συνδεδεμένων μετατροπέων συνεχούς τάσης σε συνεχή και ένας αντιστροφείας για την σύνδεση του Φ/Β συστήματος στο δίκτυο (σχήμα 1.13.6). Στη κατηγορία των πολλών σταδίων, κάθε βαθμίδα ελέγχεται ξεχωριστά και κάθε στάδιο είναι πιο αποδοτικό για το σκοπό που εξυπηρετεί έτσι οι μετατροπείς πολλαπλών βαθμίδων δίνουν λιγότερες διακοπτικές απώλειες, καλύτερο έλεγχο ανίχνευσης του MPP και αποτελεσματική εξάλειψη των αρμονικών του ρεύματος που εισάγονται στο δίκτυο. Ο κάθε DC/DC μετατροπέας πραγματοποιεί τον έλεγχο ανίχνευσης του σημείου μέγιστης αποδιδόμενης ισχύος (MPPT) και την ενίσχυση της τάσης, ενώ ο αντιστροφείας αναλαμβάνει τον έλεγχο του ρεύματος του δικτύου, στο οποίο έχουμε σαφή μείωση της ταλάντωσης που εμφανίζεται στην είσοδο του μετατροπέα. Η χρήση πολλών βαθμίδων μας προσφέρει τη βέλτιστη ανίχνευση του σημείου μέγιστης ισχύος αλλά από την άλλη υπάρχει μεγάλο κόστος κατασκευής εξαιτίας των παραπάνω στοιχείων και της αυξημένης πολυπλοκότητας στον έλεγχο, μικρός βαθμός απόδοσης λόγω των απωλειών στις ενδιάμεσες βαθμίδες και το όλο σύστημα έχει κακή απόκριση σε μεταβατικές καταστάσεις λόγω των ανεξάρτητων βρόχων ελέγχου του κάθε μετατροπέα. Στο σχήμα 1.13.7 βλέπουμε ένα παράδειγμα αυτής της κατηγορίας το Φ/Β πλαίσιο συνδέεται στο δίκτυο μέσω ενός DC/DC μετατροπέα με γαλβανική απομόνωση (push-pull) και ενός DC/DC μετατροπέα τύπου

buck, καθώς και ενός ενός DC/DC μετατροπέα τύπου buck, καθώς και ενός αντιστροφέα πλήρους γέφυρας.



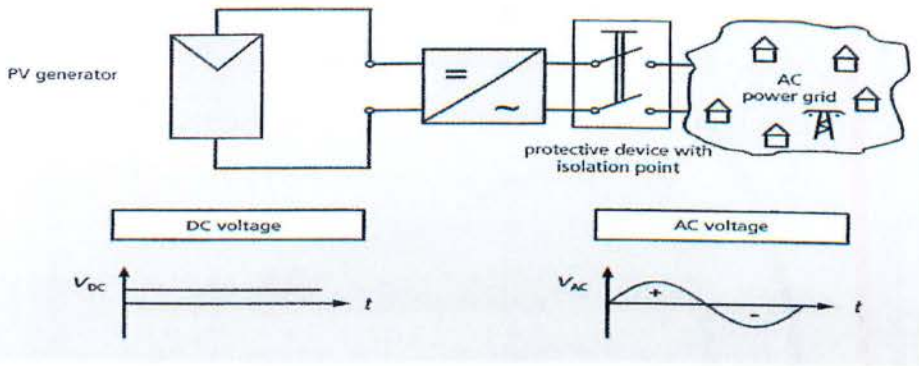
Σχ.1.13.6 Τοπολογία Φ/Β πλαισίου και μετατροπέα πολλαπλών βαθμίδων



Σχ.1.13.7 Τοπολογία Φ/Β πλαισίου και μετατροπέα τριών βαθμίδων

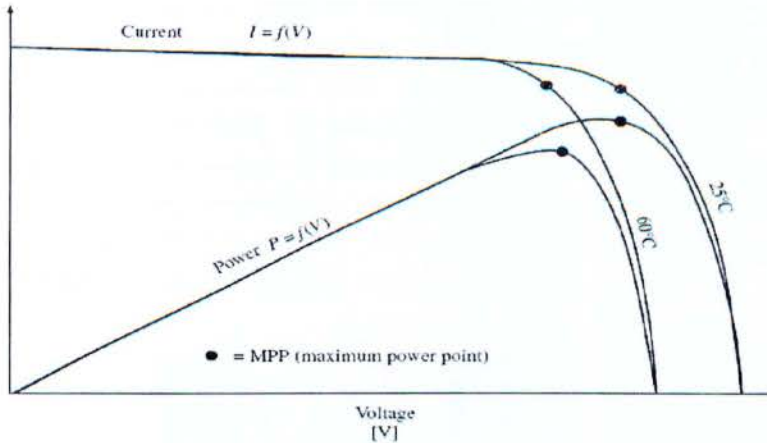
1.14 Αντιστροφείς συνδεδεμένοι στο δίκτυο

Οι αντιστροφείς που συνδέονται στο δίκτυο διαιρούνται σε δύο κατηγορίες: τους μονοφασικούς αντιστροφείς και τους τριφασικούς αντιστροφείς. Συστήματα ισχύος μέχρι 5kWp σχεδιάζονται γενικά σαν μονοφασικά συστήματα, ενώ συστήματα μεγαλύτερης ισχύος είναι τριφασικά. Οι περισσότεροι σύγχρονοι αντιστροφείς φωτοβολταϊκών συστημάτων που συνδέονται στο δίκτυο είναι αυτοοδηγούμενοι αντιστροφείς (self-commutated) και χρησιμοποιούν τη μέθοδο διαμόρφωσης εύρους παλμών (PWM) για να παραχθεί η εναλλασσόμενη τάση εξόδου. Οι αυτοοδηγούμενοι αντιστροφείς χρησιμοποιούν ημιαγωγικά στοιχεία (π.χ. MOSFET, IGBT) των οποίων η σβέση πραγματοποιείται από εσωτερικά κυκλώματα σε αντίθεση με τους αντιστροφείς που οδηγούνται από το δίκτυο (line-commutated) των οποίων η σβέση πραγματοποιείται από κάποια εξωτερική AC πηγή (δίκτυο).



Σχ.1.14.1 Αντιστροφέας συνδεδεμένος στο δίκτυο

Ο αντιστροφέας που συνδέεται στο δίκτυο (Σχ. 1.14.1) έχει το ρόλο ελέγχου του συστήματος και αποτελεί το μέσο που τροφοδοτείται η ενέργεια στο δίκτυο. Όσον αφορά την πραγματική ισχύ που τροφοδοτείται στο δίκτυο μέσω του αντιστροφέα μπορεί να υπολογιστεί πολλαπλασιάζοντας την ισχύ εξόδου της φωτοβολταϊκής γεννήτριας με τον συντελεστή απόδοσης του αντιστροφέα. Πιο σημαντική όμως είναι η ενέργεια που παράγεται στο σύστημα μετά από κάποιο χρονικό διάστημα, για παράδειγμα ενός χρόνου λειτουργίας. Ο αντιστροφέας θα πρέπει ακόμη να διασφαλίζει ότι η φωτοβολταϊκή γεννήτρια θα λειτουργεί στο **Σημείο Μέγιστης Ισχύος (Maximum Power Point MPP)** προσαρμόζοντας την αντίστοιχη τάση λειτουργίας όπως φαίνεται στο Σχ. 1.14.2. Γνωρίζουμε όμως ότι το σημείο αυτό δεν είναι σταθερό καθώς αλλάζει τόσο με την ηλιακή ακτινοβολία όσο και με τη θερμοκρασία. Από τη στιγμή λοιπόν που η τάση και το ρεύμα της φωτοβολταϊκής συστοιχίας μεταβάλλονται με τις καιρικές συνθήκες ο αντιστροφέας θα πρέπει να μετακινεί το σημείο λειτουργίας του έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η μέγιστη δυνατή απορρόφηση ισχύος από τη φωτοβολταϊκή συστοιχία. Αυτό επιτυγχάνεται με χρήση ενός ηλεκτρονικού κυκλώματος, του Ανιχνευτή του Σημείου Μέγιστης Ισχύος (MPPT). Ο Ανιχνευτής του Σημείου Μέγιστης Ισχύος δεν θα πρέπει να συγχέεται με τις μηχανικές διατάξεις παρακολούθησης της τροχιάς του Ήλιου. Τα δύο συστήματα μπορούν να λειτουργούν παράλληλα, αλλά η λειτουργία τους είναι εντελώς διαφορετική. Για την ανίχνευση του σημείου μέγιστης ισχύος έχουν αναπτυχθεί διάφοροι αλγόριθμοι οι οποίοι βασίζονται στη μέτρηση της ισχύος εξόδου της φωτοβολταϊκής γεννήτριας, που με τη βοήθεια ανατροφοδότησης και ενός μετατροπέα επιτυγχάνουν μετατόπιση της τάσεως λειτουργίας ώστε να συμπέσει με την τάση που αντιστοιχεί στο σημείο μέγιστης ισχύος.



Σχ. 1.14.2 Σημείο μέγιστης ισχύος(MPP) για διαφορετικές θερμοκρασίες

Οι αντιστροφείς που συνδέονται στο δίκτυο μπορούν να λειτουργούν σύμφωνα με διάφορες αρχές:

- Η έξοδος του αντιστροφέα λαμβάνεται σαν μια ρυθμιζόμενη πηγή ρεύματος. Η αλλαγή με το χρόνο της παρεχόμενης ηλεκτρικής ενέργειας ρυθμίζεται έτσι ώστε να αντιστοιχεί στις αλλαγές της προβλεπόμενης τάσης του δικτύου. Εάν η τάση του δικτύου αποκλίνει σημαντικά από την ημιτονοειδή κυματομορφή, αυτή θα ακολουθηθεί από τον αντιστροφέα και θα λειτουργήσει με βάση αυτή.

- Ανεξάρτητα από την κυματομορφή της τάσης του δικτύου, ο αντιστροφέας παρέχει εσωτερικώς ρυθμιζόμενο, ημιτονοειδώς διαμορφωμένο ρεύμα στο δίκτυο, το οποίο ρέει ταυτόχρονα με τη τάση του δικτύου.

- Ο αντιστροφέας επιχειρεί να βελτιώσει τη κυματομορφή της τάσης του δικτύου παρέχοντας ηλεκτρισμό με την κατάλληλη κυματομορφή. Αυτό επιτυγχάνεται καλύτερα όταν το διασυνδεδεμένο δίκτυο έχει χαμηλότερη ισχύ (μεγαλύτερη σύνθετη αντίσταση) από ότι εκείνα με μεγαλύτερη ισχύ.

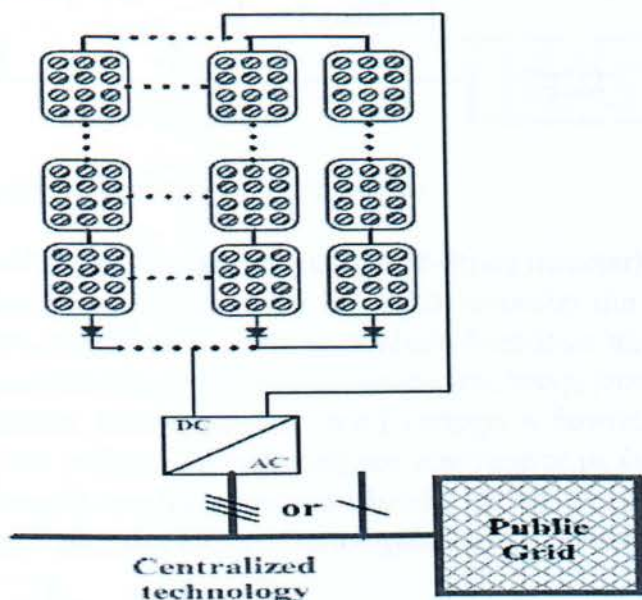
1.15 Τρόποι διασύνδεσης του αντιστροφέα με φωτοβολταϊκά πλαίσια

Υπάρχουν διάφορες τοπολογίες αντιστροφέων που χρησιμοποιούνται σε φωτοβολταϊκά συστήματα και συνδέονται στο δίκτυο. Τέσσερις απ'αυτές είναι:

α) Κεντρικοποιημένος αντιστροφέας (Centralized inverter)

Η συγκεκριμένη τεχνολογία (Σχ. α) χρησιμοποιεί ένα μεγάλο αριθμό φωτοβολταϊκών πλαισίων (PV modules) τα οποία συνδέονται μέσω του αντιστροφέα στο δίκτυο. Τα πλαίσια αυτά αρχικά συνδέονται σε σειρά σχηματίζοντας αλυσίδες (strings) και παράγουν μια υψηλή τάση έτσι ώστε να μην χρειάζεται κάποιο περαιτέρω στάδιο ανύψωσης της τάσης.

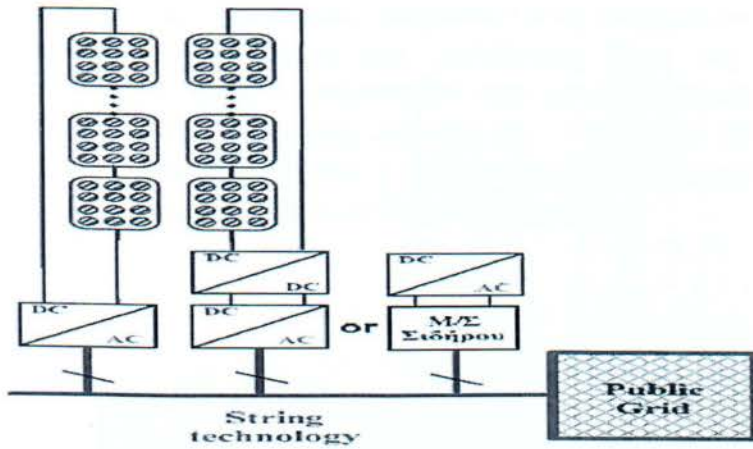
Στη συνέχεια οι αλυσίδες συνδέονται μεταξύ τους παράλληλα μέσω διόδων αντεπιστροφής προς επίτευξη υψηλών επιπέδων ισχύος. Οι centralized inverters συνοδεύονται από αρκετά μειονεκτήματα όπως υψηλή dc τάση των καλωδίων που συνδέουν το φωτοβολταϊκό σύστημα με το δίκτυο, μεγάλες απώλειες (λόγω διόδων αντεπιστροφής, κοινού MPPT αλλά και λόγω ανόμοιων φωτοβολταϊκών πλαισίων) και κακό σχεδιασμό που δεν ευνοεί τη μαζική παραγωγή. Στην περίπτωση δε που ο αντιστροφέας οδηγείται από το δίκτυο, αποτελείται δηλαδή από θυρίστορ, παρατηρείται αυξημένη ποσότητα αρμονικών που εγχέονται στο δίκτυο και άρα χαμηλή ποιότητα ισχύος.



Σχ. α Κεντροποιημένος αντιστροφέας(Centralized inverter)

β) Αντιστροφέας στοιχειοσειράς (String inverter)

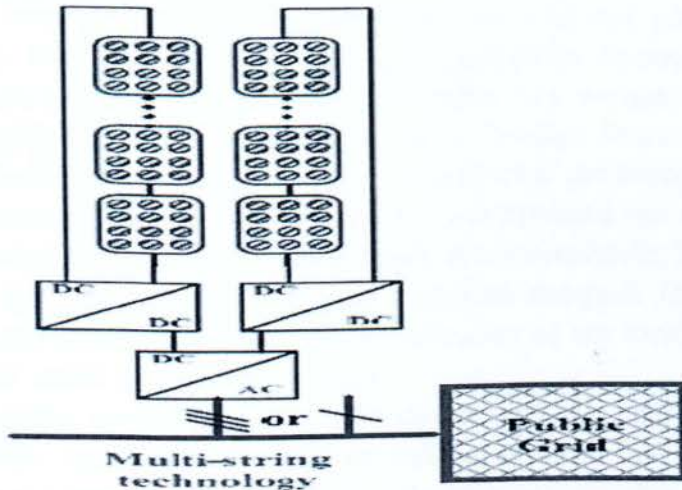
Ο αντιστροφέας στοιχειοσειράς (Σχ. β) περιλαμβάνει μόνο μία αλυσίδα φωτοβολταϊκών πλαισίων τα οποία συνδέονται με αυτόν. Η τάση των φωτοβολταϊκών πλαισίων μπορεί να είναι αρκετά υψηλή έτσι ώστε να αποφευχθεί στάδιο ανύψωσης της τάσης, το οποίο όμως σημαίνει αρκετά φωτοβολταϊκά πλαίσια σε σειρά (16 για τα ευρωπαϊκά συστήματα). Η συνολική τάση ανοιχτού κυκλώματος για 16 φωτοβολταϊκά πλαίσια μπορεί να φτάσει τα 720V, ενώ η τάση λειτουργίας 450V- 510V. Μείωση των φωτοβολταϊκών πλαισίων μπορεί να επιτευχθεί με τη χρησιμοποίηση ενός DC-DC μετατροπέα ή ενός μετασχηματιστή συνδεδεμένου στην ac πλευρά του αντιστροφέα για ανύψωση της τάσης. Στη συγκεκριμένη τοπολογία παρατηρούνται μικρότερες απώλειες σε σχέση με τους centralized inverters (απουσία διόδων και χρήση ξεχωριστού MPPT για κάθε string), μεγαλύτερη απόδοση και μειωμένο κόστος εξαιτίας της μαζικής παραγωγής.



Σχ. β. Αντιστροφέας στοιχειοσειράς (String inverter)

γ) Αντιστροφέας πολλαπλών στοιχειοσειρών (Multi-String inverter)

Ο αντιστροφέας πολλαπλών στοιχειοσειρών (Σχ. 3.5.3) αποτελεί μία περαιτέρω εξέλιξη του αντιστροφέα στοιχειοσειράς. Περιλαμβάνει τη σύνδεση διαφόρων αλυσίδων φωτοβολταϊκών πλαισίων με το δικό τους DC-DC μετατροπέα ανύψωσης της τάσης (boost converter) το καθένα με ένα κοινό αντιστροφέα. Στην περίπτωση αυτή υπάρχει η δυνατότητα ελέγχου της κάθε αλυσίδας ξεχωριστά, ενώ ενδεχόμενη επέκταση του συστήματος με ένα ορισμένο όριο ισχύος μπορεί να πραγματοποιηθεί προσθέτοντας μία αλυσίδα (string) με έναν DC-DC μετατροπέα. Η συγκεκριμένη τοπολογία αποτελεί έναν ευέλικτο σχεδιασμό με υψηλή απόδοση.

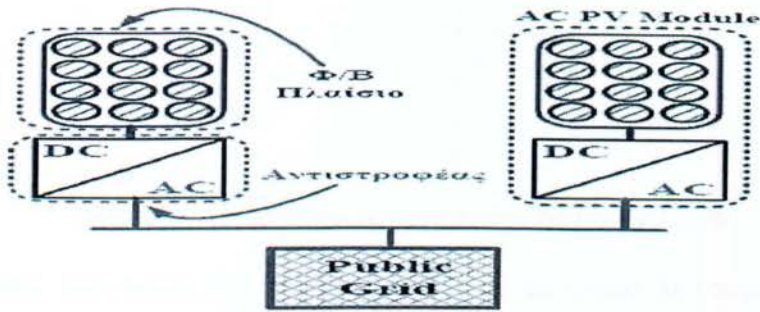


Σχ. γ Αντιστροφέας πολλαπλών στοιχειοσειρών (Multi-String inverter)

δ) AC – Module

Το ac module (Σχ. δ) είναι η «ολοκλήρωση» του αντιστροφέα και του φωτοβολταϊκού πλαισίου σε μία ηλεκτρική διάταξη. Με αυτήν την τοπολογία εξαλείφεται το πρόβλη...

σύνδεσης των ανόμοιων φωτοβολταϊκών πλαισίων καθώς υπάρχει μόνο ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο. Διευκολύνεται η επέκταση του συστήματος λόγω της δομής του, ενώ η εγκατάσταση του μπορεί να πραγματοποιηθεί από μη εξειδικευμένο προσωπικό. Όσον αφορά το κόστος μπορεί να υπάρχει αύξηση της τιμής της κιλοβατώρας λόγω της περίπλοκης τοπολογίας όμως ευνοείται η μαζική παραγωγή, το οποίο οδηγεί σε χαμηλό κατασκευαστικό κόστος και χαμηλές τιμές λιανικής πώλησης.



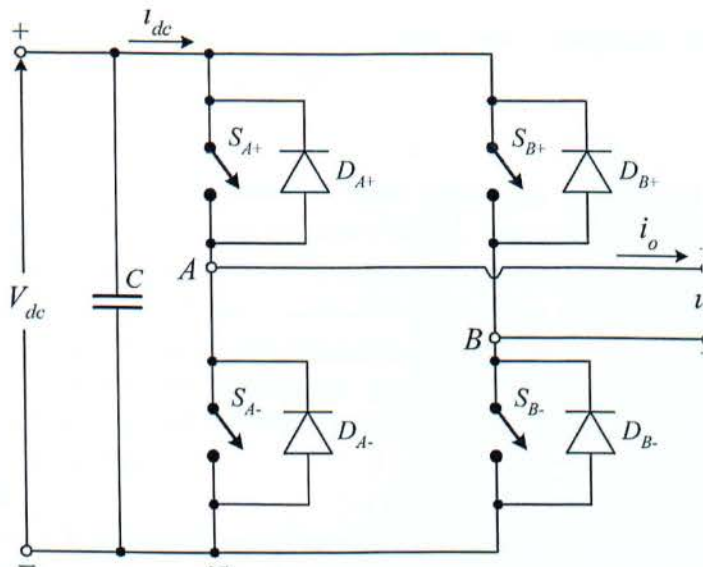
Σχ. 8. AC – Module

1.16 Μονοφασικός αντιστροφέας

Οι μονοφασικοί αντιστροφέες χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, ανάλογα με την τοπολογία τους σε *αντιστροφέες ημιγέφυρας* και *πλήρους γέφυρας*. Οι πρώτοι υστερούν σαφώς για αυτό και σε εφαρμογές φωτοβολταϊκών συστημάτων χρησιμοποιούνται οι αντιστροφέες πλήρους γέφυρας. Όταν η είσοδος των αντιστροφέων είναι μια πηγή τάσης, αυτοί ονομάζονται *αντιστροφέες πηγής τάσης* (Voltage Source Inverters VSI) ενώ όταν ως είσοδος λαμβάνεται μια πηγή έντασης ονομάζονται *αντιστροφέες πηγής έντασης* (Current Source Inverters 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 αντιστροφέες πηγής τάσης έχουν μια χωρητικότητα παράλληλα συνδεδεμένη με την πηγή, ενώ οι αντιστροφέες πηγής έντασης ένα πηνίο σε σειρά με την πηγή.

Οι αντιστροφέες πηγής τάσης τροφοδοτούνται από μία πηγή συνεχούς τάσης (η συνεχής τάση εισόδου των φωτοβολταϊκών στοιχείων) η οποία έχει ιδανικά μηδενική εσωτερική σύνθετη αντίσταση. Στο Σχ. 1.16.1 εικονίζεται ο μετατροπέας πλήρους γέφυρας με χρήση του οποίου υλοποιείται ο μονοφασικός αντιστροφέας.





Σχ.1.16.1. Μονοφασικός αντιστροφέας πηγής τάσης

Αποτελείται από δύο ζεύγη διακοπών και διόδων τα οποία λειτουργούν ως εξής (δύο σκέλη): Όταν S_{A+} , S_{B-} βρίσκονται σε αγωγή οι S_{A-} , S_{B+} βρίσκονται σε αποκοπή. Στην περίπτωση αυτή η τάση εξόδου είναι ίση με V_{dc} , ενώ το ρεύμα ρέει από το σημείο A στο B. Αντίστροφα, όταν S_{A-} , S_{B+} βρίσκονται σε αγωγή οι S_{A+} , S_{B-} βρίσκονται σε αποκοπή. Η τάση εξόδου τότε αλλάζει πολικότητα, δηλαδή γίνεται ίση με $-V_{dc}$ και το ρεύμα ρέει από το B στο A. Όσον αφορά τις διόδους στην περίπτωση ωμικού φορτίου δεν έχουν ενεργό ρόλο στο κύκλωμα (το ρεύμα εξόδου έχει παρόμοια μορφή με την τάση). Στην περίπτωση επαγωγικού φορτίου όμως έχουμε το εξής φαινόμενο:

Δεν είναι δυνατή η αντιστροφή του ρεύματος αμέσως μετά το κλείσιμο των διακοπών S_{A-} , S_{B+} και το άνοιγμα των S_{A+} , S_{B-} λόγω της καθυστέρησης που εισάγει το επαγωγικό φορτίο (όπως και κατά το άνοιγμα των S_{A-} , S_{B+}). Έτσι υπάρχει ένα χρονικό διάστημα που το ρεύμα ρέει μέσω των διόδων D_{A-} και D_{B+} όταν S_{A-} , S_{B+} κλειστοί και μέσω των διόδων D_{A+} και D_{B-} όταν S_{A+} , S_{B-} κλειστοί επιστρέφοντας ενέργεια στην πηγή τροφοδοσίας.

Στον αντιστροφέα πλήρους γέφυρας του σχήματος δεν πρέπει να είναι ταυτόχρονα κλειστοί οι διακόπτες του ίδιου σκέλους, γιατί τότε προκύπτει βραχυκύκλωμα στη DC πλευρά. Δηλαδή πρέπει να αποφευχθεί η κατάσταση στην οποία οι S_{A+} , S_{A-} είναι κλειστοί ταυτόχρονα και αντίστοιχα η κατάσταση στην οποία οι S_{B+} , S_{B-} είναι κλειστοί. Στη συνδεσμολογία του αντιστροφέα με πλήρη γέφυρα παρατηρούμε στα άκρα της dc εισόδου δύο ίδιους πυκνωτές σε σειρά. Οι πυκνωτές αυτοί πρέπει να έχουν αρκετά μεγάλη χωρητικότητα ώστε να εξασφαλίσουμε σταθερή τάση εισόδου:

$$i_c = C \frac{du_c}{dt} \rightarrow \frac{du_c}{dt} = \frac{i_c}{C} \rightarrow \infty \rightarrow \frac{du_c}{dt} = 0 \rightarrow u_c = \text{σταθερό}$$

Όσον αφορά την αξιοποίηση των διακοπών στους μετατροπείς με πλήρη γέφυρα ανεξάρτητα από το είδος ελέγχου και τη διάταξη μετάβασης που χρησιμοποιείται, οι

μέγιστες προδιαγραφές τάσης και ρεύματος των διακοπών που απαιτούνται σ' έναν αντιστροφέα με πλήρη γέφυρα είναι:

$$V_T = V_d$$

$$I_T = i_o \text{ peak}$$

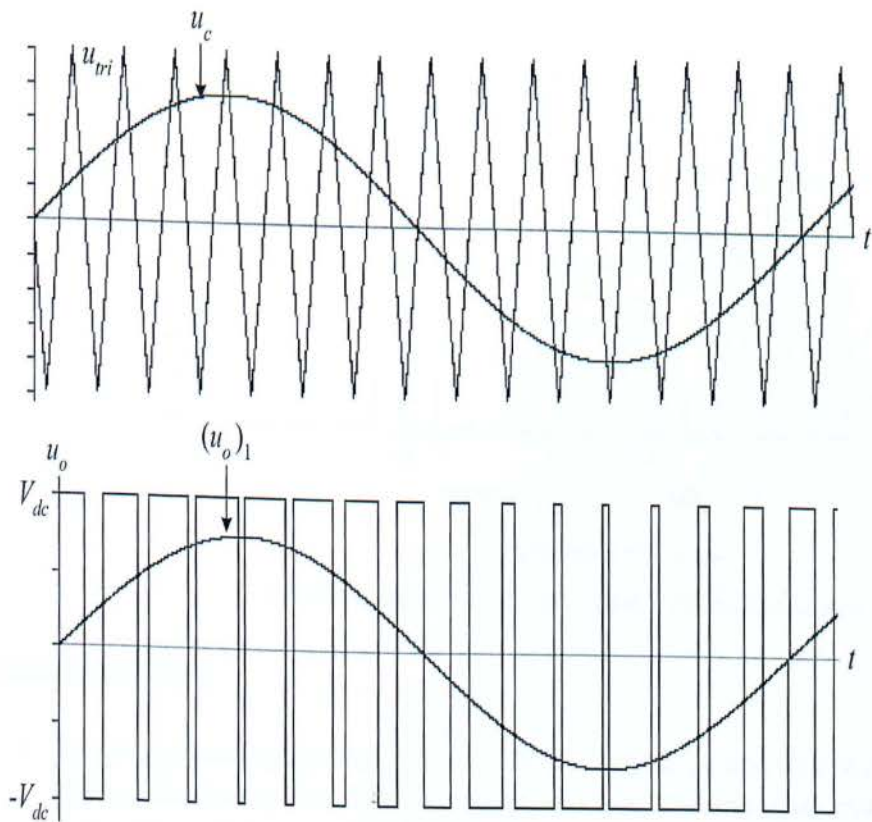
Αν στην έξοδο του αντιστροφέα υπάρχει μετασχηματιστής δεν δημιουργείται πρόβλημα στους διακόπτες από το ρεύμα μαγνήτισης του μετασχηματιστή καθώς αυτό βρίσκεται διέξοδο μέσω των διόδων του. Η διαμόρφωση εύρους παλμών (Pulse Width Modulation) είναι μία τεχνική ελέγχου των διακοπών και είναι η πλέον χρησιμοποιούμενη σε όλους τους τύπους διακοπτικών μετατροπέων. Σύμφωνα με την τεχνική αυτή η διακοπτική συχνότητα του διακόπτη παραμένει σταθερή, ενώ ελέγχονται τα χρονικά διαστήματα αγωγής και αποκοπής του διακόπτη και άρα ο κύκλος λειτουργίας του (duty cycle) ο οποίος ορίζεται από τη σχέση:

$$D = t_{on} / T_s$$

όπου T_s είναι η διακοπτική περίοδος και t_{on} ο χρόνος αγωγής του διακόπτη. Η διακοπτική περίοδος είναι ίση με το άθροισμα του χρόνου αγωγής (t_{on}) συν το χρόνο αποκοπής του διακόπτη (t_{off}):

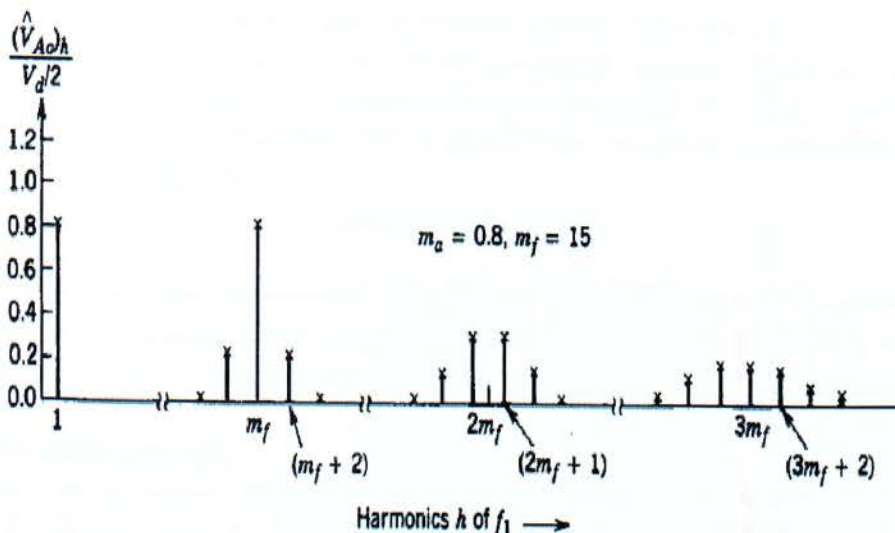
$$T_s = t_{on} + t_{off}$$

Η PWM των διακοπών του αντιστροφέα χρησιμοποιείται για τον έλεγχο του πλάτους και της συχνότητας των ac τάσεων και για την επίτευξη ημιτονοειδούς εξόδου του αντιστροφέα. Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι διαμόρφωσης PWM μεταξύ αυτών η ημιτονοειδής διαμόρφωση. Για την παραγωγή μιας ημιτονοειδούς τάσης εξόδου σε μια επιθυμητή συχνότητα, συγκρίνεται ένα ημιτονοειδές σήμα ελέγχου στην επιθυμητή συχνότητα (αφού στόχος είναι η έξοδος να πλησιάζει όσο το δυνατόν περισσότερο το ημίτονο) με μια τριγωνική κυματομορφή. Η ημιτονοειδής κυματομορφή ονομάζεται κυματομορφή αναφοράς, η συχνότητα της f_1 είναι η επιθυμητή θεμελιώδης συχνότητα της τάσης εξόδου του αντιστροφέα ή συχνότητα διαμόρφωσης (modulation frequency) και χρησιμοποιείται για τη διαμόρφωση της σχετικής διάρκειας αγωγής. Η τριγωνική κυματομορφή ονομάζεται κυματομορφή φορέα και η συχνότητα της f_s καθορίζει τη συχνότητα με την οποία αλλάζουν κατάσταση οι διακόπτες του αντιστροφέα και λέγεται συχνότητα μετάβασης (switching frequency). Στην περίπτωση της ημιτονοειδούς PWM με διπολική τάση εξόδου (sinusoidal PWM with bipolar voltage switching) συγκρίνοντας τις δύο κυματομορφές (την κυματομορφή αναφοράς και την τριγωνική κυματομορφή) έχουμε αποτέλεσμα V_d , όταν η τριγωνική είναι μεγαλύτερη της ημιτονοειδούς κυματομορφής και V_d στην αντίθετη περίπτωση όπως φαίνεται και από το Σχ.1.16.2. Από το Σχ. 1.16.2 παρατηρούμε ακόμη ότι η τάση εξόδου έχει παλμική μορφή. Επομένως δεν είναι τέλειο ημίτονο αλλά περιέχει αρμονικές της f_1 .



Σχήμα 1.16.2 Κυματομορφές στο μονοφασικό αντιστροφέα πηγής τάσης, με την ημιτονοειδή PWM τεχνική με διπολική τάση εξόδου ($k_f = 15$, $k_a = 0.75$).

Στο Σχ.1.16.3 έχουν σχεδιασθεί οι αρμονικές τάσεις, όπου $m_a = V_{control}/V_{tri}$ ($V_{control}$ είναι το πλάτος του σήματος ελέγχου και V_{tri} το πλάτος του τριγωνικού σήματος που διατηρείται γενικά σταθερό) ο συντελεστής διαμόρφωσης πλάτους και $m_f = f_s/f_1$ ο συντελεστής διαμόρφωσης συχνότητας .



Σχ.1.16.3 Αρμονικές τάσεις με διπολικό έλεγχο PWM

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:

- Σε μια ημιτονοειδή διαμόρφωση PWM το πλάτος της θεμελιώδους συνιστώσας της τάσης εξόδου μεταβάλλεται γραμμικά με τον m_a (με την προϋπόθεση ότι $m_a \leq 1$). Δηλαδή $V_{AO} = m_a \cdot V_d$.
- Στα περιττά πολλαπλάσια της συχνότητας του τριγώνου υπάρχει τόσο μια κεντρική αρμονική (στα σημεία $f(2k+1)m$, k ακέραιος) καθώς και ένα σύνολο αρμονικών δεξιά και αριστερά της. Στα άρτια πολλαπλάσια δεν υπάρχει κεντρική αρμονική.
- Θα πρέπει ο συντελεστής διαμόρφωσης να είναι περιττός ακέραιος. Έτσι υπάρχουν μόνο περιττές αρμονικές στην τάση εξόδου.

Όσον αφορά την επιλογή της συχνότητας μετάβασης και του συντελεστή διαμόρφωσης θα πρέπει να λάβουμε υπόψη ότι οι αρμονικές με υψηλή συχνότητα φιλτράρονται πιο εύκολα (υψηλή συχνότητα \rightarrow μικρότερο $L, C \rightarrow$ μικρότερο φίλτρο). Άρα θα πρέπει να επιλέξουμε μεγάλη συχνότητα μετάβασης το οποίο όμως σημαίνει και μεγαλύτερες απώλειες (η επιλογή της διακοπτικής συχνότητας λαμβάνοντας υπόψη τις δύο αντικρουόμενες απαιτήσεις επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από το είδος της PWM που θα χρησιμοποιηθεί). Στις περισσότερες περιπτώσεις η διακοπτική συχνότητα επιλέγεται μικρότερη από 6kHz ή μεγαλύτερη από 20kHz, ώστε να είναι πάνω από την ακουστική περιοχή συχνοτήτων.

Οι επιθυμητές σχέσεις μεταξύ του σήματος τριγωνικής κυματομορφής και του σήματος της τάσης έλεγχου καθορίζονται από το πόσο μεγάλος είναι ο m_f . Θεωρώντας την τιμή $m_f=21$ σαν το όριο μεταξύ μεγάλων και μικρών τιμών κάνουμε τις εξής παρατηρήσεις :

ΜΙΚΡΗ ΤΙΜΗ m_f :

- Συγχρονισμένη διαμόρφωση PWM. Η συγχρονισμένη διαμόρφωση (συγχρονισμένα σήματα ελέγχου και τριγωνικής κυματομορφής) απαιτεί ακέραια τιμή του συντελεστή διαμόρφωσης. Η ασύγχρονη διαμόρφωση (mf δεν είναι ακέραιος) έχει σαν αποτέλεσμα υποαρμονικές της θεμελιώδους συχνότητας, ανεπιθύμητο στις περισσότερες εφαρμογές.
- Ο συντελεστής mf πρέπει να είναι περιττός ακέραιος.

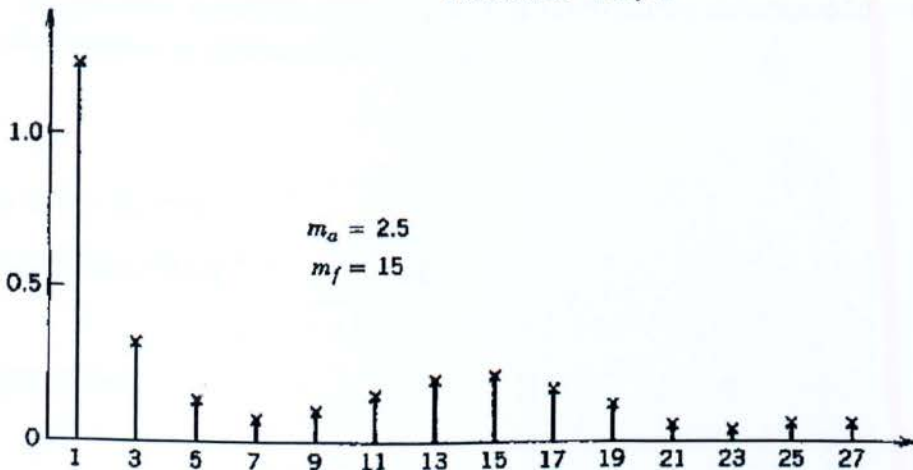
ΜΕΓΑΛΗ ΤΙΜΗ mf:

Στην περίπτωση μεγάλου συντελεστή διαμόρφωσης τα πλάτη των υποαρμονικών της ασύγχρονης διαμόρφωσης είναι μικρά. Ωστόσο σε ορισμένες εφαρμογές ακόμη και αυτά τα μικρά πλάτη δημιουργούν προβλήματα, όπως στην περίπτωση τροφοδότησης DC κινητήρα.

ΥΠΕΡΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ($m_a > 1$):

Σε όλες τις προηγούμενες περιπτώσεις έχουμε υποθέσει συντελεστή διαμόρφωσης πλάτους μικρότερο του 1 επιτυγχάνοντας γραμμική μεταβολή της θεμελιώδους συνιστώσας της τάσης εξόδου με τον m_a , ενώ οι αρμονικές οδηγούνται σε μια περιοχή υψηλών συχνοτήτων γύρω από τη συχνότητα μετάβασης και τις πολλαπλάσιες της. Το μειονέκτημα που έχει αυτή η περιοχή τιμών του m_a είναι το μικρό μέγιστο πλάτος της θεμελιώδους συνιστώσας. Για την αύξηση του πλάτους της θεμελιώδους συνιστώσας της τάσης εξόδου ο m_a γίνεται μεγαλύτερος από την τιμή 1 (υπερδιαμόρφωση). Στην περίπτωση αυτή παρατηρείται αύξηση των αρμονικών στις πλευρικές ζώνες και παύει να ισχύει η γραμμικότητα της τάσης εξόδου με τον m_a . Στην περιοχή αυτή ισχύει:

$$V_d < V_{01} < 4 * V_d / \pi$$



Σχ.3.6.4. Αρμονικές λόγω υπερδιαμόρφωσης

1.17 Τριφασικός αντιστροφέας πηγής τάσης ελεγχόμενος με την ημιτονοειδή PWM τεχνική.

Η κυκλωματική δομή του τριφασικού αντιστροφέα πηγής τάσης εικονίζεται στο Σχήμα 1.17.1. Ο αντιστροφέας αποτελείται από τρία σκέλη, ένα για κάθε φάση και έξι διακόπτες. Στον έλεγχο των διακοπών του αντιστροφέα με την ημιτονοειδή PWM

τεχνική, συγκρίνονται τρία ημιτονοειδή σήματα ελέγχου ίσου πλάτους και με διαφορά φάσης 120° , με μια τριγωνική περιοδική κυματομορφή. Οι διακόπτες του σκέλους A ελέγχονται από τη σύγκριση των σημάτων όπως φαίνεται από τις σχέσεις 1(α) και 1(β).

$$u_{cA} > u_{tri} S_{A+} - ON, S_{A-} - OFF \quad 1(\alpha)$$

$$u_{cA} < u_{tri} \quad S_{A+} - OFF, S_{A-} - ON \quad 1(\beta)$$

Αντίστοιχα, οι διακόπτες των σκελών B και C ελέγχονται από τη σύγκριση των σημάτων u_{cB} και u_{cC} με το u_{tri} . Οι κυματομορφές των τάσεων, σε διάφορα σημεία του αντιστροφέα, εικονίζονται στο Σχ. 1.17.2. Οι κυματομορφές των φασικών τάσεων στα άκρα του φορτίου, προκύπτουν από τις σχέσεις 1(γ), 1(δ) και 1(ε).

$$u_{An} = u_{AN} - u_{nN} \quad 1(\gamma)$$

$$u_{Bn} = u_{BN} - u_{nN} \quad 1(\delta)$$

$$u_{Cn} = u_{CN} - u_{nN} \quad 1(\epsilon)$$

Σε συμμετρικές συνθήκες λειτουργίας του συστήματος αντιστροφέα – φορτίου του Σχ. 1.17.3 ισχύουν οι σχέσεις 1(στ) και 1(ζ).

$$i_A + i_B + i_C = 0 \quad 1(\sigma)$$

$$u_{An} + u_{Bn} + u_{Cn} = 0 \quad 1(\zeta)$$

Επομένως,

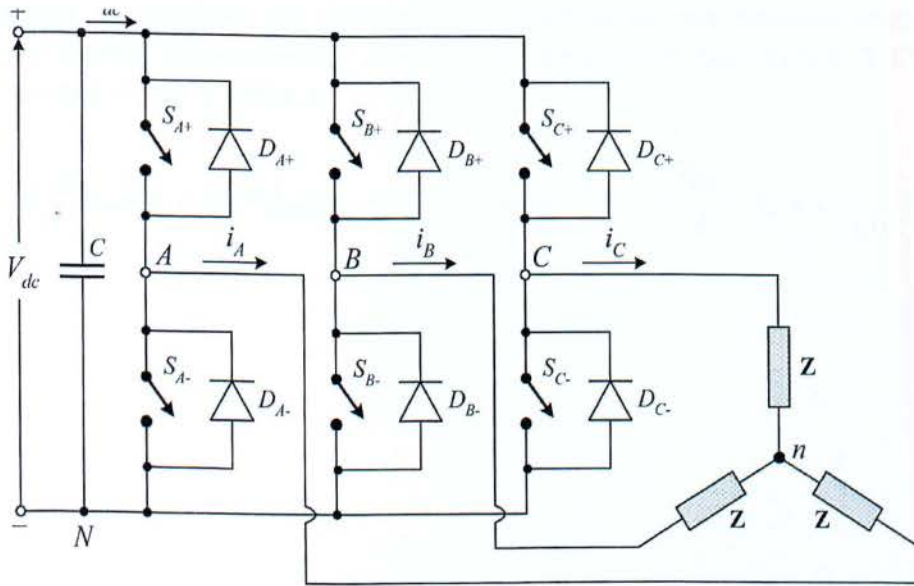
$$u_{nN} = \frac{u_{AN} + u_{BN} + u_{CN}}{3} \quad (2)$$

Αντικαθιστώντας την Εξ. (2) στις Εξ. 1(γ), 1(δ), 1(ε) προκύπτουν οι εκφράσεις των φασικών τάσεων φορτίου.

$$u_{An} = \frac{2}{3} \cdot u_{AN} - \frac{1}{3} \cdot (u_{BN} + u_{CN}) \quad 2(\alpha)$$

$$u_{Bn} = \frac{2}{3} \cdot u_{BN} - \frac{1}{3} \cdot (u_{AN} + u_{CN}) \quad 2(\beta)$$

$$u_{Cn} = \frac{2}{3} \cdot u_{CN} - \frac{1}{3} \cdot (u_{AN} + u_{BN}) \quad 2(\gamma)$$



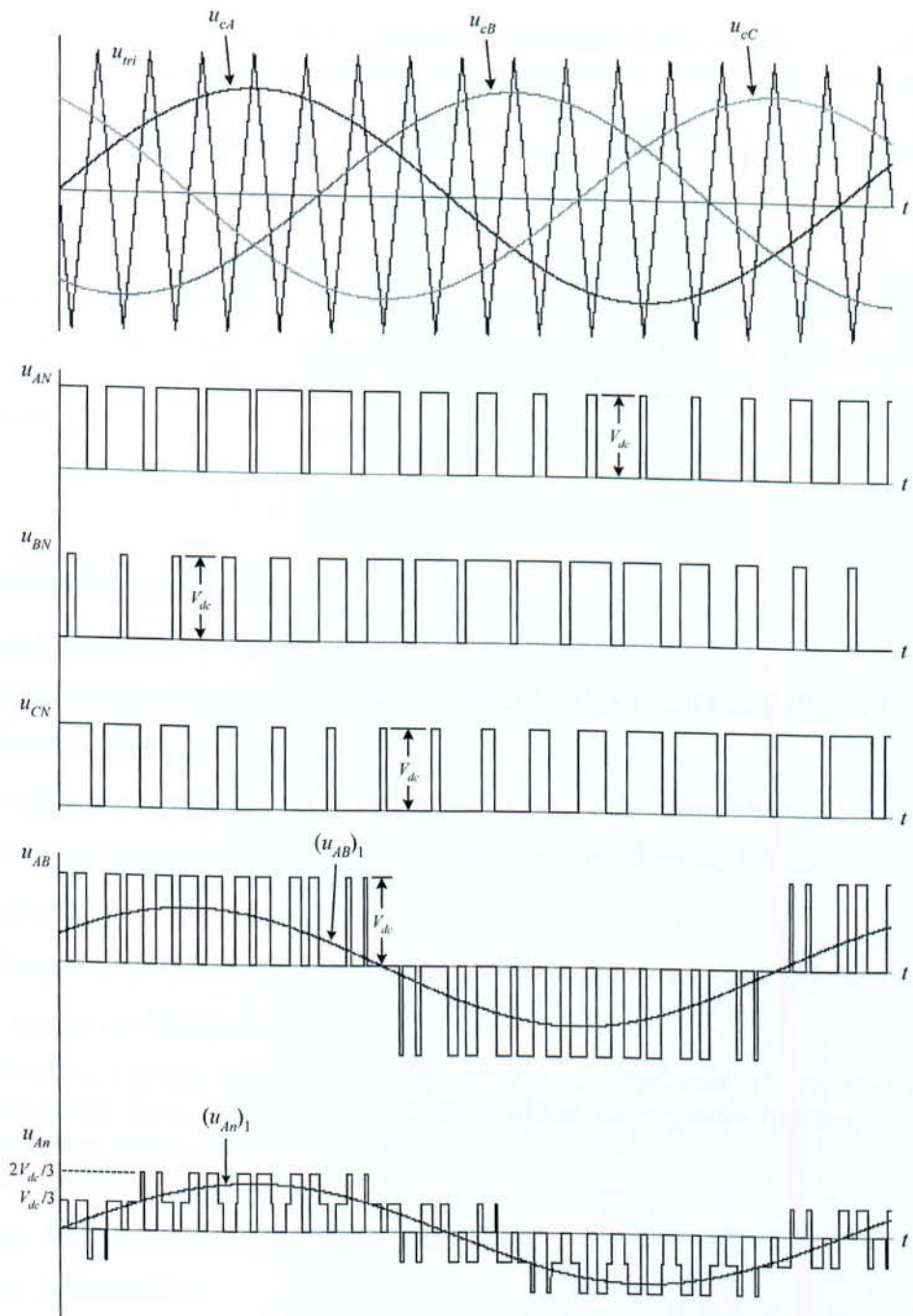
Σχήμα 1.17.1 Κυκλωματική δομή του τριφασικού αντιστροφέα πηγής τάσης

Στους τριφασικούς αντιστροφέις ο συντελεστής διαμόρφωσης-συχνότητας k_f εκλέγεται περιττός και πολλαπλάσιος του 3. Όταν ο k_f είναι περιττός, στις τάσεις u_{AN} , u_{BN} και u_{CN} δεν εμφανίζονται άρτιες αρμονικές, όπως έχουμε δει στους μονοφασικούς αντιστροφέις. Αν επιπλέον ο k_f είναι πολλαπλάσιος του 3, οι αρμονικές των παραπάνω τάσεων στη συχνότητα $k_f \cdot f_1$ και τα περιττά πολλαπλάσιά της, δεν εμφανίζονται στις πολικές τάσεις. Επομένως, το αρμονικό περιεχόμενο των πολικών τάσεων στους τριφασικούς αντιστροφέις είναι ελαττωμένο, σε σχέση με τους μονοφασικούς, λόγω της εξάλειψης κάποιων ισχυρών αρμονικών.

Ένα δεύτερο πλεονέκτημα των τριφασικών αντιστροφών, συγκριτικά με τους μονοφασικούς, αναφέρεται στη μορφή του ρεύματος εισόδου i_{dc} . Το ρεύμα εισόδου στους τριφασικούς αντιστροφείς αποτελείται από τη συνεχή συνιστώσα και τις αρμονικές συνιστώσες υψηλής συχνότητας, σύμφωνα με το k_f . Αντίθετα, στους μονοφασικούς αντιστροφείς το ρεύμα εισόδου περιλαμβάνει και μια αρμονική συνιστώσα με συχνότητα διπλάσια της θεμελιώδους τάσης εξόδου. Αυτή η συνιστώσα χαμηλής συχνότητας ($2*f_1$) είναι ανεπιθύμητη, καθώς προκαλεί διακυμάνσεις στην τάση εισόδου V_{dc} . Η διακύμανση της V_{dc} από τις αρμονικές υψηλής συχνότητας του i_{dc} είναι αμελητέα.

Όπως και στους μονοφασικούς αντιστροφείς, ο συντελεστής k_f πρέπει να διατηρείται σε ακέραια τιμή (περιττή και πολλαπλάσια του 3) με τη μεταβολή της συχνότητας του u_{tri} , σε μικρές τιμές του k_f και στην περιοχή υπερδιαμόρφωσης. Σε μεγάλες τιμές του k_f η συχνότητα του σήματος u_{tri} μπορεί να είναι σταθερή. Τότε, στις τάσεις εξόδου εμφανίζονται υποαρμονικές της θεμελιώδους συχνότητας και άρτιες αρμονικές με μικρά πλάτη. Η μεταβολή της θεμελιώδους συνιστώσας των πολικών τάσεων εξόδου, με το συντελεστή διαμόρφωσης πλάτους k_a , εικονίζεται στο σχήμα 1.17.2. Στη γραμμική περιοχή ισχύει η σχέση 3.

$$[(V')_{AN}]_1 = [(V')_{BN}]_1 = [(V')_{CN}]_1 = k_a * \frac{V_{dc}}{2} \cdot k_c \leq 1 \quad (3)$$



Σχήμα 1.17.2 Κυματομορφές στον τριφασικό αντιστροφέα πηγής τάσης με την ημιτονοειδή PWM τεχνική ($k_f = 15$, $k_a = 0.75$)

Οι τάσεις u_{AN} , u_{BN} , u_{CN} στα τρία σκέλη του αντιστροφέα, παρουσιάζουν διαφορά φάσης 120° . Επομένως, οι πολικές τάσεις στη θεμελιώδη συχνότητα υπογίζονται από τη σχέση 4.

$$\bar{i}(V'_{AB})_1 = (V'_{BC})_1 = \bar{i}(V'_{CA})_1 = \bar{i}(V'_{LL})_1 = \sqrt{3} * k_a * \frac{V_{dc}}{2} \quad (4)$$

Στην περιοχή υπερδιαμόρφωσης, όπου $V'_{CA,B,V} > V'_{tri}$ οι πολικές τάσεις δεν μεταβάλλονται γραμμικά με το συντελεστή k_a . Ακόμη, το φασματικό περιεχόμενο των τάσεων αλλάζει δραστικά σε σχέση με τη γραμμική περιοχή. Όταν το πλάτος των τάσεων ελέγχου γίνει πολύ μεγάλο, η τεχνική PWM εκφυλίζεται στην τετραγωνική κυματομορφή.

Βιβλιογραφία πρώτου μέρους

[1.1] <http://electrapk.com/diode-2/>

[1.2] http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CF%81%CF%87%CE%B5%CE%AF%CE%BF:Solar_energy_diagram_el.jpg

[1.3] Γκαρτζώνη Λαμπρινή, «Ανάλυση, Σχεδιασμός και διερεύνηση της λειτουργίας μονοφασικού φωτοβολταϊκού συστήματος συνδεδεμένου στο δίκτυο», Πανεπιστήμιο Πατρών, Φεβρουάριος 2010.

[1.4] Σωκράτης Ν.Καπλάνης, «Μηχανική των Φωτοβολταϊκών Συστημάτων-Τεχνολογία, Μελέτες, εφαρμογές».Εκδόσεις Ίων.

[1.5] Υπουργείο Εθνικής Παιδείας και Θρησκευμάτων, παραδοτέα 3^ο πακέτου εργασίας, Διερεύνηση κατάλληλης συνδεσμολογίας Φ/Β μονάδων και τεχνικών σχεδιασμού DC/DC προσαρμογέα για βέλτιστη προσαρμογή του Φ/Β συστήματος σε διάφορα φορτία, 2008.

[1.6] http://www.selasenergy.gr/fv_systems.php

[1.7] <http://drivetech.gr>

[1.8] <http://www.cres.gr/services/istos.chtm?prnbr=24761&locale=el>

[1.9] <http://www.exelgroup.gr/E0349BDA.el.aspx>

[1.10] "Power Electronics" by Ned Mohan

[1.11] <http://www.enor.gr>

ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ

ΕΡΕΥΝΑ ΑΓΟΡΑΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΠΑΝΕΛ

Στην έρευνα αγοράς σχετικά με τα φωτοβολταϊκά πάνελ που θα χρησιμοποιήσω διάλεξα τα πολυκρυσταλλικά της εταιρείας 10 kW Luxor LX 230 P 10 kw, διότι η τιμή τους πλησίαζε αρκετά με την τιμή που βρήκα σε εταιρείες με παρόμοια πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά πάνελ 10 kw και τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους καθώς και οι εγγυήσεις που προσφέρει η εταιρεία ικανοποιούν πλήρως τις απαιτήσεις μας.

Ας δούμε πως περίπου μπορούμε να επιλέξουμε τα φωτοβολταϊκά πάνελ που μπορεί να χρησιμοποιήσουμε αναλόγως την μελέτη κατασκευής που μπορεί να έχουμε:

Ποιος είναι ο καλύτερος τύπος φωτοβολταϊκών πάνελ;

Είναι σαφές ότι κανείς δεν μπορεί να δώσει μια εύκολη ή μονολεκτική απάντηση σε αυτό το ερώτημα, γιατί υπάρχουν αρκετοί και διαφορετικοί παράγοντες που επηρεάζουν την κάθε φωτοβολταϊκή εγκατάσταση, άλλοι λιγότερο και άλλοι περισσότερο (π.χ. ύψος ηλιοφάνειας, χωροταξικές ιδιαιτερότητες, μετεωρολογικές συνθήκες, κόστος, προσανατολισμός, σκιάσεις κλπ). Στη συνέχεια, θα κάνουμε μια προσπάθεια να περιγράψουμε συνοπτικά τα βασικά χαρακτηριστικά του κάθε τύπου ούτως ώστε να γίνουν όσο το δυνατόν πιο σαφείς οι διαφορές τους.

Πως κατασκευάζονται τα φωτοβολταϊκά πάνελ;

Το υλικό που χρησιμοποιείται περισσότερο για την κατασκευή φωτοβολταϊκών στοιχείων στη βιομηχανία είναι το πυρίτιο αφού έχει αναπτυχθεί τόσο η τεχνολογία του λόγω της ανάπτυξης των ηλεκτρονικών. Είναι ίσως και το μοναδικό υλικό που παράγεται με τόσο μαζικό τρόπο. Το πυρίτιο σήμερα, αποτελεί την πρώτη ύλη για το 90% της αγοράς των φωτοβολταϊκών.

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα του πυριτίου είναι:

-Μπορεί να βρεθεί πάρα πολύ εύκολα στη φύση. Είναι το δεύτερο σε αφθονία υλικό που υπάρχει στον πλανήτη μετά το οξυγόνο.

-Μπορεί εύκολα να λιώσει και να μορφοποιηθεί.

-Οι ηλεκτρικές του ιδιότητες μπορούν να διατηρηθούν μέχρι και στους 125°C κάτι που επιτρέπει τη χρήση του πυριτίου σε ιδιαίτερα δύσκολες περιβαλλοντικές συνθήκες. Αυτός είναι και ο λόγος που τα φωτοβολταϊκά στοιχεία πυριτίου αντεπεξέρχονται σε ένα ιδιαίτερα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών.

Το πυρίτιο, ανάλογα με την επεξεργασία του, δίνει μονοκρυσταλλικά, πολυκρυσταλλικά ή άμορφα υλικά, από τα οποία παράγονται τα φωτοβολταϊκά στοιχεία (κυψέλες).

Τα φωτοβολταϊκά πάνελ συνήθως αποτελούνται από:

-Ένα ηλιακό γυαλί με προ-τοποθετημένη την ειδικά επεξεργασμένη μεμβράνη προστασίας (EVA). Πρόκειται ουσιαστικά για ένα σκληρυμένο, προεντεταμένο ηλιακό γυαλί.

-Ηλιακές φωτοβολταϊκές κυψέλες ενωμένες σε στοιχειοσειρές.

-Μία υαλώδη μεμβράνη ειδικής επεξεργασίας (EVA) καθώς και μια μονωτική μεμβράνη στην πίσω πλευρά. Και τα τρία παραπάνω στρώματα δημιουργούν ένα ανθεκτικό ελασματοποιημένο φύλλο, πολύ ανθεκτικό στις καιρικές συνθήκες, το οποίο τοποθετείται σε ένα σταθεροποιητικό πλαίσιο αλουμινίου και μια υποδοχή σύνδεσης.

Βαθμός απόδοσης:

Η αναφερόμενη «απόδοση» για κάθε τύπο πάνελ είναι ουσιαστικά το ποσοστό της ηλιακής ενέργειας που μετατρέπει σε ηλεκτρική ενέργεια. Ο βαθμός απόδοσης (efficiency) κυμαίνεται σήμερα από 6%-19%.

Κατηγορίες φωτοβολταϊκών πάνελ:

Μονοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά πάνελ: Κατασκευάζονται από κυψέλες που έχουν κοπεί από ένα μόνο μεγάλο κυλινδρικό κρύσταλλο πυριτίου. Η κατασκευή τους είναι πιο πολύπλοκη, με αποτέλεσμα το υψηλότερο κόστος παραγωγής .

Χαρακτηριστικά:

- Είναι ο πρώτος τύπος φωτοβολταϊκών πάνελ που μπήκε σε μαζική παραγωγή.
- Έχουν καλύτερη σχέση απόδοσης/ επιφάνειας από τους άλλους τύπους πάνελ.
- Η ενεργειακή απόδοσή τους κυμαίνεται από 11% - 19%
- Έχουν υψηλότερο κόστος παραγωγής σε σχέση με τα πολυκρυσταλλικά πάνελ.
- Έχουν μεγαλύτερο πάχος υλικού.
- Έχουν σκούρο μπλε ή μαύρο χρώμα.

Πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά πάνελ: Κατασκευάζονται από κυψέλες που έχουν κοπεί σε λεπτά τμήματα, από ράβδους λιωμένου και επανακρυσταλλοποιημένου πυριτίου (το λειωμένο πυρίτιο χύνεται σε καλούπι και στη συνέχεια τεμαχίζεται σε κυψέλες).

Χαρακτηριστικά:

- Η μέθοδος παραγωγής τους είναι φθηνότερη από αυτήν των μονοκρυσταλλικών, για αυτό και η τιμή τους είναι συνήθως λίγο χαμηλότερη.
- Η ενεργειακή απόδοσή τους που κυμαίνεται από 11% - 16% είναι σχετικά μικρότερη από αυτή των μονοκρυσταλλικών, αλλά από τη στιγμή που οι κυψέλες τοποθετούνται μέσα σε ένα πάνελ με άλλες 60, η πραγματική διαφορά σε watt ανά τετραγωνικό μέτρο είναι αμελητέα. Σήμερα, με την ταχύτητα ανάπτυξης της τεχνολογίας, η απόδοσή τους τείνει να αγγίξει την απόδοση των μονοκρυσταλλικών.
- Είναι τα πλέον διαδεδομένα πάνελ παγκοσμίως.
- Έχουν την καλύτερη σχέση κόστους-απόδοσης.
- Έχουν γαλάζιο χρώμα.

Πάνελ λεπτού υμενίου (thin film): Πρόκειται για μια ευρύτερη κατηγορία, που περιλαμβάνει τα λεγόμενα πάνελ «τρίτης γενιάς» που προέρχονται από πολλές διαφορετικές μεθόδους παραγωγής και επεξεργασίας (π.χ. άμορφου πυριτίου (a-Si), Δισεληνοϊνδιούχου χαλκού (CuInSe₂ ή CIS), Τελουριούχου Καδμίου (CdTe), Αρσενικούχου Γαλλίου (GaAs) κλπ). Τα πάνελ άμορφου πυριτίου που είναι και τα πλέον διαδεδομένα αυτής της κατηγορίας, αποτελούνται από ταινίες λεπτών επιστρώσεων οι οποίες παράγονται με την εναπόθεση ημιαγωγού υλικού (πυρίτιο στην περίπτωση μας) πάνω σε υπόστρωμα υποστήριξης, χαμηλού κόστους όπως από γυαλί ή

αλουμίνιο. Ο χαρακτηρισμός άμορφο φωτοβολταϊκό προέρχεται από τον τυχαίο τρόπο με τον οποίο είναι διατεταγμένα τα άτομα του πυριτίου.

Χαρακτηριστικά:

- Έχουν, ονομαστικά, χαμηλότερες αποδόσεις σε σχέση με τις άλλες κατηγορίες (6% έως 11%).
- Λόγω της μικρότερης ποσότητας πυριτίου που χρησιμοποιείται κατά την παραγωγή τους, η τιμή τους είναι αισθητά χαμηλότερη.
- Αποδίδουν καλύτερα στις υψηλές θερμοκρασίες.
- Τα πάνελ λεπτού υμενίου έχουν καλύτερες αποδόσεις σε σχέση με τα κρυσταλλικά φωτοβολταϊκά, όταν υπάρχει διάχυτη ακτινοβολία (συννεφιά).
- Έχουν χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα κάτι που σημαίνει ότι για να παράγουμε την ίδια ενέργεια χρειαζόμαστε σχεδόν διπλάσια επιφάνεια σε σχέση με τα κρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία.
- Δεν υπάρχουν στοιχεία από παλιές εγκαταστάσεις, σχετικά με τις αποδόσεις και τη διάρκειά τους, αφού η τεχνολογία τους είναι σχετικά καινούρια.
- Αποτελούν καλή λύση όταν υπάρχουν: μεγάλος διαθέσιμος χώρος, σκιάσεις, δυσμενής προσανατολισμός.

Υβριδικά πάνελ: Είναι τα πάνελ που συνδυάζουν περισσότερες από μία από τις γνωστές τεχνολογίες (π.χ. συνδυασμός άμορφου και μονοκρυσταλλικού πυριτίου) Στην αγορά, τα πιο διαδομένα πάνελ αυτής της κατηγορίας είναι κατασκευασμένα από δύο στρώσεις άμορφου πυριτίου γύρω από μια στρώση μονοκρυσταλλικού πυριτίου.

Χαρακτηριστικά:

- Έχουν μεγάλο βαθμό απόδοσης που μπορεί να φτάσει και το 19%.
- Έχουν πολύ καλή συμπεριφορά στην επίδραση της θερμοκρασίας και αξιόλογη απόδοση στον διάχυτο φωτισμό.
- Έχουν αρκετά μεγαλύτερο κόστος κατασκευής.
- Δεν υπάρχουν στοιχεία από παλιές εγκαταστάσεις, σχετικά με τις αποδόσεις και τη διάρκειά τους, αφού η τεχνολογία τους είναι σχετικά καινούργια.

Σύγκριση απόδοσης – κόστους:

Τα αποτελέσματα, από τρεις εγκαταστάσεις, με πανομοιότυπες προδιαγραφές (τόπος εγκατάστασης, προσανατολισμός, απόδοση ισχύος), αλλά με τρεις διαφορετικούς τύπους πάνελ (μονοκρυσταλλικά, πολυκρυσταλλικά και thin film) αναδεικνύουν, στην πράξη τις ονομαστικές διαφορές των χαρακτηριστικών τους, όπως τα περιγράψαμε παραπάνω. Για παράδειγμα, η ετήσια απόδοση σε kWh και για τους τρεις τύπους δεν παρουσιάζει καθοριστικές διαφορές. Η ουσιαστική διαφοροποίηση βρίσκεται μόνο στα απαιτούμενα τετραγωνικά μέτρα για την τοποθέτηση των πάνελς, και μόνο για μία από τις τρεις κατηγορίες. Οι δε διαφορές στο κόστος μιας τέτοιας εγκατάστασης, είναι επίσης πολύ μικρές, όπως φαίνεται παρακάτω.

Κόστος εγκατάστασης για σύστημα ισχύος 9,90 kWp

α) Πολυκρυσταλλικά = 30.000 € - 37.000 €

β) Μονοκρυσταλλικά = 30.000 € - 37.000 €

γ) Thin film = 20.000 € - 30.000 €

Στον πίνακα 1 που ακολουθεί, αναλύονται όλα τα χαρακτηριστικά της προσομοίωσης εγκατάστασης.

Συγκριτικός πίνακας απόδοσης (kWh) (Πίνακας 1) Εγκατάσταση 9,90 kWp σε ταράτσα, στην Γλυφάδα, νότιος προσανατολισμός, 30° κλίση			
Απαιτούμενη κάλυψη σε m ²	146	146	229
Ετήσιες αποδόσεις σε kWh	Πολυ- κρυσταλλικά	Μονο- κρυσταλλικά	Thin Film
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	842	842	833
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	877	875	891
ΜΑΡΤΙΟΣ	1.305	1.296	1.347
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	1.423	1.408	1.492
ΜΑΙΟΣ	1.539	1.520	1.627
ΙΟΥΝΙΟΣ	1.559	1.532	1.658
ΙΟΥΛΙΟΣ	1.609	1.578	1.715
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	1.604	1.572	1.702
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	1.371	1.352	1.438
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	1.234	1.223	1.268
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	843	842	844
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	713	713	703
Σύνολο	14.921	14.753	15.518

Συμπεράσματα:

Διαβάζοντας ξανά και ξανά τα ονομαστικά τεχνικά χαρακτηριστικά της κάθε κατηγορίας, σε συνδυασμό και με τα κοστολογικά χαρακτηριστικά τους, δεν προκύπτει ένα μοναδικό στοιχείο που να στρέφει την επιλογή μας σε κάποια συγκεκριμένη κατηγορία. Οι αποδόσεις είναι λίγο ως πολύ ίδιες και τα κόστη επίσης. Άρα, η επιλογή φωτοβολταϊκών πάνελ έχει να κάνει κατά κύριο λόγο με τις ιδιαιτερότητες της κάθε μιας εγκατάστασης ξεχωριστά και, όταν λέμε ιδιαιτερότητες, εννοούμε τον τόπο εγκατάστασης, το διαθέσιμο χώρο, τον προσανατολισμό και την κλίση της και ίσως και με την προσωπική χρωματική επιλογή (μαύρου ή μπλε χρώματος). Στην απόφαση επιλογής φωτοβολταϊκού συστήματος θα βοηθήσει καθοριστικά η εγκαταστάτρια εταιρεία που επιλέξαμε, γιατί θα πρέπει να αναλύσει και να συμπεριλάβει στην μελέτη της, όλα τα χαρακτηριστικά και τις ιδιαιτερότητες της εγκατάστασης, έτσι ώστε να πετύχει το βέλτιστο αποτέλεσμα για την επένδυσή σας.

Με βάση αυτά ας δούμε τις τρεις εταιρείες από τις οποίες επέλεξα ποια θα χρησιμοποιήσω:

Εταιρεία 1:

10kw ReneSola 245watt

Τιμή: 6 730.15 € + (23% ΦΠΑ) = **8,278.0845€**

Επιλέγοντας 10 αυτής της εταιρείας η συνολική τιμή με Φ.Π.Α. θα είναι: **82,780.845 €**

10 kw -41 τεμαχια Πολυκρυσταλλικά πλαίσια του οίκου ReneSola, κινεζικής προέλευσης, ισχύος 240watt.(0.67 €/watt).

Η ReneSola είναι κρατική εταιρεία της Κίνας και μία από τις μεγαλύτερες πλήρως καθετοποιημένες παραγωγικές μονάδες. Κατέχει ηγετική θέση παγκοσμίως στην παραγωγή wafer και έχει εξελιχθεί έναν από τους μεγαλύτερους παραγωγούς πρώτης ύλης (πυριτίου) με ετήσια παραγωγή 3.000 ΜΤ. Η εταιρεία ιδρύθηκε το 2005 και παρέχει ολόκληρη τη σειρά των φωτοβολταϊκών προϊόντων από την

πρώτη ύλη - πυρίτιο μέχρι την κατασκευή φωτοβολταϊκών πλαισίων. Κατέχει ηγετική θέση στην παραγωγή ingot και wafer παγκοσμίως με ετήσια δυναμικότητα 1,2 GW, ενώ η δυναμικότητα φωτοβολταϊκών πλαισίων ανέρχεται σε 600 MW.

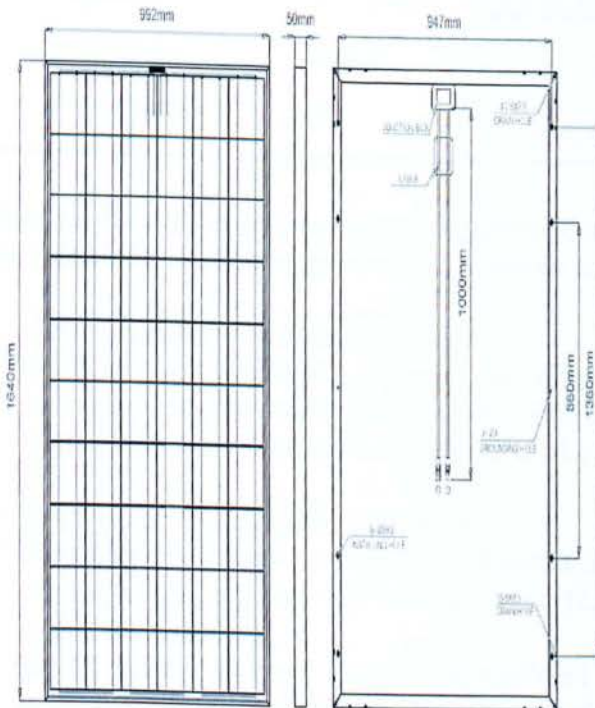
Για τα φωτοβολταϊκά πάνελ ReneSola παρέχεται η εγγύηση του κατασκευαστή τους, διάρκειας πέντε ετών για την κατασκευαστική τους δομή και είκοσι πέντε ετών για την απόδοσή τους (έως το 90% για τα πρώτα 12 χρόνια και έως το 80% μέχρι τα 25 χρόνια).

10kw ReneSola 240watt (1,19 MB)

Διαστάσεις Προϊόντος

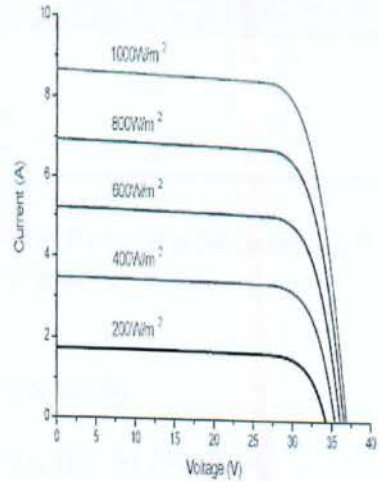
Μήκος	1,640.00 mm
Πλάτος	992.00 mm
Ύψος	50.00 mm
Βάρος	20.00 kg

Dimension



Drawing Only for Reference

I-V Curves



Efficiency at Varied Irradiation

Irradiance	200W/m ²	400W/m ²	600W/m ²	800W/m ²	1000W/m ²
Efficiency	14.4%	14.8%	14.9%	14.9%	14.8%

Electrical Characteristics

	JC220M-24/Bb	JC225M-24/Bb	JC230M-24/Bb	JC235M-24/Bb	JC240M-24/Bb
Maximum Power (Pmax)	220 W	225 W	230 W	235 W	240 W
Power Tolerance	±3%	±3%	±3%	±3%	±3%
Module Efficiency	13.53%	13.85%	14.17%	14.46%	14.77%
Maximum Power Current (Imp)	7.69 A	7.83 A	7.88 A	7.95 A	8.09 A
Maximum Power Voltage (Vmp)	28.6 V	28.8 V	29.2 V	29.6 V	29.7 V
Short Circuit Current (Isc)	8.17 A	8.34 A	8.42 A	8.43 A	8.67 A
Open Circuit Voltage (Voc)	36.4 V	36.6 V	36.7 V	36.7 V	36.9 V

Temperature Coefficient

Temperature Coefficient of Voc	-0.3002%/°C
Temperature Coefficient of Isc	0.0414%/°C
Temperature Coefficient of Pmax	-0.4002%/°C
Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	45°C±2°C

Mechanical Characteristics

Cell Type	156 x 156 mm Polycrystalline, 60 (6 x 10) pcs in series
Glass	High Transmission, Low Iron, Tempered Glass
Frame	Anodized Aluminum Alloy
Junction Box	IP65 rated, with bypass diodes
Dimension	*1640 x 992 x 50 mm
Cable Length	1000 mm
Weight	20 Kg
Installation Hole Location	See Drawing Above

Maximum Ratings

Operating Temperature	-40 °C to +85 °C
Maximum System Voltage	1000 V DC
Maximum Series Fuse Rating	20 A

Packing Information

Container	20'GP	40'GP	40'HQ
Pieces per Pallet	20	20	22
Pallets per Container	12	28	28
Pieces per Container	240	560	616

Από τα Datasheet (τεχνικά χαρακτηριστικά) του 10kw ReneSola 240watt (1,19 MB) βλέπουμε ότι επιλέγοντας αυτή την εταιρεία μας παρέχει:

- ✓ Υψηλή απόδοση μετατροπής μονάδας
- ✓ Εύκολη εγκατάσταση και χειρισμό για διάφορες εφαρμογές
- ✓ Αντέχουν μηχανικό φορτίο μέχρι και 5400 Pa
- ✓ Είναι σύμφωνα με τα πρότυπα PV: IEC 61215:2005, IEC 61730:2004,
- ✓ UL 1703
- ✓ ISO9001, OHSAS18001, ISO14001
- ✓ Εγγύηση του κατασκευαστή τους, διάρκειας πέντε ετών για την κατασκευαστική τους δομή είκοσι πέντε ετών για την απόδοσή τους (έως το 90% για τα πρώτα 12 χρόνια και έως το μέχρι τα 25 χρόνια).

Επίσης βλέπουμε πως η ενεργειακή απόδοση (efficiency) σε ποικίλες ακτινοβολίες (varied irradiation) δεν μεταβάλλεται σημαντικά πράγμα πολύ θετικό για την καλή απόδοση του φωτοβολταϊκού πάνελ.

Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά	JC240M-24/Bb
Μέγιστη ισχύς (Pmax)	240W
Ανοχή Ισχύος	+ - 3 %
Απόδοση Μονάδας	14.77%
Μέγιστο Ρεύμα (Imp)	8.09A
Μέγιστη Τάση (Vmp)	29.7V
Ρεύμα βραχυκυκλώσης (Isc)	8.67 A
Τάση Ανοιχτού κυκλώματος (Voc)	36.9 V

Τιμές σε κανονικές συνθήκες δοκιμής STC (Μάζα αέρος AM 1.5, Ηλιακή ακτινοβολία 1000W/m2, θερμοκρασία πλαισίου 250C).

Συντελεστής θερμοκρασίας	
Συντελεστής θερμοκρασίας του Voc	-0.3002%/oC
Συντελεστής θερμοκρασίας του Isc	0.0414%/oC
Συντελεστής θερμοκρασίας του Pmax	-0.4002%/oC
Ονομαστική θερμοκρασία λειτουργίας των πλασίων (NOCT)	45oC+-2oC

Μηχανικά χαρακτηριστικά	
Είδος πλαισίου	156*156mm πολυκρυσταλλικά,60(6*10)pcs σε σειρά
Γυαλί	υψηλή ποιότητα μετάδοσης, χαμηλό σίδηρο, γυαλί
Πλαίσιο	ανοδιωμένο κράμα αλουμινίου
Κουτί σύνδεσης	IP65 βαθμού, με διόδους παράκαμψης
Διαστάσεις	*1640*992*50mm
Ύψος καλωδίου	1000m
Βάρος	20kg
Οπή θέσης εγκατάστασης	Βλέπετε το παραπάνω σχέδιο

Μέγιστη βαθμολογία	
Θερμοκρασία λειτουργίας	-40oC έως +85oC
Μέγιστη τάση του συστήματος	1000V DC
Μέγιστη τιμή της ασφάλειας	20A

Πληροφορίες συσκευασίας			
Συσκευασία	20' GP	40' GP	40' HQ
Τεμάχια ανά παλέτα	20	20	22
Παλέτες ανά εμπορευματοκιβώτιο	12	28	28
Τεμάχια ανά συσκευασία	240	560	616

Εταιρεία 2:

10 kW Luxor LX 230 P

Τιμή: 6, 329.60 € + (23% ΦΠΑ) = **7,785.408€**

Επιλέγοντας 10 αυτής της εταιρείας η συνολική τιμή με Φ.Π.Α. θα είναι: **77,854.08 €**

10kw 43 φωτοβολταϊκά πάνελ luxor LX 230P, 9890watt 0.64 €/watt.

Φωτοβολταϊκό πάνελ Γερμανικής κατασκευής υψηλής απόδοσης πολυκρυσταλλικού πυριτίου 230 watt. Για τα φωτοβολταϊκά πάνελ Luxor παρέχεται η εγγύηση του κατασκευαστή τους, διάρκειας δέκα ετών για την κατασκευαστική τους δομή και είκοσι πέντε ετών για την απόδοσή τους (έως 90% για τα πρώτα 12 χρόνια και έως 80% μέχρι τα 25 χρόνια).

Διαστάσεις Προϊόντος

Μήκος	992.00 mm
Πλάτος	45.00 mm
Ύψος	1,640.00 mm
Βάρος	21.00 kg

eco line 72/180-190W



Οι ενέλικτες και ευπροσάρμοστες ενότητες έχουν διαστάσεις με αναλογία 1:2. Αυτά είναι ιδανικά για εγκατάσταση των μονάδων σε εξωτερικούς χώρους ή σε τραπεζοειδή πάνελ. Τα 72 πάνελ Luxor Solar επιτυγχάνουν μια πολύ υψηλή απόδοση ενέργειας αφού τα υψηλής ποιότητας ηλιακά κύτταρα έχουν ο

. Αυτή η μονάδα διαθέτει μια εξαιρετική θετική ανοχή ισχύος που κορυφώθηκε έως + 6,5 Wp.

Το άκαμπτο και ανοξειδωτο πλαίσιο από ανοδιωμένο αλουμίνιο είναι συμβατό με όλα τα εμπορικά δι

συστήματα συναρμολόγησης. Για άλλη μια φορά, η εξίσωση της ηλιακής ενέργειας είναι απλή:

Light + Value = Luxor "Luxor Quality"

Η μάρκα Luxor σημαίνει προηγμένους ηλιακούς συλλέκτες με τη γερμανική ποιότητα κατασκευής κα

τη μακροπρόθεσμη διατήρηση της αξίας σε μια εξαιρετική σχέση τιμής-απόδοσης.

1. 10 χρόνια με 100% εγγύησης του προϊόντος
2. 12 χρόνια εγγύηση σε 90% βαθμολογημένη απόδοση
3. 25 χρόνια εγγύηση σε 80% βαθμολογημένη απόδοση
4. έως + 6,5 Watt θετική ανοχή ισχύος
5. IMP διαλογή
6. ειδική συσκευασία για αποφυγή μικρορωγμών



Ανθεκτικό ανοδιωμένο πλαίσιο αλουμινίου σε κατασκευή κοιλότητας. Υψηλή υποστήριξη και στιλιδιότητες εγκατάστασης, λόγω της ραφής με μαλακή λαβή. Το ανοδιωμένο κουτί σύνδεσης αλουμινίου απ τις γερμανικές κατασκευαστικές FPE Fischer οδηγεί σε βέλτιστη ψύξη των διόδων και προσφέρει μέγιστ ασφάλεια κατά ζημιών λόγω υπερθέρμανσης.

Μπροστινή όψη

- 808-



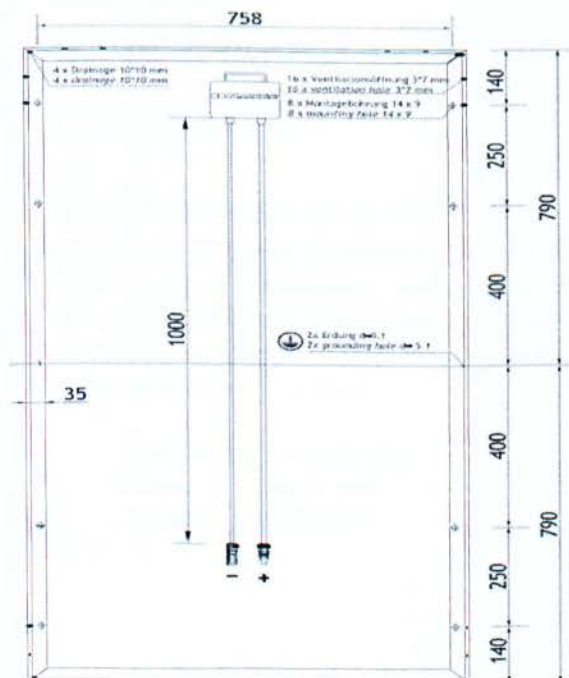
-1508-

Electrical data (Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά)	LX-180M	LX-185M	LX-190M
Rated power P_{mpp} [Wp] (Όνομαστική Ισχύς [Wp])	180.00	185.00	190.00
P_{mpp} range (Εύρος P_{mpp})	181.50 - 186.49	186.50 - 191.49	191.50 - 196.49
Rate current I_{mpp} [A] (Όνομαστικό Ρεύμα I_{mpp} [A])	5.03	5.14	5.26
Rated voltage U_{mpp} [V] (Όνομαστική Τάση U_{mpp} [V])	35.83	36.00	36.18
Short-circuit current I_{sc} [A] (Ρεύμα Βραχυκύκλωσης I_{sc} [A])	5.53	5.62	5.71
Open-circuit voltage [V] (Τάση Ανοικτού Κυκλώματος [V])	43.35	43.58	43.81
Efficiency η (Αποδοτικότητα η)	∅ 14.01%	∅ 14.50%	∅ 14.88%
Maximum system voltage (Μέγιστη τάση του συστήματος)	1000V	1000V	1000V

Specifications as per STC: 1000W/m², 25 °C, AM 1.5 / STC irradiance 1000W/m²,
Module temperature 25 °C, AM=1.5 · NOCT: 46 °C

(Προδιαγραφές σύμφωνα με STC: 1000W/m², 25 ° C, AM 1,5 / STC ακτινοβολία
1000W/m², θερμοκρασία Ενότητα 25 ° C, AM = 1,5 · NOCT: 46 ° C)

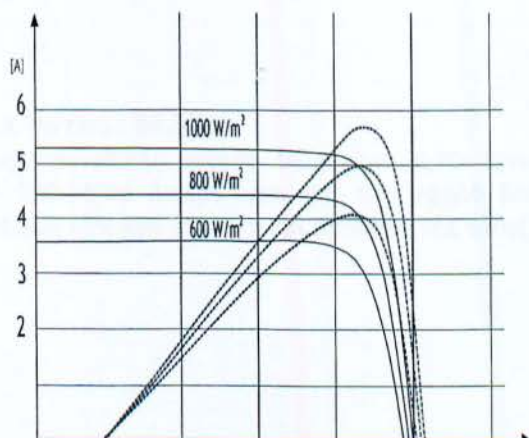
Πίσω όψη



Πλαϊνή όψη



Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά



Temperature coefficients (Συντελεστές θερμοκρασίας)	LX-180M/185M/190M
NOCT [°C]	46±2°C
Temperature coefficients [U]	-0.35%/°C
Temperature coefficients [I]	0.05%/°C
Temperature coefficients [P]	-0.49%/°C

Technical data (Τεχνικά δεδομένα)	LX-180M/185M/190M
Number of cells (Matrix)-Αριθμός κελιών	72x5"
Cell size (mm)-Μέγεθος κελιού	125x125
Dimensions (LxWxH mm)-Διαστάσεις	1580x808x35
Weight (kg)-Βάρος	15.0
Glass frontside- γυάλινη μπροστινή πλευρά	3.2 mm hard glass(σκληρού γυαλιού)
Frame-Πλαίσιο	sturdy anodized aluminium frame in cavity construction - ανθεκτικό πλαίσιο από ανοδιωμένο αλουμίνιο στην κατασκευή κοιλότητας
Junction box-Κουτί σύνδεσης	3 Bypass diodes to reduce loss in partial shadow, ventilated - 3 διόδοι παράκαμψης για να μειωθεί η απώλεια σε μερική σκιά, αεριζόμενο
Plug connection-Βύσμα	MC4 or equivalent plug system- MC4 ή ισοδύναμο σύστημα plug
Package size-Μέγεθος συσκευασίας	26 modules/box IMP classification - 26 modules / κιβώτιο IMP κατάταξη
Snow load zone-Ζώνη φορτίου	release SN2 (DIN 1055) - απελευθέρωση SN2 (DIN 1055)

Εταιρεία 3:

STP285 - 24/Vd

STP280 - 24/Vd

Τιμή: 6, 860 € + (23% ΦΠΑ) = **8,437.8€**

Επιλέγοντας 10 αυτής της εταιρείας η συνολική τιμή με Φ.Π.Α. θα είναι: **84,378 €**

10kw - 35 Φωτοβολταϊκα panels Suntech STP 280wr, συνολικής ισχύος 9800 kw (0,70 €/watt)

Τα μονοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά πάνελ Suntech STP 280-24/Vd διακρίνονται για τον υψηλό βαθμό απόδοσης της τάξης του 14,7% και την άριστη θετική ανοχή έως +5% που εξασφαλίζει απόδοση της τάξης του 100% από την πρώτη ημέρα.

Διαστάσεις προϊόντος:

Μήκος 992.00 mm

Πλάτος 50.00 mm

Υψος 1,956.00 mm
 Βάρος 27.00 kg

POLYCRYSTALLINE SOLAR MODULE

SUNTECH

Υψηλή απόδοση μετατροπής
 Έχει 14.7%, μέσω της ανώτερης τεχνολογίας παραγωγής κυψελών και επιφανεία ικανότητα παραγωγής

Αυτό-καθαρισμός & αντι-ανακλαστική
 Αντι-ανακλαστική, υδρόφοδο επίστρωση που βελτιώνει την απορρόφηση του φωτός και μειώνει την επιφανειακή σκόνη

14.7%

Self-clean

Θερμική αντοχή
 Εγγυημένη θετική ανοχή 0/+5%, επιβεβαιώνει αξιοπιστία στην παραγωγή

Επιπλέον απόδοση φωτός
 Επιπλέον απόδοση σε περιβαλλοντικές συνθήκες χαμηλού φωτισμού, πρωινά, βραδύ και συννεφιασμένες μέρες

0/+5%

Weak light

Επιπλέον άνεμος και δοκιμές φορτίων χιονιού

Συνεχής τρέχουσα διαδικασία διαλογής

Βασική μονάδα έχει πιστοποιηθεί για αντοχή σε υψηλές πιέσεις ανέμου (3800 Pa) και φορτία χιονιού (5400 Pa)

Όλες οι ενότητες της Suntech ταξινομούνται και συσκευάζονται με φρέσκο ρεύμα, μεγιστοποιώντας την απόδοση του συστήματος με αντιστοίχια μείωση των απωλειών έως 2%

3800Pa
 5400 Pa

2%

Certifications and standards:
 UL1703, IEC 61215, IEC 61730,
 conformity to CE



Αξιόπιστη απόδοση στο χρόνο

No.1 στο κόσμο κατασκευαστής φωτοβολταϊκών κρυσταλλικού πυριτίου

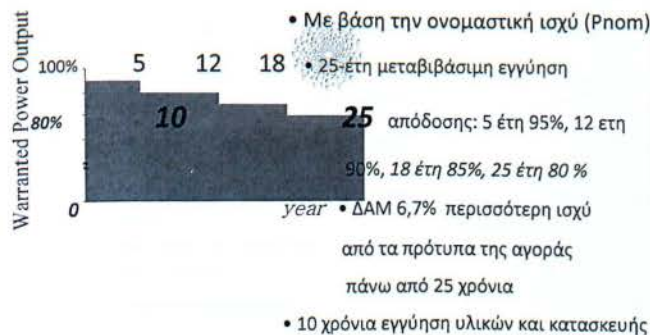
- Απαράμιλλη ικανότητα παραγωγής και τεχνολογία παγκόσμιας κλάσης
- Αυστηρός ποιοτικός έλεγχος που πληρούν τα υψηλότερα διεθνή πρότυπα: ISO 9001: 2008, ISO 14001: 2004 and ISO17025: 2005
- Δοκιμασμένο για σκληρό περιβάλλον (ομίχλη αλάτι και αμμωνία δοκιμή διάβρωσης: IEC 61701, IEC 62716)

Νέα, βελτιωμένη σχεδίαση πλαισίου

Το νέο άκαμπτο και αξιόπιστο κόλλο πλαίσιο της Suntech παρέχει 4 επιπλέον επιλογές γείωσης για αυξημένη ευελιξία στο σχεδιασμό και ευκολότερη εγκατάσταση. Το anti-counteferit σήμα σας επιτρέπει να γνωρίζεται ότι λαμβάνετε γνήσια προϊόντα Suntech



Ηγετική εγγύηση με βάση Pnom



Αξιόπιστο IP67 κουτί διαστάυρωσης

Υποστηρίζει οποιοδήποτε προσανατολισμό εγκατάστασης. Υψηλής απόδοσης χαμηλής αντίστασης υποδοχές εξασφαλίζουν τη μέγιστη απόδοση ισχύος φωτοβολταϊκών για υψηλότερη παραγωγή ενέργειας



NOCT	STP285-24/Vd	STP280-24/Vd
Maximum Power at NOCT (Pmax)- Μέγιστη Ισχύς σε NOCT	208 W	204 W
Optimum Operating Voltage (Vmp)- Βέλτιστη Τάση Λειτουργίας	32.1 V	32.0 V
Optimum Operating Current (Imp)- Βέλτιστο Ρεύμα Λειτουργίας	6.48 A	6.39 A
Open Circuit Voltage (Voc)-Τάση Ανοικτού κυκλώματος	41.0 V	40.8 V
Short Circuit Current (Isc)-Ρεύμα βραχυκύκλωσης	6.77 A	6.74 A

Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά

STC	STP285-24/Vd	STP280-24/Vd
Optimum Operating Voltage (Vmp)-Βέλτιστη Τάση Λειτουργίας	35.4 V	35.2 V
Optimum Operating Current (Imp)-Βέλτιστο Ρεύμα Λειτουργίας	8.06 A	7.95 A
Open Circuit Voltage (Voc)-Τάση Ανοικτού Κυκλώματος	44.9 V	44.8 V
Short Circuit Current (Isc)-Ρεύμα Βραχυκύκλωσης	8.37 A	8.33 A
Maximum Power at STC (Pmax)-Μέγιστη Ισχύ σε STC	285 W	280 W
Module Efficiency-Αποδοτικότητα Μονάδας	14.7%	14.4 %
Operating Module Temperature-Θερμοκρασία Λειτουργίας Της Μονάδας	-40 °C to +85 °C	
Maximum System Voltage-Μέγιστη Τάση Του Συστήματος	1000 V DC (IEC) / 600 V DC (UL)	
Maximum Series Fuse Rating-Μέγιστο Ρεύμα Ασφαλειών Σειράς	20 A	
Power Tolerance-Ανοχή Ισχύος	0/+5 %	

Χαρακτηριστικά Θερμοκρασίας

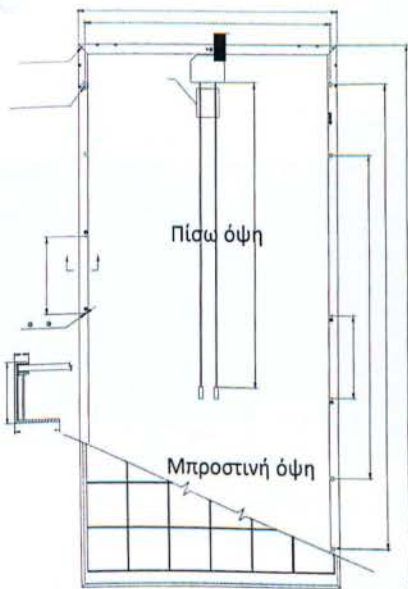
Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)-Ονομαστική Θερμοκρασία Λειτουργίας Κυψέλης	45±2°C
Temperature Coefficient of Pmax - Συντελεστής Θερμοκρασίας του Pmax	-0.44 %/°C
Temperature Coefficient of Voc - Συντελεστής Θερμοκρασίας του Voc	-0.33 %/°C
Temperature Coefficient of Isc - Συντελεστής Θερμοκρασίας του Isc	0.055 %/°C

Μηχανικά χαρακτηριστικά

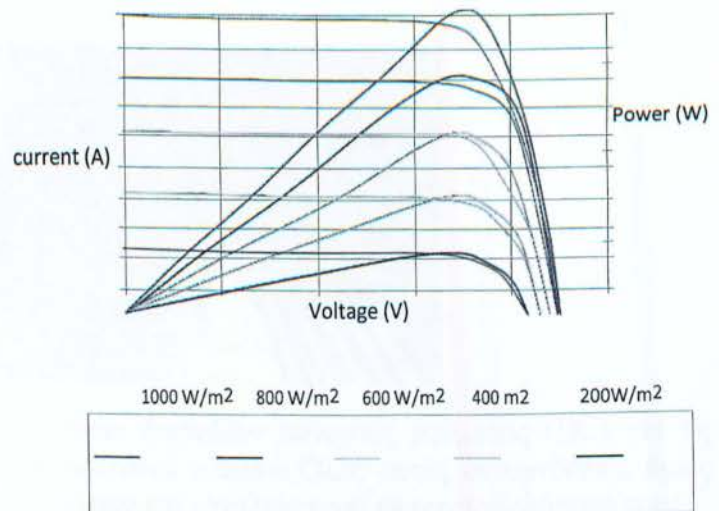
Solar Cell-Ηλιακό Κύτταρο	Polycrystalline silicon 156 × 156 mm (6 inches)
No. of Cells-Αριθμός Κυττάρων	72 (6 × 12)
Dimensions-Διαστάσεις	1956 × 992 × 50mm (77.0 × 39.1 × 2.0 inches)
Weight-Βάρος	27.0 kgs (59.5 lbs.)
Front Glass-Μπροστινό γυαλί	4.0 mm (0.16 inches) tempered glass
Frame-Πλαίσιο	Anodized aluminium alloy(Ανοδιωμένο κράμα αλουμινίου)
Junction Box-Κουτί σύνδεσης	IP67 rated (3 bypass diodes)
Output Cables-Καλώδια Εξόδου	TUV (2Pfg1169:2007), UL 4703, UL 44 4.0 mm ² (0.006 inches ²), symmetrical lengths (-) 1100mm (43.3 inches) and (+) 1100 mm (43.3 inches)
Connectors-Υποδοχές	H4 connectors(MC4 connectable)

Διαμόρφωση συσκευασίας

Container-Υποδοχές	20' GP	40' GP	40' HP
Pieces per pallet-Τεμάχια ανά παλέτα	21	21	21
Pallets per container-Παλέτες ανά υποδοχή	5	12	24
Pieces per container-Τεμάχια ανά υποδοχή	105	252	504



Current-Voltage & Power-Voltage Curve (285-24)



Βιβλιογραφία δεύτερου μέρους

http://www.solarfree.gr/index.php?option=com_virtuemart&page=shop.browse&category_id=101&Itemid

ΜΕΡΟΣ ΤΡΙΤΟ

Στην έρευνα αγοράς σχετικά με τους μετατροπείς τάσης που θα χρησιμοποιήσω διάλεξα τους inverter της εταιρείας KOSTAL PIKO 10.1 των 10 kw, διότι η τιμή τους πλησίαζε αρκετά με την τιμή που βρήκα σε εταιρείες με παρόμοια inverter 10 kw και τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους καθώς και οι εγγυήσεις που προσφέρει η εταιρεία ικανοποιούν πλήρως τις απαιτήσεις μας.

Εταιρεία 1:

SMA-SUNNY TRPOWER 10000 TL

ΤΙΜΗ :2,581.31 €+ (23% ΦΠΑ) = **3,175.0113€**

Επιλέγοντας 10 αυτής της εταιρείας η συνολική τιμή με Φ.Π.Α. θα είναι: **31,750.113€**



Μέχρι σήμερα διετίθενται διάφοροι τύποι διεπαθών συνεχούς ρεύματος (DC) για τη σύνδεση ηλιακών μετατροπέων με φωτοβολταϊκά πλαίσια. Όλες αυτές οι συνδέσεις όμως προϋποθέτουν την ύπαρξη ειδικών εξαρτημάτων και εργαλείων για τη συναρμολόγησή τους. Χάρη στο SUNSLIX, το νέο, ενιαίο σύστημα σύνδεσης DC για μετατροπείς SMA μπορεί να εγκατασταθεί στον αγωγό χωρίς εργαλεία, σε λιγότερο από 15 sec. Δεν έχει σημασία ποιό σύστημα σύνδεσης διαθέτει το φωτοβολταϊκό πλαίσιο.

Διαστάσεις Προϊόντος

Μήκος	625.00 mm
Πλάτος	665.00 mm
Ύψος	690.00 mm
Βάρος	64.00 kg

SUNCLIX

Το νέο σύστημα σύνδεσης DC για τους μετατροπείς Της SMA

» Γενικής χρήσης για εύκαμπτους και άκαμπτους αγωγούς από 2,5 έως 6 mm²

» Υψηλών αποδόσεων με 40 A στα 4 mm² έως θερμοκρασία περιβάλλοντος 85 °C

» Σιγουριά και ασφάλεια, στην κουμπωτή σύνδεση

» Άνετος οπτικός έλεγχος της σύνδεσης, ώστε να μπορούν Ανά πάσα στιγμή να γίνουν προσαρμογές

» Απλή ρύθμιση με ένα συνηθισμένο κατσαβίδι, ακόμα και για τα βύσματα που δεν έχουν μεγάλη απόσταση μεταξύ τους

» Οικονομικό, χάρη στο συνδετήρα που συνοδεύει το προϊόν

Ένα για όλα: SUNCLIX, η ενιαία σύνδεση DC για τους μετατροπείς SMA

ΟΔΗΓΙΕΣ

1. Περάστε τον απογυμνωμένο αγωγό



2. Κατεβάστε το ελατήριο, έως ότου κουμπώσει!



3. Βιδώστε και είναι έτοιμο!



4. Ανοίξτε το βύσμα
5. Ανοίξτε το ελατήριο



Τα πλεονεκτήματα της σύνδεσης με συνδετήρα (κλπ) και της σύνδεσης με βύσμα συνδυασμένα σε ένα μόνο σύστημα

Πλεονεκτήματα συνδετήρα σύνδεσης

- » Εύκολη σύνδεση χωρίς ειδικά εργαλεία
- » Δε χρειάζονται πρόσθετα υλικά εγκατάστασης για τη σύνδεση του μετατροπέα
- » Γρήγορη εγκατάσταση με λίγες μόλις κινήσεις
- » Αποφυγή εσφαλμένης κοπής καλωδίων
- » Ασφαλής σύνδεση καλωδίων
- » Η αποσύνδεση μπορεί να γίνει μόνο με ειδικό εργαλείο

Πλεονεκτήματα

- » Ασφάλεια κατά την αποσύνδεση
- » Εύκολη σύνδεση και αποσύνδεση κάθε στιγμή
- » Προστασία ανάστροφης σύνδεσης

Εταιρεία 2:

KOSTAL PIKO 10.1

ΤΙΜΗ :2,069.11 €+ (23% ΦΠΑ) = **2,545.0053€**

Επιλέγοντας 10 αυτής της εταιρείας η συνολική τιμή με Φ.Π.Α. θα είναι: **25,450.053**

Αντιστροφας PIKO 10.1

- Τριφασική τροφοδοσία για αποφυγή ασυμμετριών τάση
- Μετατροπή χωρίς μετασχηματιστή
- Δυνατότητα παράλληλης σύνδεσης των δύο ανεξάρτητων MPP-Tracker για επέκταση του ρεύματος εισόδου
- Καταγραφή δεδομένων και διάφορες θύρες διασύνδεσης στάνταρ: Ethernet, RS485, είσοδος S0 και έξοδος
- Ενσωματωμένος ηλεκτρονικός αποζεύκτης DC
- Κατασκευή χωρίς μόλυβδο σύμφωνα με την οδηγία EE RoHS

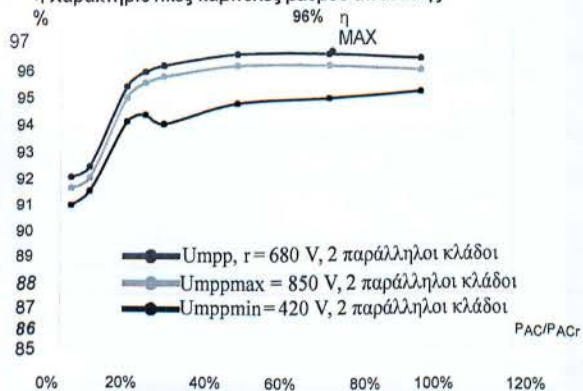


Τεχνικά στοιχεία

Πλευρά εισόδου (τμήμα DC)

Αριθμός εισόδων DC / Αριθμός MPP-Tracker	3 / 3
Μεγ. προτεινόμενη ισχύς DC	11000 W
Μεγ. τάση εισόδου (τάση ανοιχτού κυκλώματος)	950 V
Ελαχ. τάση εισόδου	180 V
Αρχική τάση εισόδου	180 V
Ονομαστική τάση εισόδου	680 V
Μεγ. τάση MPP με ονομαστική ισχύ DC αντιστροφέα	850 V
Ελαχ. Τάση MPP U_{MPPmin} , με ονομαστική ισχύ DC αντιστροφέα, σε συμμετρική λειτουργία Multistring, δύο tracker ή παράλληλη λειτουργία	420 V
Διευρυμένη, κάτω περιοχή τάσης MPP, με τμηματική ισχύ αντιστροφέα	180 V ... U_{MPPmin}
Μεγ. προς μεταφορά ποσοστό ισχύος DC στη διευρυμένη περιοχή τάσης MPP	περίπου 70 %
Μεγ. ρεύμα εισόδου	12,5 A
Μεγ. ρεύμα εισόδου σε παράλληλη σύνδεση	25 A

η Χαρακτηριστικές καμπύλες βαθμού απόδοσης



Επικοινωνία

KOSTAL Solar Electric GmbH Hanferstr. 6
79108 Freiburg i. Br. Germany Tel. +49 761 7038 70-0
Fax +49 761 7038 70-19 www.kostal-solar-electric.com

Πλευρά εξόδου (τμήμα AC)

Αριθμός φάσεων τροφοδοσίας	3
Τάση δικτύου	3/N/PE, AC, 230 V / 400 V
U_{acmax} , επάνω όριο απενεργοποίησης τάσης	264,5 V (GR)
U_{acmin} , κάτω όριο απενεργοποίησης τάσης	184 V (GR)
Μεγ. ρεύμα εξόδου ανά φάση	14,6 A
Ονομαστική ισχύς AC	9200 W
Μεγ. ισχύς AC	10100 W (Βέλγιο 10000 W)
Μέγιστος βαθμός απόδοσης	96 %
Ευρωπαϊκός βαθμός απόδοσης	95,4 %
Ονομαστική συχνότητα	50 Hz
Ελαχ. Συχνότητα δικτύου f_{min} , όριο απενεργοποίησης	49,5 Hz (GR)
Μεγ. συχνότητα δικτύου f_{max} , όριο απενεργοποίησης	50,5 Hz (GR)
Απώλεια ενέργειας νύχτα	<1 W
Κατηγορία προστασίας	I
Γαλβανική απομόνωση	Χωρίς μετασχ/στές
Ονομ. Συντελεστής αέρα ισχύος Cos phi	1
Είδος επιτήρησης δικτύου	ENS, Παρακολούθηση 3φάσεων
Προστασία πολικότητας	Δίοδοι βραχυκυκλώματος στην πλευρά DC
Προστασία προσώπων	AFI και παρακολούθηση βραχυκυκλώματος γείωσης
Συνθήκες χρήσης	Εσωτερικό + εξωτερικό
Θερμοκρασία περιβάλλοντος	-20° ... 60° C
Μεγ. θερμοκρασία περιβάλλοντος σε Ρονομ	40° C
Μεγ. ατμοσφαιρική υγρασία	0 ... 95 %
Μέθοδος ψύξης	Ρυθμιζόμενος ανεμιστήρας
Μεγ. θόρυβος	Ανεμιστήρας 25% → 33dB(A) Ανεμιστήρας 50% → 41dB(A) Ανεμιστήρας 75% ... 100% → <46dB(A)
Κατηγορία προστασίας IP κατά IEC 60529	IP 55
Τεχνική σύνδεσης πλευράς εισόδου	MC 4
Τεχνική σύνδεσης πλευράς εξόδου	Ελαττηριωτή συστοιχία ακροδεκτών
Διαστάσεις (Π*Β*Υ)	520 x 230 x 450 mm ³
Γείωση	34 kg
	Ενσωματωμένος ηλεκτρονικός αποσείκτης



Εταιρεία 3:

Inverter KACO Powador 12.0 TL3 INT

ΤΙΜΗ : **2,814€**

Επιλέγοντας 10 αυτής της εταιρείας η συνολική τιμή θα είναι: **28,140 €**

Τεχνικά χαρακτηριστικά Powador 12.0 TL3 INT:

Γενικές πληροφορίες

Μοντέλο	Powador 12.0 TL3 INT
Τύπος προστασίας	IP65
Ασφάλεια	n/a
Εύρος θερμοκρασίας λειτουργίας (CEC)	-25 ° C bis +60 ° C
Ονομασία τύπου Εκπομπές θορύβου	Trafoles 45[db]

Διαστάσεις

Ύψος	690[mm]
Πλάτος	420[mm]
Βάθος	200[mm]
Βάρος	40[kg]

Διασυνδέσεις

RS 232	όχι
RS 485	ναί
Ethenret	ναί
Αναλυτικά	USB,SO-Ausgang

Ρεύμα εισόδου

Ονομαστική ισχύς	1200[W]
Μέγιστη ισχύς	1200[W]
Μέγιστη ισχύς παράθυρο παρακολούθησης	35[W]- 800[W]
Μέγιστη τάση	1000[V]
Μέγιστο ρεύμα εισόδου	18.6[A]
Είσοδος DC	2
Αριθμός των ανιχνευτών σημείου μέγιστης ισχύς	2

Παραγωγή

<i>Τάση</i>	400[V]
<i>Ονομαστική χωρητικότητα</i>	10000[W]
<i>Μέγιστη χωρητικότητα</i>	10000[W]
<i>Ευρωπαϊκός βαθμός απόδοσης</i>	97[%]
<i>Μέγιστη αποδοτικότητα</i>	98[%]
<i>Αριθμός feeds χορδών</i>	3
<i>Οθόνη</i>	Grafisches Εμφάνιση + LEDs
<i>1-φάση δίκτυο παρακολούθησης</i>	ja
<i>Αρμονική παραμόρφωση</i>	n/a
<i>1-φάση δίκτυο παρακολούθησης</i>	n/a

Βιβλιογραφία τρίτου μέρους

http://www.solarfree.gr/index.php?option=com_virtuemart&page=shop.browse&category_id=101&Itemid=18

http://www.fotovoltaikapanel.com/index.php?dispatch=products.view&product_id=29882

ΜΕΡΟΣ ΤΕΤΑΡΤΟ

4.1 Νομοθεσία Φωτοβολταϊκών συστημάτων

Έχουν εκδοθεί οι υπουργικές αποφάσεις που περιλαμβάνονται στο ΦΕΚ Β' 2317/10.08.2012 και αφορούν φωτοβολταϊκούς σταθμούς και ιδίως η απόφαση με Αριθμ.Υ.Α.Π.Ε./Φ1/2300/οικ.16932 (5) «Αναστολή διαδικασίας αδειοδότησης και χορήγησης προσφορών σύνδεσης για φωτοβολταϊκούς σταθμούς λόγω κάλυψης των στόχων που έχουν τεθεί με την απόφαση Α.Υ./Φ1/οικ.19598/01.10.2010 του υπουργού Π.Ε.Κ.Α.».

Με την απόφαση αναστέλλεται η υποβολή νέων αιτημάτων στη Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας για χορήγηση άδειας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκούς σταθμούς και η εξέταση εκκρεμών αιτημάτων από τη ΡΑΕ για χορήγηση άδειας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκούς σταθμούς.

Περισσότερα - ΦΕΚ Β' 2317/10.08.2012

Αναδιάρθρωση των εγγυημένων τιμών για τα φωτοβολταϊκά

Το ΥΠΕΚΑ έχει θέσει την ανάπτυξη των ΑΠΕ στο κεντρικό κορμό του εθνικού ενεργειακού σχεδιασμού, με στόχο την προστασία του περιβάλλοντος, την αύξηση της ενεργειακής ασφάλειας της χώρας μας και την υποστήριξη των τομέων εκείνων που οδηγούν σε μία οικονομία χαμηλών εκπομπών άνθρακα.

Η χώρα μας αποτελεί επίσημα το τέταρτο κράτος που συμμετέχει στη Διεθνή Συνεργασία για το μηχανισμό Feed-In Tariff (εγγυημένες τιμές με ταυτόχρονη προτεραιότητα στην απορρόφηση ενέργειας). Αυτό δείχνει έμπρακτα την πεποίθησή ότι ο υφιστάμενος

μηχανισμός είναι ο πλέον αποτελεσματικός και αποδοτικός μηχανισμός για τη στήριξη των επενδύσεων σε έργα ΑΠΕ, μια διαπίστωση στην οποία συνηγορούν και όλοι οι φορείς που συνδιαμορφώνουν τον κλάδο της ενέργειας στην Ελλάδα.

Ο μηχανισμός των εγγυημένων τιμών έχει συμβάλει καθοριστικά στην ανάπτυξη σημαντικής εγκατεστημένης ισχύος για την παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Για αυτό και τα μέτρα που λαμβάνει το Υπουργείο είναι μέτρα ενίσχυσης του μηχανισμού αυτού και όχι αλλαγής του.

Η εγκατεστημένη ισχύς ΑΠΕ σήμερα ξεπερνάει τα 2,4GW. Κυρίαρχες τεχνολογίες είναι τα αιολικά και τα φωτοβολταϊκά, ενώ ακολουθούν τα μικρά υδροηλεκτρικά και η βιομάζα. Ειδικότερα τα φωτοβολταϊκά, εμφανίζουν μία πολύ δυναμική εικόνα εξέλιξης. Η εγκατεστημένη ισχύς τους τον Σεπτέμβριο του 2011 ήταν 460MW (με εκτίμηση για 580MW το τέλος του 2011), από 198MW που ήταν στο τέλος του 2010, ενώ με σύμβαση αγοραπωλησίας («κλειδωμένες τιμές») βρίσκονται περίπου 2.000MW (300% αύξηση σε σύγκριση με το τέλος του 2010).

Με βάση αυτή την εξέλιξη, η χώρα μας αναμένεται να επιτύχει τους εθνικούς στόχους που έχουν τεθεί για ΑΠΕ από φωτοβολταϊκά το 2014 (1.500MW), ενώ η υλοποίηση και μόνο όσων επενδύσεων έχουν ήδη σύμβαση αγοραπωλησίας σημαίνει ότι οι στόχοι του 2020 (2.200MW) θα επιτευχθούν αρκετά χρόνια πριν την ημερομηνία αυτή (βλ. Γράφημα).

Στο σημερινό δύσκολο οικονομικό περιβάλλον, η βιωσιμότητα του μηχανισμού χρηματοδότησης των ΑΠΕ είναι προϋπόθεση για τη διασφάλιση τόσο της συνέχισης της λειτουργίας των εγκατεστημένων μονάδων, όσο και της ανάπτυξης νέων.

Για τη βιωσιμότητα αυτού του μηχανισμού, και τη μείωση του σημερινού σημαντικού ελλείμματος του Ειδικού Λογαριασμού για την πληρωμή των έργων ΑΠΕ του ΔΕΣΜΗΕ, το ΥΠΕΚΑ προχώρησε σε ευρεία διαβούλευση με τους φορείς της ενεργειακής αγοράς και τις περιβαλλοντικές οργανώσεις. Οι απόψεις και οι προτάσεις των φορέων δημοσιοποιήθηκαν στην ιστοσελίδα του ΥΠΕΚΑ <http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=763&language=el-GR>.

Αξιοποιώντας τις προτάσεις των φορέων και λαμβάνοντας υπόψη την πρόταση της ΡΑΕ για τη μείωση των εγγυημένων τιμών στα φωτοβολταϊκά, το ΥΠΕΚΑ με γνώμονα την απρόσκοπτη πληρωμή των παραγωγών ΑΠΕ και την εύρυθμη λειτουργία της ενεργειακής αγοράς, αποφάσισε να μειώσει τις εγγυημένες τιμές για τη συγκεκριμένη τεχνολογία, χωρίς αναδρομική ισχύ, όπως παρουσιάζεται παρακάτω:

Για εγκαταστάσεις <100 kW και Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά, σε €/MWh:

Μήνας/Έτος	Υφιστάμενη κατάσταση	Νέα τιμή	Ποσοστό μείωσης: 12,5% επί της προβλεπόμενης τιμής του N.3734/2009 και 7% επί της νέας τιμής ανά εξάμηνο
Φεβρουάριος 2012	375,54	328,60	
Αύγουστος 2012	353,55	305,60	
Φεβρουάριος 2013	336,23	284,20	
Αύγουστος 2013	316,55	264,31	
Φεβρουάριος 2014	302,56	245,81	
Αύγουστος 2014	293,59	228,60	

Για κάθε έτος από 2015 και μετά ορίζεται ως: 1,4 x μ.ο.ΟΤΣν-1 όπου μ.ο.ΟΤΣν-1 η μέση οριακή τιμή συστήματος τον προηγούμενο χρόνο ν-1.

Για εγκαταστάσεις >100 kW, σε €/MWh

Μήνας / Έτος	Υφιστάμενη κατάσταση	Νέα τιμή	Ποσοστό μείωσης:
Φεβρουάριος 2012	338,81	292,08	12,5% επί της προβλεπόμενης τιμής του Ν.3734/2009 και 7% επί της νέας τιμής ανά εξάμηνο
Αύγουστος 2012	314,27	271,64	
Φεβρουάριος 2013	298,87	252,62	
Αύγουστος 2013	281,38	234,94	
Φεβρουάριος 2014	268,94	218,49	
Αύγουστος 2014	260,97	203,20	

Για κάθε έτος από 2015 και μετά ορίζεται ως: 1,3 x μ.ο.ΟΤΣν-1 όπου μ.ο.ΟΤΣν-1 η μέση οριακή τιμή συστήματος τον προηγούμενο χρόνο ν-1.

Για τα φωτοβολταϊκά στις στέγες, όπως προβλέπεται από το Ειδικό Πρόγραμμα, σε €/MWh:

Μήνας / Έτος	Υφιστάμενη κατάσταση	Νέα τιμή	Ποσοστό μείωσης:
Φεβρουάριος 2012	522,5	495	5%
Αύγουστος 2012	522,5	470,25	
Φεβρουάριος 2013	496,38	446,73	
Αύγουστος 2013	496,38	424,40	
Φεβρουάριος 2014	471,56	403,18	
Αύγουστος 2014	471,56	383,02	
Φεβρουάριος 2015	447,98	363,87	
Αύγουστος 2015	447,98	345,68	

Σημείωση: η μείωση προβλέπεται ανά εξάμηνο και όχι ετήσια όπως ίσχυε μέχρι σήμερα και συνεχίζει έως το έτος 2019.

Η απόφαση του ΥΠΕΚΑ συνυπολογίζει αφενός τη σημαντική μείωση του κόστους εγκατάστασης και τη βελτίωση της αποδοτικότητας της τεχνολογίας των φωτοβολταϊκών, αφετέρου δε την ιδιαίτερη οικονομική συγκυρία που δυσχεραίνει την επενδυτική δραστηριότητα. Η πρόταση έρχεται συμπληρωματικά στις ακόλουθες ρυθμίσεις που έχει ανακοινώσει ήδη το ΥΠΕΚΑ για την ενίσχυση του χρηματοδοτικού μηχανισμού:

- επιβολή έκτακτου τέλους 2€/MWh στη λιγνιτική ηλεκτροπαραγωγή.

- αξιοποίηση της υπ' αριθμ. 187497/2011 ΚΥΑ, που προβλέπει τη δυνατότητα διάθεσης Δικαιωμάτων Εκπομπών αερίων θερμοκηπίου 10 εκ. τόννων κατά το έτος 2012.

- ενεργοποίηση του άρθρου 12, παρ.16 του νόμου 3851/2010 για τη μεταφορά μέρους των εσόδων από το τέλος υπέρ της ΕΡΤ στον Ειδικό Λογαριασμό ΑΠΕ.

Επίσης, το Υπουργείο σκοπεύει να αναλάβει διαρθρωτικές δράσεις που αφορούν και τις υπόλοιπες τεχνολογίες ΑΠΕ, λαμβάνοντας υπόψη την ωριμότητα τους και τη δυνατότητα επίτευξης των στόχων τους για το 2020, όπως:

- σταδιακή μετάβαση στη δήλωση ετοιμότητας του έργου για ηλεκτρίση, χωρίς αναδρομική ισχύ, για το «κλείδωμα» της εγγυημένης τιμής, όπως ισχύει στην υπόλοιπη ΕΕ.

- μέτρα περαιτέρω προώθησης για τις τεχνολογίες της βιομάζας, της γεωθερμίας, των μικρών υδροηλεκτρικών και των μικρών ανεμογεννητριών.

- μετονομασία του Ειδικού Τέλους ΑΠΕ, ώστε να εκφράζει την πραγματική του φύση, που είναι το κόστος μετάβασης σε ένα πιο καθαρό ενεργειακό μίγμα για την χώρα.

Τέλος διευκρινίζεται ότι με βάση τα σημερινά δεδομένα το ΥΠΕΚΑ δεν προτίθεται να προχωρήσει σε μειώσεις εγγυημένων τιμών σε άλλες τεχνολογίες ΑΠΕ πέραν των φωτοβολταϊκών.

ΑΠΟΦΑΣΗ ΡΑΕ ΥΠ' ΑΡΙΘΜ. 1453/2011 ,Απόφαση της ΡΑΕ σχετικά με τις αριθμητικές τιμές των συντελεστών της μεθοδολογίας επιμερισμού του Ειδικού Τέλους του άρθρου 143 παρ.2 περ. γ' του ν. 4001/2011, για το έτος 2012.

Κοινή ανακοίνωση φορέων ΑΠΕ ,Το λεγόμενο "Τέλος ΑΠΕ" επιδοτεί τα ορυκτά καύσιμα.

Νόμοι

Ν.4001/2011 "Για τη λειτουργία Ενεργειακών Αγορών Ηλεκτρισμού και Φυσικού αερίου, για Έρευνα, Παραγωγή και δίκτυα μεταφοράς Υδρογονανθράκων και άλλες ρυθμίσεις", ΦΕΚ 179Α/22-8-2011.

Ενοποίηση των διατάξεων του Ν.3468/2006 όπως τροποποιήθηκαν από τους Ν.3734/2009, Ν.3851/2010, Ν.3889/2010 και λοιπών διατάξεων νόμων.

Ν.3851/2010 ,“Επιτάχυνση της ανάπτυξης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και άλλες διατάξεις σε θέματα αρμοδιότητας του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής”, ΦΕΚ 85Α/4-6-2010 Ν.3734/2009 ,“Προώθηση της συμπαραγωγής δύο ή περισσότερων χρήσιμων μορφών

ενέργειας, ρύθμιση ζητημάτων σχετικών με το Υδροηλεκτρικό Έργο Μεσοχώρας και άλλες διατάξεις”, ΦΕΚ 8Α/28-1-2009.

N.3468/2006 ,“Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης και λουπές διατάξεις”, ΦΕΚ 129Α/29-6-2006.

Υπουργικές Αποφάσεις

ΥΑΠΕ/Φ1/14810 , "Κανονισμός Αδειών Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας με χρήση ΑΠΕ", ΦΕΚ 2373Β/25-10-2011.

ΥΑ 16-2-2011 , "Τροποποιήσεις ειδικών όρων για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών και ηλιακών συστημάτων σε γήπεδα, οικόπεδα και κτίρια", ΦΕΚ.

ΥΑ 24839/2010 , “Εγγυοδοσία για την υπογραφή Συμβάσεων Σύνδεσης στα δίκτυα διανομής σταθμών ηλεκτροπαραγωγής με χρήση Α.Π.Ε. που εξαιρούνται από την υποχρέωση λήψης άδειας παραγωγής”, ΦΕΚ 1901Β/3-12-2010.

ΥΑ 19598/2010 , “Απόφαση για την επιδιωκόμενη αναλογία εγκατεστημένης ισχύος και την κατανομή της στο χρόνο μεταξύ των διαφόρων τεχνολογιών Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας”, ΦΕΚ 1630Β/11-10-2010.

ΚΥΑ 18513/2010 , “Συμπλήρωση του Ειδικού Προγράμματος Ανάπτυξης Φωτοβολταϊκών Συστημάτων σε κτιριακές εγκαταστάσεις”, ΦΕΚ 1557Β'/22-9-2010.

ΥΑ 40158/2010 ,“Έγκριση ειδικών όρων για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων και ηλιακών συστημάτων σε γήπεδα και κτίρια σε εκτός σχεδίου περιοχές”, ΦΕΚ 1556Β/22-9-2010.

ΥΑ 36720/2010 , “Έγκριση ειδικών όρων για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών και ηλιακών συστημάτων σε κτίρια και οικόπεδα εντός σχεδίου περιοχών και σε οικισμούς”, ΦΕΚ 376/6-9-2010.

ΚΥΑ 17149/2010 ,“Τύπος και περιεχόμενο συμβάσεων πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται με χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και μέσω Συμπαράγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης στο Σύστημα και το Διασυνδεδεμένο Δίκτυο και στο Δίκτυο των Μη Διασυνδεδεμένων Νήσων, σύμφωνα με τις διατάξεις του άρθρου 12 παρ. 3 του Ν. 3468/2006, όπως ισχύει, πλην ηλιοθερμικών και υβριδικών σταθμών”, ΦΕΚ 1497Β/6-9-2010.

ΚΥΑ 12323/2009 , “Ειδικό Πρόγραμμα Ανάπτυξης Φωτοβολταϊκών Συστημάτων σε κτιριακές εγκαταστάσεις και ιδίως σε δώματα και στέγες κτιρίων”, ΦΕΚ 1079Β’/4-6-2009.

ΚΥΑ 49828/2008 , “Έγκριση ειδικού πλαισίου χωροταξικού σχεδιασμού και αιεφόρου ανάπτυξης για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και της στρατηγικής μελέτης περιβαλλοντικών επιπτώσεων αυτού”, ΦΕΚ 2464Β/3-12-2008.

ΚΥΑ 104247/2006 , “Διαδικασία Προκαταρκτικής Περιβαλλοντικής Εκτίμησης και Αξιολόγησης (Π.Π.Ε.Α.) και Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων (Ε.Π.Ο.) έργων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Α.Π.Ε.), σύμφωνα με το άρθρο 4 του Ν.1650/1986, όπως αντικαταστάθηκε με το άρθρο 2 του Ν.3010/2002” και ΚΥΑ 104248/2006, “Περιεχόμενο, δικαιολογητικά και λοιπά στοιχεία των Προμελετών Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (Π.Π.Ε.), των Μελετών Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (Μ.Π.Ε.), καθώς και συναφών μελετών περιβάλλοντος, έργων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Α.Π.Ε.)”, ΦΕΚ 663Β/26-5-2006.

ΚΥΑ 19500/2004 , “Τροποποίηση και συμπλήρωση της 13727/724/2003 κοινής υπουργικής απόφασης ως προς την αντιστοίχιση των δραστηριοτήτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με τους βαθμούς όχλησης που αναφέρονται στην πολεοδομική νομοθεσία”, ΦΕΚ 1671Β/11-11-2004.

Εγκύκλιοι

Εγκύκλιος ΥΑΠΕ/Φ1/οικ.28135 ,(27-12-2010), “Διευκρινίσεις σχετικά με την προτεραιότητα εξέτασης αιτημάτων για τη χορήγηση προσφορών σύνδεσης από τον αρμόδιο διαχειριστή δικτύου”.

Εγκύκλιος ΥΑΠΕ/Φ1/οικ.26928 ,(16-12-2010), “Εφαρμογή των διατάξεων του ν.3851/2010 σχετικών με την εξέταση αιτημάτων για την εγκατάσταση σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. σε γεωργική γη υψηλής παραγωγικότητας, συμπεριλαμβανομένης της κατηγορίας των επαγγελματιών αγροτών”.

Εγκύκλιος 1078580/6637/491/Β0014 ,(6-8-2009), “Φορολογική αντιμετώπιση της εγκατάστασης φωτοβολταϊκών συστημάτων μέχρι 10 kWp σε κτιριακές εγκαταστάσεις κατοικιών ή πολύ μικρών επιχειρήσεων”.

4.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΔΕΙΟΔΟΤΗΣΗΣ

Η διαδικασία αδειοδότησης διακρίνεται ανάλογα με το φορολογικό καθεστώς. Υπάρχουν τα οικιακά φωτοβολταϊκά (σε κτιριακές εγκαταστάσεις κατοικιών ή πολύ μικρών επιχειρήσεων), και τα επιχειρηματικά – αγροτικά φωτοβολταϊκά.

Παρακάτω αναφέρονται τα βήματα για επιχειρηματικά φωτοβολταϊκά.

ΒΗΜΑΤΑ & ΑΠΑΡΑΙΤΗΤΑ ΔΙΚΑΙΟΛΟΓΗΤΙΚΑ ΓΙΑ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ ΣΕ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ έως 500 kW επί εδάφους ή έως 1 MW επί κτιρίου ή στεγάστρου (σύμφωνα με τον νέο Νόμο 3851/2010 και τις πρόσφατες ανακοινώσεις της ΔΕΗ).

1. Βήματα για την υλοποίηση επένδυσης φωτοβολταϊκού σταθμού επί εδάφους

- Επιλογή κατάλληλου αγροτεμαχίου / γηπέδου για την εγκατάσταση του Φ-Β σταθμού:
 1. Να υπάρχει 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). Γίνονται δεκτά και προσύμφωνα αγοράς ή μίσθωσης.
 2. Να είναι άρτιο και οικοδομήσιμο (άρα τουλάχιστον 4 στρ. για εκτός σχεδίου).
 3. Να υπάρχει πρόσβαση (επαρχιακός, δημοτικός, αγροτικός δρόμος)
 4. να μην είναι μακριά από το δίκτυο ΔΕΗ (λόγω μεγαλύτερου κόστους – χρόνου σύνδεσης).
 5. Να μην εντάσσεται στις ζώνες αποκλεισμού (αρχαιολογικές ζώνες, δάση, γη υψηλής παραγωγικότητας (στην Αττική και πάνω από το 1% της καλλιεργήσιμης γης στους υπόλοιπους νομούς), κηρυγμένα μνημεία της φύσης).
 6. Θα πρέπει να υπάρχει τοπογραφικό του χώρου εγκατάστασης (1:500). Στο τοπογραφικό οι κορυφές του χώρου εγκατάστασης πρέπει να είναι εξαρτημένες στο «Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς» (ΕΓΣΑ) '87. Θα απαιτηθούν χάρτες του χώρου εγκατάστασης από τη Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού (ΓΥΣ) κλίμακας 1:5.000 και 1:50.000 (γεωαναφερμένοι και οι δύο χάρτες) και με αποτύπωση του πολυγώνου του γηπέδου (χώρου) της εγκατάστασης. Οι κορυφές του πολυγώνου του χώρου εγκατάστασης πρέπει να είναι εξαρτημένες στο «Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς» (ΕΓΣΑ) '87. Το τοπογραφικό πρέπει να είναι εκτυπωμένο με υπογραφή και σφραγίδα τοπογράφου ή πολιτικού μηχανικού. Επίσης απαιτείται το πλήρες αρχείο σε AutoCAD (αρχείο .dwg) του τοπογραφικού (συμπεριλαμβανομένων των χαρτών ΓΥΣ σε ψηφιακή μορφή). Σε περίπτωση που κριθεί αναγκαία η λήψη Ε.Π.Ο. θα απαιτηθούν και φωτογραφίες του χώρου εγκατάστασης (ιδανικά από 4 διαφορετικές γωνίες λήψης).

- Σύσταση εταιρείας (Ατομική, Ο.Ε., Ε.Ε., Ε.Π.Ε., Α.Ε.) η οποία θα υποβάλλει τις αιτήσεις για αδειοδότηση του έργου ή προσθήκη σε καταστατικό υφιστάμενης εταιρείας της νέας δραστηριότητας «παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ».
- Κατοχή του γηπέδου εγκατάστασης (Τίτλος κυριότητας του γηπέδου εγκατάστασης (συμβολαιογραφική πράξη και πιστοποιητικό μεταγραφής της στο υποθηκοφυλακείο), ή νόμιμης κατοχής αυτού (μισθωτήριο συμβόλαιο της εταιρείας του επενδυτή). Γίνονται δεκτά και προσύμφωνα αγοράς ή μίσθωσης. (Πριν την σύνδεση με το δίκτυο θα απαιτηθεί συμβολαιογραφική πράξη μίσθωσης με πιστοποιητικό μεταγραφής του στο υποθηκοφυλακείο).
- Αίτηση προς ΔΕΗ για τον προσδιορισμό των όρων σύνδεσης του Φ-Β σταθμού στο δίκτυο.
- Αίτηση για λήψη βεβαίωσης απαλλαγής από έγκριση περιβαλλοντικών όρων (ΕΠΟ) από την αρμόδια περιβαλλοντική αρχή (για σταθμούς ισχύος έως 500 kW). Κατ' εξαίρεση υπόκειται σε διαδικασία ΕΠΟ φωτοβολταϊκά ισχύος έως 500 kW εφόσον : α) εγκαθίσταται σε περιοχές Natura 2000 ή σε παράκτιες ζώνες που απέχουν λιγότερο από 100 μέτρα από την οριογραμμή του αιγιαλού και β) γειτνιάζουν, σε απόσταση μικρότερη των 150 μέτρων με άλλο Φωτοβολταϊκό Σταθμό και η συνολική ισχύς των σταθμών υπερβαίνει το όριο των 500 kW . Έγκριση περιβαλλοντικών όρων (ΕΠΟ) απαιτείται οποσδήποτε για σταθμούς ισχύος άνω των 500 kW.
- Αίτηση για έγκριση εργασιών μικρής κλίμακας από Πολεοδομία (ή έγκριση εργασιών).

Για την αίτηση θα απαιτηθούν: 1. Γνωμοδότηση από αρχαιολογικές υπηρεσίες (Εφορία προϊστορικών και κλασικών αρχαιοτήτων, Εφορία βυζαντινών αρχαιοτήτων, Εφορία νεότερων μνημείων), 2. Πράξη χαρακτηρισμού του αγροτεμαχίου από δασαρχείο, 3. Βεβαίωση χρήσης γης από πολεοδομία, 4. Βεβαίωση περί γης υψηλής παραγωγικότητας από ΝΕΧΩΠ.

- Σύμβαση σύνδεσης με τη ΔΕΗ για τη σύνδεση του Φ-Β σταθμού στο δίκτυο.
- Σύμβαση πώλησης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας με ΛΑΓΗΕ.
- Εγκατάσταση και σύνδεση του Φ-Β σταθμού στο δίκτυο.

2. Βήματα για την υλοποίηση επένδυσης φωτοβολταϊκού σταθμού επί κτιρίου ή στεγάστρου:

- Επιλογή κατάλληλης στέγης ή στεγάστρου για την εγκατάσταση του Φ-Β σταθμού.
- Σύσταση εταιρείας (Ατομική, Ο.Ε., Ε.Ε., Ε.Π.Ε., Α.Ε.) η οποία θα υποβάλλει τις αιτήσεις για αδειοδότηση του έργου ή προσθήκη σε καταστατικό υφιστάμενης εταιρείας της νέας δραστηριότητας «παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ».

- Τίτλος κυριότητας ή νόμιμης κατοχής του χώρου εγκατάστασης (στέγη) , κατά περίπτωση, ως ακολούθως:
1. για εγκατάσταση του σταθμού σε ιδιόκτητο χώρο από τον κύριο του χώρου αυτού: Τίτλος κυριότητας (αντίγραφο της συμβολαιογραφικής πράξης αγοράς οικοπέδου και της οικοδομικής άδειας, ή συμβολαιογραφική πράξη αγοράς κτιρίου και πιστοποιητικό μεταγραφής της στο υποθηκοφυλακείο).
 2. για εγκατάσταση σταθμού σε ιδιόκτητο χώρο από τρίτο, πλην του ιδιοκτήτη: Μισθωτήριο συμβόλαιο (είτε σφραγισμένο από την αρμόδια ΔΟΥ, είτε από συμβολαιογράφο με το πιστοποιητικό μεταγραφής του στο υποθηκοφυλακείο). Αίτηση προς ΔΕΗ για τον προσδιορισμό των όρων σύνδεσης του Φ-Β σταθμού στο δίκτυο.
 - Αίτηση για έγκριση εργασιών μικρής κλίμακας από Πολεοδομία (για ΦΒ ισχύος > 100 kW).
 - Σύμβαση σύνδεσης με τη ΔΕΗ για τη σύνδεση του Φ-Β σταθμού στο δίκτυο.
 - Σύμβαση πώλησης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας με ΛΑΓΗΕ (ή ΔΕΗ για νησιά).
 - Εγκατάσταση και σύνδεση του Φ-Β σταθμού στο δίκτυο.

4.3 Επιδότησεις φωτοβολταϊκών παρκων-σταθμών

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θέσει ως στόχο της για το 2020 το 20% της κατανάλωσης ενέργειας της Ευρώπης να προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ (φωτοβολταϊκά - ανεμογεννήτριες)). Στην Ελλάδα το ποσοστό - στόχος για το 2020 έχει τεθεί στο 40% όταν το 2010 ανήλθε μόλις στο 10%. Πιο συγκεκριμένα, ο εθνικός στόχος για τα φωτοβολταϊκά είναι η εγκατάσταση 1.500 μεγαβάτ (MWp) ως το 2014 και συνολικά 2.200 MWp ως το 2020. Ο οικιακός τομέας δεν περιλαμβάνεται στα όρια αυτά και μπορεί να αναπτυχθεί χωρίς περιορισμούς. Ακολουθούν τα βασικά σημεία που πρέπει να γνωρίζει ένας επενδυτής για τα φωτοβολταϊκά φωτοβολταϊκά συστήματα στην Ελλάδα.

A] ΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΗ ΕΠΕΝΔΥΣΕΩΝ

Από τον Φεβρουάριο του 2010, δεν υφίστανται επιδοτήσεις για τα φωτοβολταϊκά πάρκα μέσα από τον Αναπτυξιακό Νόμο, παρόλα αυτά οι επενδύσεις σε

φωτοβολταϊκά θεωρούνται βιώσιμες και κερδοφόρες. Αυτό ισχύει γιατί η τιμή της κιλοβατώρας επιδοτείται. Ένας επενδυτής αρχικά ήταν υποχρεωμένος να καλύψει μόνο ένα μικρό μέρος της συνολικής δαπάνης της επένδυσης, συνήθως το 25% (ίδια συμμετοχή) ενώ το υπόλοιπο 75% μπορεί να το καλύψει με χρήση τραπεζικού δανεισμού. Στην πραγματικότητα η αναλογία αυτή έχει ανέλθει λόγω κρίσης στο 50% -50% και έχει την τάση να μειώνεται η συμμετοχή των τραπεζών. Οι περισσότερες Ελληνικές τράπεζες ενώ κάλυπταν έως και το 100% της αξίας του φωτοβολταϊκού σταθμού με ιδιαίτερα ευνοϊκά επιτόκια τώρα πια γίνεται με πολύ αυστηρούς όρους λόγω έλλειψης ρευστότητας. Μεγάλες εταιρείες στο χώρο χρηματοδοτούν τις κατασκευές κερδίζοντας ένα μεγάλο μερίδιο της αγοράς. Το κόστος προμήθειας των φωτοβολταϊκών πάνελ πέφτει διαχρονικά ενώ η νέα νομοθεσία παρέχει κίνητρα ώστε, ο επενδυτής να πραγματοποιεί απόσβεση του κεφαλαίου του σε σχετικά σύντομο χρόνο.

B] ΤΙΜΗ ΠΩΛΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΔΕΗ

Για την κατηγορία συστημάτων Β (μικρά οικιακά φωτοβολταϊκά συστήματα) η παραγόμενη από το φωτοβολταϊκό σύστημα ηλιακής ενέργειας και μετατρεπόμενη σε ηλεκτρική ενέργεια διοχετεύεται στο δίκτυο της ΔΕΗ και ο επενδυτής πληρώνεται γι' αυτή με 55 λεπτά την κιλοβατώρα (0,55 eurw/kWh) για το 2011 με απόμειωση 5% για σύναψη συμβολαίου με την ΔΕΗ για κάθε επόμενο χρόνο, τιμή που είναι εγγυημένη από την ΔΕΗ για 25 χρόνια σύμφωνα με την υπογεγραμμένη σύμβαση της ΔΕΗ.

Γ] ΑΠΟΔΟΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Οι προϋποθέσεις αξιοποίησης των Φ/Β (Φωτοβολταϊκών συστημάτων) συστημάτων στην Ελλάδα είναι από τις καλύτερες στην Ευρώπη, αφού η συνολική ενέργεια που δέχεται κάθε τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας στην διάρκεια ενός έτους κυμαίνεται από 1400-1800 kW. Τα περιστρεφόμενα Φωτοβολταϊκά φωτοβολταϊκά συστήματα δηλαδή τα φωτοβολταϊκά πλαίσια που είναι τοποθετημένα πάνω σε ηλιακούς ικνηλάτες (Trackers) προσφέρουν μεγαλύτερη απόδοση αλλά κοστίζουν και αρκετά ακριβότερα. Ακολουθούν αναλυτικά οι κατηγορίες φωτοβολταϊκών συστημάτων στην Ελλάδα και το καθεστώς αδειοδότησης τους.

A' ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ:

Μικρά οικιακά φωτοβολταϊκά φωτοβολταϊκά συστήματα

Υποκατηγορία 1: Οικιακά φωτοβολταϊκά συστήματα επί στεγών με ισχύ μικρότερη των 10 kWp (ενισχυόμενα από το ειδικό πρόγραμμα που ξεκίνησε στα μέσα του 2009).

Υποκατηγορία 2: Οικιακά φωτοβολταϊκά συστήματα επί στεγών με ισχύ μικρότερη των 10 kWp σε διατηρητέα κτίρια.

ΑΔΕΙΟΔΟΤΗΣΕΙΣ -ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑΣ Α

Από 1ης Ιουλίου 2009 έχει τεθεί σε ισχύ ένα ειδικό πρόγραμμα για την εγκατάσταση μικρών φωτοβολταϊκών συστημάτων (<10 kWp) στον οικιακό τομέα. Για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών επί διατηρητέων κτιρίων και εντός παραδοσιακών οικισμών απαιτούνταν μέχρι πρόσφατα η έκδοση ειδικής ανά περίπτωση υπουργικής απόφασης (μείζον εμπόδιο το οποίο έχει αρθεί από τον Σεπτέμβριο του 2010). Η πρώτη φάση του προγράμματος αφορούσε μόνο στην ηπειρωτική χώρα και μόνο στα νησιά εκείνα που είναι διασυνδεδεμένα με το ηπειρωτικό δίκτυο. Τα νησιά που διαθέτουν αυτόνομο ηλεκτρικό δίκτυο δεν καλύπτονταν από το πρόγραμμα (και το εμπόδιο αυτό έχει αρθεί από τον Σεπτέμβριο του 2010). Για την ένταξη στο καθεστώς κινήτρων του προγράμματος, μέρος των αναγκών σε ζεστό νερό χρήσης πρέπει να καλύπτεται από ηλιοθερμικά φωτοβολταϊκά συστήματα ή άλλες τεχνολογίες ΑΠΕ (φωτοβολταϊκά - ανεμογεννήτριες). Οι εμπλεκόμενες υπηρεσίες είναι η τοπική ΔΕΗ (ή θεωρητικά κάποιος άλλος πάροχος ηλεκτρικής ενέργειας) και μέχρι πρόσφατα η τοπική Διεύθυνση Πολεοδομίας η οποία παρείχε την έγκριση εργασιών δόμησης μικρής κλίμακας. Από τον Σεπτέμβριο του 2010, η μόνη εμπλεκόμενη υπηρεσία είναι η τοπική ΔΕΗ.

Β' ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ:

Μικρές και μεσαίου μεγέθους εφαρμογές σε στέγες επιχειρήσεων

Υποκατηγορία 1: φωτοβολταϊκά συστήματα επί εμπορικών κτιρίων με εγκατεστημένη ισχύ έως 20 kWp (κυρίαρχο κομμάτι της αγοράς μέχρι πρότινος).

Υποκατηγορία 2: φωτοβολταϊκά συστήματα επί εμπορικών στεγών με εγκατεστημένη ισχύ έως 10 kWp (ενισχυόμενα από το ειδικό πρόγραμμα που ξεκίνησε στα μέσα του 2009).

Υποκατηγορία 3: φωτοβολταϊκά συστήματα επί εμπορικών κτιρίων με εγκατεστημένη ισχύ 20-150 kWp (αναδυόμενο κομμάτι της αγοράς που αναμένεται να ανθίσει μετά και την ψήφιση του Ν.3851/2010).

Υποκατηγορία 4: φωτοβολταϊκά συστήματα επί εμπορικών κτιρίων με εγκατεστημένη ισχύ άνω των 150 kWp (αναδυόμενο κομμάτι της αγοράς που αναμένεται να ανθίσει μετά και την ψήφιση του Ν.3851/2010).

Υποκατηγορία 5: φωτοβολταϊκά συστήματα επί διατηρητέων εμπορικών κτιρίων.

ΑΔΕΙΟΔΟΤΗΣΕΙΣ -ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑΣ Β

Η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πάρκων ισχύος έως 20 kWp σε εμπορικά κτίρια ακολουθεί μια σχετικά απλή διαδικασία. Μέχρι πρόσφατα, για τα φωτοβολταϊκά συστήματα άνω των 20 kWp απαιτούνταν **έγκριση περιβαλλοντικών όρων από τις αρμόδιες περιφερειακές αρχές, καθώς και η έκδοση μιας “εξαίρεσης” από άδεια παραγωγής που χορηγούσε η ΡΑΕ.** Τα στάδια αυτά έχουν ορθώς καταργηθεί με το Ν.3851/2010. Από τον Σεπτέμβριο του 2010, η μόνη εμπλεκόμενη υπηρεσία είναι η τοπική ΔΕΗ.

Γ' ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ:

Μεσαίου και μεγάλου μεγέθους φωτοβολταϊκά συστήματα επί εδάφους

Υποκατηγορία 1: φωτοβολταϊκά συστήματα επί εδάφους με ισχύ από 20 kWp έως 150 kWp (κυρίαρχο κομμάτι της αγοράς μέχρι πρότινος).
Υποκατηγορία 2: φωτοβολταϊκά συστήματα επί εδάφους με ισχύ μεγαλύτερη των 150 KWp (αναδυόμενο κομμάτι της αγοράς).

ΑΔΕΙΟΔΟΤΗΣΕΙΣ -ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑΣ Γ

Η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών επί εδάφους ακολουθούσε μια χρονοβόρα διαδικασία αδειοδότησης η οποία περιλάμβανε την έκδοση μιας ειδικής άδειας παραγωγής από τη ΡΑΕ καθώς και περιβαλλοντική αδειοδότηση από τις αρμόδιες περιφερειακές υπηρεσίες. Μέχρι πρότινος, τα μεγάλης ισχύος φωτοβολταϊκά συστήματα ακολουθούσαν μία διαδικασία περιβαλλοντικής αδειοδότησης δύο σταδίων στα οποία λίγο πολύ εμπλέκονταν οι ίδιες υπηρεσίες. Ο νέος Ν.3851/2010 συνένωσε τα δύο αυτά στάδια σε ένα. Τα μεγάλης ισχύος έργα (>1 MWp) απαιτούν επίσης δύο ακόμη άδειες, την άδεια εγκατάστασης και την άδεια λειτουργίας.

Βιβλιογραφία τέταρτου μέρους

[4.1]<http://www.solar-systems.gr/photovoltaic-subsidy-investment-greece-2011-2012.html>

[4.2]<http://www.heliosres.gr/el/information/procedure.html>

[4.3]<http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=555&language=el-GR>

[4.4]http://www.express.gr/afieroma/environment/156555oz_20090414156555.p3

ΜΕΡΟΣ ΠΕΜΠΤΟ

Οικονομοτεχνική Μελέτη & Ανάλυση Προσφοράς Κατασκευής Φ/Β Πάρκου 100kWp

Θέση: «Λέικα»
Δήμου: Καλαμάτας
Νομού: Μεσσηνίας

A. Στοιχεία Επένδυσης

Η παρούσα οικονομοτεχνική μελέτη αφορά την κατασκευή και λειτουργία Φωτοβολταϊκού Σταθμού Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας ισχύος **100 kWp** στο χωριό Λέικα, του Δήμου Καλαμάτας, Νομού Μεσσηνίας.

Η συγκεκριμένη επένδυση έχει προσκομίσει Προσφορά Όρων Σύνδεσης Από ΔΕΗ (Αρ. 52471/2011), Απαλλαγή από ΕΠΟ (Αρ. Πρωτ. 60450/2011), Έγκριση Εργασιών Μικρής Κλίμακας από Πολεοδομία Καλαμάτας Μεσσηνίας (Αρ. Πρωτ. 8585/2011), Έγκριση Δασαρχείου και ΝΕΧΩΠ, έχει καταθέσει αίτηση στον ΛΑΓΗΕ (Αρ. Πρωτ. 13095/2011) και αναμένεται να συνάψει Σύμβαση Σύνδεσης με το Δίκτυο Χ.Τ. της ΔΕΗ και Σύμβαση Πώλησης Ηλεκτρικής Ενέργειας με τον ΛΑΓΗΕ. Έχει εξασφαλίσει τιμή πώλησης ρεύματος στην ΔΕΗ με **0,41943 €/kWh**.

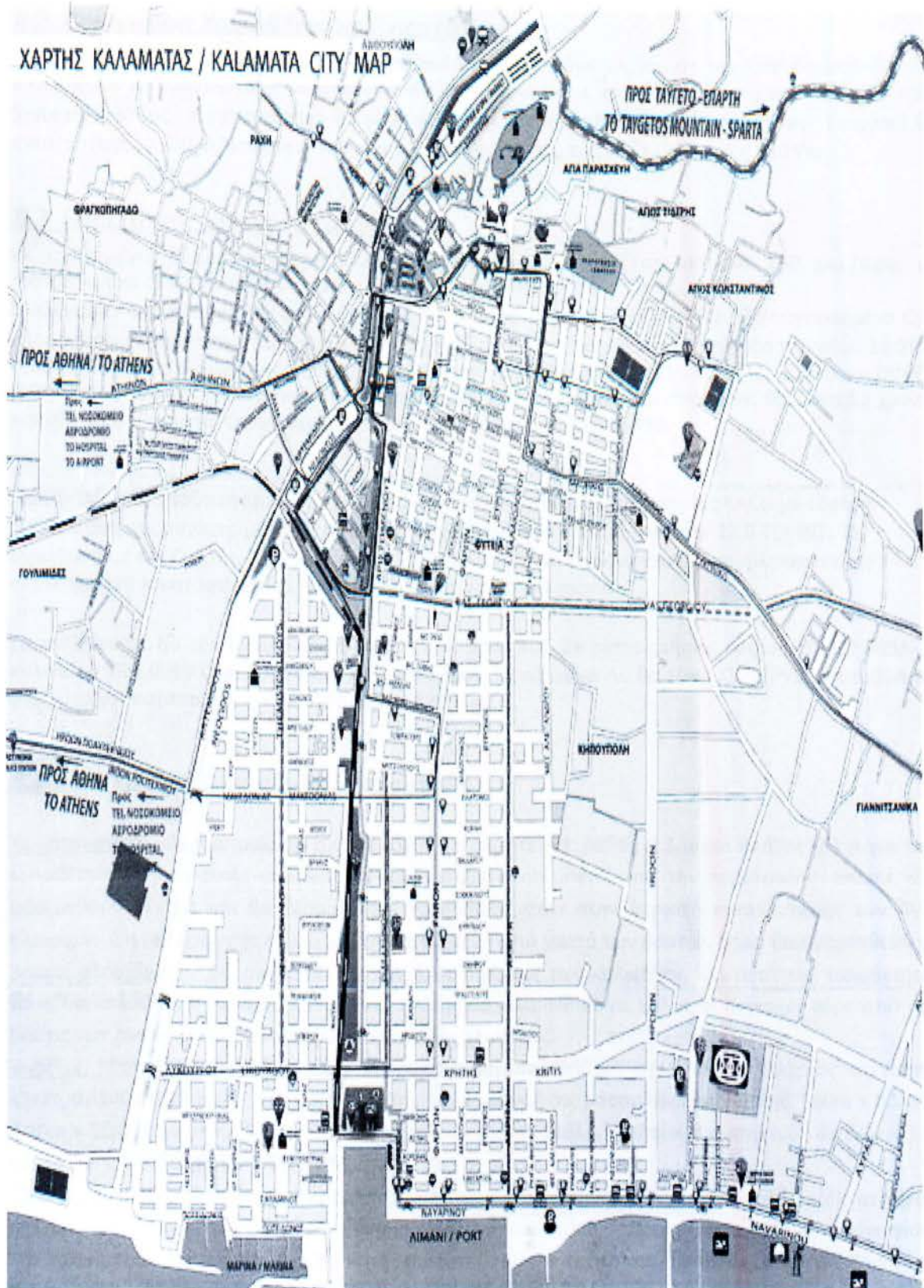
Το αγροτεμάχιο έχει έκταση 1,352.35 τ.μ.

B. Περιγραφή Εγκατάστασης – Κατασκευής

B.1 Περιγραφή Τοποθεσίας

Το συγκεκριμένο αγροτεμάχιο είναι ικανοποιητικό για εγκατάσταση Φωτοβολταϊκού σταθμού. Έχει κλίση βορειοανατολικά, το οποίο μας αναγκάζει την εγκατάσταση με απόκλιση από βορά 37° και απόκλιση από ανατολή 22°, ο ορίζοντας προς νότο είναι καθαρός (μέγιστο ύψος εμποδίων 11°), βρίσκεται 2,5 χλμ. από θάλασσα και δεν είναι ορατό από οδούς συχνής διέλευσης.

ΧΑΡΤΗΣ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ / KALAMATA CITY MAP



B.2 Περιγραφή Χωροθέτησης Εγκατάστασης

Μετά από μελέτη χωροθέτησης και αυτό-σκιάσεων, και λόγω επιθυμίας του Επενδυτικού Φορέα, καταλήξαμε σε εγκατάσταση με σταθερά πλαίσια αλουμινίου, με πασαλόμπηξη από τον οίκο Alfa-Systems Ελλάδος. Η εγκατάσταση θα γίνει σε είκοσι σειρές φωτοβολταϊκών στοιχείων. Συνολικά θα εγκατασταθούν 430 Φ/Β πλαίσια του οίκου Luxor Γερμανίας, τύπου LX230P ισχύς 230 Wp.

B.3 Εξοπλισμός Εγκατάστασης

Οι επιλεγμένες βάσεις αλουμινίου Alfa-Systems, έχουν αντοχή σε ανέμους 130 χλμ./ώρα, με πιστοποιητικό ISO9001:2008 συν άλλα και έχουν εγγύηση 20 έτη.

Επελέγησαν Φ/Β πλαίσια της εταιρίας Luxor, Γερμανίας, τύπος LX230P 230 Wp. Τα συγκεκριμένα Φ/Β πλαίσια έχουν διαστάσεις 1640mm x 992 mm x 45 mm, έχουν απόδοση σε επίπεδο πλαισίου 14,01%, έχουν Συντελεστή Θερμοκρασίας Pn -0,49%/K και πιστοποιήσεις IEC 61215 Ed. 2, IEC 61730 και DIN EN ISO 9001 και 14001. Έχουν εγγύηση καλής λειτουργίας 10 χρόνων και απόδοσης 90% στα 12 χρόνια και 80% στα 25 χρόνια. Ο συνολικός αριθμός Φ/Β πλαισίων θα είναι 430.

Για την μέγιστη απόδοση και ποιότητα, επελέγησαν αντιστροφείς της εταιρίας KACO με έδρα το **Neckarsulm**, και συγκεκριμένα, δέκα (10) αντιστροφείς τύπου KACO Powador 12.0 TL3 INT. Οι αντιστροφείς KACO έχουν απόδοση ως 98 %. Έχουν εγγύηση 7 χρόνων, αλλά προβλέπεται στην συγκεκριμένη εγκατάσταση και η επέκταση εγγύησης σε 10 χρόνια.

Τα καλώδια DC θα είναι του οίκου Olflex, τύπου Solar XLS, με πιστοποιήσεις καιρού/UV HD 605/A1, καλωδίου VDE 0295 Class 5/ IEC 60228 Class 5, κλπ. Τα καλώδια AC θα είναι XLPE/PVC οπλισμένα με ατσάλινα με πιστοποιήσεις VDE 0295/ EN 60228 Class 2.

B.4 Περιγραφή Εργασιών-Κατασκευής

- i. **Χωματοουργικά:** Περιμετρικά το αγροτεμάχιο θα σκαφτεί σε βάθος 0.3 μ και πλάτος 0.3 μ για την τοποθέτηση περιμετρικής γείωσης και για τοποθέτησης μπετού για την περίφραξη. Επίσης, θα αφαιρεθούν δέντρα και θα εξομαλυνθεί το έδαφος κατά στην περιοχή εγκατάστασης των Φ/Β πλαισίων. Θα σκάψουν χαντάκια για την κατασκευή από μπετό των βάσεων όπου θα αναρτηθούν οι βάσεις αλουμινίου. Θα σκαφτούν τα χαντάκια όδευσης των καλωδίων, και μετά την τοποθέτησή τους, θα καλυφθούν με άμμο και χαλίκι. Επίσης θα καλυφθούν με χαλίκι οι περιοχές γύρο από της βάσεις των tracker, προς την αποφυγή ανάπτυξης χλωρίδας.
- ii. **Εργασίες Μπετού & Στύριξης:** Θα κατασκευαστεί το ερμάριο της ΔΕΗ, ο οικίσκος στέγασης ηλεκτρονικού εξοπλισμού, 2m x 2m x 2.25m, και το σενάζ της βάσης της περίφραξης, 360m x 0.5m x 0.20m = 36m³ από σκυρόδεμα. Θα τοποθετηθούν και πάσσαλοι η οποίοι θα μηηχτούν σε βάθος 1.5 μέτρα για την στήριξη των βάσεων τον Φ/Β.
- iii. **Περίφραξη:** Θα εγκατασταθεί περίφραξη δικτυωτού συρμάτινου πλέγματος (γαλβανιζέ), με ύψος πλέγματος ύψους 2,00m, υπεράνω του οποίου θα τοποθετηθούν τρεις σειρές αγκαθωτού σύρματος. Στο κάτω μέρος της περίφραξης θα κατασκευαστεί χαμηλό τοίχιο από σκυρόδεμα ύψους 35cm και πλάτους 20cm, το οποίο θα τοποθετηθεί επί του εδάφους σε βάθος τουλάχιστον 20cm. Το συνολικό

ύψος της περίφραξης θα είναι 2,50m. Θα κατασκευαστεί πόρτα, ανοιγόμενη, το κάθε φύλλο 2,00m κατάσκευασμένη από σωλήνα γαλβανισμένο Φ2 και η χιαστή της από Φ1½ επενδυμένη με πλέγμα γαλβανιζέ.

- iv. Σύστημα Γείωσης: Θα εφαρμοστεί σύστημα γείωσης και αντικεραυνικής προστασίας σύμφωνα με το πρότυπο IEC EN 62305 Επίπεδο Προστασίας III με υλικά της εταιρίας DEHN. Θα αποτελείται από περιμετρική γείωση ταινίας 30x3,5mm St/tZn. Οι αγωγοί θα είναι Φ8 από St/tZn. Επιπλέον θα δημιουργηθεί τρίγωνο γείωσης δίπλα στο παροχόμετρο με τρία ηλεκτρόδια Φ14 x 1500 Cu. Για την γενική προστασία όλης της εγκατάστασης από AC πλευρά θα τοποθετηθεί μια διάταξη DEHN Shield DSH TT 255, 4 πόλοι, παράλληλα των τριών φάσεων και τον ουδέτερο έναντι γείωσης. Θα εφαρμοστεί και προστασία στην DC πλευρά, και στα κυκλώματα επικοινωνίας και CCTV.
- v. Σύστημα Ασφαλείας: Θα εγκατασταθεί σύστημα ασφάλειας και παρακολούθησης με 3 μονάδες Laser Beam της Selco, Paradox κεντρική μονάδα, 4 κάμερες έγχρωμες, AVTECH DVR καταγραφικό με 500Gb Western Digital σκληρό δίσκο, Paradox Lan/Internet Module, Option Globesurfer III 3G+ Wireless Gateway και ότι απαραίτητο για την ορθή λειτουργία τους, δίνοντας δυνατότητα παρακολούθησης και ειδοποίησης μέσω κινητού και internet.
- vi. Εγκατάσταση Βάσεων Αλουμινίου: Θα προσκομιστούν και συναρμολογηθούν βάσεις αλουμινίου του οίκου Alfa-Systems, πάνω στους πασσάλους που θα έχουν ήδη τοποθετηθεί στο έδαφος.
- vii. Εγκατάσταση Φ/Β πλαισίων: Θα προσκομιστούν 430 Φ/Β πλαίσια της εταιρίας Luxor τύπου LX230P, τα οποία θα τοποθετηθούν και βιδωθούν στις βάσεις αλουμινίου.
- viii. Εγκατάσταση Αντιστροφών: Οι αντιστροφείς θα τοποθετηθούν σε κεντρικά σημεία ώστε να εξυπηρετούν την σύνδεση των Φ/Β πλαισίων και να έχουμε το δυνατόν μικρότερες αποστάσεις να διανύσουν τα καλώδια. Στην πρώτη σειρά θα τοποθετηθεί, στο κέντρο της, ο πρώτος inverter Powador 12.0 TL3 INT. Στο κέντρο της τρίτης σειράς θα τοποθετηθεί ο δεύτερος. Σε κάθε Powador 12.0 TL3 INT θα συνδεθούν σε δύο string από 20 Φ/Β πλαίσια, συνολικά 40 Φ/Β πλαίσια.
- ix. Καλώδια & Πίνακες: Για την σύνδεση των Φ/Β πλαισίων στους Αντιστροφείς θα χρησιμοποιηθούν Olflex Solar XLS 4mm διαμέτρου, ενώ για την σύνδεση των Αντιστροφών στην AC πλευρά θα χρησιμοποιηθούν καλώδια XLPE/PVC 10 mm διαμέτρου. Οι συνολικές απώλειες λόγω καλωδίων ένας AC, με ασφάλεια στην DC πλευρά για κάθε string, και με ασφάλεια στην AC πλευρά για κάθε φάση του κάθε inverter. Και ένας κεντρικός πίνακας προ της σύνδεσης με τον μετρητή της ΔΕΗ. Προφανώς θα υπάρχουν και οι πίνακες αντικεραυνικής προστασίας.
- x. Παρακολούθηση & Επικοινωνία: Για την παρακολούθηση της απόδοσης και των καιρικών συνθηκών, θα εγκατασταθεί και μετεωρολογικός σταθμός συνδεδεμένος με τους tracker, ώστε να αποφευχθούν ζημιές λόγω ανέμων, αλλά και SMA Sunny Webbox για σύνδεση των αντιστροφών με το internet, για παρακολούθηση απόδοσης, SMA Sunny Sensorbox για σύνδεση αισθητήρων SMA DC Wind Sensor και SMA DC Temp Sensor, για παρακολούθηση των συνθηκών ανέμου και θερμοκρασίας εξ αποστάσεως.
- xi. Έλεγχος Εγκατάστασης: Με την ολοκλήρωση της εγκατάστασης, θα υπάρξει έλεγχος σωστής και καλής λειτουργίας του συνόλου και έλεγχος της απόδοσης, και τον Φ/Β πλαισίων αλλά και του συνόλου του Φ/Β σταθμού.

B.5 Χρονοδιάγραμμα Κατασκευής

Το συνολικό χρονικό διάστημα προμήθειας και κατασκευής του έργου ανέρχεται σε τρεις (3) μήνες, και αναλύεται ως ακολούθως:

1. Χωματοουργικά, μπετά & περίφραξη:	20 ημέρες
2. Προμήθεια Φ/Β υλικού & Tracker:	50 ημέρες, από αρχή
3. Εγκατάσταση υλικού:	20 ημέρες
4. Έλεγχος Λειτουργίας:	5 ημέρες
5. Απρόβλεπτα & Καθυστερήσεις:	15 ημέρες
6. Σύνολο:	90 ημέρες

Γ. Ανάλυση Κόστους Κατασκευής

Σημείωση: Για την προμήθεια εξοπλισμού Φ/Β πάρκου υπάρχει απαλλαγή από το ΦΠΑ κατά τον νόμο, αλλά όχι για εργασίες, χωματοουργικά & περίφραξη.

Γ.1 Χωματοουργικά, Μπετά & Περίφραξη **9.500,00€+ΦΠΑ**

- I. Χωματοουργικά:
- a. Καθαρισμός Αγροτεμάχιου από δέντρα & απομάκρυνσή τους και εξομάλυνση εδάφους και διαμόρφωση επιχώσεων κατά όμβριων,;
400,00€
 - b. Καθαρισμός επιφάνειας περιοχής εγκατάστασης βάσεων στήριξης:
200,00€
 - c. Εκσκαφή χαντακιών περιμετρικά για βάση περίφραξης & γείωση και εσωτερικά για όδευση καλωδίων και για βάσεις στήριξης: 200,00€
 - d. Προμήθεια, μεταφορά & στρώση άμμου & χαλικιού πάνω από καλώδια, γείωσης και σύνδεσης, και γύρω από βάσεις στήριξης για μη ανάπτυξη χλωρίδας, 44 m³ άμμο & χαλίκι & εργατικά και μηχανήματα επίστρωσης:
200,00€
- Σύνολο: 1.000,00€ + ΦΠΑ**

- II. Μπετά & Πασαλόμπηξη:
- a. Πασαλόμπηξη: 2.000,00€
 - b. Ερμάριο ΔΕΗ, 1,75m³ x 230€: 500,00€
 - c. Οικίσκος: 1.000,00€
- Σύνολο: 3.500,00€ + ΦΠΑ**

- III. Περίφραξη

a. Περίφραξη, 100 m x 25 €/m:	2.500,00€
b. Πόρτα & κολόνες πόρτας:	1.500,00€

Σύνολο: 5.000€ + ΦΠΑ

Γ.2 Συστήματα Ασφαλείας, Γείωσης, Πίνακες & Καλώδια 14.500,00

I. Σύστημα Ασφαλείας:	2.500,00€
II. Σύστημα Γείωσης:	5.000,00€
III. Πίνακες:	3.000,00€
IV. Καλώδια:	4.000,00€

Γ.3 Βάσεις, Φ/Β Πλ., Αντιστροφείς, Συστ. Παρακολ. 114.504,133€

I. Βάσεις Αλουμινίου & Μεταφορικά:	10.000,00€
II. Φ/Β Πλαίσια & Μεταφορικά:	77.854,08€
III. Αντιστροφείς & Μεταφ.:	25.450,053€
IV. Συστήματα Παρακολούθησης:	1.200,00€

Γ.4 Μελέτη, Εγκατάσταση, Επίβλεψη, Έλεγχος, κλπ: 5.000,00€ + ΦΠΑ

Γ.5 Κόστος Σύνδεσης ΔΕΗ & Εγγυητική Επιστολή: 8.868,51€ + ΦΠΑ

Γ.6 Συνοπτικός Πίνακας Κόστους Επένδυσης:

ΕΡΓΑΣΙΑ/ΥΛΙΚΟ	ΚΟΣΤΟΣ	ΦΠΑ	ΣΥΝΟΛΟ:
Χωματουργικά, Μπετά & Περίφραξη	9.500,00€	2.185,00€	11.685,00€
Συστήματα Ασφαλείας, Γείωσης, Πίνακες & Καλώδια	14.500,00€	0,00€	6.500,00€
Tracker, Φ/Β Πλ., Αντιστροφείς, Συστ. Παρακολ.	114.504,133€	0,00€	109.004,133€
Μελέτη, Εγκατάσταση, Επίβλεψη, Έλεγχος, κλπ.	5.000,00€	1.150,00€	6.150,00€
Κόστος Σύνδεσης ΔΕΗ	8.868,51€	1.352,00€	10.220,51€
ΤΕΛΙΚΟ ΣΥΝΟΛΟ:			152.372,643€

ΜΕΡΟΣ ΕΚΤΟ

Δ. Ανάλυση Απόδοσης – Οικονομική Ανάλυση

Χρησιμοποιώντας τα τελευταία, δορυφορικά, δεδομένα του Joint Research Center της Ευρωπαϊκής Ένωσης, PVGIS, για την συγκεκριμένη περιοχή, και μετά από μελέτη σκιάσεων χρησιμοποιώντας το λογισμικό Sombrego επ' αυτού, αφού επιλέξαμε το υλικό των φωτοβολταϊκών να είναι πυρίτιο, τα 100 kw, την επιλογή στο πρόγραμμα δεδομένων ακτινοβολίας το "climate" και στις επιλογές fixed mounting options την επιλογή free standing options και χωρίς tracker αφόσον οι τιμές στα φωτοβολταϊκά έχουν πέσει πολύ και τα tracker είναι αρκετά πιο ακριβά, έχουμε απόδοση του συστήματός μας:

$$100 \text{ kWp} \times 12,900 \text{ kWh/kWp/έτος} = 1290 \text{ MWh/έτος}$$

Με τα δεδομένα της παραγόμενης ενέργειας ανά έτος (1290 MWh), το πληρωτέο ποσό ανά kWh (0.41943€), το συνολικό κόστος κατασκευής 152.372,643 και ένα ενδεικτικό επιτόκιο (7.5%), μπορούμε να αναλύσουμε οικονομικά την απόδοση της επένδυσης:

- 1] Εκτιμώμενες απώλειες λόγω της θερμοκρασίας και χαμηλής ακτινοβολίας: 10,1% (χρησιμοποιώντας την τοπική θερμοκρασία περιβάλλοντος)
- 2] Η εκτιμώμενη απώλεια που οφείλεται στα γωνιακά αποτελέσματα ανάκλασης: 2,4%
- 3] Άλλες ζημιές (καλώδια, inverter κλπ): 14.0%
- 4] Σε συνδυασμό απώλειες του φωτοβολταϊκού συστήματος: 24,6%

Fixed system(Σταθερό σύστημα): inclination(κλίση)=31, orientation(προσανατολισμός)=0 (Optimum at given orientation)				
Month	E _d	E _m	H _d	H _m
Jan	281.00	8700	3.52	109
Feb	326.00	9120	4.14	116
Mar	420.00	13000	5.41	168
Apr	464.00	13900	6.10	183
May	501.00	15500	6.74	209
Jun	540.00	16200	7.39	222
Jul	553.00	17100	7.64	237
Aug	540.00	16700	7.47	231
Sep	470.00	14100	6.38	191
Oct	390.00	12100	5.17	160
Nov	321.00	9640	4.13	124
Dec	268.00	8300	3.38	105
Yearly average	423	12900	5.63	171

Total for year	154000	2050
-----------------------	---------------	-------------

Όπου:

Yearly average: Ετήσιος μέσος όρος

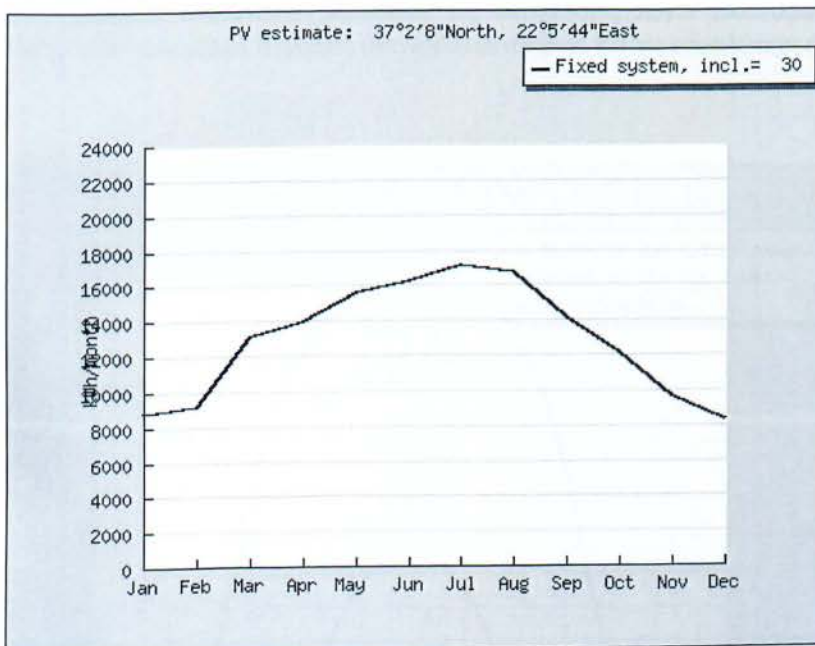
Total for year: Συνολικές αποδόσεις το χρόνο

Ed: Μέση ημερήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από το συγκεκριμένο σύστημα (kWh)

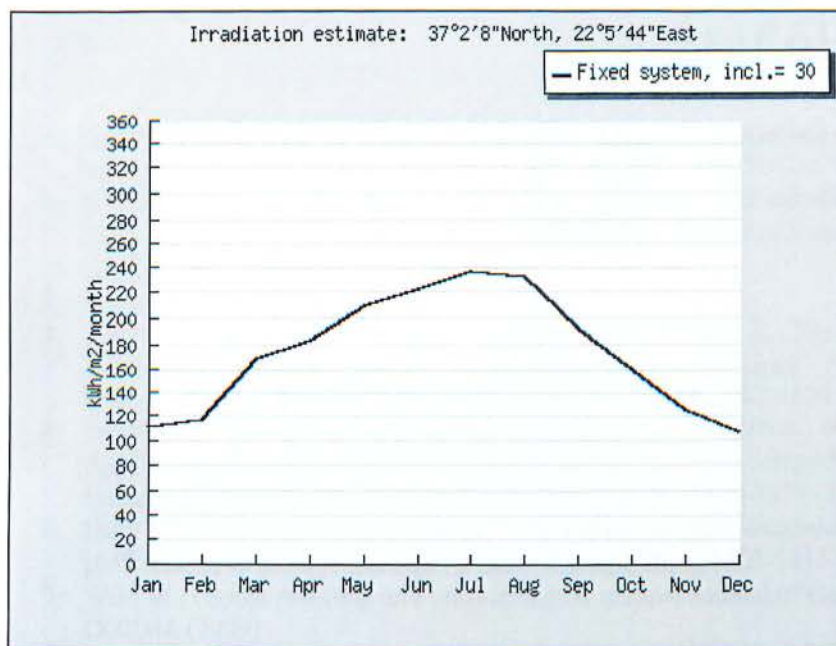
Em: Μέση μηνιαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από το συγκεκριμένο σύστημα (kWh)

H_d: Μέσο ημερήσιο άθροισμα της παγκόσμιας ακτινοβολίας ανά τετραγωνικό μέτρο που ελήφθη από τις ενότητες του συγκεκριμένου συστήματος (kWh/m²)

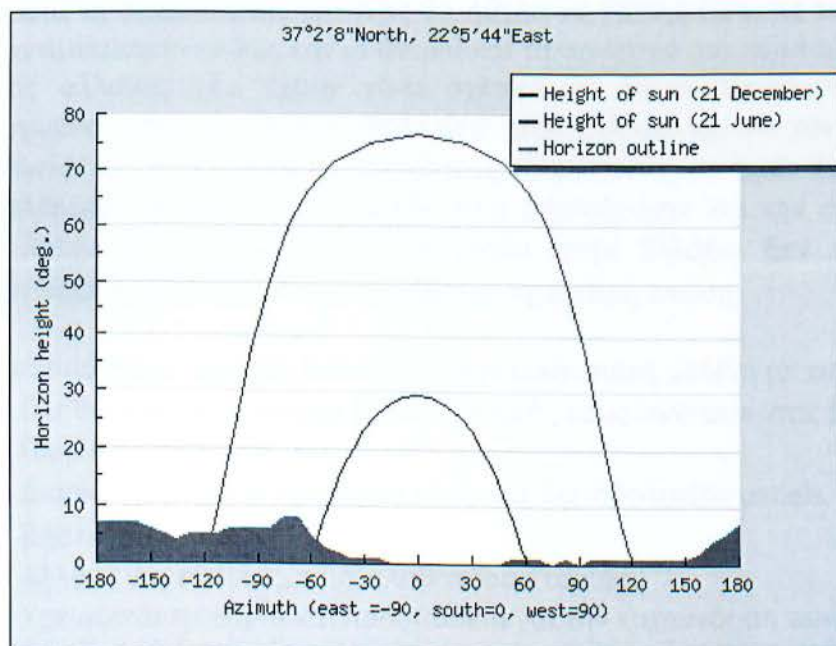
H_m: Μέσο άθροισμα της παγκόσμιας ακτινοβολίας ανά τετραγωνικό μέτρο που ελήφθη από τις ενότητες του συγκεκριμένου συστήματος (kWh/m²)



Στη γραφική παραπάνω βλέπουμε τις εκτιμήσεις από το PV πρόγραμμα.



Στη γραφική παραπάνω βλέπουμε τις εκτημήσεις λόγω ακτινοβολίας μηνιαίως. Φυσικά τους καλοκαιρινούς μήνες η ηλιακή ακτινοβολία παίρνει και τις μεγαλύτερες τιμές.



Βλέπουμε στη παραπάνω γραφική ποιο είναι το ύψος του ήλιου το καλοκαίρι (21 Ιουνίου) ακριβώς στις 75 μοίρες και το ύψος του ήλιου το χειμώνα (21 Δεκεμβρίου) 30 μοίρες. Επίσης βλέπουμε και τη γραμμή του ορίζοντα.

1. Šúri M., Hofierka J., A New GIS-based Solar Radiation Model and Its Application for Photovoltaic Assessments. *Transactions in GIS*, **8**, **2**, 175-190 (2004)
2. Šúri M., Huld T.A., Dunlop E.D., PVGIS: a web-based solar radiation database for the calculation of PV potential in Europe. *International Journal of Sustainable Energy*, **24**, **2**, 55-67 (2005)
3. Scharmer, Greif (Eds.)
4. Müller R., Matsoukas C., Gratzki A., Behr H.D., Hollmann R., The CM-SAF operational scheme for the satellite based retrieval of solar surface irradiance - A LUT based eigenvector hybrid approach. *Remote Sensing of Environment*, **113**, 1012-1024 (2009)
5. Ineichen P., Barroso C.S., Geiger B., Hollmann, R., Marsouin A., Müller R., Satellite Application Facilities irradiance products: hourly time step comparison and validation over Europe', *International Journal of Remote Sensing*, **30**, 5549-5571 (2009)
6. Huld T., Müller R., Gambardella A., A new solar radiation database for estimating PV performance in Europe and Africa. *Solar Energy*, **86**, **6**, 1803-1815 (2012)
7. Wild M., Global dimming and brightening: A review, *Journal of Geophysical Research*, **114**, D00D16 (2009)

ΜΕΡΟΣ ΕΒΔΟΜΟ

Κατά τη διάρκεια της έρευνας θα ήθελα να καταγράψω τις κυριότερες δυσκολίες που αντιμετώπισα καθώς και τα θετικά και τα αρνητικά συμπεράσματα. Τέλος θα κλείσω με τις αλλαγές που έχουν γίνει σχετικά με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και συγκεκριμένα με τα φωτοβολταϊκά στην Ελλάδα και να τονίσω πως οι νομοθετικές διατάξεις, η τεχνολογία, το κόστος κατασκευής, οι τιμές των φωτοβολταϊκών κ.λ.π αλλάζουν αναλόγως τη περίοδο που βρισκόμαστε και την οικονομική ανάπτυξη της χώρας. Δυστυχώς αυτή τη περίοδο στην Ελλάδα δεν υπάρχει ανάπτυξη στη φωτοβολταϊκή τεχνολογία αντιθέτως σημαντική πτώση.

Γενικά υπάρχουν αρκετές δυσκολίες στην οικονομική μελέτη με τις κυριότερες να είναι:

- Πληθώρα εταιρειών στα φωτοβολταϊκά, τους inverters, στις βάσεις στήριξης κ.λ.π
- Πληθώρα προμηθευτών
- Διαρκής μεταβολή των τιμών τους στα φωτοβολταϊκά panels, στους inverters, στις βάσεις στήριξης
- Αλλαγή νομοθεσίας, τιμή κιλοβατόρας(ταρίφα)
- Χρειάζεται εμπειρία και προσπάθεια για την κατανόηση των λεπτομερειών του κάθε συστήματος (είτε είναι φωτοβολταϊκό panel είτε είναι inverter) για την περιγραφή των χαρακτηριστικών τους και την σύγκρισή τους
- Για κάθε οικόπεδο (συγκεκριμένο χώρο) τα πράγματα διαφοροποιούνται, για παράδειγμα κλίση του εδάφους, κατανομή κ.λ.π

Τα θετικά συμπεράσματα είναι ότι:

- όσο επιδοτείται η κλινοβατόρα από τη Δ.Ε.Η αυτές οι επενδύσεις μπορούν να είναι βιώσιμες
- η φωτοβολταϊκή τεχνολογία είναι ανεξάντλητη
- η φωτοβολταϊκή τεχνολογία είναι μια μορφή καθαρής ενέργειας

Επίσης θα ήθελα να συμπληρώσω ότι η επιδότηση από τη μεριά της Δ.Ε.Η θα έπρεπε να γίνεται με καλύτερο σχεδιασμό, δηλαδή:

1. Η κατανάλωση να είναι κοντά στην παραγωγή, δηλαδή θα έπρεπε τα οικιακά φωτοβολταϊκά και οι στέγες να επιδοτούνται περισσότερο
2. Να επιλέγονται τοποθεσίες βολικές για το δίκτυο μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας, κυρίως περιαστικά.

Κλείνοντας τα συμπεράσματα της συνολικής μου έρευνας θα ήθελα να συμπληρώσω ότι σαν ενέργεια όλη η Πελοπόννησος έχει κλείσει. Οι τιμές αυτή τη στιγμή στα φωτοβολταϊκά στέγης από 1-10 kw είναι 12.5 cent και από 20-100 kwh είναι 0.9 eurw. Επίσης υπάρχει η έκτακτη εισφορά από το νόμο 4152 (Νέες νομοθετικές ρυθμίσεις Α.Π.Ε) του 2013 για όλα τα φωτοβολταϊκά των 20kw και 100 kw.