

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ

ΑΥΤΟΝΟΜΗ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΜΕ ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ.

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
ΠΑΝΤΕΛΗΣ ΜΑΛΑΤΕΣΤΑΣ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΡΙΑ
ΜΕΓΓΟΥ ΛΥΓΕΡΗ

Τ.Ε.Ι ΠΕΙΡΑΙΑ 2012

Πίνακας περιεχομένων

1.1 ΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΤΗ ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΕΠΟΧΗ	4
1.2 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ	4
1.3 Η ΔΟΜΗ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.....	5
1.3.1 Εισαγωγή	5
1.3.2 Συστήματα παρακολούθησης ηλίου.....	7
1.3.3 Τεχνικά χαρακτηριστικά πλαισίων	10
1.4 Κατασκευή των πλαισίων.....	13
1.5 ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ.....	20
1.5.1 Μπαταρίες βαθιάς εκφόρτισης για φωτοβολταϊκά συστήματα.....	21
1.5.2 Ρυθμιστές φόρτισης φωτοβολταϊκών.....	21
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	23
2.2 ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	23
3.1 ΒΑΣΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ.....	37
3.2 ΖΗΜΙΕΣ ΚΑΙ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟ ΚΕΡΑΥΝΟΥΣ	37
3.3 ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ ΣΑΠ.....	38
3.4 ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΣΑΠ.....	39
3.5 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΜΕΣΩ ΑΠΑΓΩΓΩΝ ΚΡΟΥΣΤΙΚΩΝ ΥΠΕΡΤΑΣΕΩΝ (SPDs)	40
3.6 ΣΤΗΡΙΞΗ ΤΩΝ ΠΛΑΙΣΙΩΝ	42
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΘΕΡΜΟΚΗΠΟΥ	47

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική βιβλιογραφία:

- I. Ηλεκτρονικά ισχύος, Στέφανος Μανιάς, εκδόσεις Συμεών, Αθήνα 2007**
- II. Δουλέψτε με το auto cat 2004, Γιάννης Θ Κάππος, εκδόσεις κλειδάριθμος 2007**
- III. Κατάλογος προϊόντων αντικεραυνικής προστασίας, εταιρίας Πιττάς**
- IV. Αντικεραυνική προστασίας φυλλάδιο ΕΛΜΕΚΟ**
- V. Εργαστηριακές ασκήσεις ηλεκτρονικών ισχύος, Παντελή Β Μαλατέστα, Ηλία Αθ Βυλλιώτη, εκδόσης Τζιόλα.**

Διαδικτυακές πληροφορίες:

- VI. Βικεπαίδεια**
- VII. www.phonosolar.com**
- VIII. www.elemko.gr**
- IX. www.exalco.gr**
- X. www.atlasolar.com**
- XI. www.heliosres.gr**
- XII. www.canadiansolar.com**
- XIII. www.SMA-Hellas.com**

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΤΗ ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΕΠΟΧΗ

Στη σημερινή εποχή, η ανάγκη για παραγωγή οικονομικής και φιλικής προς το περιβάλλον ηλεκτρικής ενέργειας οδήγησε στην ανάπτυξη νέων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όπως είναι η αξιοποίηση του ηλιακού δυναμικού. Για το λόγο αυτό αναπτύχθηκαν τα φωτοβλαϊκά συστήματα τα οποία καλύπτουν μεγάλο ποσοστό της σημερινής παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.

Στην παρούσα πτυχιακή θα γίνει μια περιγραφή σχετικά με την τροφοδοσία ενός θερμοκηπίου στην περιοχή της Τριπόλεως με εναλλακτική τροφοδοσία από φωτοβλαϊκά πλαίσια.

Ουσιαστικά με τον όρο φωτοβλαϊκά χαρακτηρίζονται οι βιομηχανικές διατάξεις μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Πρόκειται δηλαδή για ηλεκτρογεννήτριες που συγκροτούνται από πολλά φωτοβλαϊκά στοιχεία σε επίπεδη διάταξη που έχουν ως βάση λειτουργίας το φωτοβλαϊκό φαινόμενο.

Το φαινόμενο αυτό, περιληπτικά πρόκειται για την απορρόφηση της ενέργειας του φωτός από τα ηλεκτρόνια των ατόμων του φωτοβλαϊκού στοιχείου και την απόδραση των ηλεκτρονίων αυτών από τις κανονικές τους θέσεις με αποτέλεσμα την δημιουργία ρεύματος. Το ηλεκτρικό πεδίο που προϋπάρχει στο φωτοβλαϊκό στοιχείο οδηγεί το ρεύμα στο φορτίο.

1.2 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Βασικό μέρος των φωτοβλαϊκών πλαισίων είναι το ηλιακό στοιχείο (solar cell) που είναι κατάλληλα επεξεργασμένος ημιαγωγός μικρού πάχους σε επίπεδη επιφάνεια. Η πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας δημιουργεί ηλεκτρική τάση και με την κατάλληλη σύνδεση σε φορτίο παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα.

Τα φωτοβλαϊκά στοιχεία ομαδοποιούνται κατάλληλα και συγκροτούν τα φωτοβλαϊκά πλαίσια ή γεννήτριες (module), τυπικής ισχύος από 20W έως 300W. Οι φωτοβλαϊκές γεννήτριες συνδέονται ηλεκτρολογικά μεταξύ τους και δημιουργούνται οι φωτοβλαϊκές συστοιχίες (arrays).

Τα φωτοβλαϊκά στοιχεία χωρίζονται σε 2 βασικές κατηγορίες:

- Κρυσταλλικού πυριτίου
 - Μονοκρυσταλλικού πυριτίου, με ονομαστικές αποδόσεις πλαισίων 14,5 % έως 21 %.
 - Πολυκρυσταλλικού πυριτίου, με ονομαστικές αποδόσεις πλαισίων 13 % έως 14,5 %.

➤ Λεπτών μεμβρανών

- Άμορφου πυριτίου, ονομαστικής απόδοσης έως 7 %.
- Χαλκοπυριτών CIS/CIGS, ονομαστικής απόδοσης από 7% έως 11%

Το πυρίτιο (Si) είναι η βάση για το 90 % περίπου της παγκόσμιας παραγωγής φωτοβολταϊκών. Η κυριαρχία αυτή οφείλεται αρχικά στην τεράστια παγκόσμια επιστημονική και τεχνική υποδομή για το υλικό αυτό από την δεκαετία του '60. Μεγάλες κυβερνητικές και βιομηχανικές επενδύσεις έγιναν σε προγράμματα για τις χημικές και ηλεκτρονικές ιδιότητες του Si, ώστε να δημιουργηθεί ο εξοπλισμός που απαιτείται στα βήματα της επεξεργασίας για την απόκτηση της απαραίτητης καθαρότητας και κρυσταλλικής δομής του υλικού.

Από τα αποτελέσματα λοιπόν αυτών των μελετών προέκυψε, λόγω και της αφθονίας του στη γη, κατέστησαν το πυρίτιο ως το ποιοί ικανό και συμφέρον μέσο για την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας.

Βασικό μειονέκτημα του πυριτίου, είναι ότι είναι πολύ εύθραυστο, γι' αυτό και απαιτείται ο σχηματισμός στοιχείων σχετικά μεγάλου πάχους. Μπορούμε λοιπόν να συμπεράνουμε ότι μερικά από τα ηλεκτρόνια που απελευθερώνονται μετά την απορρόφηση της ηλιακής ενέργειας πρέπει να ταξιδέψουν μεγάλες αποστάσεις για να ενταχθούν στην ροή του ρεύματος και να συνεισφέρουν στο ηλεκτρικό κύκλωμα. Άρα, το υλικό θα πρέπει να έχει υψηλή καθαρότητα και δομική τελειότητα, ώστε να αποτρέψει την επιστροφή των ηλεκτρονίων στην φυσικές τους θέσεις. Σε περίπτωση ατελειών θα έχουμε αύξηση θερμότητας η οποία είναι επιθυμητή στα ηλιακά θερμικά πλαίσια, όπου αυτή η θερμότητα μεταφέρεται σε ένα ρευστό το οποίο, είναι ανεπιθύμητο στα φωτοβολταϊκά πλαίσια, όπου η ηλιακή ενέργεια θα πρέπει να μετατραπεί σε ηλεκτρική.

Όπως ακριβώς προείπαμε, το πυρίτιο, ανάλογα με την επεξεργασία του, δίνει μονοκρυσταλλικά, πολυκρυσταλλικά ή άμορφα υλικά από τα οποία παράγονται τα φωτοβολταϊκά στοιχεία. Ένας τρόπος μείωσης του κόστους των φωτοβολταϊκών άλλα και να αυξηθεί η απόδοσή τους είναι τα *λεπτά υλικά*.

Τα λεπτά υλικά εκτός από το λιγότερο κόστος λόγω της χρήσης μικρότερης ποσότητας υλικού και την αύξηση της απόδοσης των πλαισίων, έχουν την δυνατότητα να κατασκευάσουν ολόκληρα πλαίσια παράλληλα με την διαδικασία απόθεσης. Η διαδικασία αυτής της κατασκευής είναι πολύ απαιτητικό τεχνικά, διότι η επεξεργασία χωρίς ατέλειες γίνεται σε πολύ μεγαλύτερες επιφάνειες.

Ένα άλλο πλεονέκτημα των λεπτών πλαισίων στα οποία αναφερθήκαμε παραπάνω, θα πρέπει να αντιπαρατεθεί η χαμηλότερη ως τώρα απόδοσή τους, οι οποία περιορίζεται στο 5-10 %, ανάλογα με το υλικό. Πάντως η τεχνολογία λεπτού στρώματος (thin film) είναι σε φάση ανάπτυξης, αφού με διάφορες μεθόδους επεξεργασίας και χρήση διαφορετικών υλικών αναμένεται αύξηση της απόδοσης και σταθεροποίηση των χαρακτηριστικών τους.

1.3 Η ΔΟΜΗ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

1.3.1 Εισαγωγή

Βασικός παράγοντας των φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι η δομή τους και η τοποθεσία εγκατάστασης τους. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα αποτελούνται από έναν αριθμό υποσυστημάτων:

- Τη φωτοβολταϊκή γεννήτρια με την μηχανική υποστήριξη και πιθανόν ένα σύστημα παρακολούθησης της ηλιακής τροχιάς.
- Μπαταρίες, δηλαδή το υποσύστημα αποθήκευσης
- Καθορισμό ισχύος και συσκευή ελέγχου που περιλαμβάνει τις μετρήσεις και τις παρατηρήσεις διαφόρων μεγεθών
- Εφεδρική γεννήτρια. Η επιλογή του πώς και ποια από αυτά τα στοιχεία ολοκληρώνονται μέσα στο σύστημα εξαρτάται από ποικίλες εκτιμήσεις.

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

- Τα διασυνδεδεμένα με το δίκτυο.
 - Τα συστήματα που είναι διασυνδεδεμένα στο δίκτυο μπορούν να υποδιαιρεθούν σ' εκείνα στα οποία το δίκτυο ενεργεί απλώς ως μία βοηθητική τροφοδοσία (εφεδρικό δίκτυο) και εκείνα τα οποία ίσως λάβουν επίσης πρόσθετη ισχύ από τη φωτοβολταϊκή γεννήτρια (αλληλοεπιδρώμενο δίκτυο). Μέσα στους φωτοβολταϊκούς σταθμούς όλη η παραγόμενη ισχύς τροφοδοτείται στο δίκτυο.
- Τα αυτόνομα.
 - Σ' αυτή την περίπτωση έχουμε την απλούστερη μορφή διότι, αποτελείται απλώς από μία φωτοβολταϊκή γεννήτρια η οποία, μόνη της μπορεί να τροφοδοτεί με συνεχές ρεύμα ένα φορτίο οποτεδήποτε υπάρχει επαρκής φωτεινότητα. Αυτού του τύπου το σύστημα είναι κοινό σε εφαρμογές άντλησης. Σε άλλες περιπτώσεις το σύστημα περιέχει συνήθως μια φροντίδα για αποθήκευση ενέργειας από τις μπαταρίες. Συχνά συμπεριλαμβάνεται κάποια μορφή ρύθμισης της ισχύος, όπως στην περίπτωση που απαιτείται εναλλασσόμενο ρεύμα να εξέρχεται από το σύστημα. Σε μερικές περιπτώσεις το σύστημα περιέχει μια εφεδρική γεννήτρια.

Βασική προϋπόθεση για την σωστή λειτουργία των φωτοβολταϊκών καθώς και το σημαντικότερο πρόβλημα του σχεδιαστή μιας διάταξης είναι η άρτια και σωστή τοποθέτηση τους δηλαδή το που θα στερεωθούν οι βασικές μονάδες.

Υπάρχουν δύο τρόποι τοποθέτησης βασικών μονάδων:

- Σε σταθερές βάσεις
- Με συστήματα παρακολούθησης (ιχνηλάτησης) της κίνησης του ηλίου.

Στο μεγαλύτερο ποσοστό τοποθέτησης φωτοβολταϊκών διατάξεων οι βασικές μονάδες στερεώνονται σε ένα σταθερό κεκλιμένο επίπεδο με την πρόσοψη προς τον ισημερινό. Η άριστη γωνία κλίσης εξαρτάται κυρίως από το γεωγραφικό πλάτος, την αναλογία της διάχυτης ακτινοβολίας στην τοποθεσία και το είδος του φορτίου. Κύριο

πλεονέκτημα αυτού του τύπου εγκατάστασης είναι το χαμηλό κόστος τοποθέτησης καθώς επίσης και το χαμηλό κόστος συντήρησης.

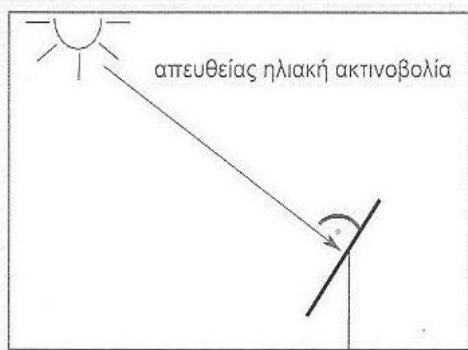
Ο δεύτερος τρόπος στερέωσης της διάταξης είναι πάνω σε σύστημα με δύο άξονες παρακολούθησης του Ήλιου. Με αυτή λοιπόν την διάταξη μπορεί να συλλεχθεί μέχρι και 25% περισσότερη ηλιακή ενέργεια κατά την διάρκεια ενός έτους, σε σύγκριση με την εγκατάσταση σταθερής κλίσης. Βασικά μειονέκτημα αυτής της πολυπλοκότητας είναι το υψηλό κόστος κατασκευής, το υψηλό κόστος συντήρησης καθώς επίσης και της χαμηλότερης αξιοπιστίας από αυτή που παρέχει η διάταξη στερέωσης σε μονό άξονα. Ο προσανατολισμός μπορεί να ρυθμίζεται χειροκίνητα, εκεί που η προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια είναι μέγιστη, αυξάνοντας έτσι τις όποιες απολαβές. Σύμφωνα με υπολογισμούς που έχουν γίνει, μια διάταξη επίπεδης κινούμενης πλάκας σε κλίμα με ηλιοφάνεια εάν έχει ρυθμιστεί κατάλληλα έτσι ώστε να στρέφεται προς τον ήλιο δύο φορές την ημέρα και να παίρνει την κατάλληλη κλίση τέσσερις φορές το χρόνο, μπορεί να συλλαμβάνει το 95% της ενέργειας, που συλλέγετε με ένα σύστημα δύο αξόνων παρακολούθησης πλήρως αυτοματοποιημένο.

Το σύστημα παρακολούθησης είναι ιδιαίτερα σημαντικό στα συστήματα, που λειτουργούν κάτω από συγκεντρωμένο ηλιακό φως. Η δομή αυτών των συστημάτων βασίζεται στην παρακολούθηση με trackers, για να αυξήσουν την είσοδο φωτός προς τα ηλιακά στοιχεία κατά μερικές τάξεις του μεγέθους. Αυτά τα συστήματα πρέπει να προνοούν για ένα σημαντικό γεγονός, ότι δηλαδή συγκεντρώνοντας το ηλιακό φως ελαττώνουν το γωνιακό άνοιγμα των ακτίνων, που το σύστημα μπορεί να δεχθεί. Αυτή η παρακολούθηση γίνεται απαραίτητη από τη στιγμή που ο λόγος συγκέντρωσης υπερβαίνει το 10 περίπου και το σύστημα μπορεί να μετατρέψει μόνο την άμεση συνιστώσα της ηλιακής ακτινοβολίας.

1.3.2 Συστήματα παρακολούθησης ηλίου

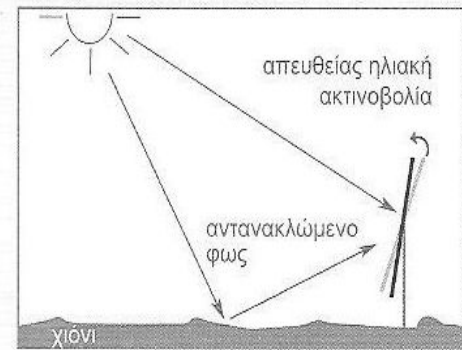
Γενικά, έχει παρατηρηθεί ότι τα κινητά συστήματα στα φωτοβολταϊκά συστήματα παρουσιάζουν πολλά πλεονεκτήματα έναντι των σταθερών συστημάτων. Συγκεκριμένα η συνολική ενεργειακή απόδοση αυξάνεται πάνω από 30% στα κινητά συστήματα με διπλό άξονα. Ωστόσο, σε τέτοια συστήματα υπάρχει το μειονέκτημα της μεγαλύτερης συντήρησης λόγω των πολλών κινούμενων μερών του συστήματος και της πολυπλοκότητας των συστημάτων αυτοματισμού που χρησιμοποιούνται.

Τα πιο απλά συστήματα παρακολούθησης είναι αυτά που χρησιμοποιούν trackers. Τα συστήματα αυτά εντοπίζουν σε κάθε στιγμή της μέρας την εντονότερη πηγή φωτός σε κάθε περιβαλλοντική συνθήκη είτε σε περίπτωση ηλιοφάνειας είτε σε περίπτωση έντονης συννεφιάς. Τα συστήματα αυτά λειτουργούν με εξαιρετικά χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Στο σχήμα 1 παρουσιάζονται μερικές ειδικές περιπτώσεις τέτοιων καιρικών συνθηκών καθώς και το τι θέση παίρνουν τα πάνελ.



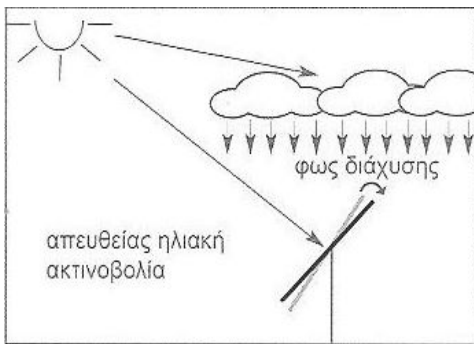
(α)

Όταν επικρατεί ηλιοφάνεια το σύστημα tracker προσανατολίζεται το σύστημα ηλιοστάτη αξιοποιεί σύμφωνα με τον ήλιο.



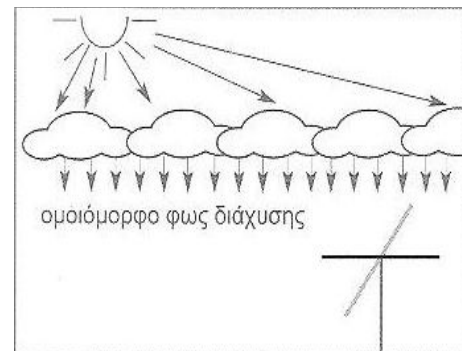
(β)

Όταν επικρατεί χιόνι και ηλιοφάνεια τόσο την άμεση ακτινοβολία όσο και την ενέργεια από αντανακλώμενο φως



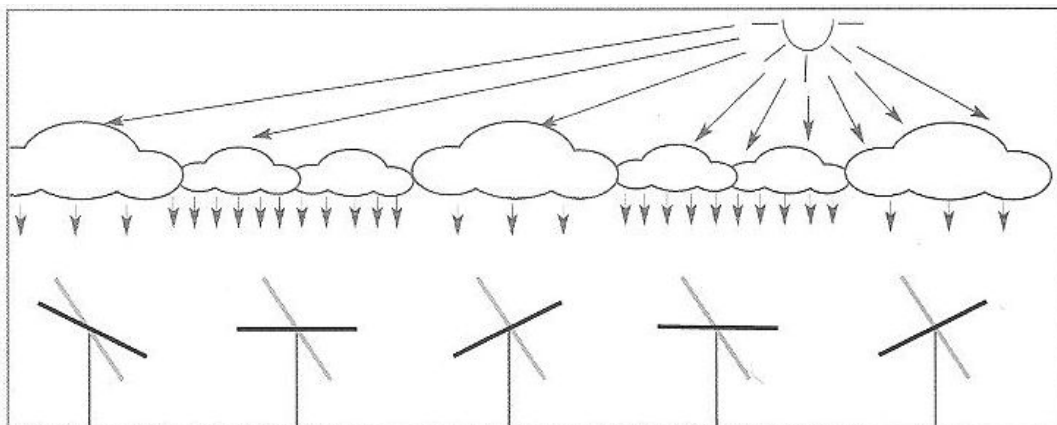
(γ)

Σε περιπτώσεις ελαφριάς νέφωσης παράλληλα με την άμεση ηλιακή ακτινοβολία αξιοποιείται ιδανικά και το διαχέσιμο φως.



(δ)

Σε περιπτώσεις συννεφιασμένου ουρανού, το σύστημα εντοπίζει το πιο φωτεινό σημείο και προσανατολίζεται προς αυτό.



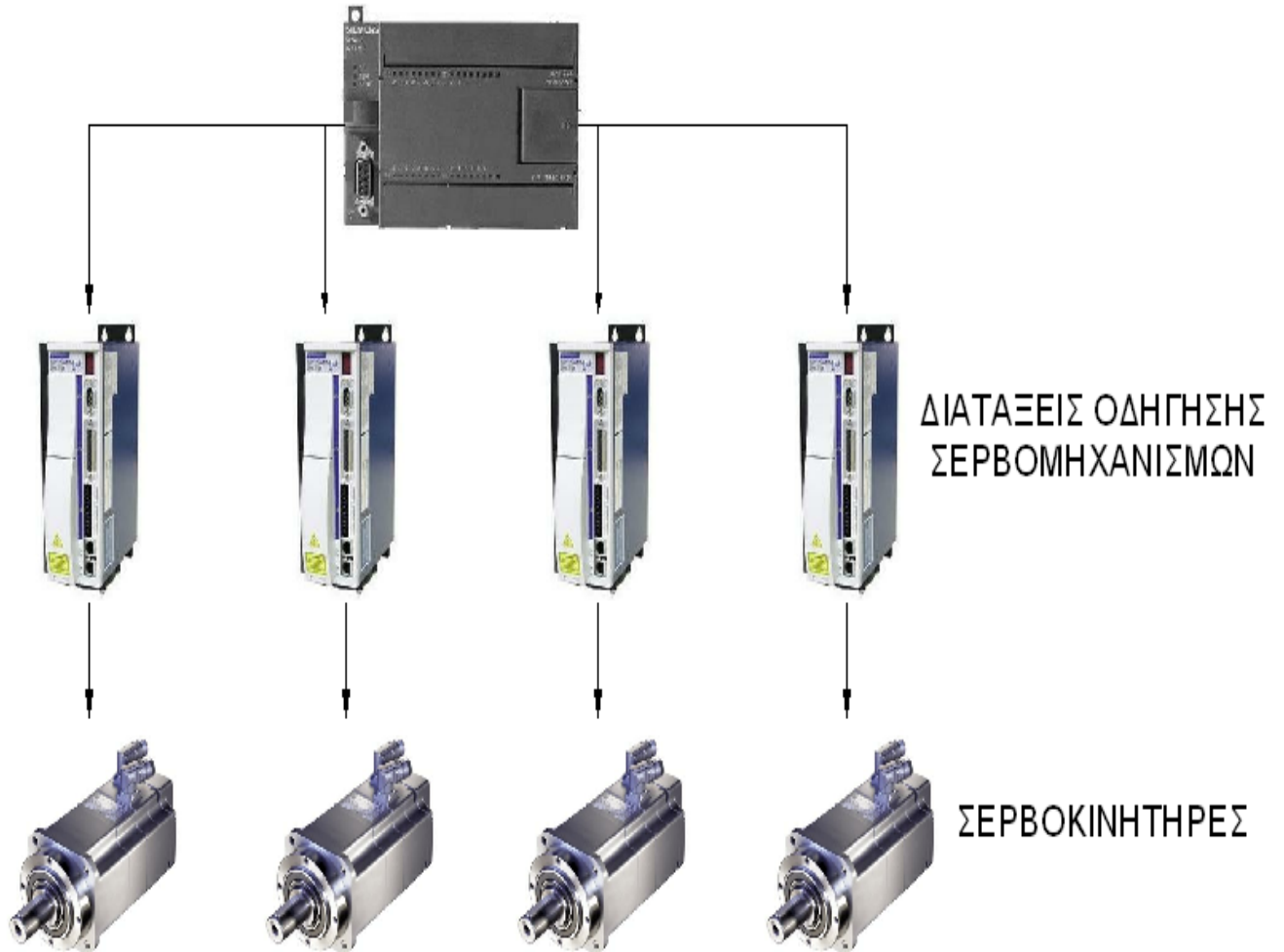
(ε)

Σε εναλλασσόμενες συνθήκες φωτός, όταν δηλαδή στα ηλιακά πάρκα μπορεί να επικρατούν διαφορετικές συνθήκες φωτισμού για κάθε tracker, λόγω του διαφορετικού επιπέδου νέφωσης. Το ξεχωριστό σύστημα ελέγχου προσανατολίζει κάθε tracker ιδανικά προς τη φωτεινότερη πηγή και με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζει τη μέγιστη δυνατή ενεργειακή απόδοση.

Σχήμα 1

Τα πιο περίπλοκα συστήματα παρακολούθησης είναι αυτά τα οποία παρακολουθούν τον ήλιο μέσω ενός προγράμματος το οποίο είναι γραμμένο μέσα σε ένα PLC. Στο συγκεκριμένο πρόγραμμα εκφράζει τη θέση που έχει ο ήλιος ανάλογα με την ώρα και με την ημέρα του έτους. Είναι δηλαδή ένα σύστημα έμμεσου εντοπισμού του ηλίου το οποίο αψηφά τις υπάρχουσες καιρικές συνθήκες, πράγμα που το κάνει υποδεέστερο έναντι του συστήματος με tracker.

PLC ME ΤΟΝ ΚΩΔΙΚΑ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ



Σχήμα 2

1.3.3 Τεχνικά χαρακτηριστικά πλαισίων

Όπως κάθε συσκευή, έτσι και τα φωτοβολταϊκά πλαίσια χαρακτηρίζονται από κάποια βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά. Υπάρχουν αρχικά πέντε βασικές κατηγορίες χαρακτηριστικών οι οποίες επιγραμματικά είναι:

- Τα μηχανικά χαρακτηριστικά
- Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά
- Τα γενικά χαρακτηριστικά
- Τα θερμοκρασιακά χαρακτηριστικά

- Τα χαρακτηριστικά απόδοσης της φωτεινής ακτινοβολίας

Μηχανολογικά Χαρακτηριστικά

Αρχικό χαρακτηριστικό είναι ο τύπος των κυψελών, οι διαστάσεις τους και ο αριθμός τους σε κάθε πλαίσιο. Κάποια άλλα μηχανικά χαρακτηριστικά είναι το μήκος το ύψος και το πλάτος και το βάρος της κάθε φωτοβολταϊκής μονάδας. Επίσης από τα βασικά μηχανολογικά χαρακτηριστικά είναι ο τύπος του γυαλιού της μονάδας, το υλικό κατασκευής του κλουβιού του πλαισίου, οι διαστάσεις των αγωγών που βγαίνουν από την μονάδα και ο χαρακτηριστικός κωδικός προστασίας IP. Οι κωδικοί προστασίας IP χαρακτηρίζονται από 2 ψηφία των οποίων η σημασία φαίνεται στους πίνακες 1 και 2.

ΨΗΦΙΟ	ΜΕΓΕΘΟΣ ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΜΕΝΟΥ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ
0	-	Καθόλου προστασία
1	>50mm	Προστασία από εισχώρηση μεγάλων σωμάτων διαμέτρου 50mm
2	>12,5mm	Προστασία από εισχώρηση μεσαίων σωμάτων διαμέτρου 12,5mm
3	>2,5mm	Προστασία από εισχώρηση μεσαίων σωμάτων διαμέτρου 2,5mm
4	>1mm	Προστασία από εισχώρηση μεσαίων σωμάτων διαμέτρου 1mm
5	Προστασία από σκόνη	-
6	Πλήρης προστασία από σκόνη	Καμιά είσοδος σκόνης, πλήρης προστασία σε επαφή

Πίνακας 1: Σημασία πρώτου ψηφίου IP

ΨΗΦΙΟ	ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ENANTI
0	Καμιά προστασία
1	Προστασία από σταγόνες νερού
2	Προστασία από σταγόνες υγρού με γωνία πτώσης έως 15°
3	Προστασία από σταγόνες υγρού με γωνία πτώσης έως 60°
4	Προστασία από υγρό εκτοξευόμενο από οποιαδήποτε κατεύθυνση
5	Προστασία από νερό εκτοξευόμενο υπό πίεση
6	Προστασία από νερό εκτοξευόμενο υπό υψηλή πίεση ή υπό συνθήκες που συναντώνται σε κατάστρωμα πλοίου
7	Προστασία από ασυνεχή βύθιση σε νερό
8	Προστασία από συνεχή βύθιση σε νερό υπό συγκεκριμένη πίεση

Πίνακας 2: Σημασία δεύτερου ψηφίου IP

Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά

Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των πλαισίων είναι πολύ βασικά για τη σχεδίαση της όλης φωτοβολταϊκής εγκατάστασης. Το αρχικό ηλεκτρικό μέγεθος που ενδιαφέρει είναι η ονομαστική ισχύς του πλαισίου με βάση την οποία μπορεί κάποιος να υπολογίσει πόσα πλαίσια θα χρειαστεί. Ένα άλλο χαρακτηριστικό είναι η ανοχή

του πλαισίου και χαρακτηρίζει πόσο μπορεί να αποκλίνει η τιμή της ισχύος εξόδου από την ονομαστική. Το επόμενο χαρακτηριστικό είναι το ονομαστικό ρεύμα εξόδου της μονάδας και χαρακτηρίζει το μέγιστο ρεύμα που μπορεί να δώσει το πλαίσιο και είναι πολύ βασικό για την επιλογή του αντιστροφέα. Το επόμενο χαρακτηριστικό είναι η ονομαστική τάση του κάθε πλαισίου. Η ονομαστική τάση είναι βασικό χαρακτηριστικό καθώς είναι μια παράμετρος που καθορίζει με βάση το χρησιμοποιούμενο αντιστροφέα πόσες στοιχειοσειρές θα εγκατασταθούν. Επόμενο ηλεκτρικό χαρακτηριστικό είναι το ρεύμα βραχυκύκλωσης το οποίο στην ουσία είναι το ρεύμα το οποίο παράγεται από το πλαίσιο με βραχυκυκλωμένα τα άκρα του. Στην συνέχεια είναι η τάση ανοιχτού κυκλώματος, που είναι η τάση που δημιουργείται από το πλαίσιο σε κενό φορτίο, ενώ τελευταίο ηλεκτρικό χαρακτηριστικό είναι η απόδοση του πλαισίου, η οποία χαρακτηρίζει πόσο από το ποσοστό της προσπίπτουσας ηλιακής ενέργειας μετατρέπεται σε ηλεκτρική.

Γενικά χαρακτηριστικά

Στα γενικά χαρακτηριστικά ανήκουν παράμετροι όπως είναι το θερμοκρασιακό εύρος λειτουργίας, η μέγιστη επιφανειακή πίεση σε Pa και η μέγιστη τάση λειτουργίας του συστήματος.

Θερμοκρασιακά χαρακτηριστικά

Ένα τέτοιο χαρακτηριστικό είναι η κανονική θερμοκρασία λειτουργίας των κυψελών (τυπική τιμή 45°C). Μερικά άλλα θερμοκρασιακά χαρακτηριστικά είναι ο συντελεστής θερμοκρασίας τάσης, ο συντελεστής θερμοκρασίας ρεύματος και ο συντελεστής θερμοκρασίας ισχύος.

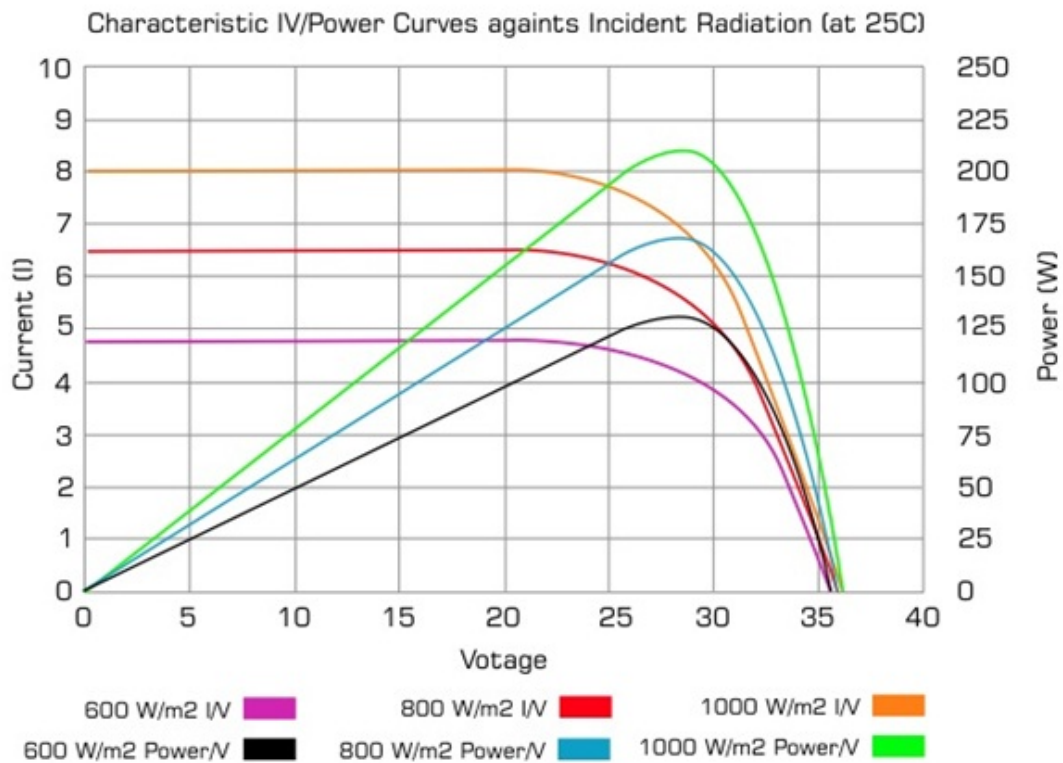
Χαρακτηριστικά απόδοσης φωτεινής ακτινοβολίας

Τα χαρακτηριστικά αυτά δείχνουν την παραγωγή σε ρεύμα και τάση κάθε πλαισίου για διάφορες φωτεινές ακτινοβολίες και σε διάφορες θερμοκρασιακές συνθήκες περιβάλλοντος. Αυτά τα χαρακτηριστικά δίνονται από τους κατασκευαστές είτε σε πίνακες σαν τον πίνακα 3, είτε σε γραφήματα σαν αυτό του σχήματος 3.

Ακτινοβολία (W/m ²)	I _{mpp}	V _{mpp}
1000	1	1
800	0,8	0,996

600	0,6	0,99
400	0,4	0,983
200	0,2	0,952
100	0,1	0,921

πίνακα 3



Σχήμα 3

1.4 Κατασκευή των πλαισίων

1 ΕΠΙΣΚΛΗΡΥΜΕΝΟ ΓΥΑΛΙ



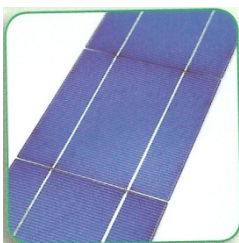
Το επισκληρυμένο γυαλί υψηλής διαπερατότητας είναι ανθεκτικό και ασφαλέστερο και προστατεύει τη μονάδα από τον αέρα, την παγωνιά, την βροχή το χιόνι, τυχαίες προσκρούσεις και διάβρωση. Επιπλέον, το επισκληρυμένο γυαλί μειώνει την αντανάκλαση. Αυτό επιτρέπει στη μονάδα να συλλέξει περισσότερη ενέργεια.

2/4 EVA (συμπολυμερές αιθυλενο-οξικού βινυλίου) ΥΨΗΛΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ



Με την ελασματοποίηση, δημιουργείται μια συμπαγής μεμβράνη μεταξύ των ηλιακών κυψέλων, του γυαλιού και του οπίσθιου στρώματος. Αυτό υψηλότερη προστασία του σταθεροποιητή UV και του ζελατινώδους περιεχομένου εξασφαλίζει μια σταθερή απόδοση ισχύος κατά τη διάρκεια ζωής της μονάδας. Η άριστη μόνωση παρέχει προστασία ενάντια στην υπερβολική ζέστη και στο κρύο.

3 ΚΥΨΕΛΕΣ ΥΨΗΛΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ



Υψηλή αποτελεσματικότητα σταθερής απόδοσης στη φωτοβολταϊκή μετατροπή. Καλή αγωγιμότητα, υψηλή δύναμη αντοχής και εύκολη κασσιτεροκόλληση.

5 ΟΠΙΣΘΙΟ ΣΤΡΩΜΑ



Στενή προσκόλληση στο EVA. Εξαιρετική ανθεκτικότητα στις καιρικές συνθήκες, αδιαλυτότητα, προστασία διάβρωσης και υδροφορικές ιδιότητες. Το στρώμα έχει εξαιρετική αδιαπερατότητα και μπορεί να προστατεύσει το EVA και τις ηλιακές κυψέλες από διαβρωτικές ουσίες όπως το νερό, το οξυγόνο ή διαβρωτικά αέρια και υγρά. Η ελαστικότητα του EVA και η σκληρότητα του οπίσθιου στρώματος προδίδουν τις ηλιακές κυψέλες θαυμάσιες, αντισεισμικές ιδιότητες και καλό εύρος προστασίας. Είναι μακράν τα καλύτερα προστατευτικά δομικά υλικά που χρησιμοποιούν στον εγκεκλεισμό των φωτοβολταϊκών κυψέλων.

6 ΚΙΒΩΤΙΟ ΣΥΝΔΕΣΗΣ



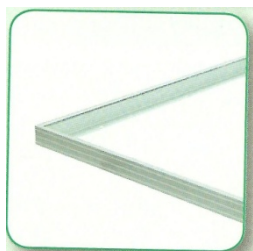
Η εξαιρετική απόδοση σφραγίσματος παρέχει μια αξιόπιστη και ασφαλή σύνδεση. Άριστα εξάλειψη της ζεστής βοηθά να παρεμποδιστεί η καταστροφή της διόδου και οι διαρροές ηλεκτρικής σύνδεσης. Το εξωτερικό κάλυμμα «αντιγήρανσης» του κιβωτίου σύνδεσης είναι ανθεκτικό στην ακτινοβολία UV και έχει σχεδιαστεί ακραίες καιρικές συνθήκες για πολύ καιρό.

7 ΚΟΝΕΚΤΟΡΕΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΚΛΕΙΔΩΜΑΤΟΣ



Ο κέντορας μηχανικού κλειδώματος είναι εύκολος στην εγκατάσταση και εξασφαλίζει μια ασφαλή και σίγουρη σύνδεση. Τα εύκαμπτα εξαρτήματα επαφής είναι εύκολα στη χρήση τους και έχουν σχεδιαστεί ώστε να είναι αποτελεσματικά. Η χαμηλή αντίσταση της επαφής μειώνει τη θερμική καταστροφή και αποτρέπει την απώλεια ισχύος.

8 ΠΛΑΙΣΙΟ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ

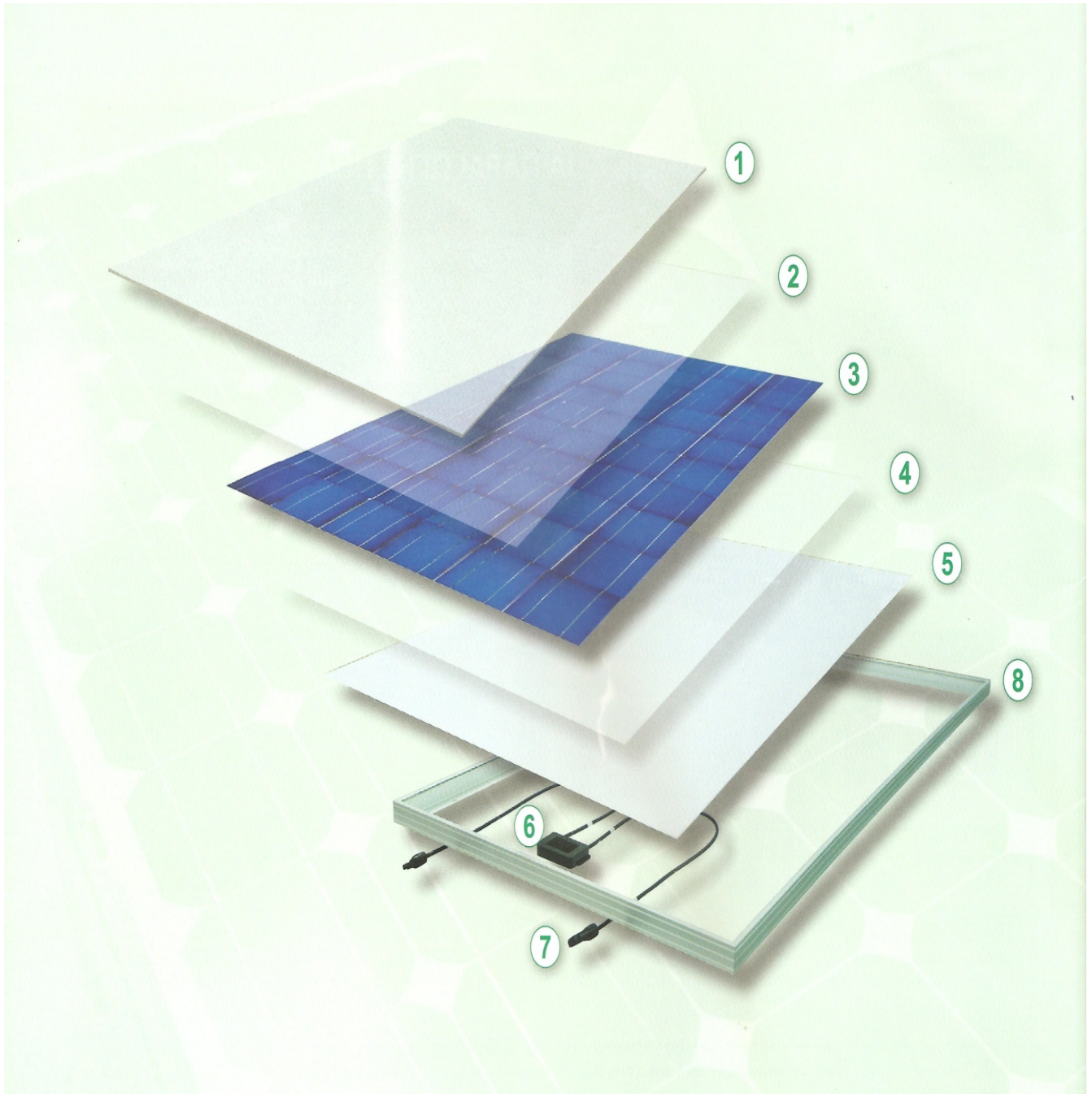


Το ανοξείδωτο πλαίσιο έχει σχεδιαστεί για μέγιστη στήριξη των μονάδων και για ευκολία στην εγκατάσταση. Αυτό το πλαίσιο είναι ανθεκτικό στη διάβρωση ακόμη και στα ακαριαία περιβάλλοντα.

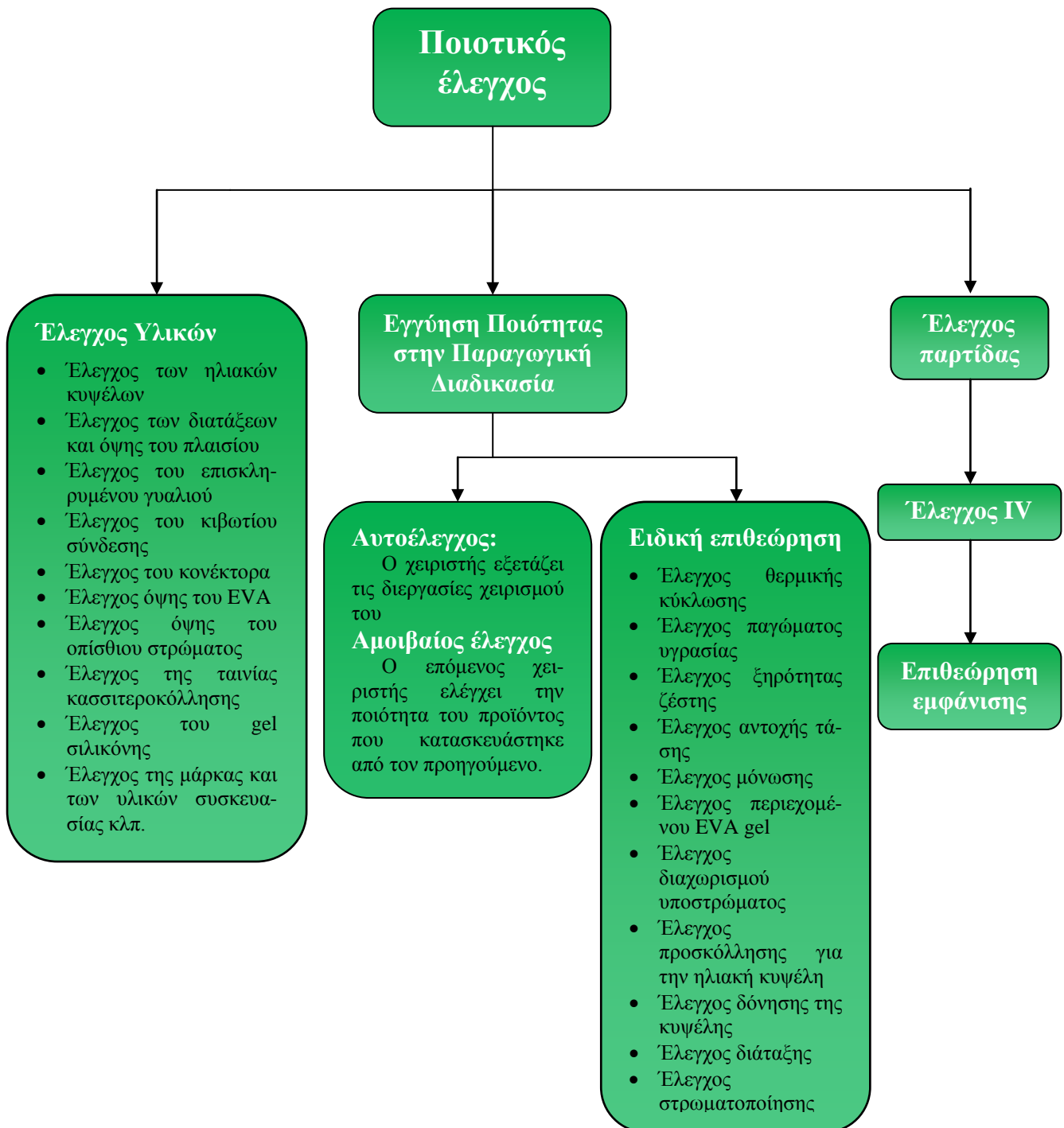
9 ΣΤΕΓΑΝΩΤΙΚΟ GEL ΣΙΛΙΚΟΝΗΣ



Υψηλή απόδοση, καμία χημική αντίδραση με το EVA και το οπίσθιο στρώμα και εξασφάλιση της χημικής σταθερότητας. Τοποθετημένη στο αυλάκι του πλαισίου, το gel σιλικόνης λειτουργεί σαν κάλυμμα και κλειδώνει την άκρη του στρώματος για να εμποδίσει τη διάβρωση της μονάδας από επικίνδυνα αέρια και υγρά ενώ μειώνει και τις εξωτερικές προσκρούσεις προς τη μονάδα.

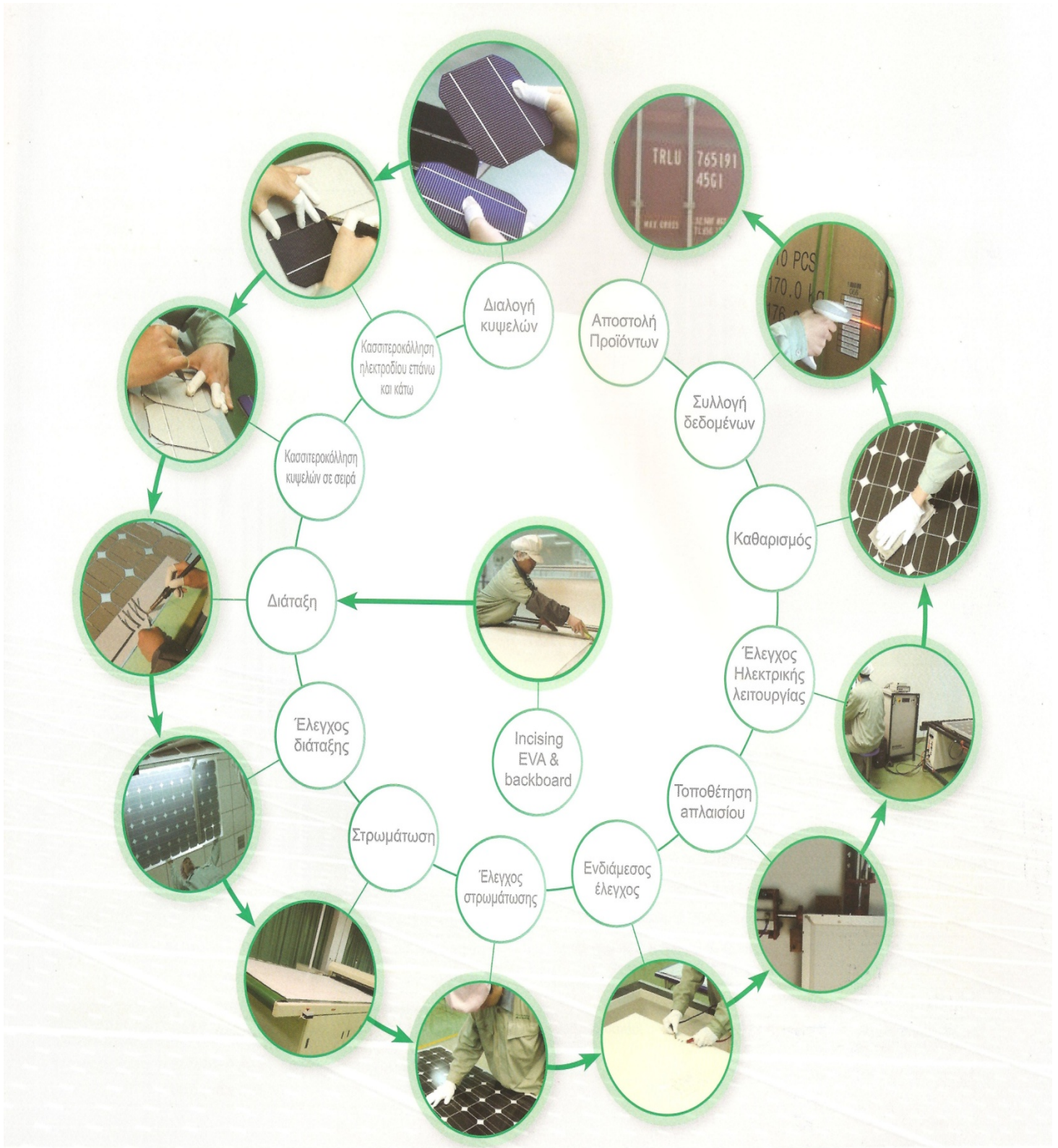


Σχήμα 4: βαθμίδες κατασκευής πλαισίου



σχήμα 5

Παραγωγική διαδικασία QA



Σχήμα 6

1.5 ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ

1.5.1 Μπαταρίες βαθιάς εκφόρτισης για φωτοβολταϊκά συστήματα

Η μπαταρία είναι μια συσκευή η οποία αποθηκεύει χημική ενέργεια και την αποδεσμεύει με τη μορφή ηλεκτρισμού. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται ηλεκτροχημικές διατάξεις όπως η γαλβανική στήλη.

Ο συσσωρευτής στην ηλεκτρολογία είναι χημική πηγή ρεύματος, ικανή να αποθηκεύσει ηλεκτρική ενέργεια (αφού τη μετατρέψει σε χημική) και όταν χρειαστεί, να την αποδώσει σε εξωτερικό κύκλωμα. Αποτελείται από δοχείο κατασκευασμένο από μονωτικό υλικό (εβονίτη, πλαστικό, γυαλί) με ηλεκτρολύτη (οξύ ή αλκάλιο), στο οποίο βυθίζονται τα ηλεκτρόδια. Η σύνδεσή τους σε εξωτερικό κύκλωμα προκαλεί σε αυτό διέλευση ρεύματος (εκφόρτιση του ηλεκτρικού συσσωρευτή). Έτσι, στον ηλεκτρικό συσσωρευτή γίνονται χημικές διεργασίες, που έχουν σχέση με τη μετατροπή της χημικής ενέργειας σε ηλεκτρική.

1.5.2 Ρυθμιστές φόρτισης φωτοβολταϊκών

Ο ρυθμιστής φόρτισης είναι μια ηλεκτρονική συσκευή που φροντίζει για τη φόρτιση και την αποφόρτιση των συσσωρευτών (μπαταριών) του φωτοβολταϊκού συστήματος. Ελέγχει τη διαδικασία φόρτισης και σταματά τη φόρτιση όταν διαπιστώσει ότι η μπαταρία έχει φορτιστεί πλήρως. Αλλιώς θα υπήρχε ο σοβαρός κίνδυνος να καταστραφεί η μπαταρία. Επειδή οι μπαταρίες έχουν την τάση να αποφορτίζονται σταδιακά ακόμα κι αν δεν τροφοδοτούν με ρεύμα κάποια συσκευή, ο ρυθμιστής φόρτισης φροντίζει αυτόματα να ξαναρχίσει η διαδικασία φόρτισης της μπαταρίας όταν διαπιστώσει ότι η τάση της έπεσε κάτω από το επίπεδο της πλήρους φόρτισης. Αρκετοί ρυθμιστές φόρτισης έχουν υποδοχή πάνω στην οποία συνδέουμε τις ηλεκτρικές συσκευές που θέλουμε να τροφοδοτήσουμε από τη μπαταρία. Έτσι, έχουν την επιπλέον δυνατότητα να διακόψουν τη λειτουργία των ηλεκτρικών συσκευών όταν διαπιστώσουν ότι η μπαταρία κοντεύει να αδειάσει πλήρως, προστατεύοντάς την πάλι με αυτό τον τρόπο από πλήρη αποφόρτιση που θα οδηγούσε στην καταστροφή της. Το μέγεθος του ρυθμιστή φόρτισης εξαρτάται από το μέγεθος των φωτοβολταϊκών που θα συνδέουμε πάνω του. Πρέπει να υπερκαλύπτει την συνολική ένταση σε Ampere των φωτοβολταϊκών. Επίσης, πρέπει να είναι κατάλληλος και για την τάση του φωτοβολταϊκού συστήματος. Αν τα φωτοβολταϊκά βγάζουν συνολική τάση 12V, επιλέγουμε ρυθμιστή για φωτοβολταϊκά 12V. Αν τα φωτοβολταϊκά μας βγάζουν συνολική τάση 24V, επιλέγουμε ρυθμιστή για φωτοβολταϊκά 24V. Οι ρυθμιστές φόρτισης προστατεύουν την μπαταρία από την υπερφόρτιση ή την υπερβολική αποφόρτιση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑΣ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η απόδοση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος είναι άμεσα συνδεδεμένη με τον εγκατεστημένο μετατροπέα. Αξιοποιεί τις ηλιακές κυψέλες στο μέγιστο σημείο ισχύος (MPP) και μετατροπέα το συνεχές σε εναλλασσόμενο ρεύμα συμβατό με το δημόσιο δίκτυο. Η ποιότητα του μετατροπέα καθορίζει την απόδοση, καθιστώντας τον, καρδιά κάθε φωτοβολταϊκής εγκατάστασης.

Κάθε φωτοβολταϊκό σύστημα έχει τις ιδιαιτερότητες του. Ο εκάστοτε εγκαταστάτης καλείται να επιλέξει από ένα ευρύ φάσμα προϊόντων, τον κατάλληλο μετατροπέα που θα διασφαλίζει την υψηλότερη απόδοση, όταν διαστασιολογείται με το εκάστοτε φωτοβολταϊκό πλαίσιο.

Όταν η φωτοβολταϊκή γεννήτρια δεν δέχεται ομοιόμορφη ηλιακή ακτινοβολία, πρέπει να χωρίζεται σε στοιχειοσειρές, π.χ. όταν οι διάφορες κλίσεις της στέγης σκιάζουν τα επιμέρους φωτοβολταϊκά πλαίσια. Αυτός ο διαχωρισμός αποτρέπει την μείωση της απόδοσης, που θα έχει λόγω διαφορετικών σημείων μέγιστης ισχύος των επιμέρους φωτοβολταϊκών πλαισίων. Υπάρχουν μετατροπείς πολλαπλών στοιχειοσειρών, που με την χρήση δύο ξεχωριστών ανιχνευτών σημείων μέγιστης ισχύος (MPPT), διασφαλίζουν ότι τα φωτοβολταϊκά

πλαίσια που δέχονται διαφορετική ηλιακή ακτινοβολία λειτουργούν με την μέγιστη δυνατή απόδοση.

Οι μετατροπείς χωρίζονται σε αυτούς με μετασχηματιστή και σε αυτούς χωρίς μετασχηματιστή. Συνήθως αυτοί που δεν έχουν μετασχηματιστή, αποτελούν την μοναδική λύση όταν απαιτείται αυξημένη ενεργειακή απόδοση.

2.2 ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Οι αντιστροφείς είναι ηλεκτρονικές διατάξεις ισχύος που έχουν σαν σκοπό τη μετατροπή μιας συνεχούς τάσης ή πηγής συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενη τάση με μεταβλητή συχνότητα και πλάτος, και για το λόγο αυτό πολλές φορές αναφέρονται και ως μετατροπείς D.C./A.C. Οι αντιστροφείς ανάλογα με την πηγή διακρίνονται σε :

- Αντιστροφείς τροφοδοτούμενοι από πηγή συνεχούς τάσης
- Αντιστροφείς τροφοδοτούμενους από πηγή συνεχούς ρεύματος

Οι δυο παραπάνω κατηγορίες μπορούν να υποδιαιρεθούν ανάλογα με την τάση εξόδου τους σε:

- Μονοφασικούς αντιστροφείς σε συνδεσμολογία ημιγέφυρας
- Μονοφασικούς αντιστροφείς σε συνδεσμολογία γέφυρας
- Τριφασικούς αντιστροφείς σε συνδεσμολογία ημιγέφυρας

Οι αντιστροφείς βρίσκουν εφαρμογή σε πολλούς τομείς κυρίως της βιομηχανίας και της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας όπως:

- Συστήματα έλεγχο κινητήρων εναλλασσόμενου ρεύματος
- Συστήματα μεταφοράς και παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας
- Συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας
- Συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από κυψέλες υδρογόνου

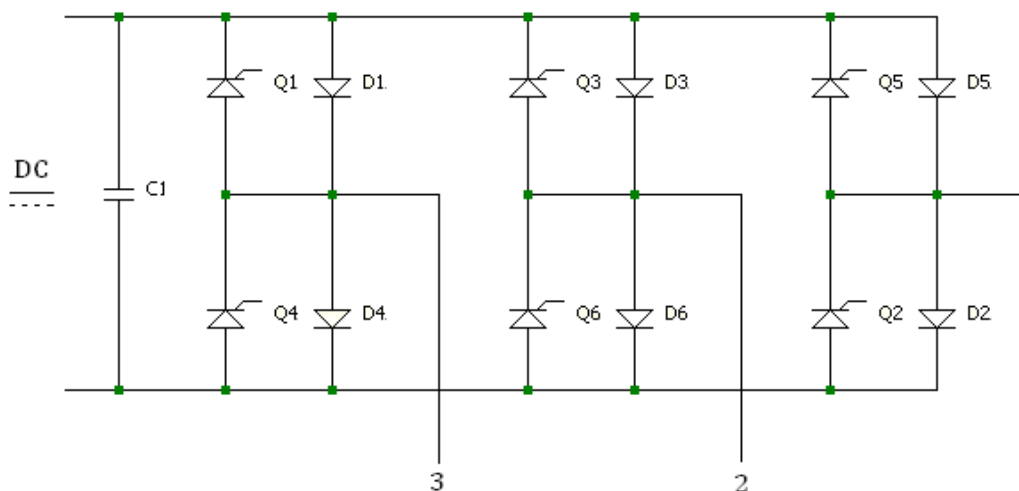
- Συστήματα διόρθωσης συντελεστή ισχύος
- Συστήματα αδιάλειπτης παροχής ισχύος (UPS)
- Ενεργά φίλτρα για μείωση των αρμονικών για την καλύτερη ποιότητα της ηλεκτρικής ισχύος.

Εδώ θα γίνει αναφορά στους αντιστροφείς με τριφασική έξοδο οι οποίοι χρησιμοποιούνται στην παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας και συγκεκριμένα στη μετατροπή της συνεχούς τάσης εξόδου των φωτοβολταϊκών στοιχείων σε εναλλασσόμενη τάση. Πρέπει να διευκρινιστεί ότι εναλλασσόμενη τάση είναι η τάση εκείνη που παίρνει και θετικές και αρνητικές τιμές, ανεξάρτητα από το αν η κυματομορφή της είναι ημιτονοειδής ή τετραγωνικής μορφής ή οτιδήποτε άλλο. Εναλλασσόμενη τάση σε καμία περίπτωση δεν σημαίνει πάντα ότι είναι και ημιτονοειδής.

Τα inverter στην πράξη αποτελούνται από δυο τμήματα τα οποία και είναι:

- Το κύκλωμα ισχύος του inverter
- Το κύκλωμα ελέγχου του inverter

Στο σχήμα 7, φαίνεται το κύκλωμα του αντιστροφέα σχεδιασμένο το οποίο χρησιμοποιεί σαν ηλεκτρονικά διακοπτικά στοιχεία 6 θυρίστορ (SCR). Αντί για θυρίστορ μπορούν να χρησιμοποιηθούν και άλλα διακοπτικά στοιχεία ισχύος όπως MOSFET, GTOs και IGBTs ανάλογα κάθε φορά με την ισχύ του αντιστροφέα. Η είσοδος του αντιστροφέα είναι μια συνεχής τάση η οποία μπορεί να προέρχεται από την έξοδο συστοιχίας φωτοβολταϊκών πλαισίων. Οι δίοδοι που συνδέονται παράλληλα στα θυρίστορ του αντιστροφέα, δημιουργούν δρόμους ελεύθερη ροής και για το λόγο αυτό οι δίοδοι αυτοί πολλές φορές αναφέρονται και ως «δίοδοι ελευθέρως ροής».



Σχήμα 7: Τριφασικός αντιστροφέας με θυρίστορ

Σύμφωνα με το σχήμα 4, για να εξαχθούν οι κατάλληλες κυματομορφές εξόδου, τα θυρίστορ θα πρέπει να άγουν με την εξής σειρά:

Q5,Q6,Q1-Q6,Q1,Q2-Q1,Q2,Q3-Q2,Q3,Q4-Q3,Q4,Q5-Q4,Q5,Q6

	Τριφασική Ανόρθωση	Τριφασικός Αντιστροφέας
--	--------------------	-------------------------

ΕΙΣΟΔΟΙ	$V_1 = V_{rms} \sin(\omega t)$ $V_2 = V_{rms} \sin(\omega t - 120^\circ)$ $V_3 = V_{rms} \sin(\omega t - 240^\circ)$	$V_o = 2,34V_{rms}$
ΕΞΟΔΟΙ	$V_o = 2,34V_{rms}$	$V_{30} = \sum_{n=1,3,5..}^{\infty} \frac{2V}{n\pi} \sin(n\omega t)$ $V_{20} = \sum_{n=1,3,5..}^{\infty} \frac{2V}{n\pi} \sin n(\omega t - 120^\circ)$ $V_{20} = \sum_{n=1,3,5..}^{\infty} \frac{2V}{n\pi} \sin n(\omega t - 240^\circ)$

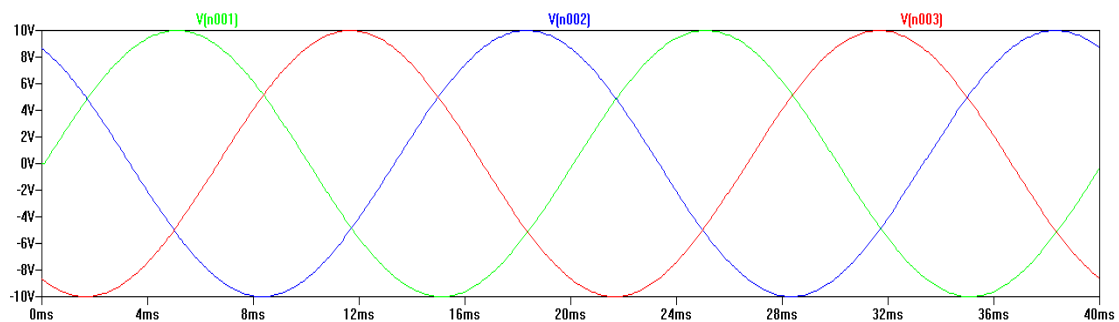
Πίνακας 4: Σχέσεις εισόδων και εξόδων τριφασικής μη ελεγχόμενης ανόρθωσης

Η Ημιτονοειδής Διαμόρφωση Εύρους Παλμών (PWM) είναι βασικά μια τεχνική μέσω της οποίας γίνεται έμμεσα αυξομείωση της τάσης εξόδου σε έναν inverter. Σε συνδυασμό με την τάση εξόδου, υπάρχει η δυνατότητα και της αυξομείωσης της συχνότητας της τάσης εξόδου. Επειδή είναι μια τεχνική ελέγχου, είναι προφανές ότι οι τιμές των τάσεων και των ρευμάτων της τεχνικής θα είναι σε χαμηλά επίπεδα για την ασφάλεια του χειρισμού, και μάλιστα οι τιμές αυτών θα είναι D.C. Η βασική ιδέα της τεχνικής για inverter με τριφασική έξοδο έχει να κάνει με τέσσερις διαφορετικές κυματομορφές:

- Κυματομορφή αναφοράς 1
- Κυματομορφή αναφοράς 2
- Κυματομορφή αναφοράς 3
- Κυματομορφή φορέα

Κυματομορφές Αναφοράς

Οι κυματομορφές αναφοράς είναι ημιτονοειδής κυματομορφές χαμηλών επιπέδων τάσης dc. Οι κυματομορφές διαφέρουν μεταξύ τους 120°, όπως δηλαδή σε ένα τριφασικό εμπορικό δίκτυο. Στο σχήμα 8 φαίνονται οι κυματομορφές αυτές.

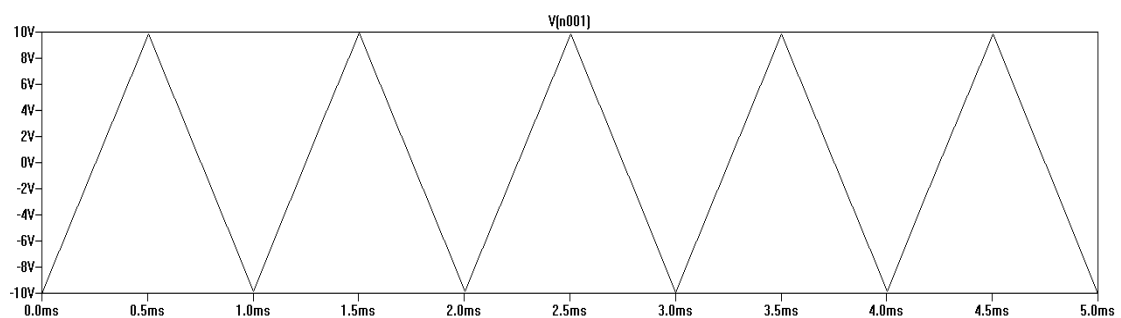


Σχήμα 8: Κυματομορφές αναφοράς

Η συχνότητα των τάσεων εξόδου είναι ίδια με τη συχνότητα των κυματομορφών αναφοράς. Επίσης η διαδοχή φάσης των τάσεων εξόδου του inverter είναι ίδια με τη διαδοχή φάσεων των τάσεων αναφοράς.

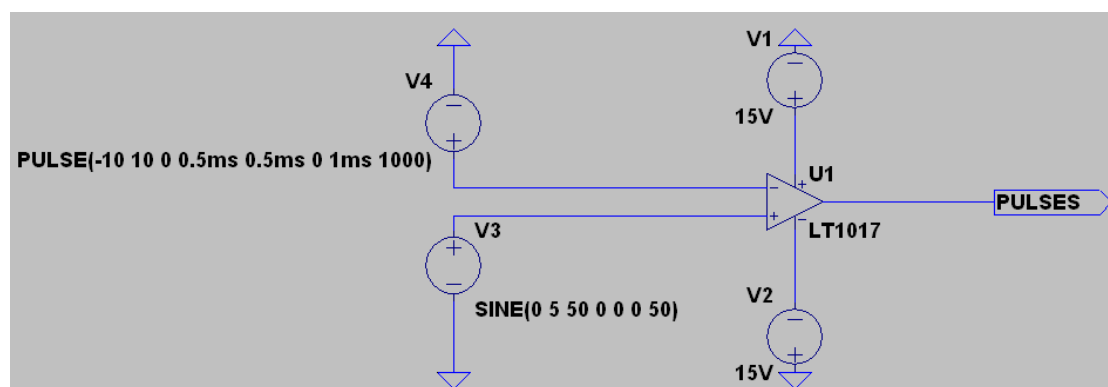
Κυματομορφή φορέα

Η κυματομορφή φορέα είναι ένα σήμα τριγωνικής μορφής χαμηλής τάσης dc. Η συχνότητά του είναι πολύ μεγαλύτερη της συχνότητας των κυματομορφών αναφοράς και συνεπώς και της συχνότητας των τάσεων εξόδου. Μια συνήθης αναλογία είναι 20:1, δηλαδή αν η συχνότητα αναφοράς είναι 50Hz τότε η συχνότητα φορέα είναι 1kHz. Στο σχήμα 9 φαίνεται ένα τέτοιο σήμα.

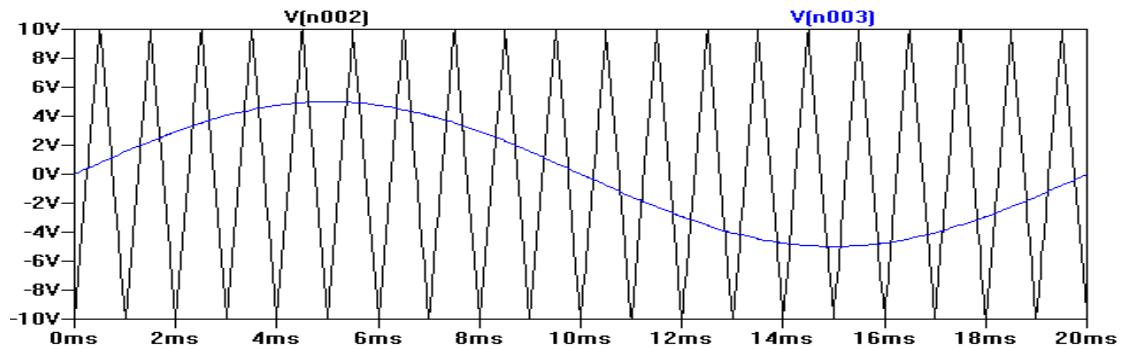


Σχήμα 9: Κυματομορφή φορέα

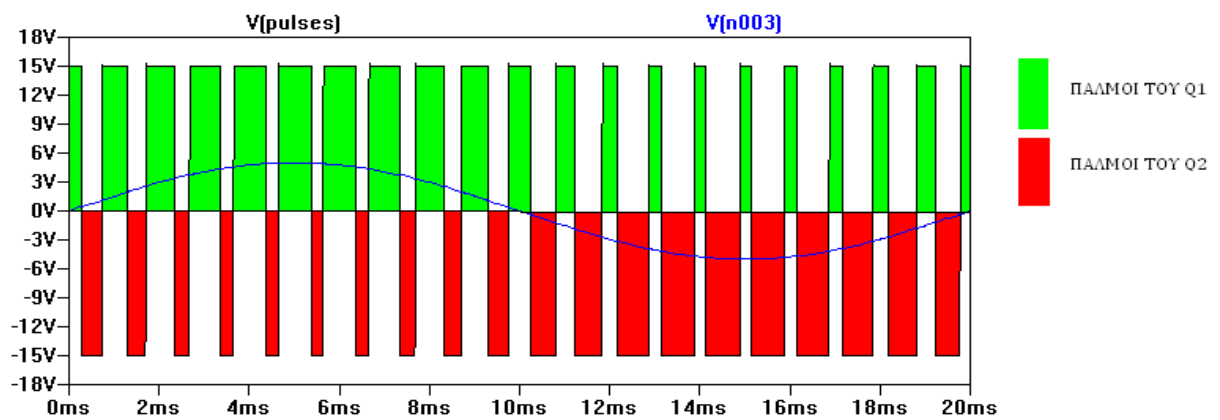
Αν η κυματομορφή φορέα συγκριθεί με τις κυματομορφές αναφοράς τότε θα προκύψουν οι παλμοί για τα ηλεκτρονικά διακοπτικά στοιχεία. Για να γίνει η σύγκριση των κυματομορφών θα πρέπει, σε επίπεδο κυκλώματος ελέγχου, να χρησιμοποιηθούν τρεις συγκριτές σημάτων. Στο σχήμα 10 φαίνεται ένα τέτοιο κύκλωμα για τη μια κυματομορφή αναφοράς και τη κυματομορφή φορέα.



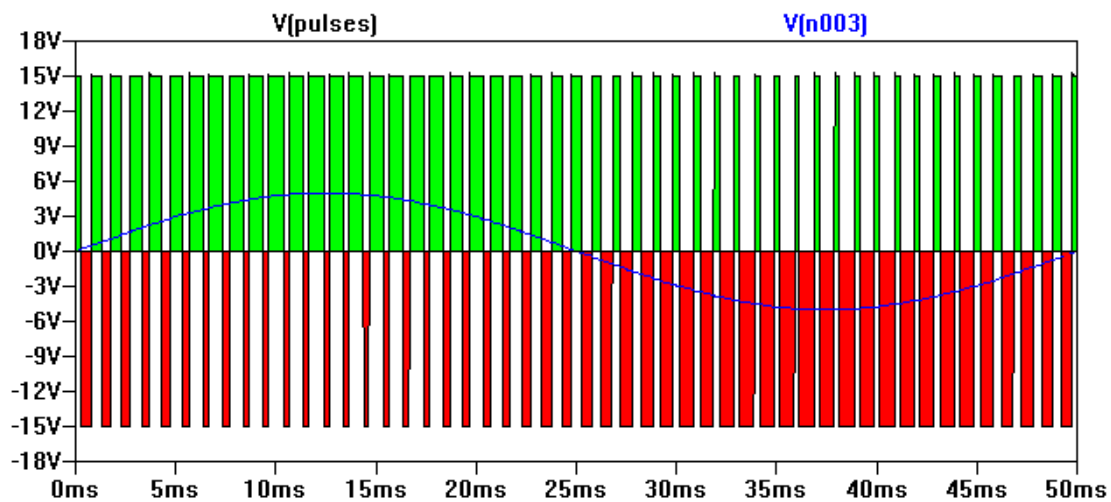
(α) Κύκλωμα σύγκρισης κυματομορφής αναφοράς με κυματομορφή φορέα



(β) Κυματομορφή αναφοράς και κυματομορφή φορέα

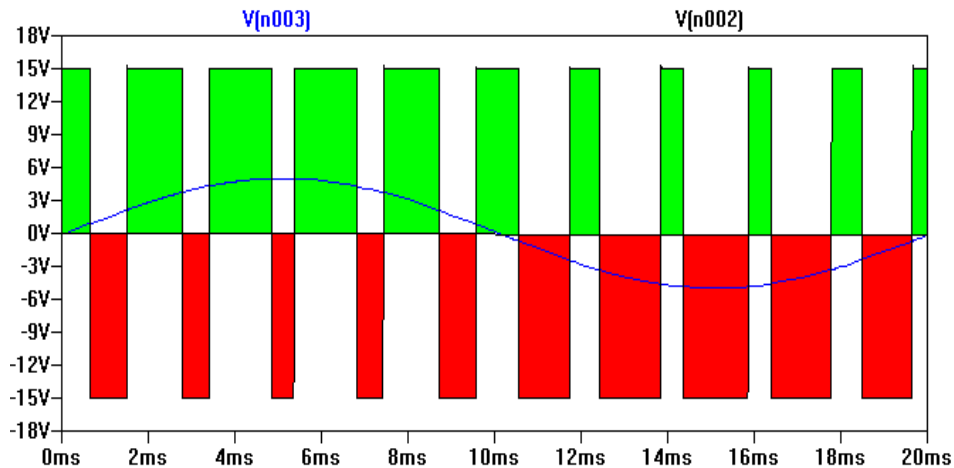


(γ) Παλμοί έναυσης διακοπών και κυματομορφή αναφοράς



(δ) Παλμοί έναυσης διακοπών και κυματομορφή αναφοράς για συχνότητα εξόδου 20Hz
Σχήμα 11

Από τα σχήματα 4.γ και 4.δ είναι φανερό ότι το εύρος του κάθε παλμού είναι ανάλογο της τάσης, δηλαδή όσο η πιο κοντά στη μέγιστη τιμή του ημιτονοειδούς σήματος είναι ο παλμός, τόσο πιο μεγάλο είναι το εύρος του.



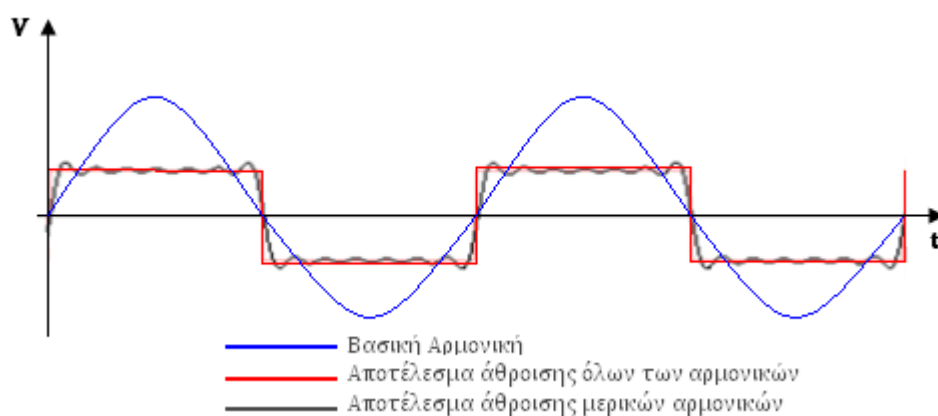
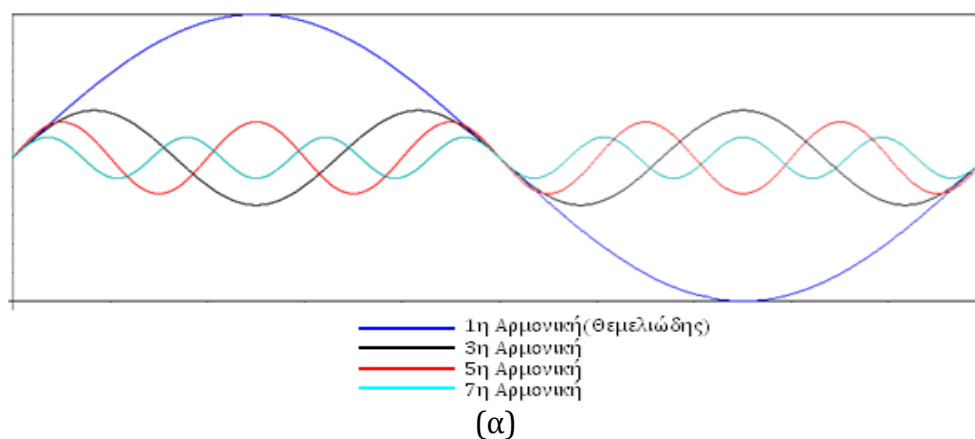
Σχήμα 12: Παλμοί για κυματομορφή αναφοράς 50Hz και κυματομορφή φορέα συχνότητας 500Hz

Παρατηρώντας τα σχήματα 11.γ και 12, βλέπουμε ότι η κυματομορφή αναφοράς έχει και στις δυο περιπτώσεις την ίδια συχνότητα, άρα η συχνότητα εξόδου του inverter θα είναι η ίδια και στις δυο περιπτώσεις. Ωστόσο η κυματομορφή του φορέα έχει 1kHz συχνότητα στην πρώτη περίπτωση και 500Hz στη δεύτερη περίπτωση. Αποτέλεσμα της διαφοράς αυτής είναι το ότι οι παλμοί στην πρώτη περίπτωση είναι περισσότεροι από τους παλμούς της δεύτερης περίπτωσης. Επίσης το εύρος των παλμών στην πρώτη περίπτωση είναι μικρότερο από το εύρος στη δεύτερη περίπτωση. Το σημαντικό είναι όμως ότι τελικά και στις δυο περιπτώσεις τόσο η τάση εξόδου όσο και η συχνότητα εξόδου είναι ίδιες.

Τελικά οι τάσεις εξόδου τόσο οι φασικές όσο και οι πολικές θα είναι μια σειρά από τετραγωνικούς παλμούς τάσεως υψηλών επιπέδων οι οποίες είναι κατάλληλες για τροφοδοσία καταναλώσεων ισχύος όπως είναι οι λαμπτήρες, οι οικιακές συσκευές, εργαλεία χειρός, κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος και άλλες τέτοιες καταναλώσεις.

Σημαντικό ρόλο για την καλύτερη λειτουργία του αναστροφέα, την καλύτερη ποιότητα της μεταφερόμενης ισχύος μέσω του inverter αλλά και την αποδοτικότερη και ασφαλέστερη λειτουργία των καταναλώσεων των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων που τελικά τροφοδοτούνται από τον αντιστροφέα, παίζουν και οι διάφορες αρμονικές συνιστώσες που εμφανίζονται στην έξοδο των inverter. Στην πράξη, η τάση εξόδου που θα πρέπει να προκύψει τελικά από τη μονάδα ενός εμπορικού inverter είναι η ημιτονοειδής μορφή. Όμως στην έξοδο του αναστροφέα της μονάδας όπως αναφέρθηκε, η τάση αποτελείται από τετραγωνικούς παλμούς. Αν μελετηθούν οι παλμοί αυτοί καθαρά με μαθηματικό τρόπο, αποδεικνύεται ότι μπορούν να αναλυθούν σε επιμέρους σήματα καθαρά ημιτονοειδή, με διαφορετικό πλάτος και συχνότητα το κάθε ένα. Η ανάλυση αυτή ονομάζεται ανάλυση σήματος σε αρμονικές συνιστώσες, και αυτός είναι και ο λόγος της ονομασίας «αρμονικές συνιστώσες τάσεων και ρευμάτων» που χρησιμοποιούνται στα ηλεκτρικά δίκτυα. Η ανάλυση αυτή μπορεί να γίνει με τη βοήθεια των σειρών Fourier. Στο σχήμα 13.α φαίνονται οι 4 πρώτες περιττές αρμονικές. Η πρώτη αρμονική είναι αυτή που αξιοποιείται και είναι γνωστή σαν

«θεμελιώδης αρμονική συνιστώσα ή βασική αρμονική συνιστώσα». Οι αρμονικές συνιστώσες μεγαλύτερης τάξης ονομάζονται «παρασιτικές αρμονικές συνιστώσες», και πρέπει να εξαλειφθούν για να μείνει μόνο η βασική αρμονική η οποία θα είναι και ημιτονοειδής. Αν σε κάθε χρονική στιγμή μέσα στην περίοδο της βασικής αρμονικής συνιστώσας, αθροίσουμε τις στιγμιαίες τάσεις κάθε αρμονικής, τότε το αποτέλεσμα θα είναι αυτό που φαίνεται στο σχήμα 13.β.



(β)
Σχήμα 13

Από το σχήμα 13.β γίνεται ξεκάθαρο ότι το άθροισμα όλων των αρμονικών δίνει ένα τετραγωνικό σήμα, που στην ουσία είναι η τάση εξόδου που παράγει το inverter. Το άθροισμα μερικών αρμονικών και όχι όλων φαίνεται επίσης στο σχήμα 13.β. Η μορφή της μερικής άθροισης δεν είναι τέλειο τετραγωνικό σήμα αλλά έχει μορφή πολύ κοντά. Εφόσον η έξοδος του inverter είναι τετραγωνικό σήμα υψηλής τάσης, αν από αυτό με κάποιο ηλεκτρικό τρόπο επιτευχθεί η απόσπαση και η εξάλειψη των ανώτερων παρασιτικών αρμονικών, τότε θα προκύψει η θεμελιώδης αρμονική που είναι καθαρό ημίτονο. Το ρόλο αυτό σε έναν εμπορικό inverter τον παίζουν τα φίλτρα αλλά και η τεχνική ημιτονοειδούς διαμόρφωσης εύρους παλμού (SPWM) η οποία είναι ένα προχωρημένο στάδιο της απλής PWM τεχνικής και με την οποία χρειάζονται μικρότερα φίλτρα που σημαίνει μικρότερο κόστος κατασκευής.

Στοιχεία Κυματομορφών Αναφοράς	Στοιχεία Κυματομορφής Φορέα (Φέρων σήμα)
A_{r1}, A_{r2}, A_{r3} : Πλάτη Κυματομορφών	A_c : Πλάτος Κυματομορφής
f_{r1}, f_{r2}, f_{r3} : Συχνότητες Κυματομορφών	f_c : Συχνότητα Κυματομορφής
$T_{r1} = \frac{1}{f_{r1}}, T_{r2} = \frac{1}{f_{r2}}, T_{r3} = \frac{1}{f_{r3}}$: Περίοδοι κυματομορφών	$T_c = \frac{1}{f_c}$: Περίοδος Κυματομορφής
$M_f = \frac{A_r}{A_c}$: Συντελεστής Διαμόρφωσης	
$f_{nc} = \frac{f_c}{f_r}$: Κανονικοποιημενη συχνότητα του φορέα	

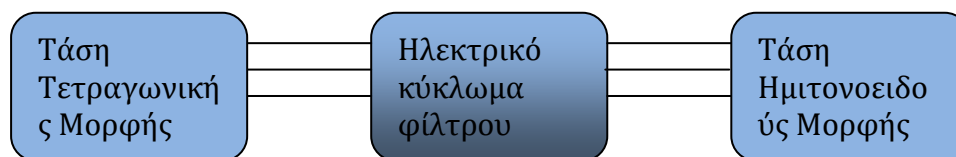
Πίνακας 5: Σχέσεις περιγραφής κυματομορφών αναφοράς και φορέα

Η κανονικοποιημένη συχνότητα εκφράζει το πόσους αρνητικούς και το πόσους θετικούς παλμούς θα δώσει σε μια περίοδο της κυματομορφής αναφοράς η τεχνική SPWM. Στο σχήμα 8, είναι $f_r=50\text{Hz}$, $f_c=500\text{Hz}$, που σημαίνει ότι $f_{nc}=10$. Αν μετρηθούν οι πράσινοι παλμοί του σχήματος 5 αυτοί θα είναι 10. Το ίδιο ισχύει και για τους κόκκινους παλμούς.

Ο συντελεστής διαμόρφωσης παίζει ρόλο στην αυξομείωση της τάσης εξόδου του inverter. Αυτό είναι ευνόητο καθώς εξαρτάται άμεσα από τη συχνότητα των κυματομορφών αναφοράς η οποία συχνότητα συμπίπτει και με την συχνότητα εξόδου του inverter.

Φίλτρα

Φυσικά όσο καλή και να είναι η τεχνική που θα εφαρμοστεί σε έναν αντιστροφέα, πάντα ένα φίλτρο θα χρειάζεται. Τα φίλτρα είναι στην ουσία ηλεκτρικά κυκλώματα που έχουν ως στόχο την αφαίρεση των ανώτερων αρμονικών από την τάση εξόδου, και επιτρέπουν την έξοδο μόνο στη βασική συνιστώσα της τάσης. Σχηματικά ένα φίλτρο μπορεί να παρουσιαστεί όπως στο σχήμα 14.



Σχήμα 14: Σχηματική απεικόνιση λειτουργίας φίλτρου εξάλειψης αρμονικών

Όπως κάθε ηλεκτρικό κύκλωμα έτσι και τα φίλτρα έχουν μια είσοδο και μια έξοδο. Στην περίπτωση αυτή η είσοδος είναι μια εναλλασσόμενη τάση τετραγωνικής μορφής, και η έξοδος είναι μια ημιτονοειδή εναλλασσόμενη τάση. Έτσι τα φίλτρα χαρακτηρίζονται από μια συνάρτηση μεταφοράς, η οποία δίνει τη σχέση μεταξύ εισόδου και εξόδου. Η συνάρτηση μεταφοράς είναι ο λόγος της εξόδου προς την είσοδο ενός κυκλώματος. Έτσι αν $Y(s)$ η έξοδος του φίλτρου στο πεδίο της συχνότητας και $C(s)$ η είσοδος του φίλτρου, η συνάρτηση μεταφοράς του θα είναι:

$$G(s) = \frac{Y(s)}{C(s)} = \frac{\text{εξίσωση περιγραφής εξόδου}}{\text{εξίσωση περιγραφής εισόδου}}$$

Η εξίσωση περιγραφής της εισόδου στο πεδίο του χρόνου, πρόκειται για μια εξίσωση που αποτελείται από τα άθροισμα όλων των αρμονικών, το οποίο άθροισμα τελικά δίνει την τετραγωνική εναλλασσόμενη τάση που παίρνει το φίλτρο από τον αντιστροφέα. Η ιδανική εξίσωση περιγραφής της εξόδου, είναι η ημιτονοειδής εξίσωση. Εφόσον η είσοδος είναι τετραγωνικής μορφής, και αν θεωρηθεί για λόγους απλούστευσης ότι η έξοδος είναι τετραγωνικής εναλλασσόμενης μορφής χωρίς αυτή να έχει κομματιαστεί (περίπτωση χρήσης τεχνικής απλής PWM), τότε η είσοδος και η έξοδος του φίλτρου θα χαρακτηρίζονται από τις ακόλουθες σχέσεις:

$$\begin{aligned} \text{Είσοδος:} & & V & \text{για } 0 < t < \frac{T}{2} \\ & & -V & \text{για } \frac{T}{2} < t < T \\ \text{Έξοδος:} & & |V| \sin(\omega t) & \end{aligned}$$

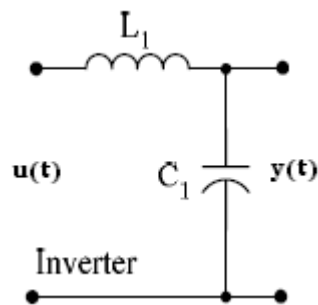
Έτσι η σχέση εισόδου εξόδου θα είναι:

$$\frac{y(t)}{c(t)} = \sin(\omega t) \quad \text{όπου } c(t) = |V| \quad (1)$$

Αν στη σχέση 1, εφαρμοστεί μετασχηματισμός Laplace, το αποτέλεσμα θα είναι:

$$\frac{Y(s)}{C(s)} = \frac{\omega}{s^2 + \omega^2} \quad (2)$$

Η παραπάνω συνάρτηση μεταφοράς περιγράφει ένα σύστημα δευτέρου βαθμού (s^2). Ένα σύστημα δευτέρου βαθμού περιέχει ένα πηνίο και ένα πυκνωτή. Στη συγκεκριμένη περίπτωση η συνδεσμολογία που αναζητείται φαίνεται στο σχήμα 15.



Σχήμα 15: Μονοφασικό ισοδύναμο φίλτρο

Για το κύκλωμα του σχήματος 15 ισχύει η σχέση:

$$u(t) = L_1 \frac{di(t)}{dt} + \frac{1}{C_1} \int i(t) dt \quad (3)$$

$$u(t) - y(t) = L_1 \frac{di(t)}{dt} \rightarrow \int [u(t) - y(t)] dt = L_1 i(t) \rightarrow$$

$$i(t) = \frac{1}{L_1} \int [u(t) - y(t)] dt \quad (4)$$

$$y(t) = \frac{1}{C_1} \int i(t) dt \rightarrow \frac{dy(t)}{dt} = \frac{1}{C_1} i(t) = \frac{1}{C_1} \frac{1}{L_1} \int [u(t) - y(t)] dt \rightarrow$$

$$\frac{d^2 y(t)}{dt^2} = \frac{1}{L_1 C_1} [u(t) - y(t)] \rightarrow L_1 C_1 \frac{d^2 y(t)}{dt^2} = u(t) - y(t) \rightarrow$$

$$L_1 C_1 \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + y(t) = u(t) , y(0) = 0 \quad (5)$$

Πράγματι η σχέση 5, η οποία και είναι η διαφορική εξίσωση που περιγράφει το κύκλωμα του σχήματος 15 είναι δευτέρου βαθμού. Για να βρεθεί η συνάρτηση μεταφοράς του κυκλώματος θα πρέπει να εφαρμοσθεί μετασχηματισμό Laplace στη σχέση 5.

$$\mathcal{L} \left\{ L_1 C_1 \frac{d^2 y(t)}{dt^2} \right\} + \mathcal{L}\{y(t)\} = \mathcal{L}\{u(t)\} \rightarrow L_1 C_1 s^2 Y(s) + Y(s) = U(s) \rightarrow$$

$$Y(s)(L_1 C_1 s^2 + 1) = U(s) \rightarrow$$

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{1}{L_1 C_1 s^2 + 1}$$

Αν η επιλογή των L_1, C_1 είναι τέτοια ώστε $L_1 C_1 = 1$ τότε η τελευταία σχέση θα πάρει τη μορφή:

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{1}{s^2 + 1} \quad (6)$$

Η σχέση 6 είναι της μορφής που λέει η σχέση 2, άρα η έξοδος του κυκλώματος έχει μετατραπεί σε ημιτονοειδή. Ωστόσο η επιλογή των στοιχείων του φίλτρου δεν είναι αυθαίρετη αλλά αντιθέτως είναι σκόπιμη. Όπως αναφέρθηκε το φίλτρο του σχήματος 15 είναι ένα σύστημα 2ης τάξης και άρα χαρακτηρίζεται από τη γενική διαφορική εξίσωση:

$$\frac{1}{\omega_n^2} \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + \frac{2\zeta}{\omega_n} \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = Au(t) \quad (7)$$

Όπου:

ω_n : Η φυσική συχνότητα του συστήματος ή ιδιοσυχνότητα

ζ : Ο συντελεστής απόσβεσης

A : Η ενίσχυση

f_c : Συχνότητα αποκοπής

Η φυσική συχνότητα ω_n του κάθε συστήματος καθώς και η συχνότητα αποκοπής f_c , είναι μεγέθη που καθορίζουν το πόσο γρήγορα τα σύστημα που έχει κατασκευαστεί μπορεί να αντιληφθεί τις αλλαγές στην είσοδο αυτού.

Ο συντελεστής απόσβεσης ζ είναι ένας καθαρός αριθμός ο οποίος δείχνει πόσες ταλαντώσεις θα κάνει η έξοδος του συστήματος έως ότου η έξοδος φτάσει σε μια προκαθορισμένη, από διάφορα πρότυπα, απόκλιση από το τελικό σημείο ισορροπίας.

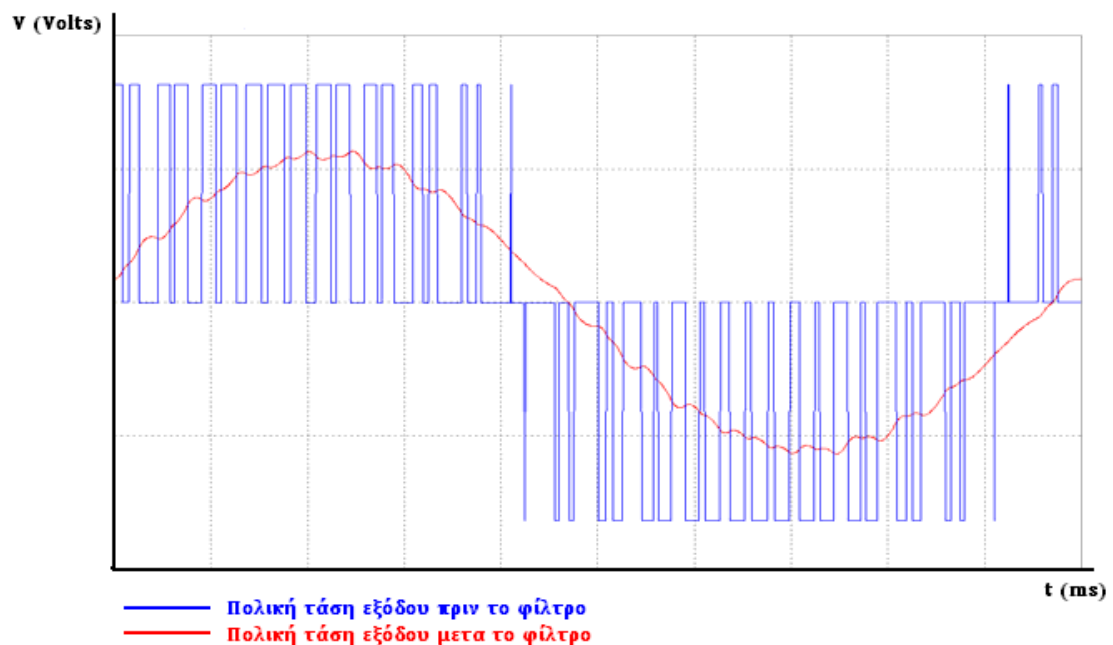
Η ενίσχυση A είναι επίσης ένας καθαρός αριθμός ο οποίος δείχνει πόσες φορές μεγαλύτερη ή πόσο μικρότερη θα είναι η έξοδος από την είσοδο του συστήματος.

Αν συγκριθούν οι σχέσεις 5 και 7, τότε για το συγκεκριμένο φίλτρο που εξετάζεται προκύπτουν τα παρακάτω συμπεράσματα:

$$A = 1, \quad \zeta = 0, \quad \omega_n = \frac{1}{\sqrt{L_1 C_1}}, \quad f_c = \frac{\omega_n}{2\pi} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_1}}$$

Από τα παραπάνω εξάγεται το συμπέρασμα ότι τα στοιχεία L_1, C_1 παίζουν μεγάλο ρόλο στη χρονική απόκριση του φίλτρου. Έτσι, σημαντικότερο ρόλο στη σχεδίαση των φίλτρων παίζει η επιλογή της κατάλληλης συχνότητας αποκοπής f_c . Συνήθως η επιλογή αυτής της συχνότητας είναι μεταξύ την ονομαστικής συχνότητας λειτουργίας της προς τροφοδοσίας εγκατάστασης, και της διακοπτικής συχνότητας των ηλεκτρονικών διακοπών. Πολλές φορές είναι αναγκαία και η τοποθέτηση ενός ακόμα φίλτρου με αποτέλεσμα το φίλτρο να γίνεται περισσότερο πολύπλοκο.

Η πολική τάση εξόδου μεταξύ δυο φάσεων παρουσιάζεται στο σχήμα 16, τόσο πριν τη χρήση του φίλτρου όσο και μετά την εισαγωγή του φίλτρου.



Σχήμα 16: Πολική τάση εξόδου

Όπως κάθε ηλεκτρική συσκευή, έτσι και οι αντιστροφείς έχουν κάποια τεχνικά χαρακτηριστικά. Αυτά τα χαρακτηριστικά μπορούν να χωριστούν σε 6 βασικές κατηγορίες, οι οποίες αναφορικά είναι :

- Είσοδος (DC)
- Έξοδος (AC)
- Βαθμός απόδοσης
- Συστήματα προστασίας
- Γενικά χαρακτηριστικά
- Εξοπλισμός

ΕΙΣΟΔΟΣ (DC)

Όσον αφορά την είσοδο των αντιστροφών ένα πρώτο χαρακτηριστικό είναι η μέγιστη ισχύ συνεχούς ρεύματος όπου θεωρείται $\cos\phi = 1$. Ένα δεύτερο χαρακτηριστικό είναι η μέγιστη τάση εισόδου και η οποία δεν θα πρέπει να ξεπερνάτε σε καμία περίπτωση. Το εύρος της τάσης της κάθε φωτοβολταϊκής στοιχειοσειράς είναι ένα άλλο χαρακτηριστικό της εισόδου των αντιστροφών. Η μέγιστη τιμή του εύρους αυτού, είναι λίγο χαμηλότερη από την μέγιστη τάση του αντιστροφέα. Ένα επόμενο χαρακτηριστικό είναι το μέγιστο ρεύμα εισόδου του αντιστροφέα. Τέλος, όσον αφορά την είσοδο υπάρχει κ ο μέγιστος βαθμός παράλληλων στοιχειοσειρών που μπορούν να συνδεθούν στον αντιστροφέα.

ΕΞΟΔΟΣ (AC)

Η έξοδος χαρακτηρίζεται αρχικά από την ονομαστική ισχύ του εναλλασσόμενου ρεύματος η οποία δίνεται σε KVA. Στη συνέχεια ακολουθεί η μέγιστη ισχύ εξόδου η οποία επίσης δίνεται σε KVA. Ένα άλλο πολύ βασικό χαρακτηριστικό είναι το μέγιστο ρεύμα εξόδου, το οποίο δίνεται σε Ampere. Ακολουθεί η ονομαστική τάση και η συχνότητα του δικτύου σε Volts και Hz αντίστοιχα, ενώ τελευταίο χαρακτηριστικό της εξόδου είναι ο ρυθμιζόμενος συντελεστής μετατόπισης ($\cos\phi$).

ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ

Ο βαθμός απόδοσης είναι ένα πολύ βασικό χαρακτηριστικό για τους αντιστροφείς το οποίο χαρακτηρίζει πόση από την εισερχόμενη στον αντιστροφέα ισχύς μετατρέπεται σε ισχύ εναλλασσόμενου ρεύματος. Οι αντιστροφείς συνήθως έχουν, αρκετά μεγάλο βαθμό απόδοσης, τυπικά πάνω από 94%.

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

Τα χαρακτηριστικά αυτά δείχνουν εάν ο εκάστοτε αντιστροφέας προστατεύεται από διάφορες καταστάσεις όπως η προστασία από αντιστροφή πόλων συνεχούς ρεύματος, καθώς επίσης και εάν υπάρχει διακόπτης απομόνωσης φορτίου συνεχούς

ρεύματος, εάν αντέχει σε βραχυκύκλωμα εναλλασσόμενου ρεύματος, εάν έχει επιτηρητή βραχυκυκλώματος προς γη, εάν έχει απαγωγό υπέρτασης συνεχούς ρεύματος ή δυνατότητα ενσωμάτωσης αυτού και αν περιέχει ηλεκτρονική ασφάλεια των στοιχειοσειρών.

ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Στα γενικά χαρακτηριστικά ανήκουν οι μηχανολογικές διαστάσεις του αντιστροφέα, το βάρος του, η περιοχή θερμοκρασιών λειτουργίας, η αυτοκατανάλωση του, η τοπολογία του (με μετασχηματιστή ή χωρίς), ο τρόπος ψύξης του και η προστασία του σύμφωνα με τον κωδικό IP.

ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

Τα χαρακτηριστικά αυτά περιγράφουν τον πρόσθετο εξοπλισμό του αντιστροφέα, όπως για παράδειγμα διάφορες θύρες επικοινωνίας (RS485 κλπ), διάφορες πιστοποιήσεις, οθόνες γραφικών καθώς και σημεία σύνδεσης με τα δίκτυα συνεχούς και εναλλασσόμενου ρεύματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

***ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ
ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ***

3.1 ΒΑΣΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα αποτελούνται από τα εξής βασικά μέρη:

- Τους φωτοβολταϊκούς συλλέκτες
- Τις καλωδιώσεις
- Τα inverter
- Τους πίνακες μεταφοράς του συνεχούς ρεύματος (DC)
- Ο πίνακας που συγκεντρώνονται όλα τα καλώδια από τους συλλέκτες
- Ο φορτιστής της συστοιχίας των μπαταριών (εάν υπάρχει)
- Η συστοιχία μπαταριών (εάν υπάρχει)
- Οι inverters οι οποίοι μετατρέπουν το DC σε AC
- Ο γενικός πίνακας διανομής AC
- Ο μετασχηματιστής μέσης τάσης (εάν υπάρχει)

Οι συλλέκτες εγκαθίστανται ανά μονάδες (συστοιχίες) και χαρακτηρίζονται από την εγκατεστημένη ισχύ τους (KW) η οποία εξαρτάται από την επιφάνεια που καλύπτουν και το είδος των συλλεκτών. Την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια ή την αποταμιεύουν σε μπαταρίες ή την τροφοδοτούν στο δίκτυο της ΔΕΗ.

Οι συλλέκτες τοποθετούνται υπό γωνία ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής και τοποθετούνται επί του εδάφους πάνω σε μεταλλικά κριώματα ή σε δώματα και κεκλιμένες στέγες.

3.2 ΖΗΜΙΕΣ ΚΑΙ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟ ΚΕΡΑΥΝΟΥΣ

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα λόγω της θέσης τους είναι ελκύνουν πάρα πολύ τους κεραυνούς με αποτέλεσμα να αντιμετωπίζουν μεγάλο κίνδυνο καταστροφής. Αυτό γίνεται, διότι οι εγκαταστάσεις των φωτοβολταϊκών απαρτίζονται από ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές εγκαταστάσεις.

Σε περιπτώσεις που θα δεχτεί άμεσο κεραυνικό πλήγμα στις εγκαταστάσεις του (S1) ή το ηλεκτρικό δίκτυο (S3) που τροφοδοτεί, υπάρχει η πιθανότητα ολικής απώλειας του εξοπλισμού. Υπάρχει βέβαια η πιθανότητα να σημειωθούν εκτεταμένες ζημιές στα ηλεκτρικά και στα ηλεκτρονικά συστήματα, εάν ο κεραυνός πλήξει θέσεις πλησίον της εγκατάστασης (S2) ή δικτύου (S4) που τροφοδοτεί.

Οι οικονομικές απώλειες είναι σαφέστατα τρομερά μεγάλες διότι, θα πρέπει να γίνει αντικατάσταση υλικών και εκτός αυτού θα έχουμε μεγάλες απώλειες παραγωγής ενέργειας.

Για αυτούς τους λόγους τα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι πλήρους Συστήματος Αντικεραυνικής Προστασίας (ΣΑΠ), αποτελούμενο από το εξωτερικό και το εσωτερικό σύστημα.

Η ανάγκη εγκατάστασης ΣΑΠ και η κλάση προστασίας που θα πρέπει να υιοθετηθεί για το σχεδιασμό του προκύπτουν από τις εκτίμησεις των κινδύνων που διατρέχει η εγκατάσταση, βάση του Ευρωπαϊκού Πρότυπου ΕΛΟΤ EN 62305-2:

- D2: Φυσικές ζημιές (φωτιά, Έκρηξη, μηχανική ζημιά κλπ)
- D3: Ζημιές σε ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά συστήματα από υπερτάσεις

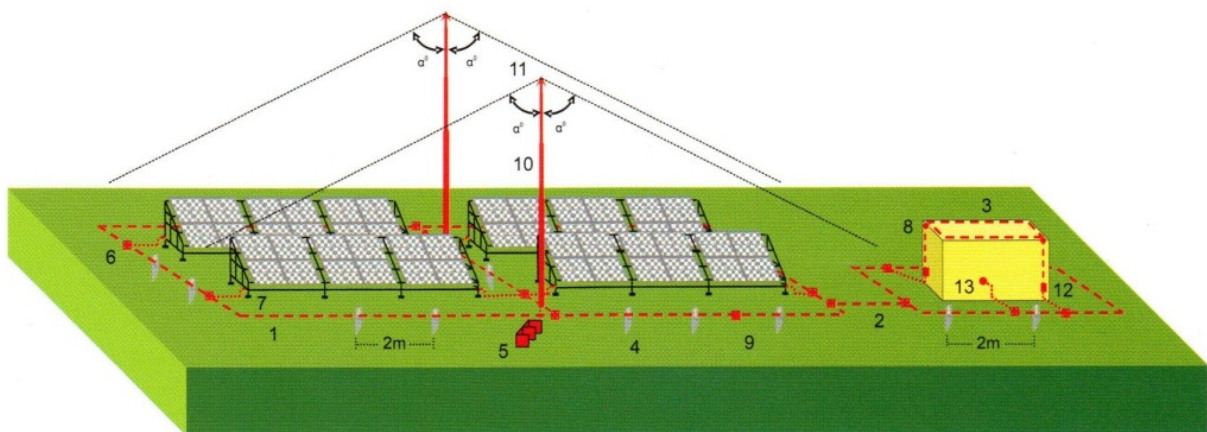
B. Απωλειών

- L2: Απώλεια κοινωφελών δικτύων
- L3: Οικονομικές απώλειες (απώλειες υπηρεσιών, λειτουργίας κλπ)






3.3 ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ ΣΑΠ

Η εγκατάσταση του εξωτερικού ΣΑΠ περιλαμβάνει την προστασία των συλλεκτών και του οικίσκου.

Το εξωτερικό ΣΑΠ των συλλεκτών αποτελείται συνήθως από συστήματα ιστών καθώς επίσης και ράβδους σύλληψης σε επιλεγμένες θέσεις ώστε, οι συλλέκτες να βρίσκονται εντός του χώρου του ορθού κυκλικού κώνου που σχηματίζουν, με ημιγωνία προστασίας εξαρτώμενη από την κλάση προστασίας του ΣΑΠ (Εικόνα 1) και του ύψους της κάθε ράβδου από τους υπό προστασία συλλέκτες.



Σχήμα 17: Εξωτερικό ΣΑΠ

Α/Α	Περιγραφή	Υλικό εξαρτημάτων - αγωγών				Μορφή
		Χαλκός ή κράμα Cu	Χάλυβας Γαλβανισμένος	Ανοξειδωτος χάλυβας	Πρότυπο ΕΛΟΤ EN	
1	Αγωγός ταινίας	6420252	6401330	6461330	50164 - 2	
2	Αγωγός στρογγυλός	6420008	6400010	6460010	50164 - 2	
3	Αγωγός στρογγυλός	6420008	6440010	6460008	50164 - 2	
4	Ορθοστάτης	6103030	6103030	6103030	-	
5	Γειωτής "Ε™"	632100X	630100X	636100X	50164 - 2	
6	Σφιγκτήρας Ø/ ταινίας	6201835	6221835	6261835	50164 - 1	
7	Σφιγκτήρας μονός	6225102	6255100	6255100	50164 - 1	
8	Σφιγκτήρας Ø / Ø	6201810	6221810	6261810	50164 - 1	
9	Σφιγκτήρας	6201833	6221833	6261833	50164 - 1	
10	Τηλεσκοπικός ιστός	-	60020XX*	-	-	
11	Ράβδος σύλληψης	6421100	6421100	6421100	50164 - 2	
12	Λυόμενος σύνδεσμος	6225000	6205000	6265000	50164 - 1	
13	Ζυγός γείωσης	6600002	6600002	6600002	50164 - 1	

(*) Αντικαταστήστε τα XX με το ύψος του ιστού σε [m]
Σημείωση: Όπου χρησιμοποιείται αγωγός σύνδεσης χαλύβδινος γαλβανισμένος να περιτυλίγεται με αντιδιαβρωτική ταινία 4113560 ~20cm πριν και μετά την είσοδό του στο έδαφος.

Σχήμα 18

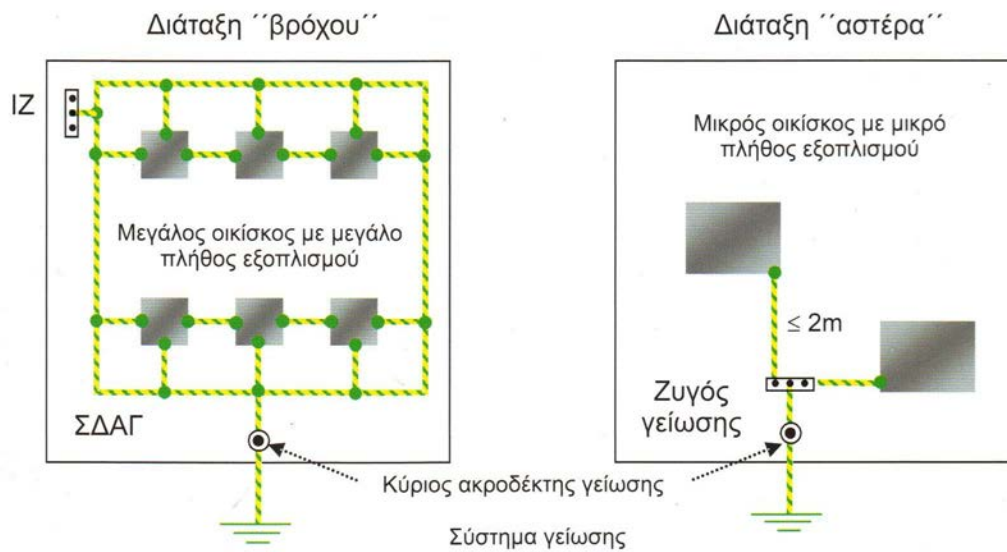
Ως εξωτερικό ΣΑΠ του οικίσκου συνιστάται να εφαρμόζεται η μέθοδος των βρόχων με τις απαιτούμενες καθόδους. Το σύστημα γείωσης συνιστάται να είναι κοινό με το σύστημα των συλλεκτών εφ' όσον βρίσκεται σε μικρή απόσταση.

Όλα τα εξαρτήματα και οι αγωγοί του ΣΑΠ θα πρέπει να έχουν υποστεί με επιτυχία τις εργαστηριακές δοκιμές, σύμφωνα με τα Ευρωπαϊκά Πρότυπα σειράς ΕΛΟΤ EN 50164 ή ενδεχομένως κάποια καινούρια πρότυπα που μπορεί να υπάρξουν στο μέλλον.

3.4 ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΣΑΠ

Οι ισοδύναμες συνδέσεις στον εξωτερικό χώρο του οικίσκου κατασκευάζονται ακολουθώντας δύο πρακτικές που εξαρτάται από τις διαστάσεις του οικίσκου.

Σε οικίσκους με μεγάλες διαστάσεις είναι πιο πρακτικό να εφαρμόζεται η διάταξη του βρόχου όπως φαίνεται στην εικόνα 1. Αρχικά εγκαθίσταται περιμετρικά εσωτερικά του οικίσκου ένας περιμετρικός ζυγός γείωσης, συνήθως από ταινία χάλκινη 30×2mm. Ο οποίος συνδέεται με το σύστημα γείωσης επί του οποίου συνδέονται όλες οι μεταλλικές κατασκευές του οικίσκου (πχ ερμάρια, σχάρες καλωδίων κλπ) με το μικρότερο δυνατό μήκος γείωσης, καθώς επίσης και μεταξύ τους (εικόνα 19)



Εικόνα 19: Ισοδύναμες συνδέσεις στον εσωτερικό χώρο του οικίσκου

Πλέον των παραπάνω ισοδύναμων συνδέσεων όλα τα εισερχόμενα-εισερχόμενα μεταλλικά δίκτυα συνδέονται στη θέση εισόδου-εξόδου άμεσα με τον περιμετρικό ζυγό γείωσης.

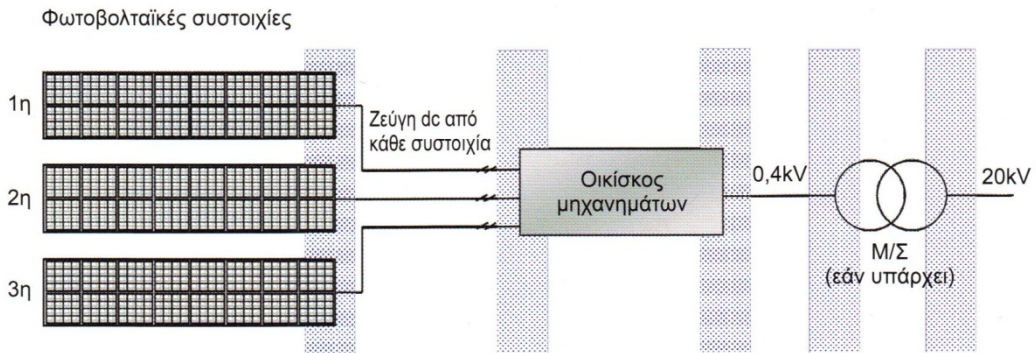
Ισοδυναμικές συνδέσεις πραγματοποιούνται επίσης σε όλα τα εισερχόμενα-εξερχόμενα ηλεκτρικά δίκτυα με σύνδεση τους στον περιμετρικό ζυγό γείωσης μέσω κατάλληλων απαγωγών κρουστικών υπερτάσεων (βλ. εικόνα 3, εικόνα 4, εικόνα 5).

Σε οικίσκους με μικρές διαστάσεις πρακτικότερο είναι να εφαρμόζεται η διάταξη του αστέρα όπως φαίνεται στην εικόνα χχ. Για την εκτέλεση των απαιτούμενων ισοδυναμικών συνδέσεων εγκαθίσταται ένας ζυγός γείωσης σε κεντροβαρή θέση στον οικίσκο, ώστε να μπορεί να συνδεθεί ο μεταλλικός εξοπλισμός του οικίσκου με αγωγό γείωσης που να μην υπερβαίνει τα $2\div 3m$ και συνδέεται με το σύστημα γείωσης. Επίσης, η επιλογή της θέσης θα είναι τέτοια ώστε όλα τα εισερχόμενα-εξερχόμενα μεταλλικά δίκτυα από τον οικίσκο να συνδέονται στην θέση εισόδου-εξόδου, άμεσα με τον ζυγό γείωσης με το μικρότερο δυνατό μήκος αγωγού γείωσης.

Ισοδυναμικές συνδέσεις πραγματοποιούνται επίσης σε όλα τα εισερχόμενα-εξερχόμενα ηλεκτρικά δίκτυα με σύνδεσή τους στο ζυγό γείωσης μέσω κατάλληλων απαγωγών κρουστικών υπερτάσεων (βλ. σχήμα 20, σχήμα 21, σχήμα 22).

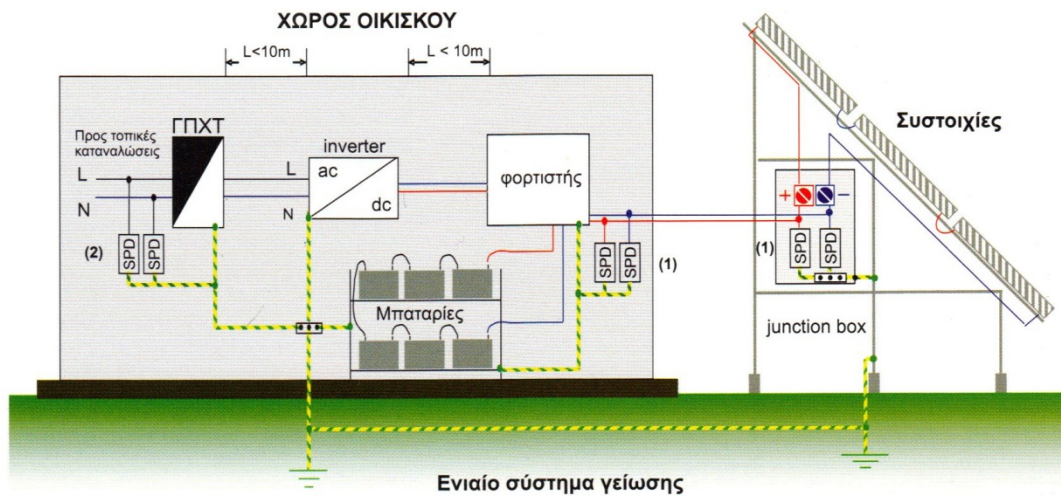
3.5 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΜΕΣΩ ΑΠΑΓΩΓΩΝ ΚΡΟΥΣΤΙΚΩΝ ΥΠΕΡΤΑΣΕΩΝ (SPDs)

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η ασφάλεια των φωτοβλατικών συστημάτων αποτελεί βασική προϋπόθεση για προστασία από κεραυνικά ρεύματα και κρουστικές υπερτάσεις. Το ΣΑΠ λοιπόν προστατεύει τον ηλεκτρικό και ηλεκτρονικό εξοπλισμό από τις συνέπειες. Η προστασία επιμερίζεται σε κάποια βασικά σημεία (σχήμα 20).

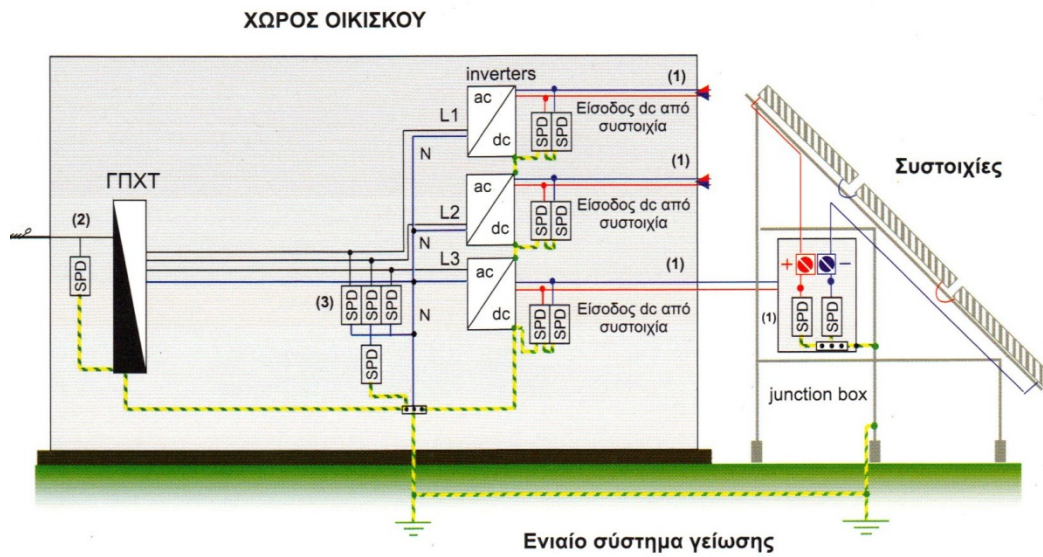


Σχήμα 20. Βασικά σημεία προστασίας SPDs

Τα παρακάτω παραδείγματα εφαρμογής (σχήμα 21 και 22) δείχνουν τη θέση και τον τύπο των απαγωγών κρουστικών υπερτάσεων (SPDs).



Σχήμα 21. Προστασία με SPDs εφαρμογής Φ/Β συστήματος μη συνδεδεμένο στο δίκτυο διανομής.

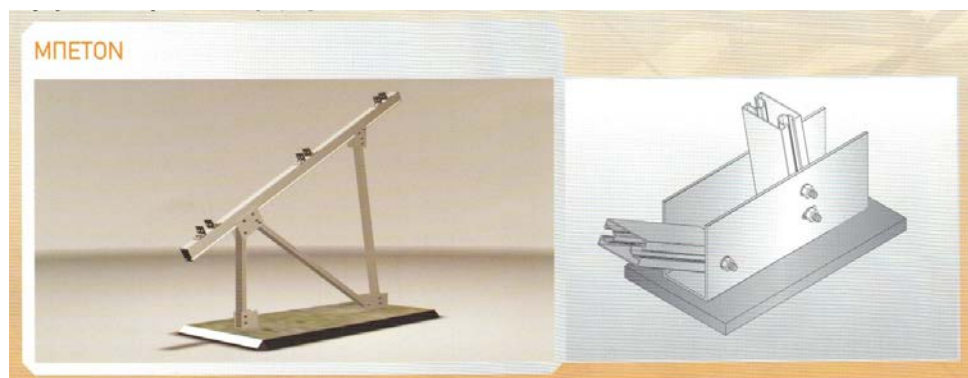


Σχήμα 22. Προστασία με SPDs εφαρμογής Φ/Β συστήματος συνδεδεμένο στο δίκτυο διανομής.

3.6 ΣΤΗΡΙΞΗ ΤΩΝ ΠΛΑΙΣΙΩΝ

Μεγάλο ρόλο στις φωτοβλταϊκές εγκαταστάσεις παίζει η στήριξη των πλαισίων. Υπάρχουν διάφοροι τύποι εγκαταστάσεων είτε υπαίθριοι είτε σε στέγες. Στην προκειμένη περίπτωση μας ενδιαφέρουν οι εγκαταστάσεις στο υπαίθρο.

Οι υπαίθριες εγκαταστάσεις μπορούν να γίνουν είτε σε θεμέλια από μπετό, είτε πάνω σε πασσάλους, είτε με γεώβιδες όπως δείχνει το ακόλουθο σχήμα QQ .



Σχήμα 23

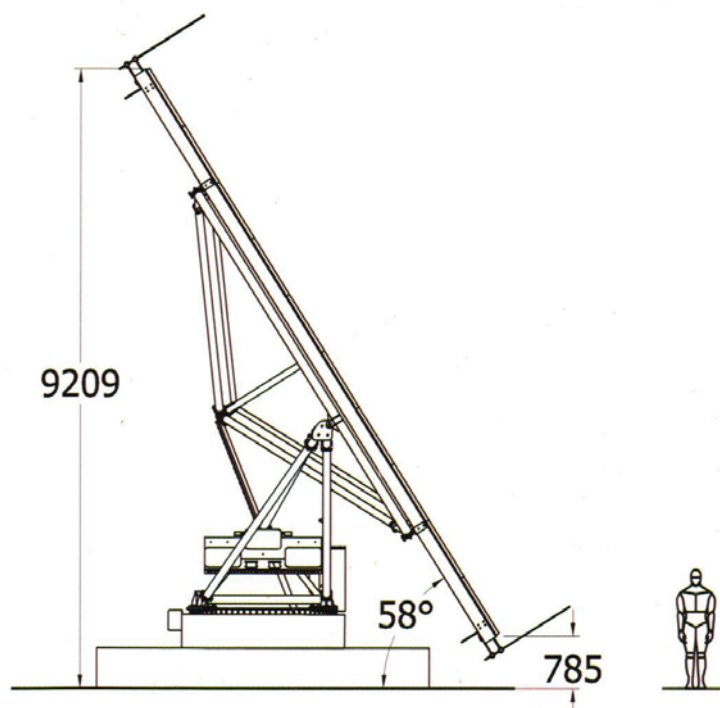


Σχήμα 24



Σχήμα 25

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα εγκατάστασης φαίνεται στον ακόλουθο σχήμα 26.



Σχήμα 26

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΦΟΡΤΙΩΝ



Σχήμα 27

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

Σ' αυτό το κεφάλαιο θα αναλύσουμε τα φορτία που καταναλώνει σε καθημερινή βάση το θερμοκήπιο για την κάλυψη των αναγκών του. Το θερμοκήπιο βρίσκεται στην περιοχή της Τριπόλεως και καλλιεργεί οπωροκηπευτικά και καλλωπιστικά φυτά. Συμπέρασμα μας είναι ότι το θερμοκήπιο είναι σε λειτουργία όλες τις εποχές του χρόνου.

Οι βασικές καταναλώσεις γίνονται από:

- τα ποτιστικά
- τα μοτέρ απορρόφησης τύπου σαλιγκαριού
- τους λαμπτήρες
- τα μοτέρ (άνοιγμα και κλείσιμο των παραθύρων)
- τους καυστήρες θέρμανσης
- σπαρτικό μηχάνημα.

ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ 1

ΦΟΡΤΙΟ 1

- **2 Μηχανισμοί για άνοιγμα παραθύρων (ρολά):**

P=370W
230/400 Y/Δ
50 Hz
2.16/1.25 A
1380 rpm
Cos φ: 0.8

- ❖ **Ημερήσιος χρόνος λειτουργίας 20 min:**

$$370 \times 0.34 \times 2 = 251.6 \text{ WH}$$

ΦΟΡΤΙΟ 2

- **Μοτέρ απορροφητήρα τύπου σαλιγκαριού:**

P=300 W
4 μf
230 V
50 Hz
1.2 A
2890 rpm

❖ Ημερήσιος χρόνος λειτουργίας 5 min:

$$300 \times 0.083 = 24.9 \text{ WH}$$

ΦΟΡΤΙΟ 3

➤ 3 Λαμπτήρες των 200 W:

❖ Ημερήσιος χρόνος λειτουργίας 2 h:

$$400 \times 3 = 1200 \text{ WH}$$

ΦΟΡΤΙΟ 4

➤ Ποτιστικό μοτέρ:

$$P = 1100 \text{ W}$$

$$230 \text{ V}$$

$$2850 \text{ rpm}$$

$$50 \text{ Hz}$$

$$20 \mu\text{F}$$

$$1.5 \text{ Hp}$$

❖ Ημερήσιος χρόνος λειτουργίας 4 h:

$$1100 \times 4 + 270 = 4.67 \text{ KWH}$$

ΑΡ. ΦΟΡΤΙΟΥ	ΙΣΧΥΣ ΦΟΡΤΙΟΥ (W)
1	2×370
2	1×300
3	3×200
4	1×1100
ΣΥΝΟΛΟ	3740

Πίνακας 4 :φορτία θερμοκηπίου 1

ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ 2

ΦΟΡΤΙΟ 1

➤ 2 Μηχανισμοί για άνοιγμα παραθύρων (ρολά):

230/400 V
0.37 KW
1.78/1.03 A
Cos φ: 0.8
1370 rpm
50 Hz

❖ Ημερήσιος χρόνος λειτουργίας 20 min:

$$370 \times 0.34 \times 2 = 251.6 \text{ WH}$$

ΦΟΡΤΙΟ 2

➤ Μοτέρ απορροφητήρα τύπου σαλιγκαριού:

P=300 W
4 μf
230 V
50 Hz
1.2 A
2890 rpm

❖ Ημερήσιος χρόνος λειτουργίας 5 min:

$$300 \times 0.083 = 24.9 \text{ WH}$$

ΦΟΡΤΙΟ 3

➤ 3 Λαμπτήρες των 200 W:

❖ Ημερήσιος χρόνος λειτουργίας 2 h:

$$400 \times 3 = 1200 \text{ WH}$$

➤ Ποτιστικό μοτέρ:

P=750 W
230 V
2850 rpm
50 Hz
20 μF
1Hp

❖ Ημερήσιος χρόνος λειτουργίας 4 h:

$$750 \times 4 + 180 = 3180 \text{ WH}$$

ΑΡ. ΦΟΡΤΙΟΥ	ΙΣΧΥΣ ΦΟΡΤΙΟΥ (W)
1	2×370
2	1×300
3	3×200
4	1×750
ΣΥΝΟΛΟ	2390

Πίνακας 5:φορτία θερμοκηπίου 2

ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ 3

ΦΟΡΤΙΟ 1

➤ 5 Μηχανισμοί για άνοιγμα παραθύρων (ρολά):

220/380 V
 50 Hz
 1.9/1.1 A
 P=0.37 KW
 1400 rpm
 cos φ;0.75

❖ Ημερήσιος χρόνος λειτουργίας 20 min:

$$370 \times 0.34 \times 5 = 629 \text{ WH}$$

ΦΟΡΤΙΟ 2

➤ 8 Λαμπτήρες των 200 W:

❖ Ημερήσιος χρόνος λειτουργίας 2 h:

$$400 \times 8 = 3.2 \text{ KWH}$$

ΦΟΡΤΙΟ 3

➤ 1ο Ποτιστικό μοτέρ:

4.7 A
 230 V
 1 Hp

20 μ F
P=0.74 KW
2800 rpm

❖ Ημερήσιος χρόνος λειτουργίας 4 h:

$$740 \times 4 + 180 = 3140 \text{ WH}$$

ΦΟΡΤΙΟ 4

➤ 2ο Ποτιστικό μοτέρ:

50/60 Hz
230/400 V
4 Hp
P=3 KW
2880 rpm
10.7/6.2 A

❖ Ημερήσιος χρόνος λειτουργίας 4 h:

$$3000 \times 4 + 2960 = 14.96 \text{ KWH}$$

ΑΡ. ΦΟΡΤΙΟΥ	ΙΣΧΥΣ ΦΟΡΤΙΟΥ (W)
1	5×370
2	8×200
3	1×740
4	1×3000
ΣΥΝΟΛΟ	7190

Πίνακας 6 :φορτία θερμοκηπίου 3

ΚΑΥΣΤΗΡΕΣ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ

ΦΟΡΤΙΟ 1&2 ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ



Σχήμα 28

❖ Ημερήσιος χρόνος λειτουργίας 6 h:

$$1119 \times 6 = 6.714 \text{ KWH}$$

ΑΡ. ΦΟΡΤΙΟΥ	ΙΣΧΥΣ ΦΟΡΤΙΟΥ (W)
1 θερμ	1×1119
2 θερμ	1×1119
ΣΥΝΟΛΟ	2238

Πίνακας 7: καυστήρες

ΣΠΑΡΤΙΚΟ ΜΗΧΑΝΗΜΑ

ΦΟΡΤΙΟ 1



➤ **Μοτέρ 1:**

P=2200 W
1400 rpm
220/380 V
50 Hz
9.2/5.3 A
cos φ:0.76
3 Hp

❖ **Ημερήσιος χρόνος λειτουργίας 1 h:**

$$2200 \times 1 + 540 = 2740 \text{ WH}$$

ΦΟΡΤΙΟ 2



➤ **Μοτέρ συλλογής χώματος:**

P=370 W
50 Hz
230/400 V
1370 rpm
1.92/1.11 A
cos φ:0.74

❖ **Ημερήσιος χρόνος λειτουργίας 20 min:**

$$370 \times 0.33 + 90 = 212.1 \text{ WH}$$

ΦΟΡΤΙΟ 3



➤ **Μοτέρ τοποθέτησης χώματος**

50 Hz
230/400 V
P=370 W
1390 rpm
cos φ: 0.70
2/1.15 A

❖ Ημερήσιος χρόνος λειτουργίας 1 h:

$$370 \times 1 + 90 = 460 \text{ WH}$$

ΦΟΡΤΙΟ 4



➤ Μοτέρ εμφύτευσης σπόρων.

P= 740 W
220/330 V
50 Hz
1400 rpm
6.5/3.7
1 Hp
cos φ: 0.78

❖ Ημερήσιος χρόνος λειτουργίας 1 h:

$$740 \times 1 + 180 = 920 \text{ WH}$$

ΦΟΡΤΙΟ 5



➤ **Μοτέρ ολίσθησης δίσκων.**

230/400
P=180 W
50 Hz
1.2/0.7 A
cos φ: 0.64

❖ **Ημερήσιος χρόνος λειτουργίας 1 h:**

$180 \times 1 + 60 = 240$ WH

ΦΟΡΤΙΟ 6

➤ **Μοτέρ δερμοκώλησης**

230/400 V
P=550 W
50 Hz
1390 rpm
cos φ:0.77
2.6/1.5 A

❖ **Ημερήσιος χρόνος λειτουργίας 1 h:**

$550 \times 1 + 148 = 698$ WH

ΑΡ. ΦΟΡΤΙΟΥ	ΙΣΧΥΣ ΦΟΡΤΙΟΥ (W)
1	1×2200
2	1×370
3	1×370
4	1×740
5	1×180
6	1×550
ΣΥΝΟΛΟ	4410

Πίνακας 8:συνολικές καταναλώσεις σπαρτικού μηχανήματος



Σχήμα 29:σπαρτικό μηχανήμα

ΕΞΩΤΕΡΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ

ΦΟΡΤΙΟ 1

- **Κοινό ποτιστικό μοτέρ (ποτιστικό από την πάνω επιφάνεια του θερμοκηπίου) για θερμοκήπιο 1 & θερμοκήπιο 2.**

P=2.2 KW
230/400 W
9/5.2 A
50 Hz
2800 rpm
3 Hp

- ❖ **Ημερήσιος χρόνος λειτουργίας 15 min:**

$$2.2 \times 0.25 + 540 = 6.85 \text{ KWH}$$

ΑΡ. ΦΟΡΤΙΟΥ	ΙΣΧΥΣ ΦΟΡΤΙΟΥ (W)
1	1×2200
ΣΥΝΟΛΟ	2200

Πίνακας 9: κοινό ποτιστικό μοτέρ

ΤΕΛΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ

ΑΡ. ΦΟΡΤΙΟΥ	ΙΣΧΥΣ ΦΟΡΤΙΟΥ (W)
ΘΕΡΜΟΚ 1	3740
ΘΕΡΜΟΚ 2	2390
ΘΕΡΜΟΚ 3	7190
ΚΑΥΣΤΗΡΕΣ	2238
ΣΠΑΡΤΙ. ΜΗΧ	4410
ΕΞΩΤ.ΦΟΡΤΙΑ	2200
ΣΥΝΟΛΟ	22168

Πίνακας 10: συνολικές καταναλώσεις θερμοκηπίων

Μέγιστη ισχύς λειτουργίας

Μπορεί εύκολα κάποιος να καταλάβει ότι, είναι αδύνατον όλα τα φορτία να λειτουργούν ταυτόχρονα και ως εκ τούτου, είναι αδύνατον να ζητηθεί σε μία συγκεκριμένη στιγμή μέγιστη ισχύ ίση με **22,168 KW**. Για τον λόγο αυτό θα πρέπει να προσδιοριστεί μια μέγιστη τιμή της ζητούμενης ισχύος. Οι απαιτήσεις της εγκατάστασης σύμφωνα με τον ιδιοκτήτη είναι η ταυτόχρονη λειτουργία όλων των ποτιστικών μοτέρ και των καυστήρων. Συνεπώς οι μέγιστη ζητούμενη ισχύς με βάση τα παραπάνω αναλύεται στον ακόλουθο πίνακα.

ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	ΦΟΡΤΙΟ	ΙΣΧΥΣ
ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ 1	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ 1	1100 W
ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ 2	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ 1	750 W
ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ3	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ 1	740 W
	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ 2	3000 W
ΕΞΩΤ.ΦΟΡΤΙΑ	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ 1	2200W
ΚΑΥΣΤΗΡΑΣ	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ 1	2238W
ΣΥΝΟΛΟ		10028 W

Πίνακας 11: κρίσιμα φορτία

Με βάση τον παραπάνω πίνακα, επιλέχθηκαν τα πάνελ τύπου PS210M-24/F ονομαστικής τάσης 210W της εταιρίας Phono'Solar, τα χαρακτηριστικά των οποίων καταγράφονται στον παρακάτω πίνακα.

Phono'Solar	
Ονομαστική ισχύς	210W
Ανοχή	0~+5W
Ονομαστικό ρεύμα	5.46 A
Ονομαστική τάση	38.6 V
Ρεύμα βραχυκυκλώσεως	5.65 A
Τάση ανοιχτού κυκλώματος	45.8 V
Απόδοση	16.45

Πίνακας 12:στοιχεία πάελ

Με βάση τα παραπάνω στοιχεία, για να καλύψουμε το θερμοκήπιο θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε **48 πάνελ**.

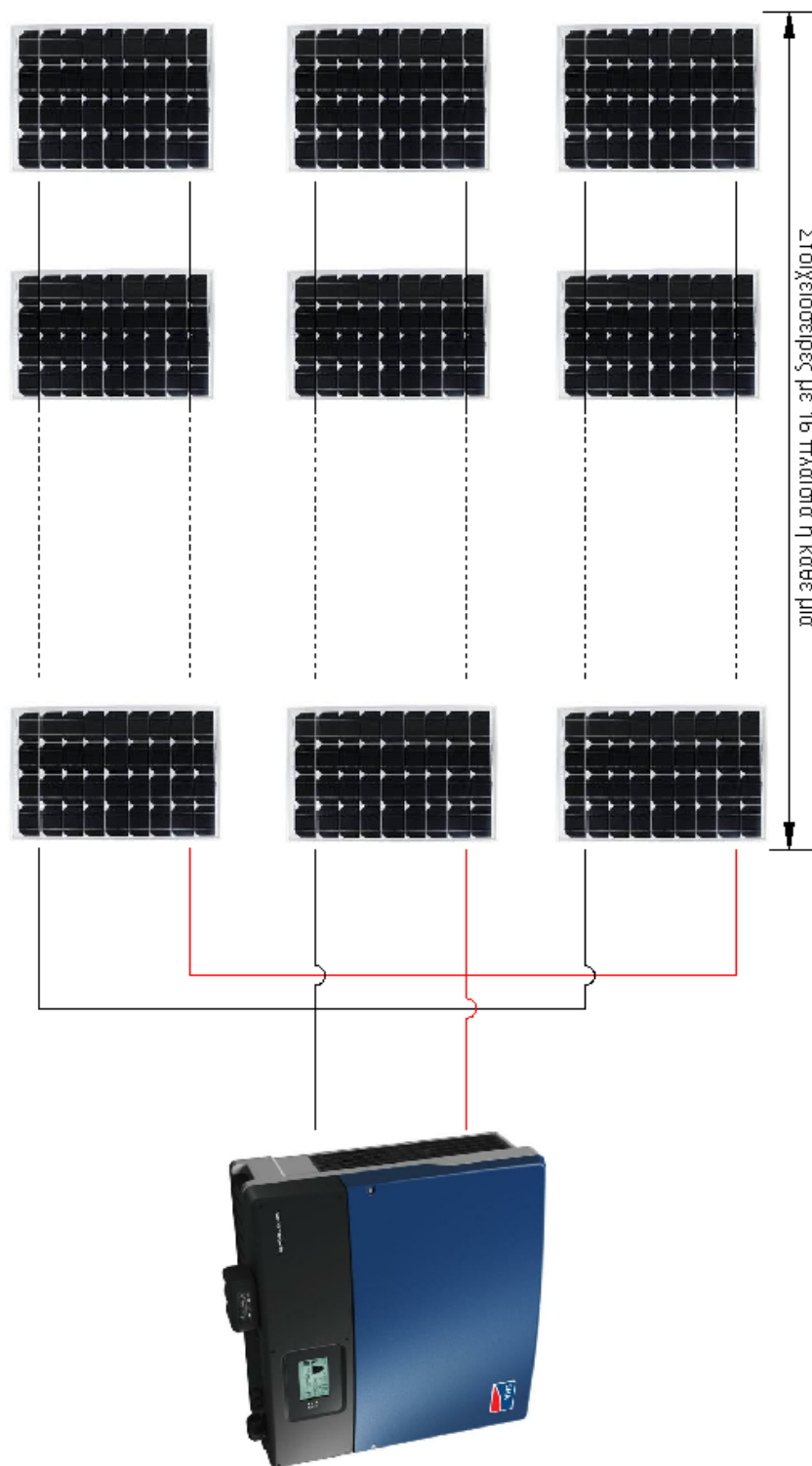
Η συνολική ισχύς που θα παράγεται από τα πλαίσια σύμφωνα με τους υπολογισμούς που έγιναν είναι 10080W. Αυτό σημαίνει ότι η ονομαστική ισχύς του αντιστροφέα θα πρέπει να είναι μεγαλύτερα από 10080W αλλά όχι πολύ μεγαλύτερη από την τιμή αυτή. Το υλικό που τελικά επιλέγεται είναι ο αντιστροφέας της SMA «Sunny Tripower 15000 TL» του οποίου η ονομαστική ισχύς εισόδου είναι 15200W και έχει βαθμό απόδοσης 99-98.7% με ονομαστική ισχύ εξόδου προς το AC κύκλωμα ίση με 15000W. Η τιμή της ισχύος εξόδου του αντιστροφέα που επιλέχθηκε είναι αρκετά μεγαλύτερη από τη ζητούμενη, αλλά ο λόγος για την επιλογή αυτή είναι ότι θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί αντιστροφέας με τριφασική έξοδο. Όμως τέτοιοι αντιστροφείς του εμπορίου είναι σχεδιασμένοι για μεγαλύτερη ισχύς. Τα χαρακτηριστικά του αντιστροφέα φαίνονται στον πίνακα 13.

Με βάση τον πίνακα 13, το καλύτερο εύρος τάσης εισόδου για την κάθε στοιχειοσειρά είναι από 620-800V. Επίσης η κάθε στοιχειοσειρά μπορεί να μεταφέρει ρεύμα το πολύ ίσο με 36A, ενώ στη μία και μοναδική είσοδο μπορούν να συνδεθούν μέχρι 6 στοιχειοσειρές. Εάν επιλεγθούν να εγκατασταθούν τρεις στοιχειοσειρές από 16 πλαίσια η κάθε μια (μιας και είναι 48 πλαίσια συνολικά) τότε η κάθε στοιχειοσειρά θα έχει τάση εξόδου ίση με $16 \times 38,6 = 617,6V$. Η μέγιστη τάση ανά στοιχειοσειρά που είναι η τάση χωρίς φορτίο είναι ίση με $16 \times 45,8 = 732,8V$. Το ρεύμα σε κάθε στοιχειοσειρά θα είναι ίσο με 5,46A όσο είναι δηλαδή το ρεύμα σε κάθε πλαίσιο. Έτσι η συνολική ισχύς κάθε σειράς θα είναι ίση με $5,46 \times 617,6 = 3372,096W$ ενώ η συνολική ισχύς και για τις τρεις σειρές θα είναι $3372,096 \times 3 = 10116,288W$.

Το συνολικό σύστημα φαίνεται στο σχήμα 30. Φαίνονται οι τρεις σειρές πλαισίων καθώς επίσης και η συνδεσμολογία τους στον αντιστροφέα που έχει επιλεγθεί.

Τεχνικά χαρακτηριστικά	Sunny Tripower 15000TL
Είσοδος (DC)	
Μέγιστη ισχύς DC (@ cos φ=1)	15200 W
Μέγιστη τάση εισόδου	1000 V
Εύρος τάσης MPP @ τάση δικτύου 230 V	580 V - 800 V
Ελάχιστη τάση εισόδου/Τάση έναρξης τροφοδοσίας	570 V / 620 V
Μέγιστο ρεύμα εισόδου	36 A
Μέγιστο ρεύμα εισόδου ανά στοιχειοσειρά	36 A
Αριθμός ανεξάρτητων εισόδων MPP/στοιχειοσειρών ανά είσοδο MPP	1 / 6
Έξοδος (AC)	
Ονομαστική ισχύς (@ 230 V, 50 Hz)	15000 W
Μέγιστη φαινόμενη ισχύς AC	15000 VA
Ονομαστική τάση AC	3 / N / PE, 230 V / 400 V
Εύρος ονομαστικής τάσης AC	160 V - 280 V
Συχνότητα δικτύου AC/Εύρος	50 Hz, 60 Hz /-6 Hz ... +5 Hz
Ονομαστική συχνότητα δικτύου/Ονομαστική τάση δικτύου	50 Hz / 230 V
Μέγιστο ρεύμα εξόδου	24 A
Συντελεστής ισχύος σε ονομαστική ισχύ	1
Ρυθμιζόμενος συντελεστής μετατόπισης	0,8με υπερδιέγερση ... 0,8με υποδιέγερση
Φάσεις τροφοδοσίας/Φάσεις σύνδεσης	3 / 3
Βαθμός απόδοσης	
Μέγιστος βαθμός απόδοσης / Ευρωπαϊκός βαθμός απόδοσης	99 % / 98,7 %
Διατάξεις προστασίας	
Αποζείκτης στην πλευρά DC	○
Επιτήρηση σφάλματος γείωσης / Επιτήρηση δικτύου	● / ●
Απαγογοί υπέρτασης DC (τύπου II)	-
Προστασία ανίστροφης πολικότητας DC / Αντοχή σε βραχυκύκλωμα AC / Γαλβανική απομόνωση	● / ● / -
Μονάδα επιτήρησης ρεύματος διαρροής ευαίσθητη σε όλους τους τύπους ρεύματος	●
Κατηγορία προστασίας (κατά το πρότυπο IEC 62103) / Κατηγορία υπέρτασης (κατά το πρότυπο IEC 60664-1)	I/III
Γενικά χαρακτηριστικά	
Διαστάσεις (Π/Υ/Β)	665 / 680 / 265 mm (26,2 / 26,8 / 10,4 in)
Βάρος	45 kg/99,2 lb
Εύρος τιμών θερμοκρασίας λειτουργίας	-25 °C ... +60 °C / -13 °F ... +140 °F
Εκπομπή θορύβου, τυπική	51 dB(A)
Ιδιοκατανάλωση (νύχτα)	1 W
Τοπολογία/Σύστημα ψύξης	Χωρίς μετασχηματιστή/OptiCool
Κατηγορία προστασίας ηλεκτρονικού συστήματος/Περιοχή σύνδεσης (κατά το πρότυπο IEC 60529)	IP65 / IP54
Κλιματική κατηγορία (κατά το πρότυπο IEC 60721-3-4)	4K4H
Μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή σχετικής υγρασίας (χωρίς συμπύκνωση)	100 %
Εξοπλισμός	
Σύνδεση DC	SUNCLIX
Σύνδεση AC	Ελασριωτός συνδετήρας
Οθόνη	Γράφημα
Διεπαφές: RS485 / Bluetooth / Ρελέ πολλαπλών λειτουργιών	○ / ● / ○
Εγγύηση: 5/10/15/20/25 χρόνια	● / ○ / ○ / ○ / ○

Πίνακας 13: Τεχνικά χαρακτηριστικά επιλεγμένου αντιστροφέα



Σχήμα 30: Διάγραμμα στοιχειοσειρών της εγκατάστασης