

4^ο Γενικό Λύκειο Αλίμου (Μακρυγιάννειο)

Ερευνητική Εργασία Β Λυκείου

Από το πυρίτιο στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας



Μάιος 2014

Άλιμος

Τμήμα Ερευνητικής Εργασίας Βε2

Οι 20 μαθητές του τμήματος χωριστήκαν σε 4 ομάδες

1^η Ομάδα

Καματερού Κωνσταντίνα
Καράγιωργα Χαρίκλεια
Κλενιάτη Ευτυχία
Μιχάλη Δάφνη
Πετρίδη Λυδία

2^η Ομάδα

Κοντέλα Αλίκη
Μαστορίδης Αλέξανδρος
Παπαδόπουλος Αθανάσιος
Πλεύρης Άγγελος
Τσακουλέρης Θεόδωρος

3^η Ομάδα

Πεχλιβανίδης Δημήτριος
Πλίτσης Δημήτριος
Τσαμασίρος Δημήτριος
Χατσιακιάν Αλέν
Χελιώτης Δημήτριος

4^η Ομάδα

Αδαμόπουλος Βασίλειος
Βαρανάκη Κατερίνα
Ζαρμαλης Γεωργιος
Καραπτάς Παύλος
Καρίπης Ιωάννης

Επιβλέπον Καθηγητής

Αργυρίου Θεόδωρος
Φυσικός

Περιεχόμενα

Μέρος Α : Από το πυρίτιο μέχρι το φωτοστοιχείο

Κεφάλαιο 1^ο : Θεωρία Ημιαγωγών

Γενικά για το Πυρίτιο Si	σελ 1
Ορυκτά του Πυριτίου	σελ 1
Παρασκευή πυριτίου από χαλαζία	σελ 1
Χρήσεις Πυριτίου	σελ 1
Μορφές Πυριτίου	σελ 2
Κατηγορίες υλικών ανάλογα με τις ηλεκτρικές τους ιδιότητες	σελ 3
Ενεργειακό Διάγραμμα Ηλεκτρικών Ιδιοτήτων Υλικών	σελ 3 , 4
Ενδογενής Ημιαγωγός	σελ 4 , 5
Ημιαγωγός με Προσμίξεις	σελ 5
Ημιαγωγός τύπου N	σελ 5 , 6
Ημιαγωγός τύπου P	σελ 6

Κεφάλαιο 2^ο : Κρυσταλλοδιόδος

Κρυσταλοδιόδος	σελ 7
Πόλωση Κρυσταλοδιόδου	σελ 8 , 9
Χαρακτηριστική Κρυσταλοδιόδου	σελ 9 , 10
Κατηγορίες Κρυσταλοδιόδων	σελ 10
Μελέτη της Κρυσταλλοδιόδου στο Συνεχές Ρεύμα	σελ 10 , 11
Μελέτη της Κρυσταλλοδιόδου στο Εναλλασσόμενο Ρεύμα	σελ 11

Κεφάλαιο 3^ο : Εισαγωγή στην δημιουργία Φωτοβολταϊκών Στοιχείων

Ιστορική Ανάδρομη για τα Φωτοβολταϊκά Συστήματα	σελ 12
Ηλεκτρομαγνητικό Κύμα	σελ 12
Ηλεκτρομαγνητική Ακτινοβολία	σελ 13
Φύση του φωτός - Χαρακτηριστικά του φωτός	σελ 13
Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο	σελ 14 , 15
Μονάδες Μεγεθών που θα χρησιμοποιηθούν	σελ 16

Κεφάλαιο 4^ο : Φωτοβολταϊκό Στοιχείο

Περιγραφή	σελ 17
Τρόπος κατασκευής	σελ 17
Μορφή	σελ 17 , 18
Χαρακτηριστικά Φωτοβολταϊκού Στοιχείο	σελ 19
Χαρακτηριστική ενός Φωτοβολταϊκού στοιχείο	σελ 20
Παράγοντες που επηρεάζουν χαρακτηριστική καμπύλη ενός φωτοβολταϊκού στοιχείο	σελ 21 , 22
Απόδοση ενός φωτοβολταϊκού στοιχείο	σελ 22
Είδη φωτοβολταϊκών στοιχείων	σελ 23 , 24 , 25
Σύνδεση σε σειρά δυο ίδιων φωτοστοιχείων	σελ 26 , 27
Παράλληλη Σύνδεση δυο ίδιων φωτοστοιχείων	σελ 28
Συνδεσμολογία για Χάραξη Χαρακτηριστικής Φωτοστοιχείο	σελ 29 , 30

Μέρος Β : Εξοπλισμός φωτοβολταϊκής εγκατάστασης

Απαραίτητος εξοπλισμός για μια αυτόνομη φωτοβολταϊκή εγκατάσταση

σελ 31

Κεφάλαιο 5^ο : Φωτοβολταϊκό Πλαίσιο

Διασύνδεση Φωτοβολταϊκών Στοιχείων για την δημιουργία

Φωτοβολταϊκού Πλαισίου

σελ 32

Τεχνικά χαρακτηριστικά ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου

σελ 33 , 34 , 35

Συνδεσμολογίες Φωτοβολταϊκών Πλαισίων

σελ 36

Κεφάλαιο 6^ο : Ρυθμιστής Τάσης Φόρτισης

Ο ρόλος του ρυθμιστή τάσης σε μια φωτοβολταϊκή εγκατάσταση

σελ 37

Τρόπος σύνδεσης του ρυθμιστή τάσης σε μια φωτοβολταϊκή εγκατάσταση

σελ 37 , 38

Χαρακτηριστικές τιμές τάσεις στους συσσωρευτές που ελέγχονται από ρυθμιστή τάσης

σελ 38 , 39

Τεχνικά χαρακτηριστικά ενός ρυθμιστή τάσης

σελ 39

Παρουσίαση εμπορικών ρυθμιστών τάσης

σελ 40

Κεφάλαιο 7^ο : Συσσωρευτές

Γενικά στοιχεία για συσσωρευτές

σελ 41

Μορφή συσσωρευτών

σελ 41 , 42

Κατηγορίες συσσωρευτών

σελ 42 , 43

Απαιτήσεις συσσωρευτών

σελ 43

Χαρακτηριστικά συσσωρευτών

σελ 43 , 44 , 45

Συσσωρευτές Μολύβδου – Οξέως

σελ 45 , 46 , 47

Συσσωρευτές Νικελίου – Καδμίου

σελ 47

Μπαταρίες ιόντων λιθίου

σελ 47 , 48

Συνδεσμολογίες Συσσωρευτών

σελ 48

Παρουσίαση εμπορικών συσσωρευτών

σελ 49

Κεφάλαιο 8^ο : Αντιστροφέας

Γενικά για Αντιστροφέα Τάσης σε Φωτοβολταϊκή Εγκατάσταση

σελ 50

Κατηγορίες Αναστροφέων Τάσης ανάλογα την θέση στην φωτοβολταϊκή εγκατάσταση

σελ 50 , 51

Γενικά χαρακτηριστικά των Αντιστροφέων Τάσης σε Φωτοβολταϊκές Εγκαταστάσεις

σελ 52

Κατηγορίες Αντιστροφέων Τάσης ανάλογα με την κυματομορφή εξόδου

σελ 53

Σχέδια φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων

σελ 53 , 54 , 55 , 56

Παρουσίαση εμπορικών αντιστροφέων τάσης

σελ 56

Κεφάλαιο 9^ο : Συμπληρωματικά Στοιχεία σε Φωτοβολταϊκή Εγκατάσταση

Καλωδιώσεις σε Φωτοβολταϊκή Εγκατάσταση

σελ 57 , 58 , 59

Συστήματα στήριξης Φωτοβολταϊκών Πλαισίων

σελ 59 , 60 , 61

Γείωση φωτοβολταϊκής εγκατάστασης

σελ 62

Αντικεραυνική προστασία φωτοβολταϊκής εγκατάστασης

σελ 62 , 63

Κεφάλαιο 10^ο : Συμπληρωματικά Στοιχεία σε Φωτοβολταϊκή Εγκατάσταση

Υπολογισμοί για αυτόνομη φωτοβολταϊκή εγκατάσταση

σελ 64 , 65 , 66 , 67 , 68

Επίλογος

σελ 69 , 70

Φωτογραφικό Υλικό

σελ 71 , 72 , 73 , 74 , 75

Βιβλιογραφία

σελ 76

Μέρος Α : Από το πυρίτιο μέχρι το φωτοστοιχείο

Κεφάλαιο 1^ο

Γενικά για το Πυρίτιο – Στοιχειά Θεωρίας Ημιαγωγών

Γενικά για το Πυρίτιο Si

Βρίσκεται στην 14η ομάδα περιοδικού πίνακα , με 4 ηλεκτρόνια στην εξωτερική στιβάδα , ανακαλύφθηκε το 1823

Έχει ατομικό αριθμό $Z = 14$, θερμοκρασία τήξης 1414°C και θερμοκρασία βρασμού 3265°C

Δεν βρίσκεται ελεύθερο στη φύση αλλά υπό την μορφή ενώσεων

Τα ορυκτά και πετρώματα του πυριτίου αποτελούν το 87% του φλοιού της Γης , ενώ είναι το δεύτερο σε αφθονία χημικό στοιχείο στο στερεό φλοιό της Γης μετά το οξυγόνο.



Ορυκτά του Πυριτίου

Τα πιο διαδεδομένα και αξιοποιήσιμα ορυκτά του πυριτίου

α) ο χαλαζίας

β) η άργιλος

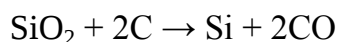
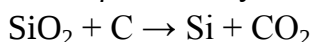
Ο χαλαζίας αποτελείται από πυρίτιο και οξυγόνο (SiO_2).

(Η άμμος της θάλασσας περιέχει SiO_2 αλλά όχι σε καθαρή μορφή)

Η άργιλος αποτελείται από αργίλιο , πυρίτιο και νερό για αυτό λέγεται ένυδρο πυριτικό αργίλιο ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

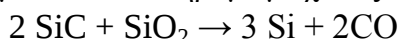
Παρασκευή πυριτίου από χαλαζία

Σήμερα παρασκευάζεται βιομηχανικά σε ηλεκτρικό κλίβανο με συνθέρμανση χαλαζία και μεταλλουργικού άνθρακα στους 2500°



Το πυρίτιο που συλλέγεται έχει καθαρότητα περίπου 98%, λόγω της αντίδρασής του με τον άνθρακα, με τον οποίο σχηματίζει το καρβίδιο του πυριτίου SiC ένα από τα σκληρότερα υλικά στη φύση (σκληρότητα 9,5 στην κλίμακα Mohs όταν το διαμάντι έχει 10).

Για καθαρότητα 100 % ξαναθερμαίνουμε αυτό που πήραμε με χαλαζία



Χρήσεις Πυριτίου

- 1) Στην παρασκευή Σιλικόνης από ενώσεις του πυριτίου
- 2) Στην Κεραμική χρησιμοποιώντας την άργιλο
- 3) Στην Ιατρική για παραγωγή εμφυτευμάτων , στην ενδοκρινολογία , ορθοπεδική , νευρολογία χρησιμοποιώντας το καθαρό πυρίτιο ή κράματα αυτού
- 4) Στην Ηλεκτρονική για την παραγωγή ημιαγωγών εξαρτημάτων και ολοκληρωμένων κυκλωμάτων χρησιμοποιώντας το καθαρό πυρίτιο
- 5) Στην κατασκευή Οπτικών Ινών χρησιμοποιώντας το καθαρό διοξείδιο του πυριτίου SiO_2
- 6) Στην παραγωγή Γυαλιού χρησιμοποιώντας το διοξείδιο του πυριτίου SiO_2 και με άλλες προσμίξεις
- 7) Στην κατασκευή Φωτοβολταϊκών Πλαισίων χρησιμοποιώντας το καθαρό πυρίτιο

Μορφές Πυρίτιου

Το πυρίτιο το συναντάμε σε δυο μορφές : α) Άμορφη β) Κρυσταλλική

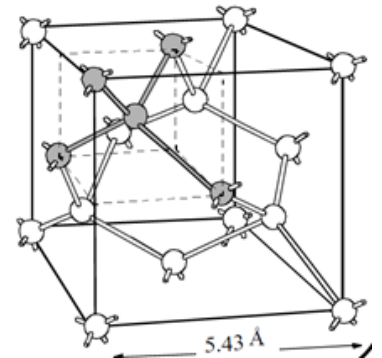
Στο Άμορφο Πυρίτιο δεν έχουμε καθορισμένη δομή, τα μόρια τους διατάσσονται κατά τυχαίο τρόπο. Οι φυσικές ιδιότητες έχουν την ίδια τιμή προς όλες τις διευθύνσεις (ισότροπο υλικό)

Στο Κρυσταλλικό Πυρίτιο έχουμε καθορισμένη δομή, και τα μόρια τους διατάσσονται κατά συγκεκριμένο τρόπο. .

Οι φυσικές ιδιότητες δεν έχουν την ίδια τιμή προς όλες τις διευθύνσεις

Το Κρυσταλλικό Πυρίτιο το συναντάμε σε δυο μορφές :

- 1) Μονοκρυσταλλικό Πυρίτιο, που αποτελείται από ένα κρυσταλλικό πλέγμα
- 2) Πολυκρυσταλλικό Πυρίτιο, που αποτελείται από περισσότερα κρυσταλλικά πλέγματα

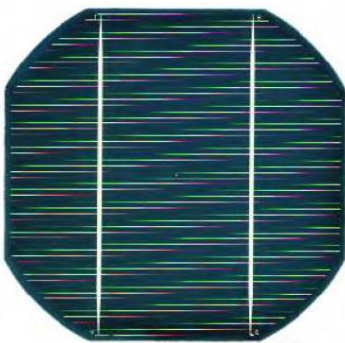


Για την κατασκευή Φωτοστοιχείων για Φωτοβολταϊκά μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε και τις τρεις μορφές του καθαρού πυριτίου

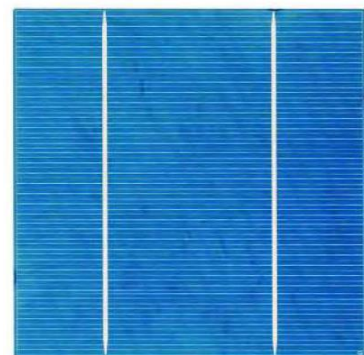
- Μονοκρυσταλλικό Πυρίτιο
- Πολυκρυσταλλικό Πυρίτιο
- Άμορφο Πυρίτιο

Για την κατασκευή ημιαγωγών ηλεκτρονικών εξαρτημάτων όπως Κρυσταλλοδιόδων (Διόδων) Κρυσταλοτρίοδων (Transistors), Ολοκληρωμένων Κυκλωμάτων (Chip) χρησιμοποιούμε μόνο Μονοκρυσταλλικό Πυρίτιο πολύ υψηλής καθαρότητας

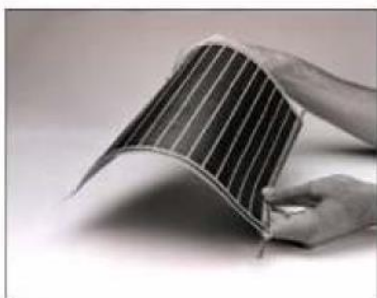
Φωτοστοιχείο από
Μονοκρυσταλλικό Πυρίτιο



Φωτοστοιχείο από
Πολυκρυσταλλικό Πυρίτιο



Φωτοστοιχείο από Άμορφο Πυρίτιο



Κατηγορίες υλικών ανάλογα με τις ηλεκτρικές τους ιδιότητες

Τα υλικά ανάλογα με τις ηλεκτρικές τους ιδιότητες χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες :

- Αγωγοί
Σώματα που επιτρέπουν την διέλευση φορτίων μέσα από την μάζα τους
- Μονωτές
Σώματα που δεν επιτρέπουν την διέλευση φορτίων μέσα από την μάζα τους
- Ημιαγωγοί
Σώματα που επιτρέπουν την διέλευση φορτίων μέσα από την μάζα τους κάτω από προϋποθέσεις
Οι προϋποθέσεις είναι :
α) το υλικό να βρεθεί μέσα σε ισχυρό ηλεκτρικό πεδίο
β) το υλικό να θερμανθεί
γ) το υλικό να δεχτεί ακτινοβολία

Ενεργειακό Διάγραμμα Ηλεκτρικών Ιδιοτήτων Υλικών

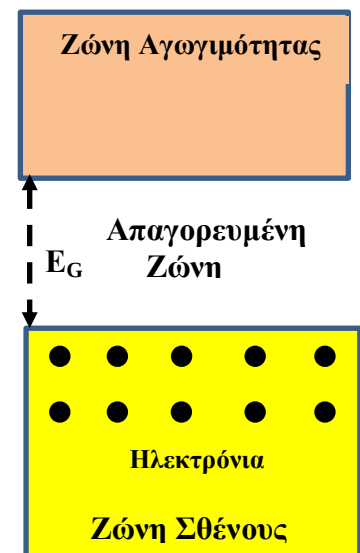
Για να μπορέσουμε να εξηγήσουμε τις ηλεκτρικές ιδιότητες των υλικών θα παρουσιάσουμε το παρακάτω μοντέλο

Όπως βλέπουμε σε κάθε υλικό υπάρχουν δυο ζώνες
Η Ζώνη Αγωγιμότητας που είναι άδεια και η Ζώνη Σθένους που περιέχει ηλεκτρόνια της τελευταίας στιβάδας των ατόμων του υλικού

Μεταξύ αυτών των δυο ζωνών υπάρχει μια Απαγορευμένη Ζώνη

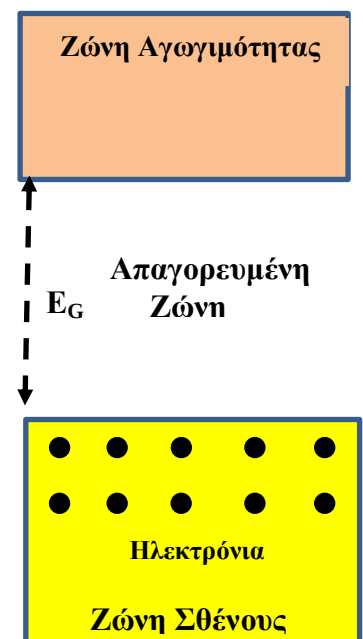
Το Εύρος E_G αυτής της Απαγορευμένης Ζώνης το μετράμε σε μονάδες ενέργειας και είναι χαρακτηριστικό για κάθε υλικό

Για να περάσουν τα ηλεκτρόνια από την Ζώνη Σθένους στην Ζώνη Αγωγιμότητας πρέπει να πάρουν την κατάλληλη ενέργεια που πρέπει να είναι μεγαλύτερη ή ίση με την ενέργεια E_G ($E \geq E_G$)



Στην περίπτωση των Μονωτών το εύρος της Απαγορευμένης Ζώνης είναι πολύ μεγάλο οπότε τα ηλεκτρόνια είναι σχεδόν αδύνατον να περάσουν από την Ζώνη Σθένους στην Ζώνη Αγωγιμότητας

Για τον λόγο αυτόν οι μονωτές δεν παρουσιάζουν αγωγιμότητα αφού δεν υπάρχουν ηλεκτρόνια στην Ζώνη Αγωγιμότητας



Στην περίπτωση των Μετάλλων (αγωγοί) υπάρχει επικάλυψη των δυο ζωνών και δεν υπάρχει Απαγορευμένη Ζώνη , οπότε τα ηλεκτρόνια της Ζώνης Σθένους περνούν στην Ζώνη Αγωγιμότητας και το υλικό έχει αυξημένη αγωγιμότητα



Στην περίπτωση των ημιαγωγών το Εύρος της Απαγορευμένης Ζώνης έχει μειωθεί αισθητά και είναι εύκολο για να ηλεκτρόνια παίρνοντας την κατάλληλη ενέργεια να περάσουν από την μια ζώνη στην άλλη

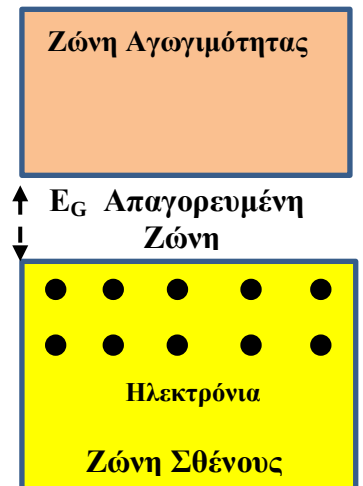
Οι πιο γνωστοί ημιαγωγοί είναι :

Πυρίτιο Si , Γερμάνιο Ge , Αρσενικούχο Γάλλιο GaAs

Το Πυρίτιο έχει $E_G = 1,12 \text{ eV}$

Το Γερμάνιο έχει $E_G = 0,67 \text{ eV}$

Το Αρσενικούχο Γάλλιο $E_G = 1,42 \text{ eV}$



Το Αρσενικούχο Γάλλιο , παρουσιάζει πλεονεκτήματα σε σχέση με το πυρίτιο αλλά έχει πολύ υψηλό κόστος παραγωγής

Η αξιοποίηση του πιθανόν να αποτελέσει το υλικό στον μέλλον για την κατασκευή ηλεκτρονικών εξαρτημάτων . Σήμερα αυτό που κυριαρχεί είναι το Πυρίτιο

Κατηγορίες Ημιαγωγών

Οι ημιαγωγοί χωρίζονται σε δυο κατηγορίες :

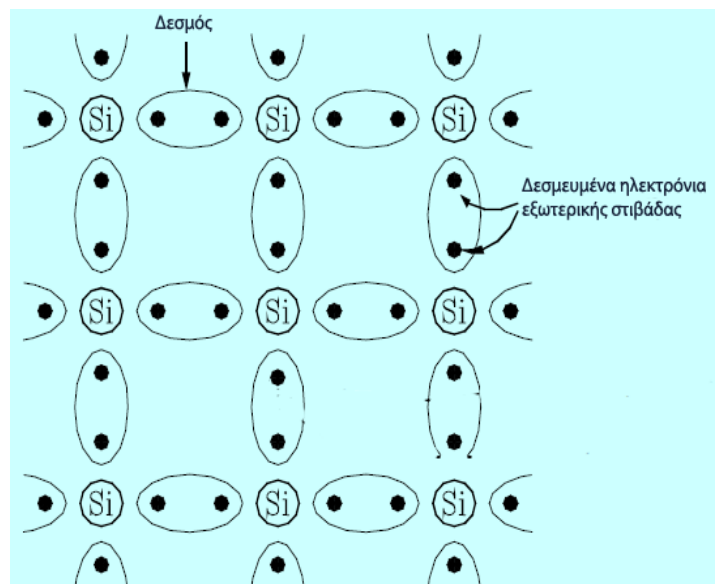
- α) Ενδογενείς Ημιαγωγούς
- β) Ημιαγωγούς με Προσμίξεις

Ενδογενής Ημιαγωγός

Είναι ο καθαρός ημιαγωγός , δηλαδή εκείνος που δεν έχει ξένες προσμίξεις , αποτελείται μονό από άτομα πυριτίου ή άτομα γερμανίου

Στον κρύσταλλο του καθαρού πυριτίου βλέπουμε ότι κάθε άτομο πυριτίου ενώνεται με αλλά 4 άτομα πυριτίου με την βοήθεια 4 ομοιοπολικών δεσμών

Όπως είναι η μορφή του κρυστάλλου το καθαρό πυρίτιο δεν παρουσιάζει αγωγιμότητα , γιατί δεν υπάρχουν ελεύθεροι φορείς του ηλεκτρισμού



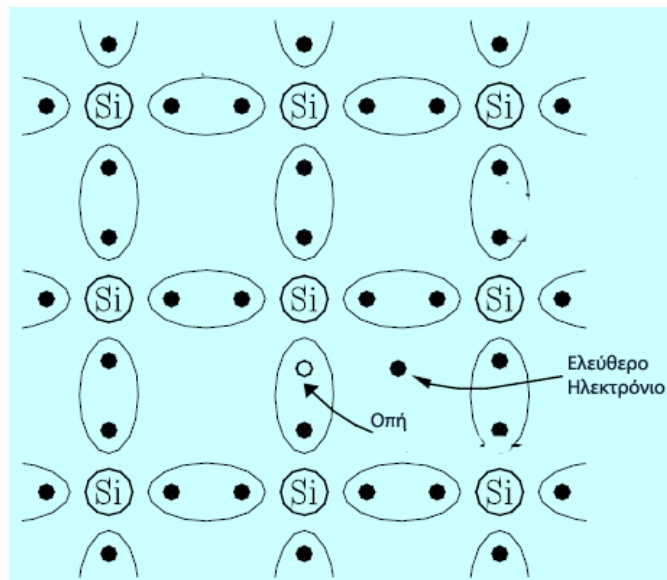
Φορείς του ηλεκτρισμού είναι τα ελεύθερα ηλεκτρόνια με αρνητικό φορτίο και οι οπές με θετικό φορτίο

(οπές είναι οι κενές θέσεις που δημιουργούνται , θεωρούμε ότι έχουν θετικό φορτίο γιατί κινούνται αντίθετα από τα ηλεκτρόνια που έχουν αρνητικό φορτίο)

Όταν θερμάνουμε ή αν φωτίσουμε ή αν δημιουργήσουμε ισχυρό ηλεκτρικό πεδίο με την βοήθεια εξωτερικής τάσης , τότε στον κρύσταλλο του πυριτίου σπάνε ορισμένοι ομοιοπολικοί δεσμοί και δημιουργούνται φορείς του ηλεκτρισμού

Όσο πιο πολλοί φορείς του ηλεκτρισμού δημιουργηθούν τόσο μεγαλύτερη θα είναι η αγωγιμότητα

Στο σχήμα φαίνεται να ελευθερώνεται ένα ηλεκτρόνιο και να δημιουργείται μια οπή



Ημιαγωγοί με Προσμίξεις

Οι ημιαγωγοί αυτοί δεν είναι καθαροί , έχουν εκτός από άτομα πυριτίου και άτομα άλλων στοιχείων . Ανάλογα με τα στοιχεία που περιέχουν χωρίζονται σε :

α) Ημιαγωγούς Τύπου N

β) Ημιαγωγούς Τύπου P

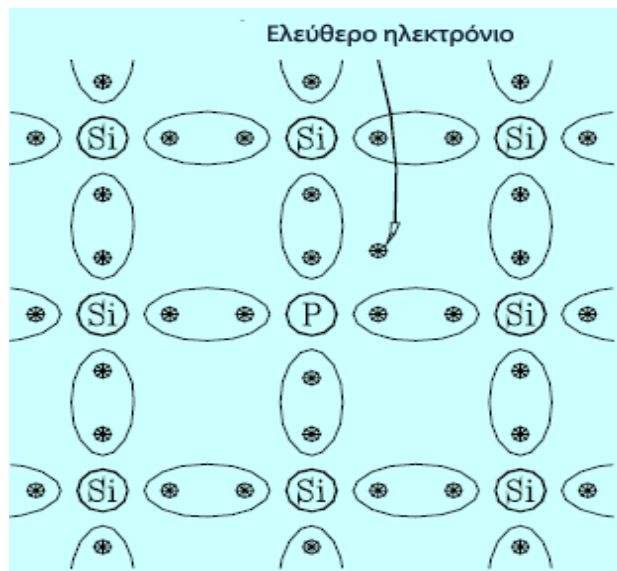
Ημιαγωγός Τύπου N

Είναι ο ημιαγωγός στον οποίον άτομα πυριτίου έχουν αντικατασταθεί από άτομα πεντασθενούς στοιχείου (στοιχείου με 5 ηλεκτρόνια στην εξωτερική στιβάδα)

Τέτοια στοιχεία είναι ο Φώσφορος P , το Αρσενικό As , το Αντιμόνιο Sb

Στο σχήμα φαίνεται ένα άτομο φώσφορου έχει αντικαταστήσει ένα άτομο πυριτίου

Ο φώσφορος έχει 5 ηλεκτρόνια στην εξωτερική του στιβάδα τα 4 συνδέονται με τα γειτονικά άτομα πυριτίου με ομοιοπολικούς δεσμούς , το 5^ο μένει ελεύθερο



Ανάλογα με το ποσά άτομα φώσφορου υπάρχουν στον κρύσταλλο θα είναι και τα ελεύθερα ηλεκτρόνια μέσα στον κρύσταλλο

Συνεπώς ο Ημιαγωγός Τύπου N παρουσιάζει αγωγιμότητα που οφείλεται στα ελεύθερα ηλεκτρόνια που προέρχονται από τα άτομα του φώσφορου .

Τα ελεύθερα ηλεκτρόνια είναι αρνητικά σωματίδια , για αυτό και ο τύπος του ημιαγωγού λέγεται N (negative)

Αν θερμάνουμε ή φωτίσουμε ή ασκήσουμε υψηλή τάση δημιουργούμε επιπλέον ηλεκτρόνια και οπές αφού σπάνε ομοιοπολικοί δεσμοί

Ημιαγωγός Τύπου P

Είναι ο ημιαγωγός στον οποίον άτομα πυριτίου έχουν αντικατασταθεί από άτομα τρισθενούς στοιχείου (στοιχείου με 3 ηλεκτρόνια στην εξωτερική στιβάδα)

Τέτοια στοιχεία είναι το Αργίλιο Al , το Σελήνιο Se , το Ίνδιο In , το Βόριο B , το Γάλλιο Ga

Στο σχήμα φαίνεται ένα άτομο βορίου έχει αντικαταστήσει ένα άτομο πυριτίου

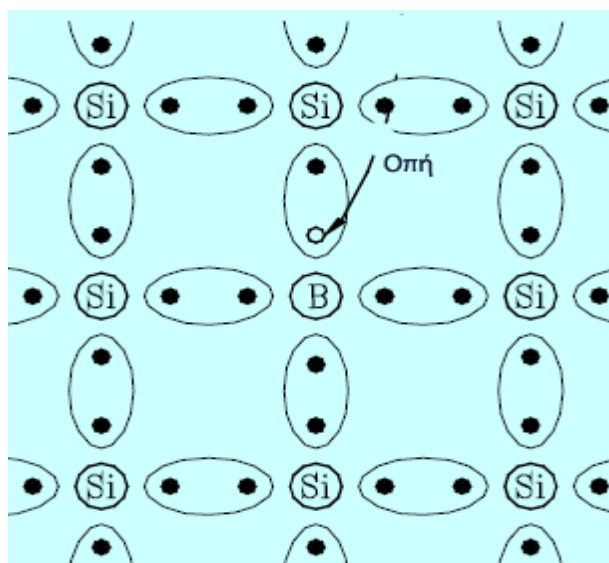
Το βόριο έχει 3 ηλεκτρόνια στην εξωτερική του στιβάδα τα 3 συνδέονται με τὰ γειτονικά άτομα πυριτίου με ομοιοπολικούς δεσμούς , στην 4^η θέση όμως θα υπάρχει κενό , αυτό το κενό θα αντιπροσωπεύει μια οπή

Ανάλογα με το ποσά άτομα βορίου υπάρχουν στον κρύσταλλο θα είναι και οι κενές θέσεις , δηλαδή οι οπές μέσα στον κρύσταλλο

Συνεπώς ο Ημιαγωγός Τύπου P παρουσιάζει αγωγιμότητα που οφείλεται στις οπές που προέρχονται από τα άτομα του βορίου

Οι οπές θεωρούνται θετικά σωμάτια , για αυτό και ο τύπος του ημιαγωγού λέγεται P (positive)

Αν θερμάνουμε ή φωτίσουμε ή ασκήσουμε υψηλή τάση δημιουργούμε επιπλέον ηλεκτρόνια και οπές αφού σπάνε ομοιοπολικοί δεσμοί



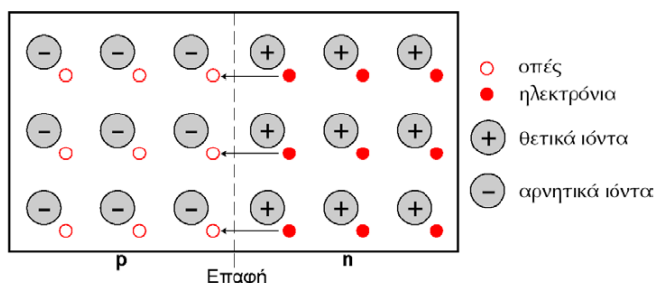
Κεφάλαιο 2^ο

Κρυσταλλοδίοδος

Κρυσταλλοδίοδος

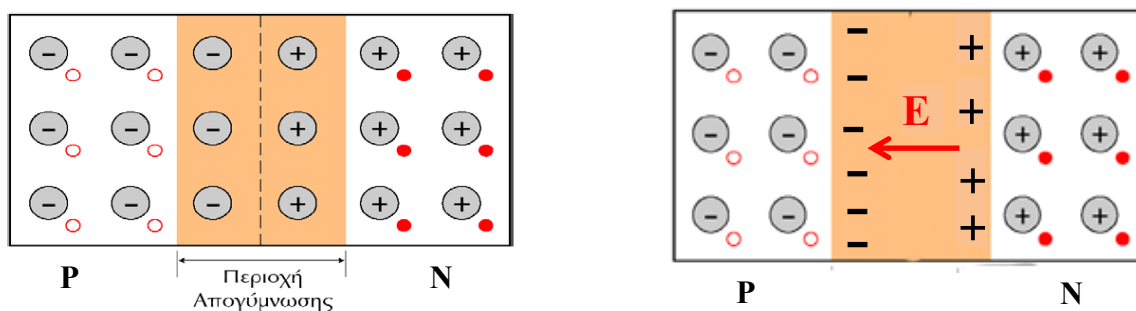
Είναι το εξάρτημα που δημιουργείται όταν φέρνουμε σε επαφή δυο κομμάτια ημιαγωγών ο ένας τύπου N και ο άλλος τύπου P

Το ηλεκτρονικό σύμβολο της κρυσταλλοδιόδου είναι



Από την συνένωση των δυο κομματιών έχουμε :

- Τα ηλεκτρόνια που πλεονάζουν στο κομμάτι του ημιαγωγού τύπου N θα προσπαθήσουν να εισέρθουν στο κομμάτι του ημιαγωγού τύπου P που υπάρχουν κενές θέσεις
- Οι οπές (κενές θέσεις) που πλεονάζουν στο κομμάτι του ημιαγωγού τύπου P θα προσπαθήσουν να εισέρθουν στο κομμάτι του ημιαγωγού τύπου N που υπάρχουν ελεύθερα ηλεκτρόνια
- Το αποτέλεσμα αυτής της διπλής εισόδου είναι να δημιουργηθεί γύρω από την επαφή μια περιοχή που λέγεται Περιοχή Απογύμνωσης , εκεί δεν υπάρχουν ούτε ελεύθερα ηλεκτρόνια , ούτε οπές , μονό αρνητικά και θετικά ιόντα εκατέρωθεν
- Στην περιοχή απογύμνωσης δημιουργείται ένα ηλεκτρικό πεδίο , στο οποίο η Ένταση του έχει φορά προς τα αριστερά (από το κομμάτι τύπου N προς το κομμάτι τύπου P)



- Αυτό το ηλεκτρικό πεδίο που δημιουργείται εμποδίζει την μετακίνηση επιπλέον ηλεκτρονίων από το κομμάτι τύπου N στο κομμάτι τύπου P και οπών από το κομμάτι τύπου P στο κομμάτι τύπου N (στην πράξη περνάνε πολύ λίγοι φορείς του ηλεκτρισμού)
- Για να συνεχιστεί η μετακίνηση φορέων θα πρέπει να εξουδετερωθεί αυτό το ηλεκτρικό πεδίο . Αυτό μπορούμε να το πετύχουμε με την τοποθέτηση μιας εξωτερικής πηγής τάσης (μπαταρίας) Παίξει σημασία το τρόπος σύνδεσης της πηγής τάσης και η τιμή της τάσης , διότι αν δεν συνδεθεί σωστά ή αν η τιμή της τάσης δεν είναι πάνω από μια καθορισμένη τιμή δεν θα βοηθήσει καθόλου

Πόλωση Κρυσταλοδιόδου

Ανάλογα με την τοποθέτηση της πηγής τάσης έχουμε δυο πολώσεις της κρυσταλοδιόδου

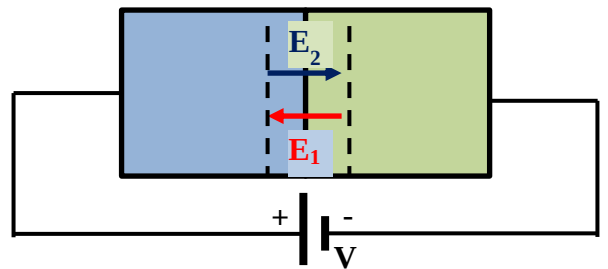
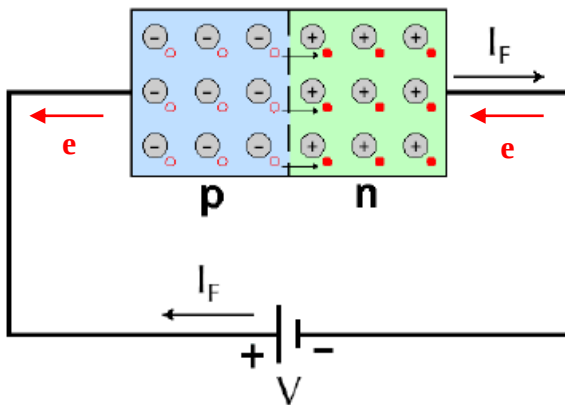
α) Ορθή Πόλωση

β) Ανάστροφη Πόλωση

Ορθή Πόλωση Κρυσταλοδιόδου

Η πηγή τάσης συνδέεται με τέτοιο τρόπο ώστε ο θετικός οπλισμός να ενώνεται με το κομμάτι του ημιαγωγού τύπου P και ο αρνητικός οπλισμός με το κομμάτι του ημιαγωγού τύπου N

Έτσι δημιουργείται ένα ηλεκτρικό πεδίο (εντάσεως E_2) αντίθετο από αυτό που υπήρχε (E_1) και προσπαθεί να το εξουδετερώσει



Για το πυρίτιο το πετυχαίνουμε όταν $V \geq 0,7 \text{ V}$, για το γερμάνιο το πετυχαίνουμε όταν $V \geq 0,3$

Αυτή η τάση λέγεται Τάση Κατωφλίου και είναι η τιμή που πρέπει να ξεπεραστεί για να εξουδετερωθεί πλήρως το ηλεκτρικό πεδίο της περιοχής απογύμνωσης και οι φορείς του ηλεκτρισμού να κινούνται άνετα από το ένα κομμάτι στο άλλο μέσω της επαφής τους

Τα ηλεκτρόνια από το κομμάτι τύπου **n** στο κομμάτι τύπου **p** και οι οπές από το κομμάτι τύπου **p** στο κομμάτι τύπου **n**

Το ρεύμα που δημιουργείται έχει ένταση I_F και λέγεται ρεύμα ορθής πόλωσης

Ο τύπος της έντασης του ρεύματος ορθής πόλωσης είναι

$$I_F = I_0 \cdot \left(e^{\frac{|q_e| \cdot V}{k \cdot T}} - 1 \right)$$

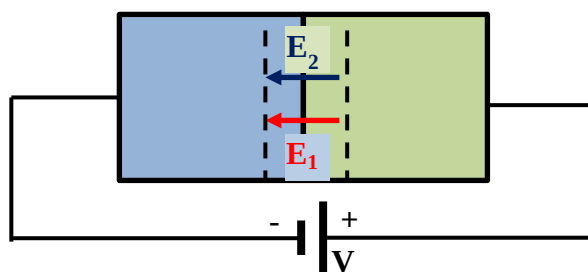
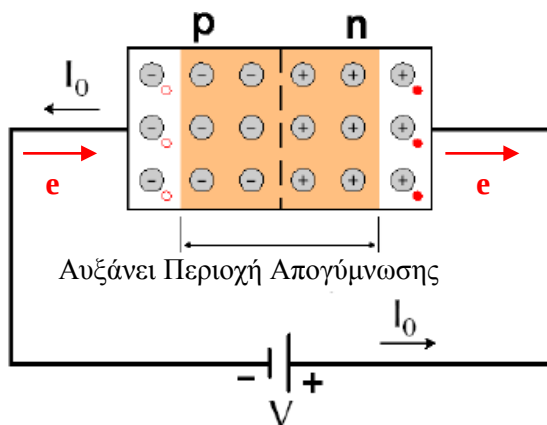
I_0 ρεύμα ανάστροφης πόλωσης , T θερμοκρασία σε βαθμούς Κέλβιν , k σταθερά Boltzmann
 $q_e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ φορτίο ηλεκτρονίου , V τάση στα άκρα , e βάση νεπέριων λογαρίθμων

Παρατηρούμε ότι δυο σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν την ένταση του ρεύματος είναι η τιμή της τάσης στα άκρα της κρυσταλοδιόδου και η θερμοκρασία

Όταν η τιμή της τάσης στα άκρα του ημιαγωγού αυξηθεί αρκετά το ρεύμα ορθής πόλωσης αυξάνει αρκετά και κινδυνεύει με καταστροφή η κρυσταλοδιόδος

Ανάστροφη Πόλωση Κρυσταλοδιόδου

Η πηγή τάσης συνδέεται με τέτοιο τρόπο ώστε ο θετικός οπλισμός να ενώνεται με το κομμάτι του ημιαγωγού τύπου **n** και ο αρνητικός οπλισμός με το κομμάτι του ημιαγωγού τύπου **p**



Έτσι δημιουργείται ένα ηλεκτρικό πεδίο ομόρροπο με αυτό που υπήρχε με αποτέλεσμα την ισχυροποίηση του και αύξηση της περιοχής απογύμνωσης

Τα ηλεκτρόνια από το κομμάτι τύπου **n** δεν μπορούν να περάσουν στο κομμάτι τύπου **p** και οι οπές από το κομμάτι τύπου **p** δεν μπορούν να περάσουν στο κομμάτι τύπου **n**

Η μετακίνηση που μπορεί να γίνει είναι ηλεκτρόνια από το κομμάτι τύπου **p** στο κομμάτι τύπου **n** και οπές από το κομμάτι τύπου **n** στο κομμάτι τύπου **p**

Επειδή οι φορείς αυτοί είναι πολλοί λίγοι το ρεύμα που δημιουργείται θα είναι πολύ μικρό. Αυτό το ρεύμα έχει ένταση I_0 και λέγεται ρεύμα ανάστροφης πόλωσης και είναι αντίθετο από το ρεύμα ορθής πόλωσης.

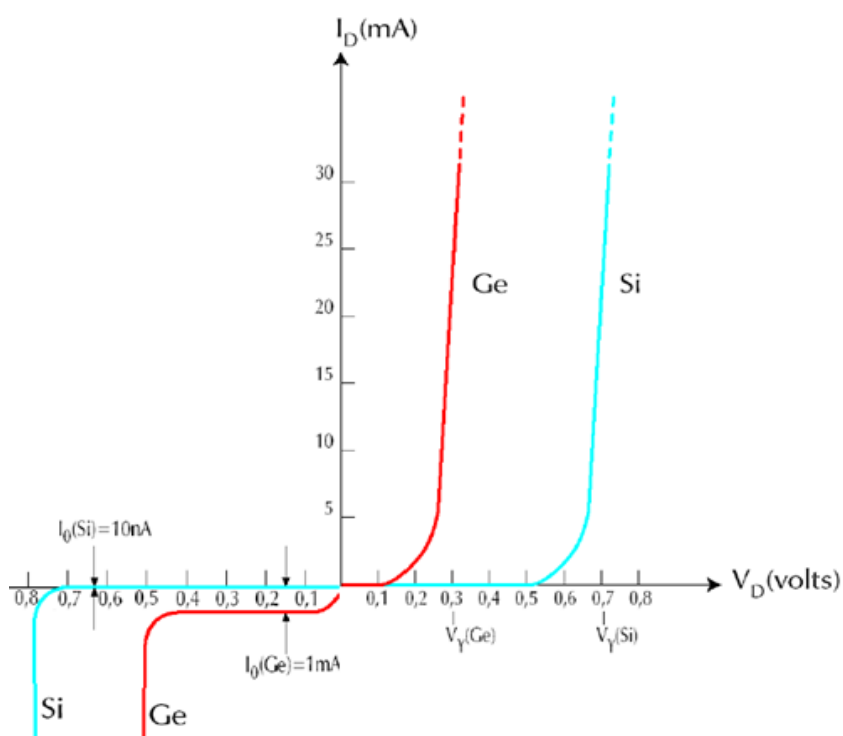
Επηρεάζεται από την τιμή της τάσης στα άκρα της κρυσταλλοδιόδου και την θερμοκρασία.

Όταν η τιμή της τάσης στα άκρα του ημιαγωγού αυξηθεί αρκετά το ρεύμα ανάστροφης πόλωσης αυξάνει αρκετά και κινδυνεύει με καταστροφή η κρυσταλλοδιόδος.

Χαρακτηριστική Κρυσταλλοδιόδου

Είναι το διάγραμμα $I - V$, έντασης ρεύματος που διαρρέει την κρυσταλλοδιόδο με την τάση στα άκρα της κρυσταλλοδιόδου.

Το διάγραμμα αυτό έχει δυο κομμάτια: το ένα αφορά την ένταση του ρεύματος ορθής πόλωσης και το άλλο την ένταση του ρεύματος ανάστροφης πόλωσης.



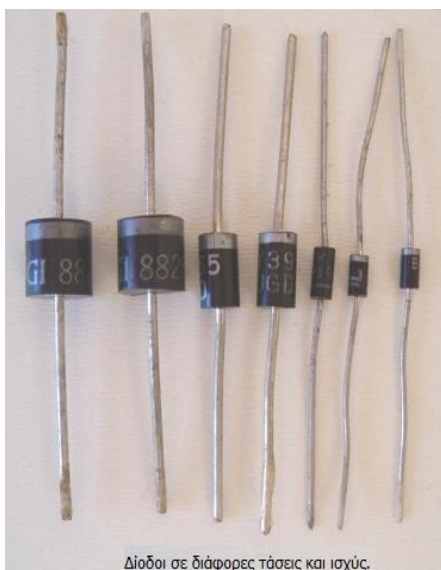
Στο διάγραμμα απεικονίζονται οι μεταβολές της έντασης του ρεύματος με την τάση για δυο κρυσταλλοδιόδους η μια από πυρίτιο και η άλλη από γερμάνιο
Οι παρατηρήσεις που μπορούμε να κάνουμε είναι :

- Όταν έχουμε θετικές τιμές τάσης σημαίνει ορθή πόλωση
- Για να πάρουμε ένταση ρεύματος ορθής πόλωσης λίγων mA (μίλιαμπερ) πρέπει η τάση στα άκρα της κρυσταλλοδιόδου να ξεπεράσει τα 0,7 V (Τάση Κατωφλίου)
- Μετά την τάση κατωφλίου μικρές αυξήσεις της τάσης δημιουργούν μεγάλες αυξήσεις στην ένταση του ρεύματος
- Το ρεύμα ορθής αυξάνεται εκθετικά με την τάση και όχι γραμμικά
- Θέλει προσοχή διότι υπάρχει κίνδυνος καταστροφής της κρυσταλλοδιόδου
- Όταν έχουμε αρνητικές τιμές τάσης σημαίνει αναστροφή πόλωση
- Η ένταση του ανάστροφου ρεύματος είναι πολύ μικρή της τάξεως των nA (νάνοαμπερ)
- Όταν η τάση στα άκρα της κρυσταλλοδιόδου ξεπεράσει μια τιμή η ένταση του ανάστροφου ρεύματος αυξάνει πολύ και κινδυνεύει με καταστροφή η κρυσταλλοδιόδος

Κατηγορίες Κρυσταλλοδιόδων

Ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής και την χρήση τους έχουμε διάφορα είδη κρυσταλλοδιόδων

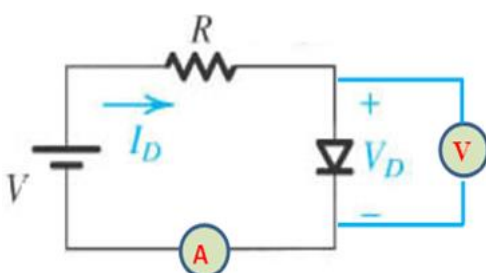
- α) Κοινές Διόδους β) Διόδους Ακίδας γ) Διόδους Zener δ) Διόδους Tunnel
ε) Διόδους Varicap ζ) Φωτοδιόδους LED



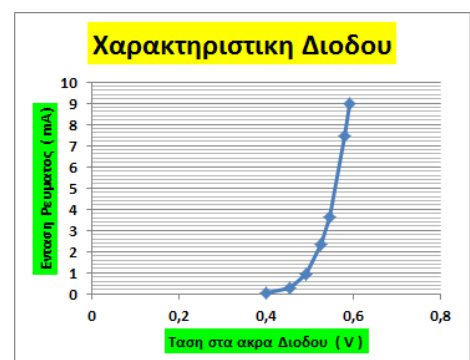
Μελέτη της Κρυσταλλοδιόδου στο Συνεχές Ρεύμα

1. Ορθή Πόλωση Κρυσταλλοδιόδου

Φτιάχνουμε το παρακάτω κύκλωμα και αλλάζοντας την τάση μετράμε τιμές έντασης ρεύματος για να χαράξουμε την χαρακτηριστική της διόδου

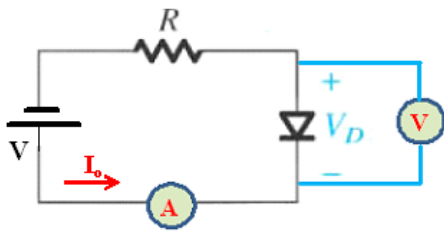


V_D (V)	I_D (mA)
0,4	0,04
0,452	0,29
0,49	0,94
0,526	2,35
0,546	3,66
0,58	7,43
0,59	8,99



2. Αναστροφή Πόλωση Κρυσταλλοδιόδου

Φτιάχνουμε το παρακάτω κύκλωμα και αλλάζοντας την τάση μετράμε τιμές έντασης ρεύματος για να χαράξουμε την χαρακτηριστική της διόδου

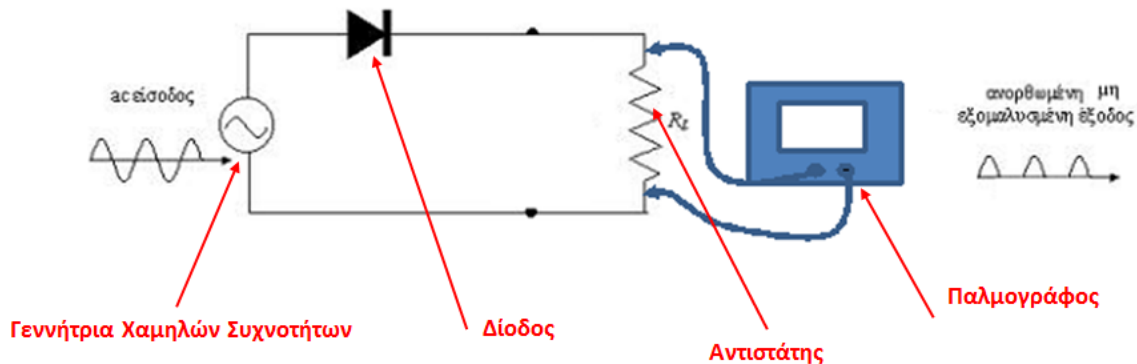


V_D (V)	I_D (μ A)
-1,67	-0,1
-3,7	-0,3
-6	-0,5
-8,2	-0,7
-9,6	-0,9

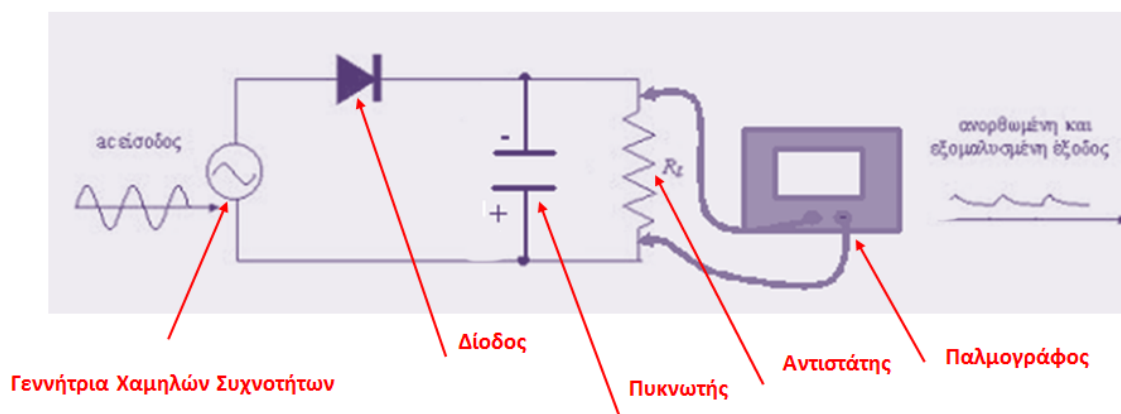


Μελέτη της Κρυσταλλοδιόδου στο Εναλλασσόμενο Ρεύμα

Φτιάχνουμε το παρακάτω κύκλωμα χωρίς την παρουσία πυκνωτή και καταγράφουμε τις κυματογράφος εισόδου – εξόδου



Φτιάχνουμε το παρακάτω κύκλωμα με την παρουσία πυκνωτή και καταγράφουμε τις κυματογράφος εισόδου – εξόδου



Κεφάλαιο 3^ο

Εισαγωγή στην δημιουργία Φωτοβολταϊκών Στοιχείων

Ιστορική Ανάδρομη για τα Φωτοβολταϊκά Συστήματα

Το 1839 ο Γάλλος Φυσικός Alexandre Edmond Becquerel , παρατήρησε το φωτοβολταϊκό φαινόμενο σε ηλεκτρολυτικό στοιχείο

Το 1873 ο Άγγλος ηλεκτρολόγος μηχανικός Willoughby Smith ανακάλυψε το φωτοβολταϊκό φαινόμενο στο σελήνιο Se

Το 1883 ο Charles Fritz Αμερικάνος Επιστήμων έφτιαξε το πρώτο φωτοβολταϊκό στοιχείο από Se με απόδοση 1% - 2 %

Το 1905 ο Albert Einstein έδωσε εξήγηση στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο

Το 1918 ο Πολωνός Φυσικός Jan Czochralski έφτιαξε το πρώτο φωτοβολταϊκό στοιχείο από πυρίτιο μονοκρυσταλλικό

Το 1932 παρατηρείτε το φωτοβολταϊκό φαινόμενο στο κάδμιο Cd

Το 1949 οι Αμερικάνοι Shockley, Bardeen και Brattain ανακάλυψαν το τρανζίστορ δίνοντας άλλη διάσταση στην ένωση κομματιών τύπου p και τύπου n

Το 1954 κατασκευάστηκε το πρώτο φωτοβολταϊκό στοιχείο από Si. με απόδοση 6%.

Το 1956 η πρώτη εμπορική παραγωγή ηλιακών στοιχείων από την εταιρεία Hoffmann.

Το 1958 η εκτόξευση του αμερικάνικου δορυφόρου Vanguard I ο οποίος έχει ως βοηθητική πηγή ενέργειας 6 στοιχεία Si.

Το 1958 η εκτόξευση σοβιετικού δορυφόρου με μοναδική πηγή ενέργειας τα φωτοβολταϊκά στοιχεία.

Το 1962 τίθεται σε τροχιά από την εταιρεία Bell Telephone Laboratories ο πρώτος τηλεπικοινωνιακός δορυφόρος (Telstar) με φωτοβολταϊκά στοιχεία ισχύος 14 W.

Το 1974 το Υπουργείο Ενέργειας των Η.Π.Α. εγκατέστησε 3.100 Φ/B συστήματα

Το 1977 η πρώτη κατασκευή ηλιακού στοιχείου από GaAs με απόδοση 16%

Το 1981 η πτήση πάνω από την Μάγχη του αεροπλάνου Solar Challenger εξοπλισμένου με 16.128 φωτοβολταϊκά στοιχεία Si συνολικής ισχύος 2,7 KW.

Το 1981 Η πρώτη εγκατάσταση φωτοβολταϊκών ισχύος 100kW στην Ελλάδα.

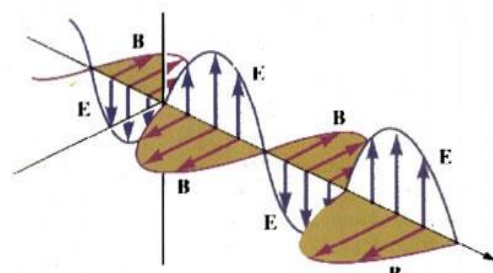
Το 1983 Έναρξη λειτουργίας του πρώτου φωτοβολταϊκού σταθμού στο κόσμο ισχύος 1MW

Από τα μέσα της δεκαετίας του 1990 μέχρι σήμερα έχουν γίνει σημαντικά βήματα στην κατασκευή ποιο αποδοτικών φωτοβολταϊκών πλαισίων , γιατί το θέμα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι ύψιστης σημασίας για την ανθρωπότητα

Ηλεκτρομαγνητικό Κύμα

Είναι το εγκάρσιο κύμα που δημιουργείται από την ταυτόχρονη διάδοση ενός ηλεκτρικού και ενός μαγνητικού πεδίου κάθετα μεταξύ τους και κάθετα στην διάδοση του κύματος

Οι εντάσεις του ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου μεταβάλλονται ημιτονικά με τον χρόνο

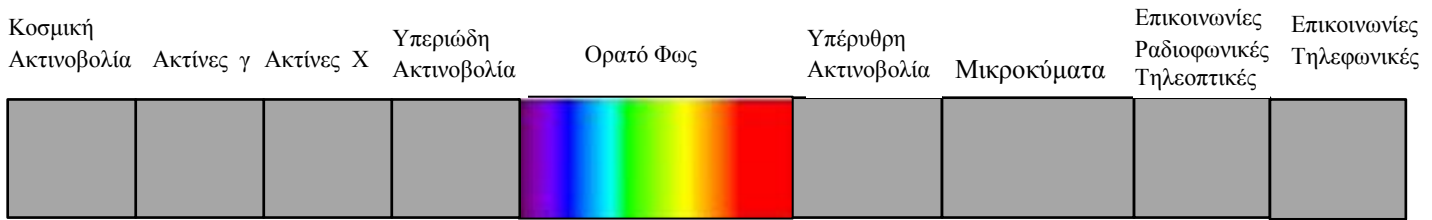


Στο κενό το ηλεκτρομαγνητικό κύμα διαδίδεται με την ταχύτητα του φωτός $c = 3 \cdot 10^8$ m/s , ενώ μέσα σε υλικό διαδίδεται με μικρότερη ταχύτητα

Ηλεκτρομαγνητική Ακτινοβολία

Είναι το σύνολο των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων , δηλαδή των κυμάτων που διαδίδονται με την ταχύτητα του φωτός

Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα



Φύση του φωτός - Χαρακτηριστικά του φωτός

Λέγοντας φως εννοούμε το ορατό κομμάτι της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας

Το φως εκδηλώνει δυο φύσης :

A) την κυματική

B) την σωματιδιακή

Η ηλεκτρομαγνητική θεωρία James Maxwell , λέει ότι το φως είναι ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα
Αποτελείται από ένα ηλεκτρικό και ένα μαγνητικό κύμα στα όποια οι εντάσεις τους μεταβάλλονται ημιτονικά με τον χρόνο και είναι πάντα κάθετες μεταξύ τους και κάθετες στην διεύθυνση διάδοσης του κύματος

Το φως σαν κύμα θα έχει συχνότητα , περίοδο , μήκος κύματος , ταχύτητα

- Περίοδος T είναι ο χρόνος μέσα στον οποίο το κύμα κάνει μια εναλλαγή
 - Συχνότητα f είναι ο αριθμός των εναλλαγών του κύματος σε χρόνο 1 sec
 - Μήκος κύματος λ είναι η απόσταση που κάνει το κύμα σε χρόνο μιας περιόδου
 - Ταχύτητα c του κύματος είναι το πηλίκο της απόστασης που διανύει δια τον αντίστοιχο χρόνο
- η σχέση που συνδέει συχνότητα , μήκος κύματος και ταχύτητα είναι : $c = f \cdot \lambda$

Η κβαντική θεωρία του Max Planck μας λέει το φως αποτελείται από σωματίδια που λέγονται φωτόνια
Τα φωτόνια δεν περιέχουν υλη αλλά ποσότητα ενέργειας .

Η ενέργεια κάθε φωτονίου δίνεται από την σχέση $E = h \cdot f$ $\xrightarrow{c = f \cdot \lambda}$ $E = h \cdot \frac{c}{\lambda}$

E η ενέργεια του φωτονίου , f η συχνότητα του φωτονίου , $h = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ σταθερά Planck

Φωτοηλεκτρικό Φαινόμενο

Είναι η εξαγωγή ηλεκτρονίων από την επιφάνεια μετάλλων όταν πάνω στην επιφάνεια πέσει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία

Απαραίτητη προϋπόθεση είναι η συχνότητα της ακτινοβολίας να είναι μεγαλύτερη από μια καθορισμένη τιμή ($f > f_0$)

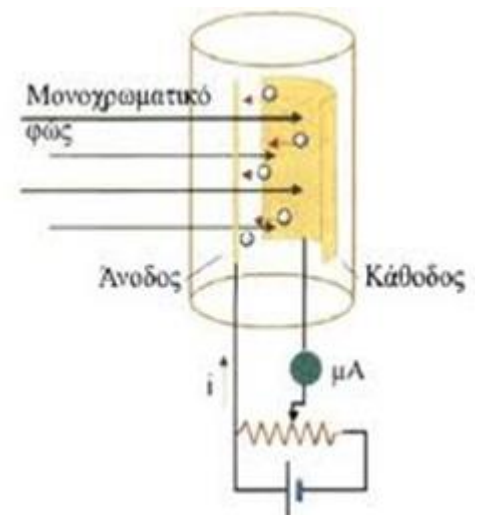
Την τιμή αυτή την καθορίζει το υλικό που είναι φτιαγμένο το μέταλλο

Αν έχουμε μια επιφάνεια από πυρίτιο η συχνότητα της ακτινοβολίας πρέπει να είναι μεγαλύτερη από $1,15 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$

Αν έχουμε μια επιφάνεια από άργυρο η συχνότητα της ακτινοβολίας πρέπει να είναι μεγαλύτερη από $1,04 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$

Αν έχουμε μια επιφάνεια από χαλκό η συχνότητα της ακτινοβολίας πρέπει να είναι μεγαλύτερη από $1,13 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$

Αν έχουμε μια επιφάνεια από νικέλιο η συχνότητα της ακτινοβολίας πρέπει να είναι μεγαλύτερη από $1,23 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$

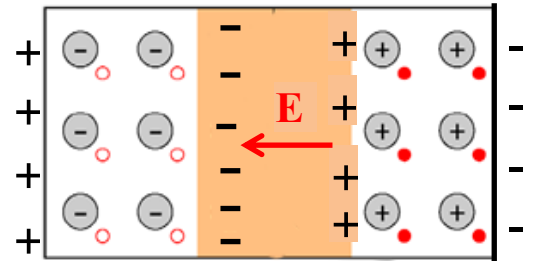
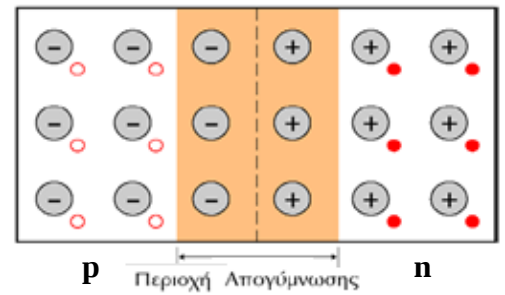


Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο

Όπως έχουμε αναφέρει, φέρνοντας σε επαφή ημιαγωγούς τύπου **n** και **p**, τα ηλεκτρόνια του πυριτίου τύπου **n** κινούνται προς τις κενές θέσεις του πυριτίου τύπου **p** για να τις καλύψουν.

Στην επαφή των δύο υλικών δημιουργείται μια περιοχή χωρίς φορείς του ηλεκτρισμού και λέγεται περιοχή απογύμνωσης. Στην περιοχή αυτή υπάρχει ένα ηλεκτρικό πεδίο με κατεύθυνση από το κομμάτι τύπου **n** στο κομμάτι τύπου **p**.

Αυτό το ηλεκτρικό πεδίο αποτρέπει ηλεκτρόνια να περνάνε από το κομμάτι τύπου **n** στο κομμάτι τύπου **p**, επιτρέπει όμως ηλεκτρόνια να περνάνε από κομμάτι τύπου **p** στο κομμάτι τύπου **n** και οπές από το κομμάτι τύπου **n** στο κομμάτι τύπου **p**.

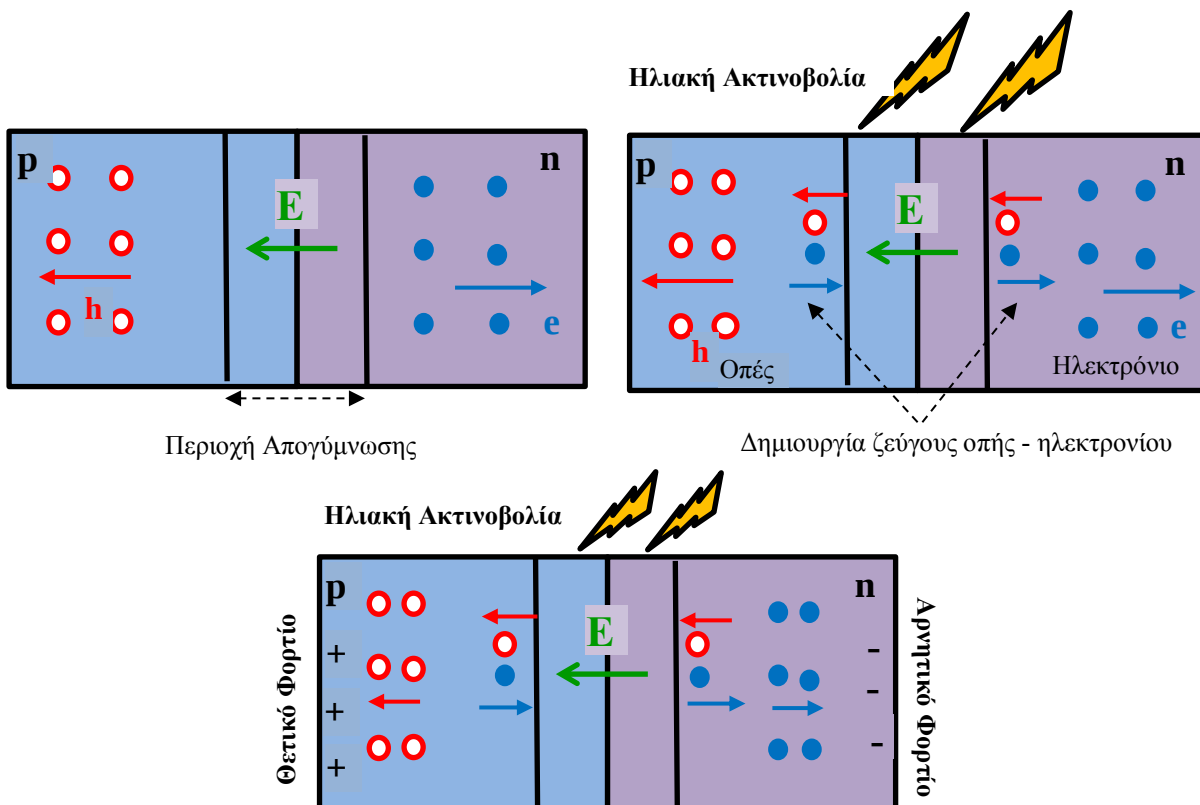


Το αποτέλεσμα θα είναι στα άκρα του κομματιού τύπου **p** να έχουμε πλεόνασμα οπών, αρά θετικό φορτίο, ενώ στα άκρα του κομματιού τύπου **n** να έχουμε πλεόνασμα ηλεκτρονίων, αρά αρνητικό φορτίο.

Όταν φωτόνια της ηλιακής ακτινοβολίας, κατάλληλου μήκους κύματος, προσπίπτουν σε ένα τέτοιο υλικό δημιουργούν ζεύγη οπών – ηλεκτρονίων.

Κάθε φωτόνιο με αρκετή ενέργεια θα ελευθερώσει ένα ηλεκτρόνιο και θα δημιουργήσει μια οπή.

Αν αυτό συμβεί κοντά στο ηλεκτρικό πεδίο ή αν ένα ελεύθερο ηλεκτρόνιο και μια οπή βρεθούν κοντά στην ένωση των δυο ημιαγωγών, το ηλεκτρικό πεδίο θα εξαναγκάσει το ηλεκτρόνιο να πάει στο κομμάτι τύπου **n** και την οπή στο κομμάτι τύπου **p**.



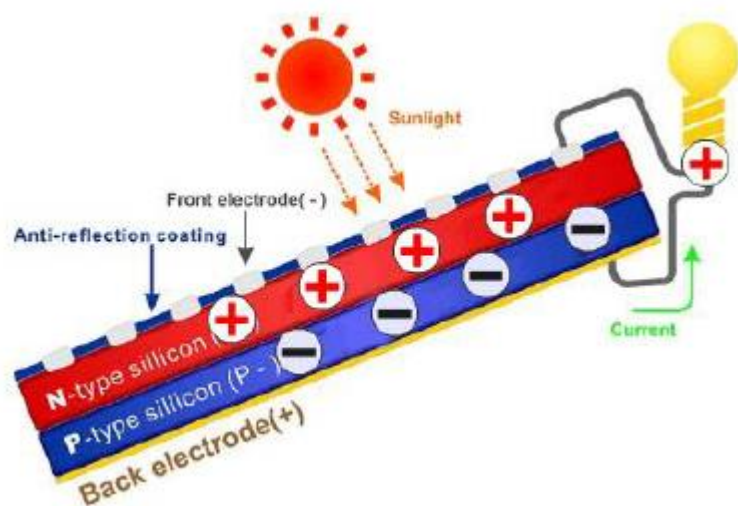
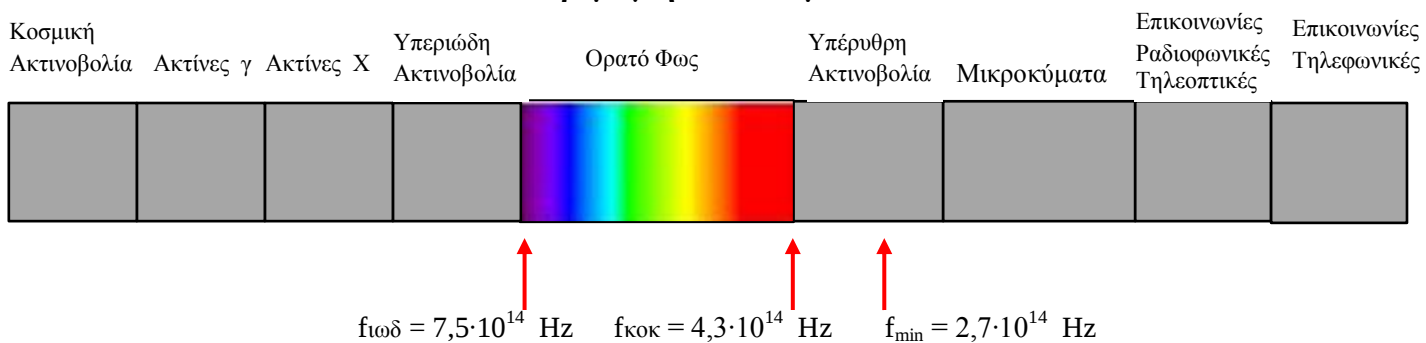
Αυτό δημιουργεί μια επιπλέον συσσώρευση θετικών φορτίων στο άκρο του κομματιού τύπου **p** και μια επιπλέον συσσώρευση αρνητικού φορτίου στο άκρο του κομματιού τύπου **n**

Αρά στα άκρα των δυο υλικών θα δημιουργηθεί μια τάση που λέγεται Φωτοβολταϊκή και το φαινόμενο Φωτοβολταϊκό

Για να δημιουργήσει ένα φωτόνιο ζεύγος ηλεκτρονίου – οπής θα πρέπει η ενέργεια του να είναι μεγαλύτερη ή ίση με το εύρος της ζώνης απογύμνωσης

$$E_{\text{φωτ}} \geq E_G \Leftrightarrow h \cdot f \geq E_G \Leftrightarrow f \geq \frac{E_G}{h} \Leftrightarrow f_{\text{min}} = \frac{1,12 \cdot (1,6 \cdot 10^{-19})}{6,63 \cdot 10^{-34}} \Leftrightarrow \boxed{f_{\text{min}} = 2,7 \cdot 10^{14} \text{ Hz}}$$

Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα



Μονάδες Μεγεθών που θα χρησιμοποιηθούν

1) Μονάδες Έντασης Ρεύματος

Βασική μονάδα είναι το 1 A (αμπέρ)

Υποπολλαπλάσια

$1 \text{ mA} = 10^{-3} \text{ A}$ (μίλι αμπέρ) , $1 \text{ }\mu\text{A} = 10^{-6} \text{ A}$ (μικρό αμπέρ) , $1 \text{ nA} = 10^{-9} \text{ A}$ (νάνο αμπέρ)

2) Μονάδες Τάσης

Βασική μονάδα είναι το 1 V (βόλτ)

Υποπολλαπλάσια : $1 \text{ mV} = 10^{-3} \text{ V}$ (μίλι βόλτ) , $1 \text{ }\mu\text{V} = 10^{-6} \text{ V}$ (μικρό βόλτ)

Πολλαπλάσια : $1 \text{ KV} = 10^3 \text{ V}$ (κίλο βόλτ) , $1 \text{ MV} = 10^6 \text{ V}$ (μέγα βόλτ)

3) Μονάδες Αντίστασης

Βασική μονάδα είναι το 1 Ω (ωμ)

Υποπολλαπλάσια : $1 \text{ m}\Omega = 10^{-3} \Omega$ (μίλι ωμ)

Πολλαπλάσια : $1 \text{ K}\Omega = 10^3 \Omega$ (κίλο ωμ) , $1 \text{ M}\Omega = 10^6 \Omega$ (μέγα ωμ)

4) Μονάδες Ισχύος

Βασική μονάδα είναι το 1 W (βάτ)

Υποπολλαπλάσια : $1 \text{ mW} = 10^{-3} \text{ W}$ (μίλι βάτ) , $1 \text{ }\mu\text{W} = 10^{-6} \text{ W}$ (μικρό βάτ)

Πολλαπλάσια : $1 \text{ KW} = 10^3 \text{ W}$ (κίλο βάτ) , $1 \text{ MW} = 10^6 \text{ W}$ (μέγα βάτ)

5) Μονάδες Ενέργειας

Βασική μονάδα είναι το 1 J (τζάουλ)

Υποπολλαπλάσια : $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ (ηλεκτρονιοβόλτ) ,

$1 \text{ KeV} = 1,6 \cdot 10^{-16} \text{ J}$ (κιλοηλεκτρονιοβόλτ) , $1 \text{ MeV} = 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ J}$ (μεγαηλεκτρονιοβόλτ)

Πολλαπλάσια : $1 \text{ Wh} = 3,6 \cdot 10^3 \text{ J}$ (βατώρα) , $1 \text{ KWh} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$ (κιλοβατώρα)

6) Μονάδες Φορτίου

Βασική μονάδα είναι το 1 C (κουλόμπ)

Υποπολλαπλάσια : $1 \text{ mC} = 10^{-3} \text{ C}$ (μίλι κουλόμπ) , $1 \text{ }\mu\text{C} = 10^{-6} \text{ C}$ (μικρό κουλόμπ)

$1 \text{ nC} = 10^{-9} \text{ C}$ (νάνο κουλόμπ) , $1 \text{ pC} = 10^{-12} \text{ C}$ (πίκo κουλόμπ)

Πολλαπλάσια : $1 \text{ Ah} = 3600 \text{ C}$ (αμπερώρα) , $1 \text{ mAh} = 3,6 \text{ C}$ (μίλι αμπερώρα)

7) Φωτεινή Ροή είναι η φωτεινή ισχύς , δηλαδή η φωτεινή ενέργεια που εκπέμπεται στη μονάδα του χρόνου

Βασική μονάδα φωτεινής ροής είναι 1 Lumen (Lm) ($1 \text{ W} = 683 \text{ Lm}$)

8) Πυκνότητα Ισχύος ή Ένταση Φωτισμού είναι η φωτεινή ισχύς που πέφτει κάθετα σε μια επιφάνεια δια το εμβαδόν της επιφάνειας .

Βασική μονάδα είναι το $1 \text{ Lux} = 1 \frac{\text{Lm}}{\text{m}^2}$

Κεφάλαιο 4°

Φωτοβολταϊκό Στοιχείο

Περιγραφή

Είναι η μικρότερη μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής τάσης, όταν πάνω της πέσει ηλιακή ακτινοβολία

Έχει διαστάσεις περίπου 10 cm x 10 cm με πάχος περίπου 0,24 mm και δίνει στα άκρα του τάση από 0,5 V – 1,5 V

Η απόδοση κυμαίνεται από 6% έως 30 % ανάλογα το υλικό κατασκευής και τις συνθήκες



Τρόπος κατασκευής

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία τοποθετούνται σε ειδικό πλαίσιο που συνήθως, είναι από αλουμίνιο,

Στην πάνω όψη που δέχεται το φωτισμό βρίσκεται ειδικό διαφανές οργανικό φύλλο ή γυαλί.

Όλη η κατασκευή είναι στεγανή, προκειμένου να αποκλειστεί η διείσδυση της υγρασίας, ενώ πολλές φορές δημιουργείται υποπίεση στο εσωτερικό του πλαισίου, προκειμένου να μειώνεται η μεταφορά θερμότητας από το γυαλί προς την επιφάνεια του ημιαγωγού.

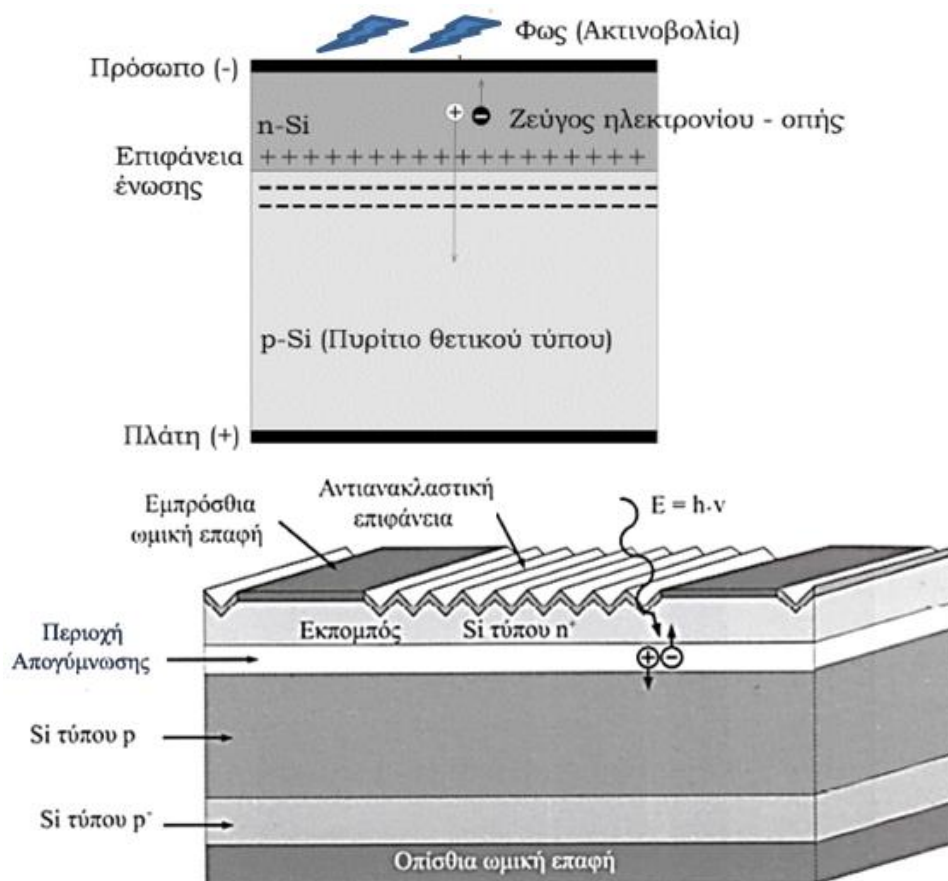
Το ημιαγωγό υλικό που χρησιμοποιούμε είναι από πυρίτιο τύπου **n** και πυρίτιο τύπου **p**

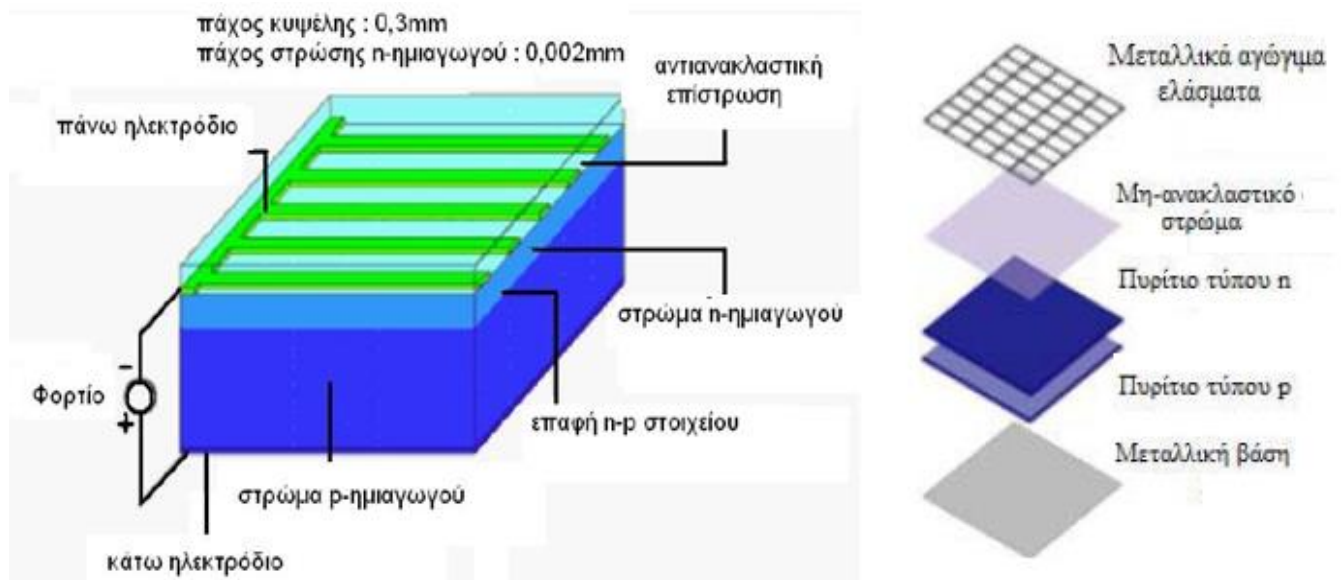
Οι μεταλλικές επαφές είναι από κράμα μετάλλων και παρουσιάζουν μικρή αντίσταση για να περιοριστούν οι απώλειες



Μορφή

Παρακάτω θα δώσουμε την μορφή ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου με τρία σχήμα και θα επισημάνουμε τα πιο σημαντικά μέρη





Ο εκπομπός , έχει πάχος γύρω στα 0,3 μm είναι φτιαγμένος από ημιαγωγό πυριτίου τύπου **n** . Είναι το πρώτο κομμάτι ημιαγωγού που δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία

1. Το υπόστρωμα , έχει πάχος γύρω στα 298 μm είναι φτιαγμένος από ημιαγωγό πυριτίου τύπου **p** Είναι το δεύτερο κομμάτι ημιαγωγού στο οποίο εισχωρεί η ηλιακή ακτινοβολία
2. Μεταξύ των δυο κομματιών πυριτίου τύπου **n** και τύπου **p** δημιουργείται η ζώνη απογύμνωσης όπου δεν υπάρχουν ηλεκτρόνια και οπές
3. Για καλύτερα αποτελέσματα και αύξηση της απόδοσης τοποθετούμε κάτω από το υπόστρωμα ένα λεπτό στρώμα ημιαγωγού πυριτίου τύπου **p** αλλά με περισσότερες προσμίξεις (για αυτό το συμβολίζουμε με **p⁺**)
4. Πάνω από το κομμάτι ημιαγωγού τύπου **n** μπαίνει η εμπρόσθια μεταλλική επιφάνεια που αποτελείται από οριζόντια και κάθετα ελάσματα (τα οριζόντια είναι περισσότερα) Στην επιφάνεια αυτή συγκεντρώνονται ηλεκτρόνια και θα αποτελεί τον αρνητικό πόλο της πηγής τάσης που δημιουργείται
5. Κάτω από το κομμάτι ημιαγωγού τύπου **p** μπαίνει η οπίσθια μεταλλική επιφάνεια Στην επιφάνεια αυτή συγκεντρώνονται οπές και θα αποτελεί τον θετικό πόλο της πηγής τάσης που δημιουργείται
6. Πάνω από την εμπρόσθια μεταλλική επιφάνεια μπαίνει μια αντιανακλαστική επιφάνεια από διάφανες υλικό που βοηθά στον να μην ανακλαστεί η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία

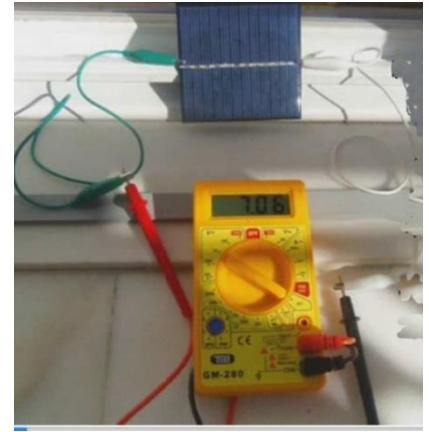


Χαρακτηριστικά Φωτοβολταϊκού Στοιχείου

Σε κάθε φωτοβολταϊκό στοιχείο είναι χρήσιμα τα παρακάτω στοιχεία

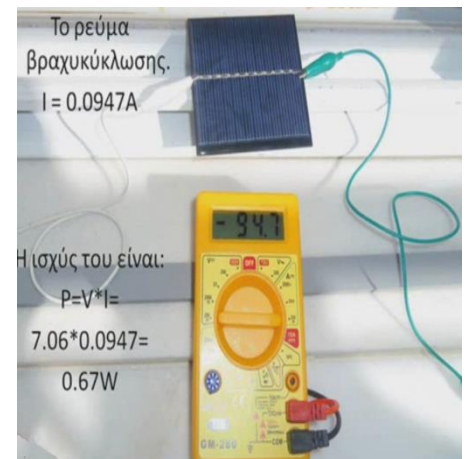
1. Τάση Ανοικτού Κυκλώματος V_{oc}
Είναι η τάση στα άκρα του φωτοβολταϊκού στοιχείου όταν αυτά είναι στο αέρα. Η τάση αυτή εξαρτάται :
α) από το υλικό κατασκευής
β) την επιφάνεια του στοιχείου
γ) την φωτεινή ροή που πέφτει πάνω στο στοιχείο

Στην διπλανή εικόνα φαίνεται το συγκεκριμένο φωτοβολταϊκό στοιχείο για την φωτεινή ροή που εκτίθεται έχει τάση ανοικτού κυκλώματος $V_{oc} = 7,06 \text{ V}$



2. Ένταση Ρεύματος Βραχυκύκλωσης I_{sc}
Είναι η ένταση του ρεύματος που περνάμε όταν ενώσουμε τα δυο άκρα του στοιχείου χωρίς να παρεμβάλλεται τίποτα
Η ένταση αυτή εξαρτάται :
α) από το υλικό κατασκευής
β) την επιφάνεια του στοιχείου
γ) την φωτεινή ροή που πέφτει πάνω στο στοιχείο

Στην διπλανή εικόνα φαίνεται το συγκεκριμένο φωτοβολταϊκό στοιχείο για την φωτεινή ροή που εκτίθεται έχει ρεύμα βραχυκύκλωσης $I_{sc} = 94,7 \text{ mA}$



3. Αντίσταση Φωτοβολταϊκού στοιχείου
Είναι η δυσκολία που προβάλλει το στοιχείο στους κινούμενους φορείς του ηλεκτρισμού
Οφείλεται στον τρόπο κατασκευής και στα μεταλλικά ελάσματα που χρησιμοποιούνται
4. Μέγιστη Ισχύς
Είναι η μεγαλύτερη ισχύ που μπορεί να δώσει ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο
Η ισχύς αυτή εξαρτάται
α) την φωτεινή ροή που πέφτει πάνω στην επιφάνεια του φωτοβολταϊκού στοιχείου
β) την θερμοκρασία της επιφάνειας του φωτοβολταϊκού στοιχείου
γ) την αντίσταση του φορτίου που συνδέεται στα άκρα του φωτοβολταϊκού στοιχείου
5. Τάση στην Μέγιστη Ισχύ
Είναι η τάση στα άκρα του φωτοβολταϊκού στοιχείου όταν έχουμε την μέγιστη ισχύ
6. Ένταση ρεύματος στην Μέγιστη Ισχύ
Είναι η ένταση ρεύματος που διαρρέει το φωτοβολταϊκό στοιχείο όταν έχουμε την μέγιστη ισχύ
7. Ένταση προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια του φωτοβολταϊκού στοιχείου την οποία την μετράμε σε W / m^2
8. Όρια Θερμοκρασίας της επιφάνειας φωτοβολταϊκού στοιχείου
Είναι τα περιθώρια που έχουμε στην θερμοκρασία της επιφάνειας ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου για να έχουμε μια ικανοποιητική απόδοση
9. Απόδοση φωτοβολταϊκού στοιχείου
Είναι ο λόγος της φωτεινής ισχύος που παίρνει ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο δια την ηλεκτρική ισχύ που δίνει για αξιοποίηση

Χαρακτηριστική ενός Φωτοβολταϊκού στοιχείου

Φτιάχνουμε το διπλανό κύκλωμα

Στα άκρα του φωτοβολταϊκού στοιχείου τοποθετούμε ένα βολτόμετρο, ενώ σε σειρά βάζουμε ένα αμπερόμετρο και ένα τριμμερ (μεταβλητή αντίσταση)

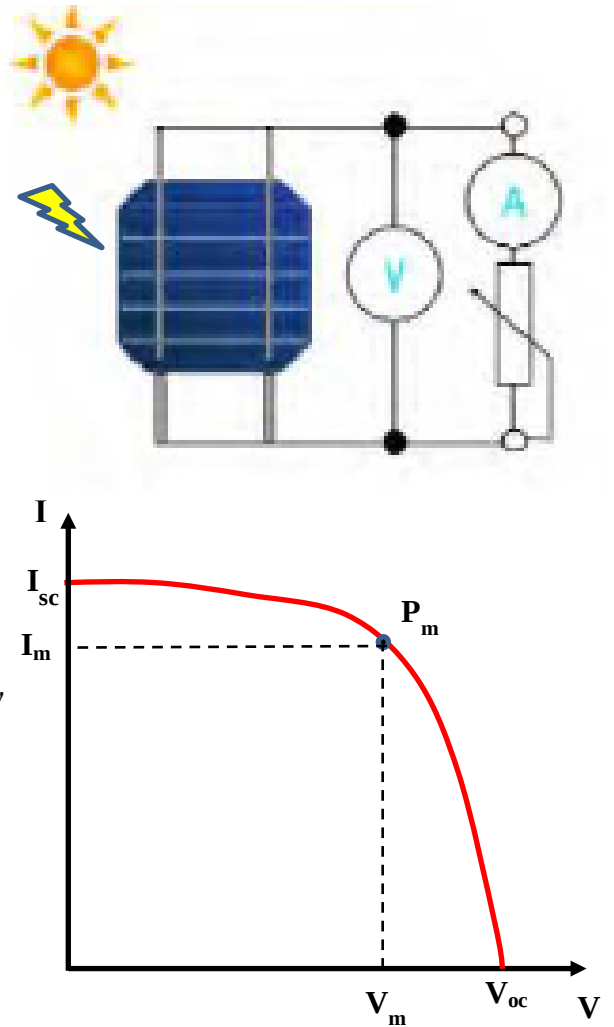
Ρυθμίζουμε μεταβλητή αντίσταση και καταγράφουμε τις τιμές του βολτομέτρου και αμπερομέτρου, για καθορισμένη ένταση ηλιακής ακτινοβολίας

Τις τιμές αυτές τις τοποθετούμε σε διάγραμμα $I - V$
Η καμπύλη που θα προκύψει λέγεται χαρακτηριστική του φωτοβολταϊκού στοιχείου

Παρατηρώντας την χαρακτηριστική βλέπουμε :

1. Για τάση $V = 0$ παίρνουμε ένταση ρεύματος ίση με το ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{sc} που είναι το σημείο από όπου ξεκινά η χαρακτηριστική στο άξονα των ρευμάτων
2. Για ρεύμα $I = 0$ παίρνουμε τάση ίση με την τάση ανοικτού κυκλώματος V_{oc} που είναι το σημείο που καταλήγει η χαρακτηριστική στο άξονα των τάσεων
3. Πάνω στην χαρακτηριστική φαίνεται το σημείο λειτουργίας που μας δίνει μέγιστη ισχύ P_m
Οι συντεταγμένες αυτού του σημείου μας δίνουν το μέγιστο ρεύμα I_m και την μέγιστη τάση V_m
4. Την χαρακτηριστική αυτή την παίρνουμε για καθορισμένη ένταση ηλιακής ακτινοβολίας
Αν αυξηθεί η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας η χαρακτηριστική θα μετατοπιστεί προς τα πάνω
Αν μειωθεί η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας η χαρακτηριστική θα μετατοπιστεί προς τα κάτω
5. Η επιλογή του σημείου λειτουργίας καθορίζεται από την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας και την αντίσταση του φορτίου που τροφοδοτείται από το φωτοβολταϊκό στοιχείο

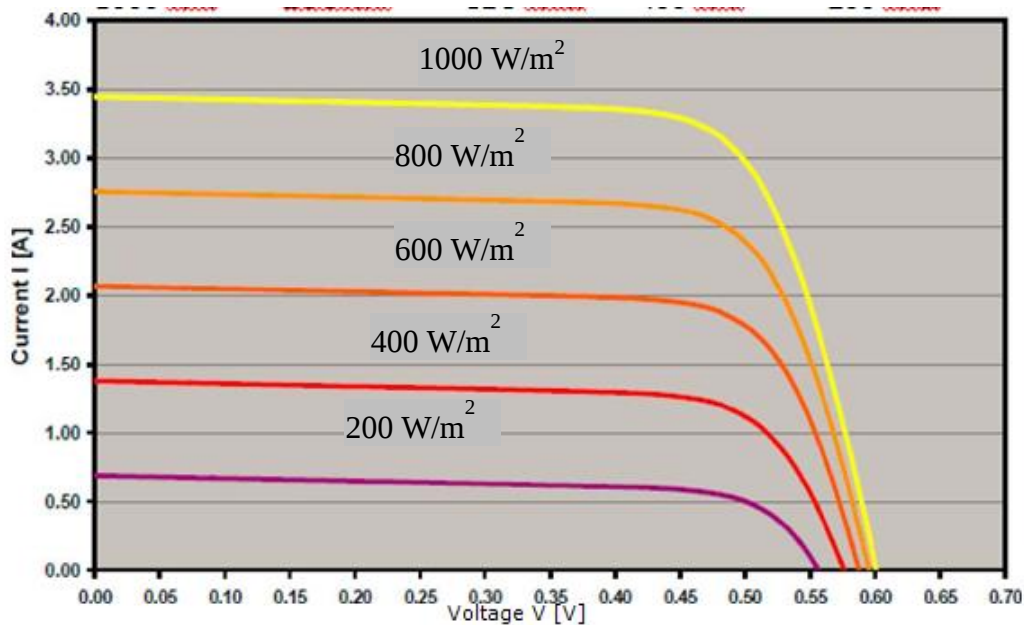
Ένα παράδειγμα θα ήταν οι παρακάτω χαρακτηριστικές για διαφορές εντάσεις ηλιακής ακτινοβολίας



Παράγοντες που επηρεάζουν χαρακτηριστική καμπύλη ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου

1. Πυκνότητα ηλιακής ακτινοβολίας

Όσο αυξάνει η πυκνότητα της ηλιακής ακτινοβολίας αυξάνει και η ένταση του ρεύματος



Το ρεύμα βραχυκυκλώματος I_{sc} μεταβάλλεται γραμμικά με την ακτινοβολία, ενώ η τάση του ανοικτού κυκλώματος V_{oc} μένει σχεδόν σταθερή στις μεταβολές της ακτινοβολίας

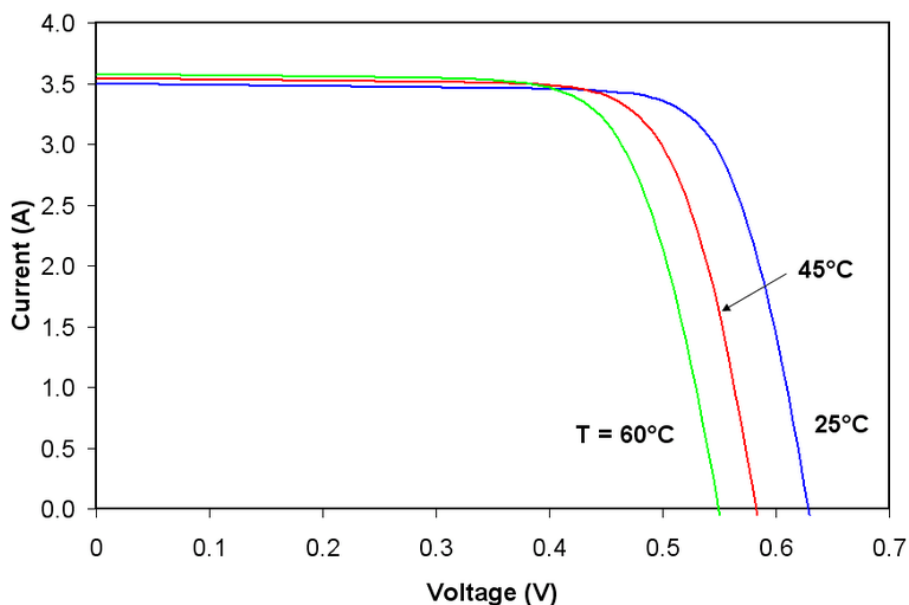
2. Θερμοκρασία φωτοβολταϊκού στοιχείου

Η θερμοκρασία επηρεάζει την τάση ανοικτού κυκλώματος και το ανάστροφο ρεύμα

Η τάση ανοικτού κυκλώματος μειώνεται, όσο αυξάνει η θερμοκρασία

Το ανάστροφο ρεύμα αυξάνεται όσο αυξάνει η θερμοκρασία

Το ρεύμα που παίρνουμε από το φωτοβολταϊκό στοιχείο δεν επηρεάζεται σημαντικά



Στα περισσότερα φωτοβολταϊκά στοιχεία κρυσταλλικού πυριτίου μειώνεται η απόδοσή τους κατά 0,50%/ ανά °C και στα περισσότερα φωτοβολταϊκά στοιχεία άμορφου πυριτίου μειώνεται κατά 0,15- 0,25% ανά °C.

3. Ο τρόπος κατασκευής της διόδου του φωτοβολταϊκού στοιχείου

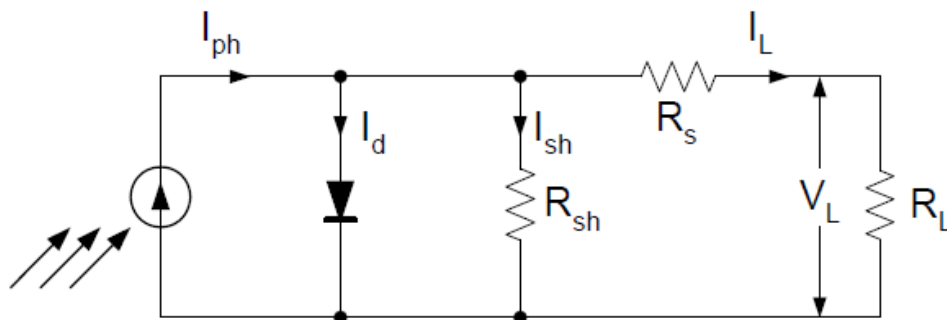
Παίζει σημαντικό ρόλο αν η διόδου του φωτοβολταϊκού στοιχείου είναι ποιο κοντά στην ιδανική διόδου ή στην πραγματική διόδο με ατέλειες

4. Οι Αντιστάτες του φωτοβολταϊκού στοιχείου

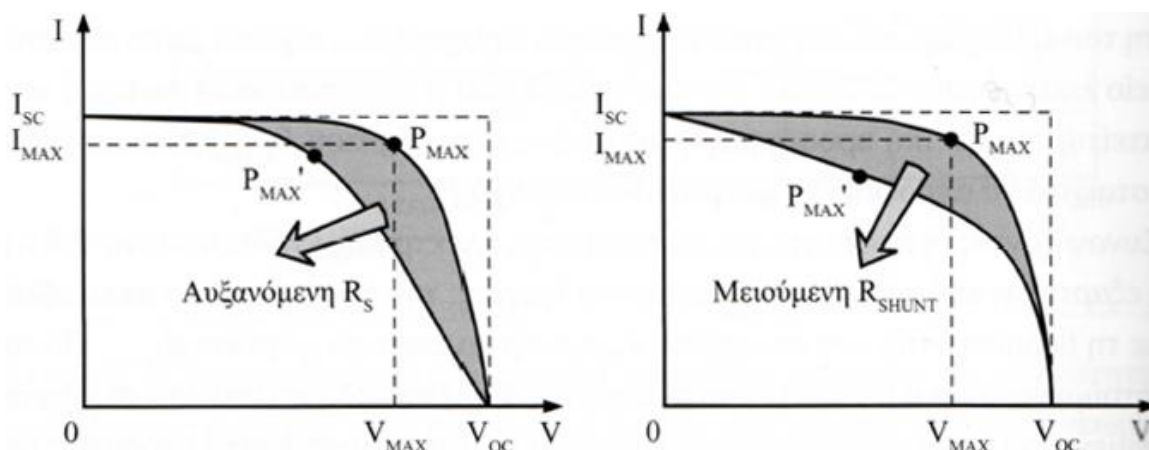
Έχουν να κάνουν με την δυσκολία που συναντούν οι φορείς του ηλεκτρισμού μέσα στην μάζα του φωτοστοιχείου

Όσο αυξάνεται η σειριακή αντίσταση R_s και μειώνεται η παράλληλη αντίσταση R_{sh} μειώνεται το ρεύμα, μειώνεται η τάση στην έξοδο και μειώνεται η απόδοση

Το ισοδύναμο ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου φαίνεται στο παρακάτω σχήμα, εκεί φαίνονται και οι αντιστάτες, ο ένας σε σειρά (R_s) και ο άλλος παράλληλα (R_{sh})



Το πώς επηρεάζουν την απόδοση ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου οι αντιστάτες R_s , R_{sh} φαίνεται στα παρακάτω σχήματα



Απόδοση ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου

Καλούμε τον λόγο της μεγίστης ισχύος που παίρνουμε από το φωτοστοιχείο δια την φωτεινή ισχύ που πέφτει πάνω του

$$\alpha = \frac{P_{\max}}{P_{\Phi\Omega T}} \Leftrightarrow \alpha = \frac{V_{\max} \cdot I_{\max}}{P_{\Phi\Omega T}}$$

Είδη φωτοβολταϊκών στοιχείων

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία διακρίνονται σε τρεις κυρίως κατηγορίες, ανάλογα με το υλικό παρασκευής, τη δομή του βασικού υλικού καθώς και τον τρόπο παρασκευής.

A) Φωτοβολταϊκά στοιχεία πυριτίου μεγάλου πάχους

1) Φωτοβολταϊκά στοιχεία μονοκρυσταλλικού πυριτίου

Το πάχος τους είναι γύρω στα 0,3mm.

Η απόδοσή τους στα φωτοβολταϊκά πλαίσια που τοποθετούνται κυμαίνεται από 15 έως 18% .

Στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί αποδόσεις έως και 24,7%.

Τα μονοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία χαρακτηρίζονται από το πλεονέκτημα της καλύτερης σχέσης απόδοσης.

Ένα μειονέκτημά τους είναι το υψηλό κόστος κατασκευής σε σύγκριση με τα πολυκρυσταλλικά.



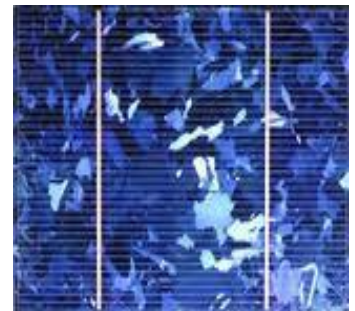
2) Φωτοβολταϊκά στοιχεία πολυκρυσταλλικού πυριτίου

Το πάχος τους είναι επίσης περίπου 0,3mm. Η παραγωγή τους κοστίζει φθηνότερα σε σύγκριση με αυτή των μονοκρυσταλλικών γι' αυτό και η τιμή πώλησής τους λίγο χαμηλότερη.

Οπτικά μπορεί κανείς να παρατηρήσει τις επιμέρους μονοκρυσταλλικές περιοχές. Όσο μεγαλύτερη είναι η έκταση της μονοκρυσταλλικής περιοχής τόσο μεγαλύτερη είναι και η απόδοση για τα πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία.

Η απόδοσή τους στα φωτοβολταϊκά πλαίσια που τοποθετούνται κυμαίνεται από 13 έως 15%

Στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί αποδόσεις έως και 20%



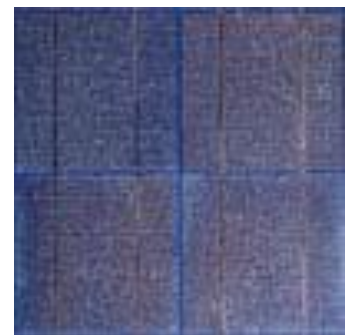
3) Φωτοβολταϊκά στοιχεία ταινίας πυριτίου

Σε αυτά τα στοιχεία εφαρμόζεται νέα τεχνολογία φωτοβολταϊκών στοιχείων. Προσφέρει έως και 50% μείωση στην χρήση του πυριτίου σε σχέση με τις παραδοσιακές τεχνικές κατασκευής μονοκρυσταλλικών και πολυκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών στοιχείων πυριτίου.

Η απόδοσή στα φωτοβολταϊκά πλαίσια κυμαίνεται από 12 % έως 13%

Στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί αποδόσεις έως και 18 %

Το πάχος του είναι περίπου 0,3mm



B) Φωτοβολταϊκά στοιχεία λεπτών υμενίων

1) Δισεληνοϊνδιούχος χαλκός (CuInSe_2 με προσθήκη γαλλίου)

Ο Δισεληνοϊνδιούχος Χαλκός έχει εξαιρετική απορροφητικότητα στο προσπίπτον φως αλλά παρόλα αυτά η απόδοσή του κυμαίνεται στο 11%

Εργαστηριακά μπορεί να φτάσει η απόδοσή του στο 18,8%

Με την πρόσμιξη γαλλίου η απόδοσή του μπορεί να αυξηθεί ακόμα περισσότερο

Το πρόβλημα που υπάρχει είναι ότι το ίνδιο και το γάλλιο είναι σπάνια στην φύση



2) Φωτοβολταϊκά στοιχεία άμορφου πυριτίου

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία αυτά, έχουν αισθητά χαμηλότερες αποδόσεις σε σχέση με τις δύο προηγούμενες κατηγορίες. Πρόκειται για ταινίες λεπτών επιστρώσεων οι οποίες παράγονται με την εναπόθεση πυριτίου πάνω σε υπόστρωμα γυαλιού ή αλουμινίου

Έτσι και λόγω της μικρότερης ποσότητας πυριτίου που χρησιμοποιείται η τιμή τους είναι γενικότερα αρκετά χαμηλότερη. Ο χαρακτηρισμός άμορφο φωτοβολταϊκό προέρχεται από τον τυχαίο τρόπο με τον οποίο είναι διατεταγμένα τα άτομα του πυριτίου. Η απόδοση στο φωτοβολταϊκό πλαίσιο κυμαίνονται από 6 έως 8% , ενώ στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί αποδόσεις ακόμα και 14%.



Το σημαντικότερο πλεονέκτημα για το φωτοβολταϊκό στοιχείο άμορφου πυριτίου είναι το γεγονός ότι δεν επηρεάζεται πολύ από τις υψηλές θερμοκρασίες. Έχει καλύτερη απόδοση από τα κρυσταλλικά φωτοβολταϊκά, όταν υπάρχει συννεφιά. Το μειονέκτημα των άμορφων πλαισίων είναι η χαμηλή τους ενεργειακή πυκνότητα κάτι που σημαίνει ότι για να παράγουμε την ίδια ενέργεια χρειαζόμαστε σχεδόν διπλάσια επιφάνεια σε σχέση με τα κρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία.

Υπάρχουν αμφιβολίες με την διάρκεια ζωής των άμορφων πλαισίων μιας και δεν υπάρχουν στοιχεία από παλιές εγκαταστάσεις αφού η τεχνολογία είναι σχετικά καινούρια. Παρόλα αυτά οι κατασκευαστές πλέον δίνουν εγγυήσεις απόδοσης 20 ετών. Το πάχος του πυριτίου είναι περίπου 0,0001 mm , το υπόστρωμα να είναι από 1 έως 3 mm

3) Τελουριούχο Κάδμιο (CdTe)

Το τελουριούχο κάδμιο έχει ενεργειακό διάκενο γύρω στο 1eV το οποίο είναι πολύ κοντά στο ηλιακό φάσμα κάτι που του δίνει σοβαρά πλεονεκτήματα όπως την δυνατότητα να απορροφά το 99% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.

Οι αποδόσεις στο φωτοβολταϊκό πλαίσιο είναι από 6 έως 8% , στο εργαστήριο η απόδοση στα φωτοστοιχεία φθάνει το 16%. Μελλοντικά αναμένεται το κόστος του να πέσει αρκετά. Προβληματισμός υπάρχει σχετικά με το κάδμιο που είναι καρκινογόνο υλικό και το τελλούριο που είναι σπάνιο



4) Αρσενικούχο Γάλλιο (GaAs)

Το γάλλιο είναι πιο σπάνιο ακόμα και από τον χρυσό , το αρσενικό είναι δηλητηριώδες. Το αρσενικούχο γάλλιο έχει ενεργειακό διάκενο 1,43eV που είναι ιδανικό για την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας.

Η απόδοση του στην μορφή πολλαπλών συνενώσεων είναι η υψηλότερη που έχει επιτευχθεί και αγγίζει το 29%. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία GaAs είναι εξαιρετικά ανθεκτικά στις υψηλές θερμοκρασίες γεγονός που επιβάλλει σχεδόν την χρήση τους σε εφαρμογές ηλιακών συγκεντρωτικών συστημάτων

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία GaAs έχουν το πλεονέκτημα ότι αντέχουν σε πολύ υψηλές ποσότητες ηλιακής ακτινοβολίας, για αυτό αλλά και λόγω της πολύ υψηλής απόδοσης του ενδείκνυται για διαστημικές εφαρμογές. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι το υπερβολικό κόστος του μονοκρυσταλλικού GaAs



Γ) Πολυστρωματικά φωτοβολταϊκά στοιχεία

Μια άλλη κατηγορία είναι τα φωτοβολταϊκά στοιχεία που αποτελούνται από στρώσεις υλικών διαφόρων τεχνολογιών

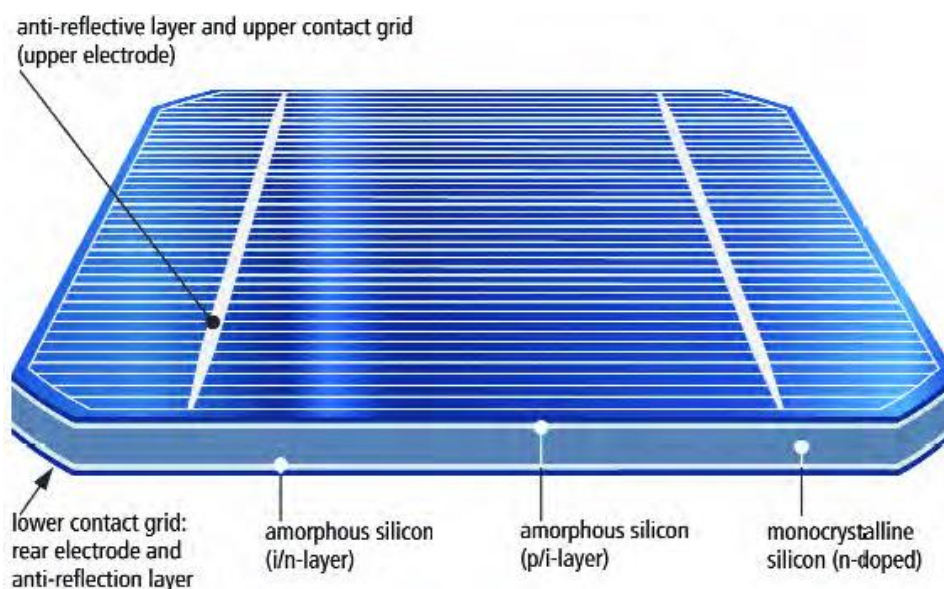
Τα πιο γνωστά εμπορικά πολυστρωματικά φωτοβολταϊκά στοιχεία αποτελούνται από δύο στρώσεις άμορφου πυριτίου (πάνω και κάτω) ενώ ενδιάμεσα υπάρχει μια στρώση μονοκρυσταλλικού πυριτίου.

Το μεγάλο πλεονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι ο υψηλός βαθμός απόδοσης του πλαισίου που φτάνει σε εμπορικές εφαρμογές στο 17,2%

Στο εργοστάσιο τα φωτοβολταϊκά στοιχεία έχουν απόδοση 19,7%.

Άλλα πλεονεκτήματα για τα πολυστρωματικά φωτοβολταϊκά στοιχεία είναι η υψηλή τους απόδοση σε υψηλές θερμοκρασίες αλλά και στην περίπτωση συννεφιάς

Τα φωτοβολταϊκά αυτά είναι ακριβότερα σε σχέση με τα συμβατικά φωτοβολταϊκά

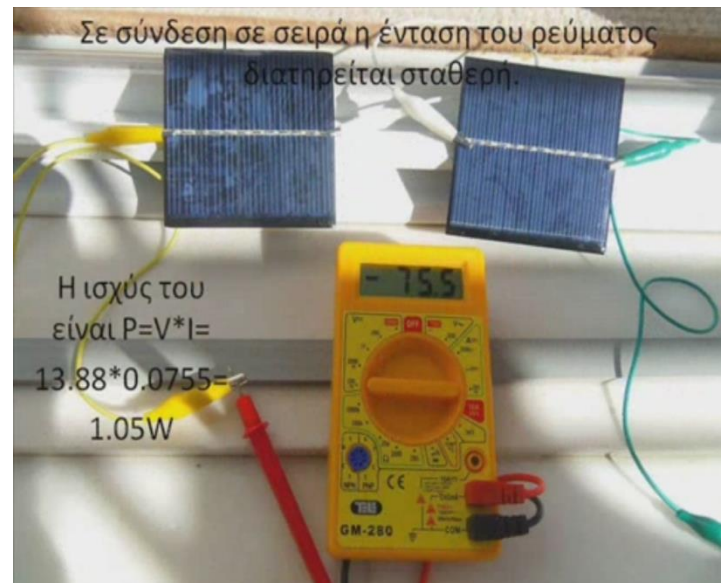


Δ) Άλλες τεχνολογίες

Η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών εξελίσσεται με ραγδαίους ρυθμούς και διάφορα εργαστήρια στον κόσμο παρουσιάζουν νέες πατέντες. Κάποιες από τις τεχνολογίες στα φωτοβολταϊκά στοιχεία που φαίνεται να ξεχωρίζουν και μελλοντικά πιθανώς να γίνει ευρεία η χρήση τους είναι τα νανοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία πυριτίου και τα Οργανικά/Πολυμερή στοιχεία

Σύνδεση σε σειρά δυο ίδιων φωτοστοιχείων

Στην περίπτωση αυτή έχουμε διπλασιασμό της τάσης ανοικτού κυκλώματος, αλλά το ίδιο ρεύμα βραχυκύκλωσης

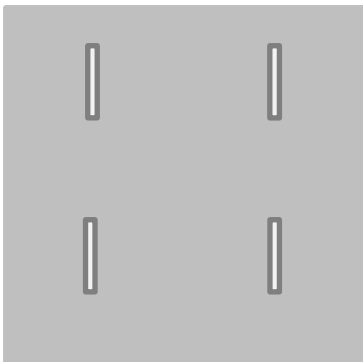


Παρακάτω φαίνεται σε διάφορες εικόνες η προετοιμασία και ο τρόπος σύνδεσης δυο φωτοστοιχείων σε σειρά

Εμπρόσθια όψη Φωτοστοιχείου από Μονοκρυσταλλικό Πυρίτιο



Οπίσθια όψη Φωτοστοιχείου

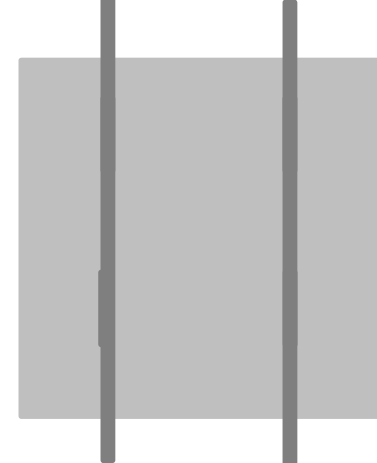


Χάλκινες Λωρίδες

Αρνητικοί Ακροδέκτες



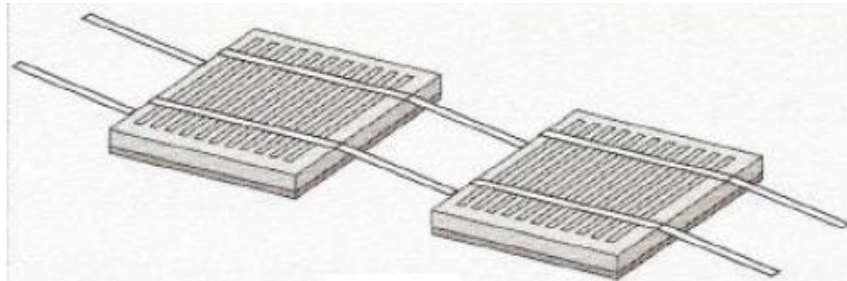
Θετικοί Ακροδέκτες



Κολλάμε τις χάλκινες λωρίδες στις μεταλλικές επαφές

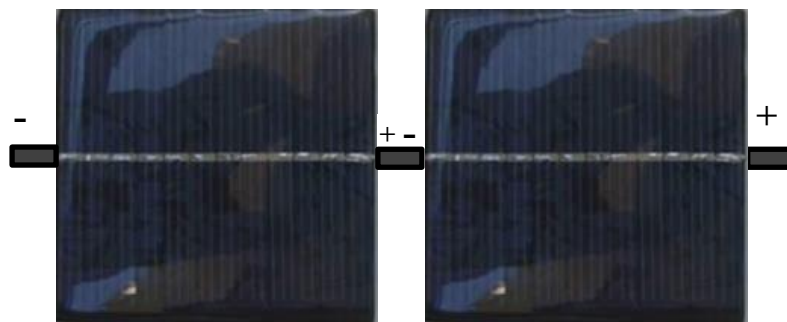


Το (-) της πάνω επιφάνειας του ενός συνδέεται με το (+) της κάτω επιφάνειας του άλλου



Σε μια άλλης μορφής φωτοστοιχεία κάνουμε συνδέσεις στο πίσω μέρος

1. Συνδέουμε τον θετικό πόλο του ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου με τον αρνητικό του άλλου στοιχείου
2. Τον αρνητικό πόλο τον παίρνουμε από το ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο και τον θετικό πόλο από το άλλο φωτοβολταϊκό στοιχείο

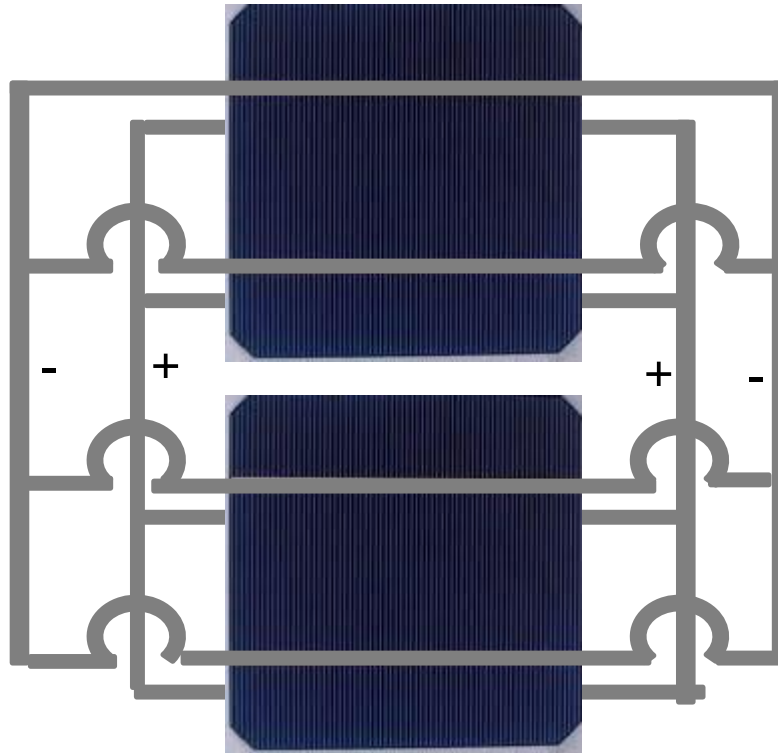


Παράλληλη Σύνδεση δυο ίδιων φωτοστοιχείων

Στην περίπτωση αυτή έχουμε διπλασιασμό του ρεύματος βραχυκύκλωσης και την ίδια τάση ανοικτού κυκλώματος

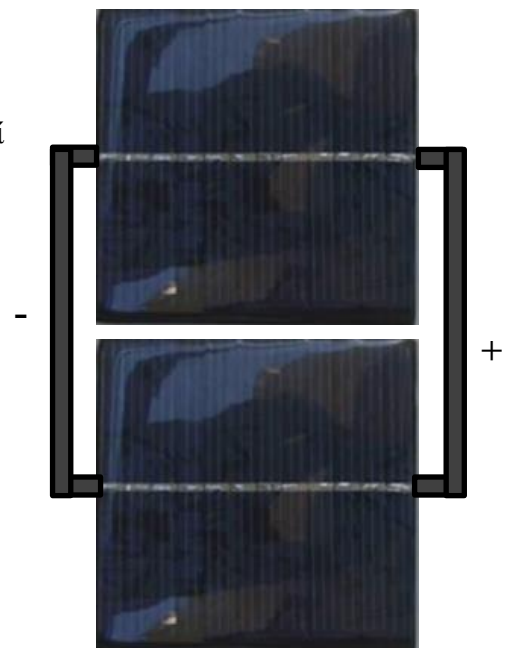
Το (-) της πάνω επιφάνειας του ενός συνδέεται με το (-) της πάνω επιφάνειας του άλλου

Το (+) της κάτω επιφάνειας του ενός συνδέεται με το (+) της κάτω επιφάνειας του άλλου



Σε μια άλλης μορφής φωτοστοιχεία κάνουμε συνδέσεις στο πίσω μέρος

1. Συνδέουμε τους δυο θετικούς πόλους μεταξύ τους και θα αποτελεί τον θετικό πόλο του συστήματος των δυο φωτοβολταϊκών στοιχείων
2. Συνδέουμε τους δυο αρνητικούς πόλους μεταξύ τους και θα αποτελεί τον αρνητικό πόλο του συστήματος των δυο φωτοβολταϊκών στοιχείων



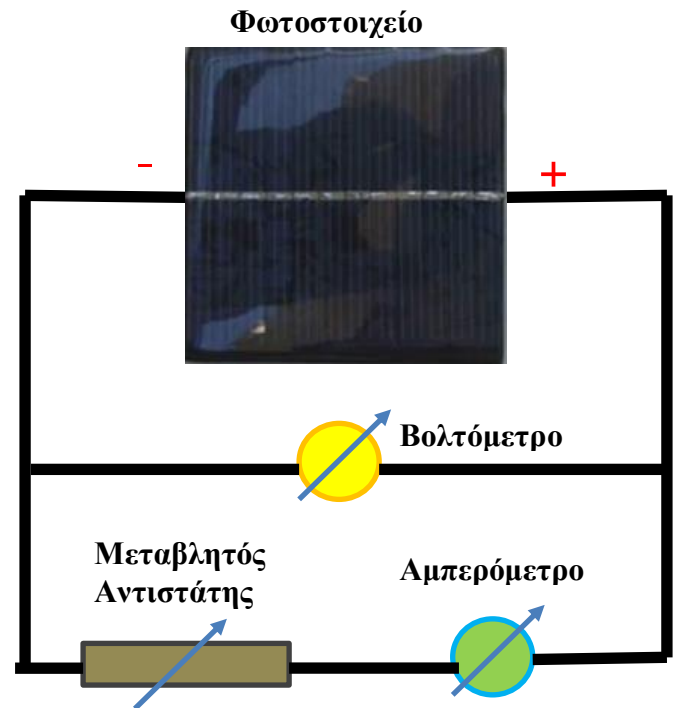
Συνδεσμολογία για Χάραξη Χαρακτηριστικής Φωτοστοιχείου

Φτιάχνουμε το παραπάνω κύκλωμα χρησιμοποιώντας ένα φωτοστοιχείο , ένα βολτόμετρο , ένα αμπερόμετρο και μια μεταβλητή αντίσταση

Πάνω στο φωτοστοιχείο πέφτει φως και ρυθμίζοντας την μεταβλητή αντίσταση παίρνουμε διαφορές τιμές τάσης στα άκρα του φωτοστοιχείου και έντασης ρεύματος που περνά

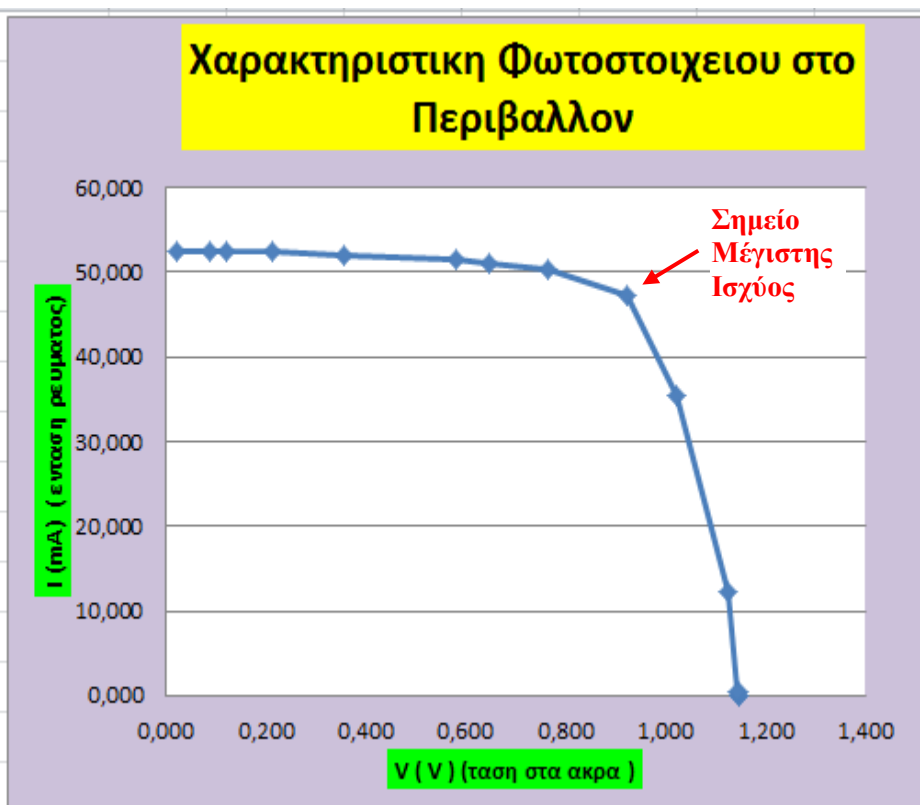
Βάζουμε στις τιμές αυτές σε ένα πινάκα και με την βοήθεια ενός λογισμικού (excel) φτιάχνουμε την χαρακτηριστική του φωτοστοιχείου

Στον πίνακα τιμών υπάρχει και μια στήλη που μας δίνει την ισχύ , έχει σημειωθεί η μέγιστη ισχύς και για ποιες τιμές τάσης – έντασης ρεύματος την πετυχαίνουμε

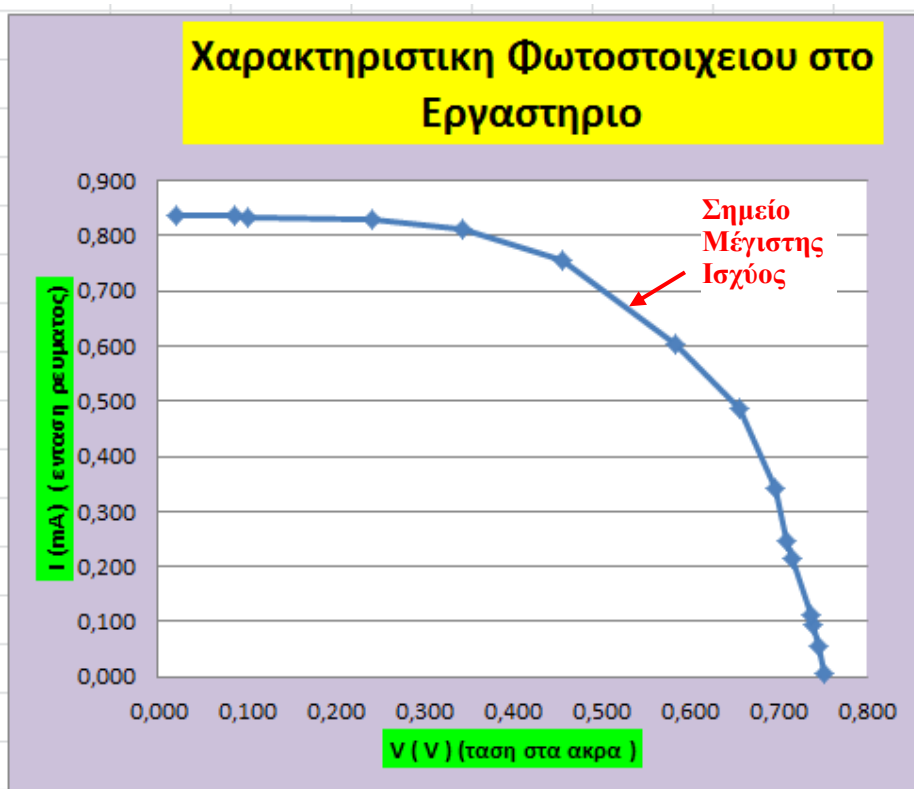


Το πείραμα έγινε στον χώρο του εργαστηρίου με φως από τις λάμπες φθορισμού και στο περιβάλλον με φως από τον ήλιο , υπάρχει σημαντική διάφορα στις τιμές

V (V)	I (mA)	P(mW)
1,149	0,011	0,0126
1,147	0,038	0,0436
1,146	0,363	0,416
1,144	0,466	0,5331
1,126	12,350	13,906
1,023	35,450	36,265
0,922	47,230	43,546
0,765	50,340	38,51
0,648	50,980	33,035
0,581	51,400	29,863
0,356	52,000	18,512
0,213	52,300	11,14
0,123	52,400	6,4452
0,087	52,500	4,5675
0,021	52,500	1,1025

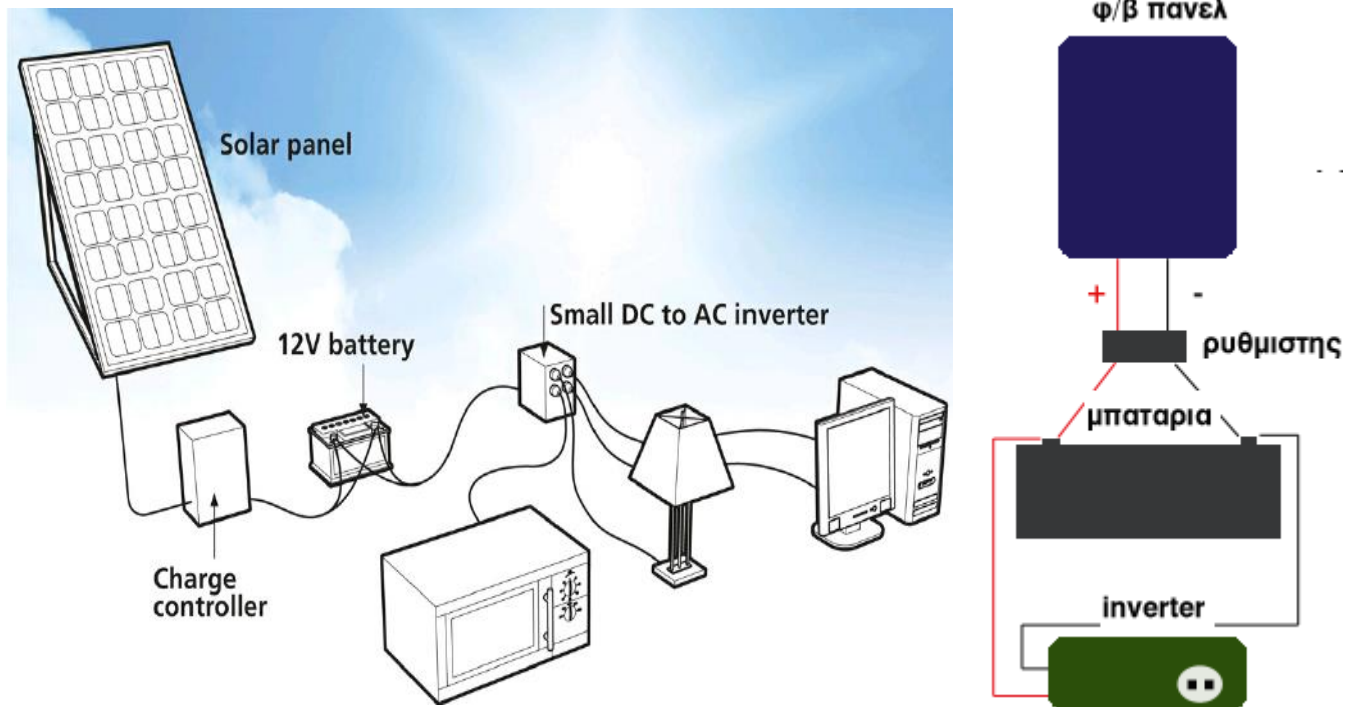


V (V)	I (mA)	P(mW)
0,752	0,008	0,0057
0,745	0,055	0,041
0,740	0,095	0,0703
0,736	0,111	0,0817
0,716	0,215	0,1539
0,710	0,245	0,174
0,696	0,342	0,238
0,656	0,487	0,3195
0,585	0,602	0,3522
0,456	0,755	0,3443
0,343	0,810	0,2778
0,241	0,830	0,2
0,102	0,834	0,0851
0,087	0,835	0,0726
0,021	0,835	0,0175



Μέρος Β : Εξοπλισμός φωτοβολταϊκής εγκατάστασης

Απαραίτητος εξοπλισμός για μια αυτόνομη φωτοβολταϊκή εγκατάσταση



Ένα φωτοβολταϊκό σύστημα θεωρείται αυτόνομο όταν παράγει ηλεκτρική ενέργεια την αποθηκεύει προσωρινά και την αξιοποιεί για τροφοδοσία ηλεκτρικών συσκευών

Αν απαριθμούσαμε τα υλικά που χρειάζονται θα λέγαμε :

- Φωτοβολταϊκά Πλαίσια
- Ρυθμιστές Τάσης Φόρτισης
- Μπαταρίες
- Αντιστροφείς (Inverter)
- Καλώδια - Ακροδέκτες
- Πινάκες – Ασφάλειες – Διακόπτες - Μετρητές
- Κυκλώματα προστασίας από κεραυνούς και γειώσεις
- Δίοδοι που αποτρέπουν την επιστροφή ρεύματος στο φωτοβολταϊκό πλαίσιο
- Όργανα καταμέτρησης παραγόμενης ενέργειας
- Όργανα μέτρησης έντασης ηλιακής ακτινοβολίας σε W / m^2
- Όργανα μέτρησης τάσης , ρεύματος , θερμοκρασίας , απόδοσης , υγρασίας , χάραξης χαρακτηριστικών $I - V$, $P - V$
- Βάσεις στήριξης
- Καλώδια
- Μονωτικά υλικά για στεγανοποίηση ευπαθών κομματιών
- Κυκλώματα πυρασφάλειας
- Κυκλώματα συναγερμού
- Κυκλώματα παρακολούθησης με την βοήθεια καμερών
- Διασύνδεση με δίκτυο για την διαχείριση των δεδομένων μέσα από υπολογιστές
- Υλικά περίφραξης

Παρακάτω θα μελετήσουμε ορισμένα από αυτά τα υλικά που είναι απαραίτητα με μια φωτοβολταϊκή εγκατάσταση

Κεφάλαιο 5^ο

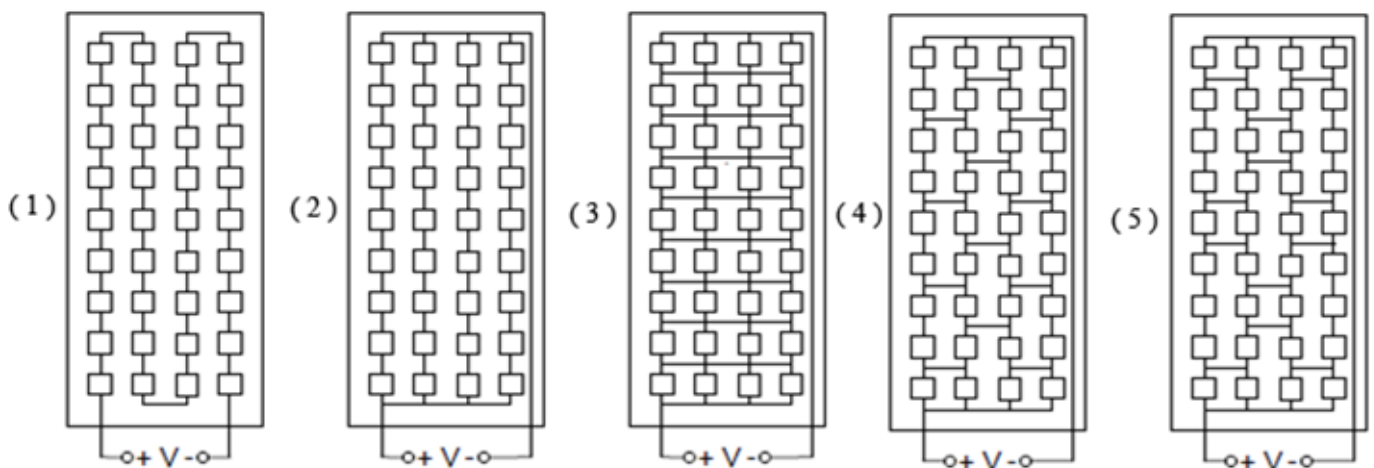
Φωτοβολταϊκό Πλαίσιο

Διασύνδεση Φωτοβολταϊκών Στοιχείων για την δημιουργία Φωτοβολταϊκού Πλαισίου

Οι τρόποι σύνδεσης των επιμέρους φωτοβολταϊκών στοιχείων για να φτιάξουμε ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο είναι πέντε

(στο παρακάτω σχήμα που ακόλουθη θα έχουμε ένα πλαίσιο με 36 φωτοβολταϊκά στοιχεία)

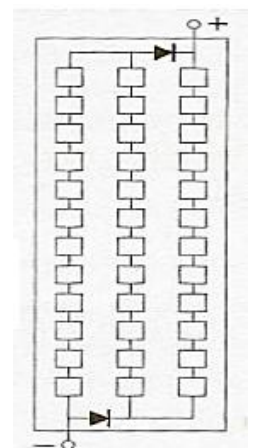
- (1) Συνδέουμε όλα φωτοβολταϊκά στοιχεία σε σειρά (Διατάξεις Σειριακής Σύνδεσης)
- (2) Συνδέουμε 9 φωτοβολταϊκά στοιχεία σε σειρά , μετά συνδέουμε τις 4 στήλες παράλληλα (Διατάξεις Σειριακής και Παράλληλης Σύνδεσης)
- (3) Συνδέουμε 9 φωτοβολταϊκά στοιχεία σε σειρά , μετά συνδέουμε τις 4 στήλες παράλληλα όπως η (2) περίπτωση και μετά συνδέουμε τα στοιχεία τις κάθε γραμμής (Αθροιστικές Διατάξεις Σταυρωτού Δεσμού)
- (4) Συνδέουμε 9 φωτοβολταϊκά στοιχεία σε σειρά , μετά συνδέουμε τις 4 στήλες παράλληλα όπως η (2) περίπτωση και μετά αλληλοσυνδέουμε τα στοιχεία με γεφυρωτή σύνδεση (Διατάξεις Γεφυρωτής Διασύνδεσης)
- (5) Συνδέουμε 9 φωτοβολταϊκά στοιχεία σε σειρά , μετά συνδέουμε τις 4 στήλες παράλληλα όπως η (2) περίπτωση και μετά τα συνδέουμε έτσι ώστε να δημιουργούμε κυψέλες (Διατάξεις Κυψελοειδούς Διασύνδεσης)



Οι ποιο διαδεδομένες συνδεσμολογίες είναι η (1) και η (2)

Πρέπει να τονίσουμε ότι στις συνδεσμολογίες αυτές τοποθετούμε πάντα κοντά στους πόλους 2 διόδους με τον κατάλληλη πολικότητα , ώστε να μην εκφορτίζεται η μπαταριά μέσα από το φωτοβολταϊκό πλαίσιο όταν έχουμε σκοτάδι ή χαμηλό φωτισμό

Το ρεύμα μέσα στο φωτοβολταϊκό πλαίσιο πηγαίνει από τον αρνητικό πόλο στον θετικό



Τεχνικά χαρακτηριστικά ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου

Στην κατασκευή ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου δυο παράμετροι θα μας απασχολήσουν :

1. Η τάση που βγάζει στην έξοδο του , για να διαμορφώσουμε τις συστοιχίες μπαταριών για να τις φορτίσουμε
2. Η ισχύς που μπορεί να δώσει

Όποτε το πλήθος των φωτοβολταϊκών στοιχείων που θα χρησιμοποιηθούν και ο τρόπος συνδέσεις τους θα έχει να κάνει με τις δυο προηγούμενες παραμέτρους

Το κάθε φωτοβολταϊκό πλαίσιο συνοδεύεται από την εταιρεία με τα τεχνικά χαρακτηριστικά του Τα κυριότερα είναι :

- Μέγιστη Ισχύς και πως διαφοροποιείται με αλλαγές στην θερμοκρασία περιβάλλοντος
- Μέγιστη Τάση Ανοικτού Κυκλώματος και πως διαφοροποιείται με αλλαγές στην θερμοκρασία περιβάλλοντος
- Μέγιστη Ένταση Ρεύματος Βραχυκύκλωσης και πως διαφοροποιείται με αλλαγές στην θερμοκρασία περιβάλλοντος
- Απόδοση και πως διαφοροποιείται με αλλαγές στην θερμοκρασία περιβάλλοντος
- Διαστάσεις , Υλικό κατασκευής
- Αριθμός φωτοβολταϊκών στοιχείων στο φωτοβολταϊκό πλαίσιο

Electrical specifications	
Nom. power rating (P_{NOM}) as per STC ²	80 W
Tolerance of the nominal power (P_{NOM})	$\pm 5\%$
MPP voltage (V_{MPP})	17.5 V
MPP current (I_{MPP})	4.58 A
Open circuit voltage (V_{OC})	21.9 V
Short circuit current (I_{SC})	4.95 A
Temperature coefficient (P_{MPP})	$-0.48\%/^{\circ}\text{C}$
Temperature coefficient (V_{OC})	$-0.078\text{ V}/^{\circ}\text{C}$
Temperatur coefficient (I_{SC})	$2.2\text{ mA}/^{\circ}\text{C}$
Maximum system voltage	715 V

Cell specifications

Cells	monocrystalline
Number of cells	36
Cell dimensions	125 x 125 mm

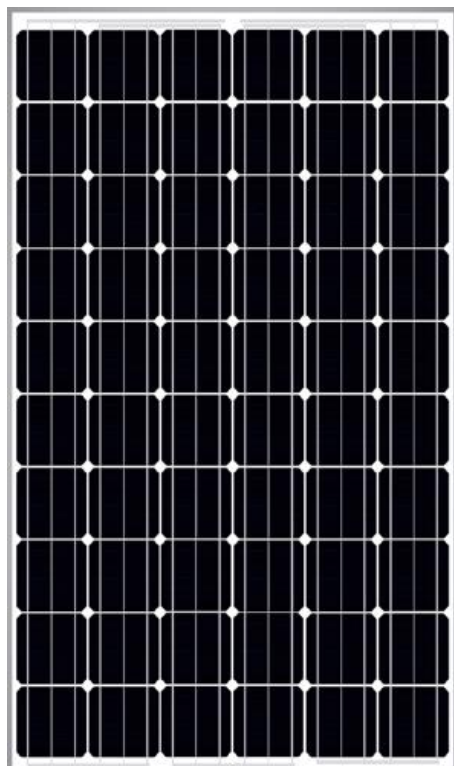
Module dimensions

Dimensions (L x W x H)	1,195 x 541 x 30 mm
------------------------	---------------------



Τεχνικά χαρακτηριστικά των Φ/Β σε συνθήκες εργαστηρίου

Θερμοκρασία επιφάνειας ($^{\circ}\text{C}$)	25	45	60
Μέγιστη ισχύς P_{mp} (Wp)	49	44,8	41,5
Τάση στην μέγιστη ισχύ V_{mp} (V)	17	15,44	14,27
Ένταση στην μέγιστη ισχύ I_{mp} (A)	2,88	2,9	2,91
Τάση ανοικτού κυκλώματος V_{oc} (V)	21,6	20	18,86
Ένταση βραχυκυκλώσεως I_{sc} (A)	3,15	3,17	3,18
Βαθμός απόδοσης η (%)	11,31	10,34	9,58
Μεταβολή χαρακτηριστικών $0,95\text{ (mA}/^{\circ}\text{C})$, $-79\text{ (mV}/^{\circ}\text{C})$, $-0,43\text{ (}/^{\circ}\text{C})$			



Μονοκρυσταλλικό Πυρίτιο απόδοσης 17% - 18%

ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Τεχνολογία Φ/Β στοιχείου	Γυαλί με επίστρωση Tedlar και πλαίσιο αλουμινίου
Εμπρόσθια επικάλυψη Ενθυλάκωση Οπίσθια επιφάνεια	Γυαλί υψηλής διαφάνειας (σκληρυμένο), 4 mm EVA-Φ/Β κυψέλες-EVA Δέσμη φύλλων Tedlar - Polyester - Tedlar, λευκό
Αριθμός και είδος κυψελών	60 μονοκρυσταλλικές κυψέλες
Διαστάσεις κυψελών	156 x 156 mm
Καλωδίωση- Ακροδέκτες	Τερματικό κουτί Tyco με Καλωδίωση 2 x 4 mm ² μήκους 1,2 m και ακροδέκτες Tyco
Δίοδοι by-pass	3 τεμάχια
Προδιαγραφή ασφάλειας	Κλάση A (σύμφωνα με το πρότυπο IEC 61730)
Διαστάσεις (ΜxΠxΥ)	1680 x 990 x 50 mm
Βάρος	24 kg
Μέγιστη τάση συστήματος	1000 V
Κατηγορία προστασίας IP	IP 65
Μηχανική αντοχή	Ανεμοπίεση έως 2400 Pa (ταχύτητα ανέμου 130 km/h με συντελεστή ασφαλείας 3) Φορτίο έως 5400 Pa
Πιστοποιήσεις	IEC 61215 Ed.2, Κλάση προστασίας II, IEC 61730

ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΕ STC

STC: Standard Test Conditions, συνθήκες ελέγχου: Ένταση ακτινοβολίας 1000 W/m², αέρια μάζα AM 1,5, θερμοκρασία 25±2 °C, σύμφωνα με EN 60904-3

Τεχνικά χαρακτηριστικά	SOLARWATT M250-60 GET AK			
Ονομαστική ισχύς P_N	235 Wp	240 Wp	245 Wp	250 Wp
Ονομαστική τάση U_{mp}	29,8 V	30,0 V	30,2 V	30,4 V
Ονομαστικό ρεύμα I_{mp}	7,90 A	8,01 A	8,12 A	8,23 A
Τιμή διαστασιοποίησης U_{oc}	37,1 V	37,3 V	37,5 V	37,7 V
Ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{sc}	8,59 A	8,64 A	8,69 A	8,75 A
Αντοχή ανάστροφου	20 A			

Ανοχές μέτρησης P_{max} : ±5%

*Αντοχή ανάστροφου ρεύματος: η λειτουργία των πλαισίων με ρεύμα από άλλη πηγή επιτρέπεται μόνο με τη χρήση ασφάλειας ρεύματος < 2 x I_{sc} @ NOCT

Μεταβολή βαθμού απόδοσης πλαισίου σε μειωμένη ένταση ακτινοβολίας από 1000 W/m² σε 200 W/m², θερμοκρασία 25 °C: 4±2% (σχετική) / -0,6±0,3% (απόλυτη).

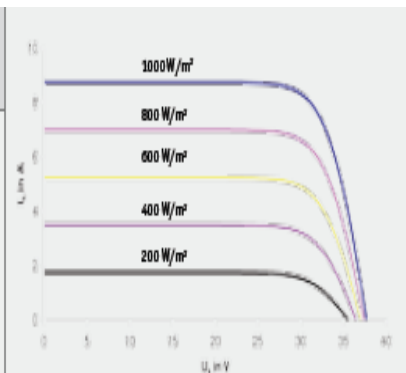
ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΕ NOCT

NOCT: Normal Operation Cell Temperature, συνθήκες ελέγχου: Ένταση ακτινοβολίας 800 W/m², AM 1,5, θερμοκρασία 20 °C, ταχύτητα ανέμου 1m/s, λειτουργία ανοικτού κυκλώματος

Τεχνικά χαρακτηριστικά	SOLARWATT M250-60 GET AK			
Ονομαστική ισχύς P_N	173 W	176 W	180 W	184 W
Ονομαστική τάση U_{mp}	27,6 V	27,8 V	28,0 V	28,1 V
Τιμή διαστασιοποίησης U_{oc}	34,9 V	35,1 V	35,3 V	35,4 V
Ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{sc}	6,94 A	6,98 A	7,02 A	7,07 A

ΧΑΡ. ΚΑΜΠΥΛΕΣ

Χαρακτηριστική καμπύλη ρεύματος-τάσης με διαφορετική προσπίπτουσα ακτινοβολία



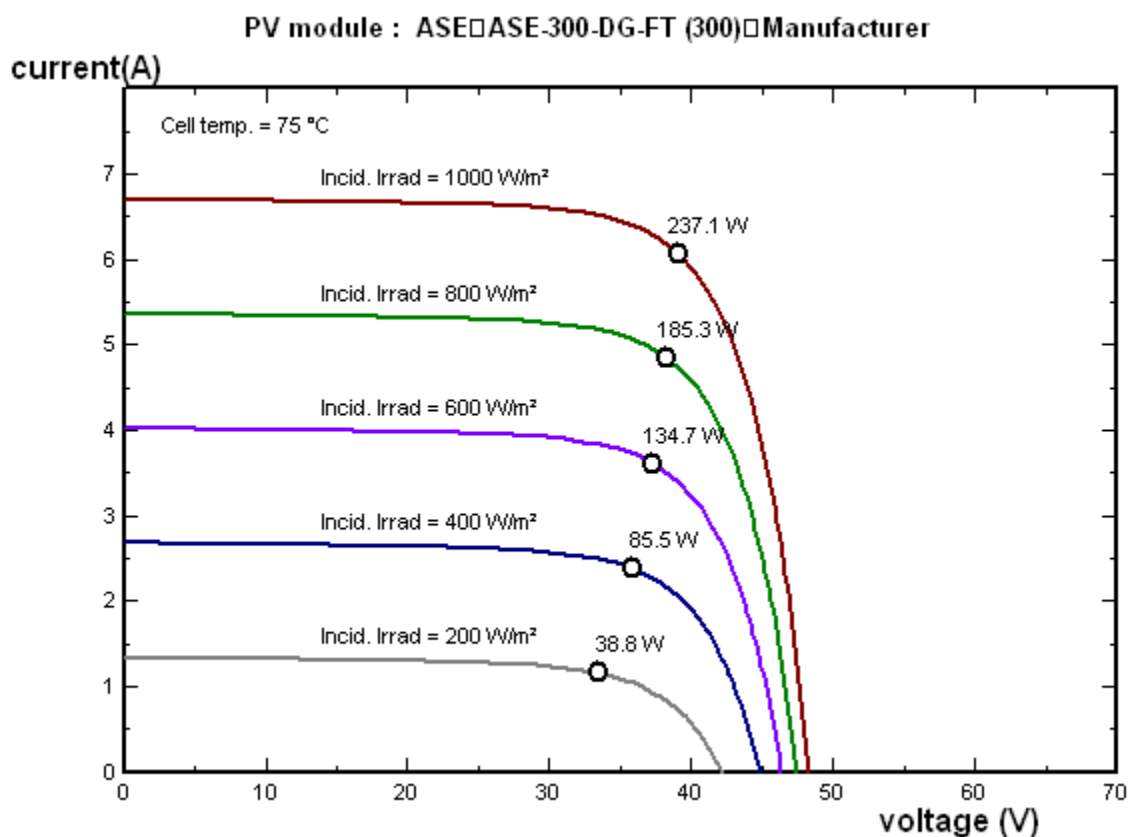
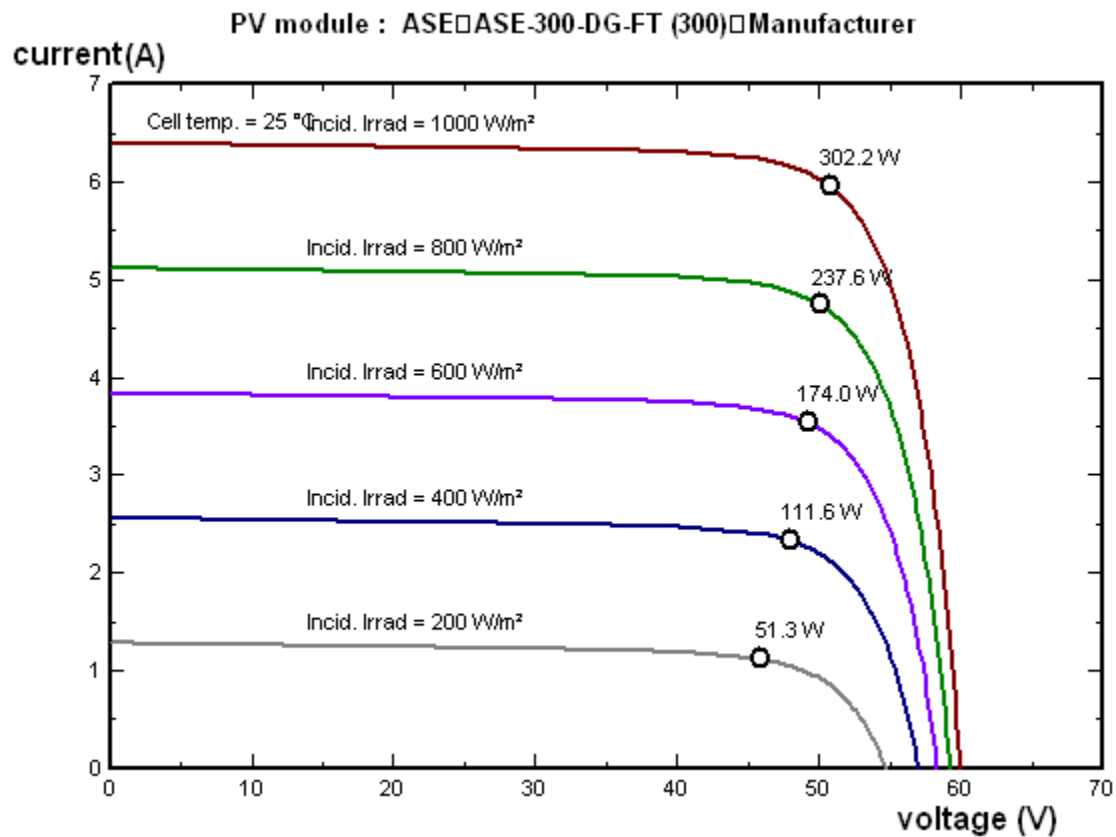
ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Εύρος θερμοκρασίας λειτουργίας	-40 ... +80 °C
Εύρος θερμοκρασίας περιβάλλοντος	-40 ... +45 °C
Συντελεστής θερμοκρασίας P_N	-0,41%/K
Συντελεστής θερμοκρασίας U_{oc}	-0,30%/K
Συντελεστής θερμοκρασίας I_{sc}	0,05%/K
NOCT	45 °C

Παρακάτω βλέπουμε τις χαρακτηριστικές ενός συγκεκριμένου φωτοβολταϊκού πλαισίου για διαφορές πυκνότητες ηλιακής ακτινοβολίας .

Σε κάθε καμπύλη φαίνεται και η μέγιστη ισχύς που μπορούμε να πάρουμε

Το πρώτο διάγραμμα είναι για θερμοκρασία 25°C και το δεύτερο για θερμοκρασία 75°C

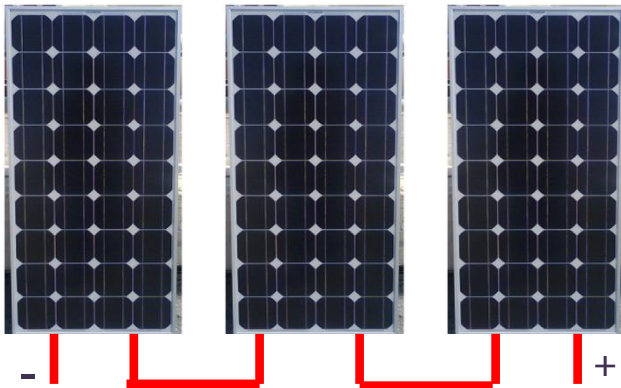


Συνδεσμολογίες Φωτοβολταϊκών Πλαισίων

Όπως φωτοβολταϊκά στοιχεία συνδέονται σε σειρά , παράλληλα , μεικτά για να φτιάξουμε ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο με τα κατάλληλα χαρακτηριστικά τάσης , ρεύματος , ισχύος

Με τον ίδιο τρόπο συνδέουμε και φωτοβολταϊκά πλαίσια σε σειρά , παράλληλα , μεικτά για να πετύχουμε νέα χαρακτηριστικά τάσης , ρεύματος , ισχύος

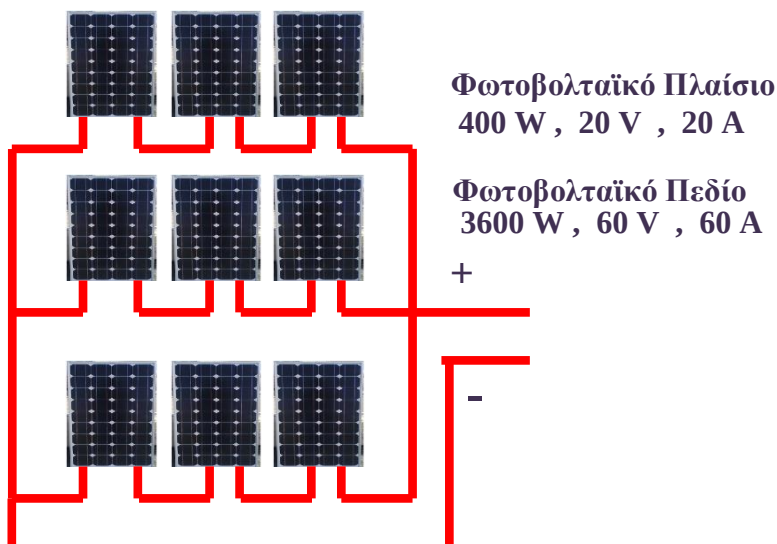
Φωτοβολταϊκά Πλαίσια σε Σειρά
Ίδιο Ρεύμα τριπλασιασμός Τάσης



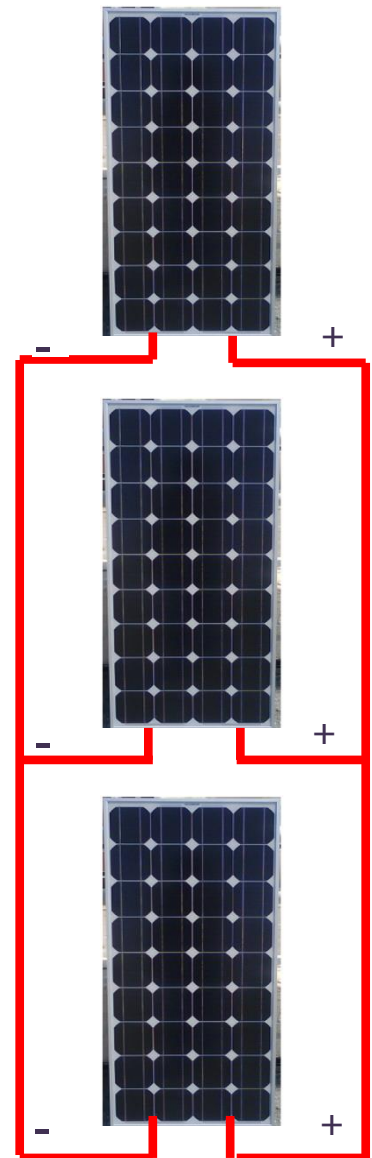
Όταν τα Φωτοβολταϊκά Πλαίσια προορίζονται για να αποθηκεύουν ηλεκτρική ενέργεια , η οποία στην συνέχεια θα χρησιμοποιηθεί από τον καταναλωτή , θα πρέπει να ξέρουμε την τάση που θα δίνουν για να επιλέξουμε και την κατάλληλη συστοιχία συσσωρευτών

Όταν τα Φωτοβολταϊκά Πλαίσια προορίζονται για να στέλνουν την ηλεκτρική ενέργεια , στο δίκτυο της Δ.Ε.Η (ηλεκτρικής εταιρείας) τότε δεν χρησιμοποιούμε συσσωρευτές για αποθήκευση

Η μεικτή συνδεσμολογία πολλών φωτοβολταϊκών πλαισίων φτιάχνει ένα Φωτοβολταϊκό Πεδίο



Φωτοβολταϊκά Πλαίσια Παράλληλα
Ίδια Τάση τριπλασιασμός Ρεύματος



Κεφάλαιο 6°

Ρυθμιστής Τάσης Φόρτισης

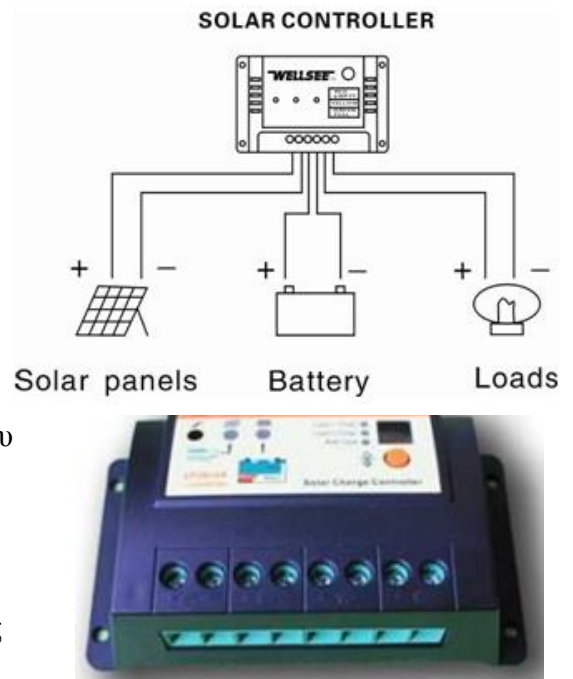
Ο ρόλος του ρυθμιστή τάσης σε μια φωτοβολταϊκή εγκατάσταση

Συνδέεται με την φωτοβολταϊκή εγκατάσταση και με την συστοιχία συσσωρευτών

Ελέγχει στη διαδικασία φόρτισης και εκφόρτισης των συσσωρευτών, να μην ξεπεραστούν κάποια όρια και έχουμε υπερφόρτιση ή βαθιά εκφόρτιση
Αυτά τα δυο αποτελούν τις δύο κυριότερες αιτίες καταπόνησης των συσσωρευτών και μειώνουν κατά πολύ το χρόνο ζωής τους.

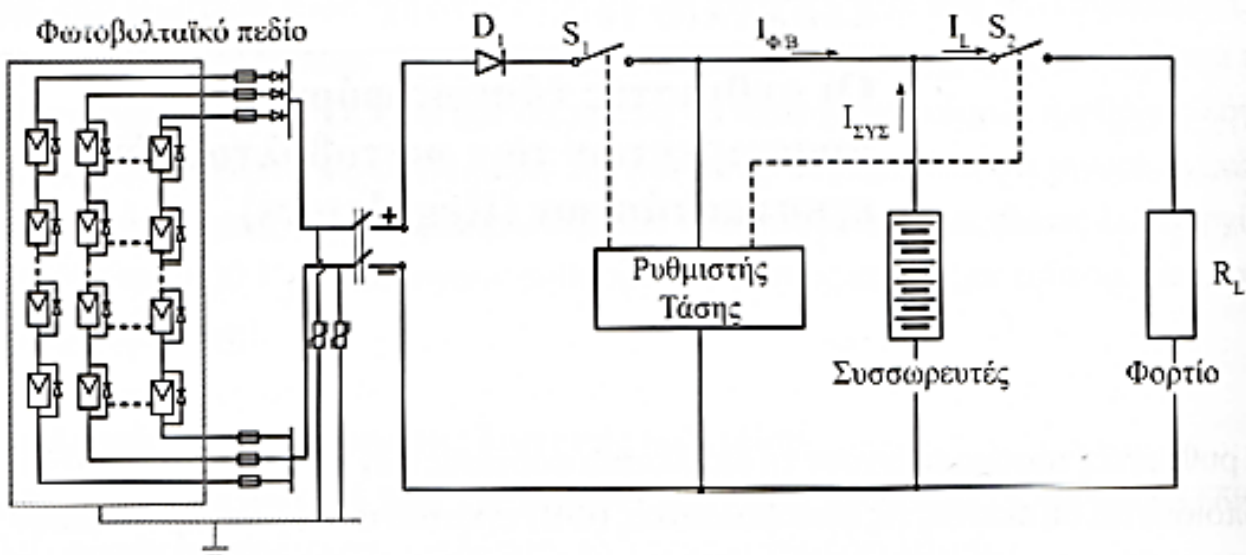
Η φόρτιση των συσσωρευτών γίνεται μέσω ενός συστήματος ζεύξης που συνήθως τοποθετείται στην έξοδο του φωτοβολταϊκού πεδίου και συνδέεται είτε σε σειρά είτε παράλληλα

Η εκφόρτιση των συσσωρευτών γίνεται μέσω ενός άλλου συστήματος ζεύξης που τοποθετείται μετά τους συσσωρευτές και είναι συνδεδεμένο σε σειρά με το φορτίο

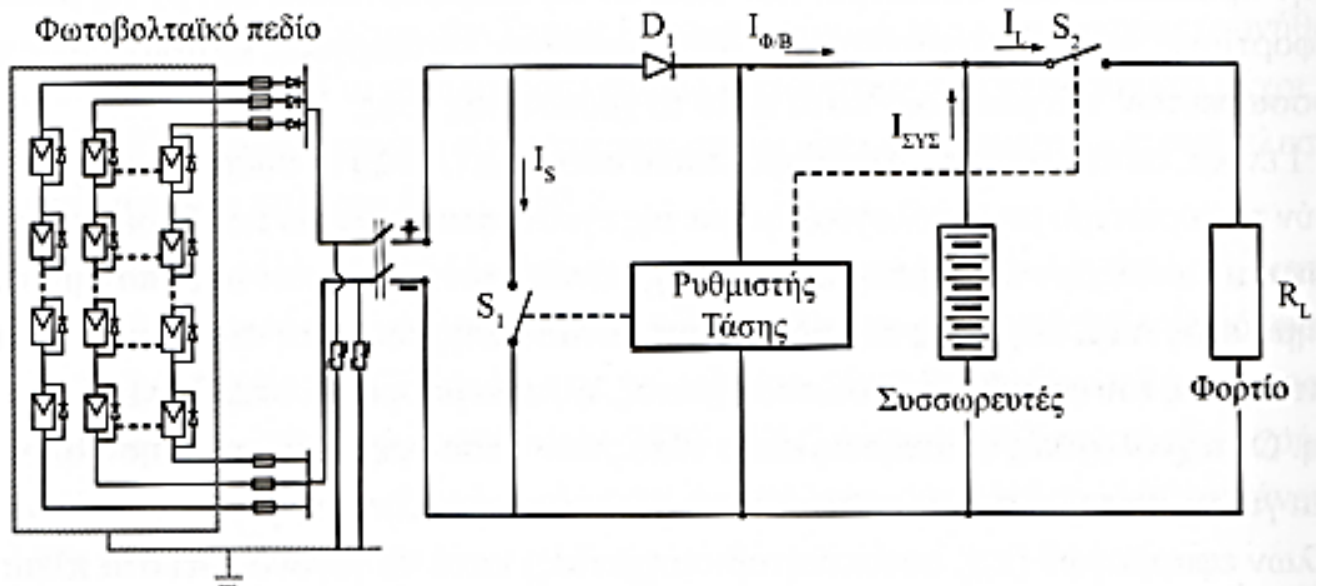


Τρόπος σύνδεσης του ρυθμιστή τάσης σε μια φωτοβολταϊκή εγκατάσταση

- Ο ρυθμιστής έχει σειριακή ζεύξη στην είσοδο και στην έξοδο
Όταν ο συσσωρευτής φορτίζεται, θα πρέπει ο ρυθμιστής να έχει τον διακόπτη S_1 κλειστό
Όταν πρέπει να σταματήσουμε την φόρτιση του συσσωρευτή ο ρυθμιστής αναλαμβάνει να ανοίξει τον διακόπτη S_1
Όταν ο συσσωρευτής εκφορτίζεται και δίνει ηλεκτρική ενέργεια στο φορτίο, θα πρέπει ο ρυθμιστής να έχει τον διακόπτη S_2 κλειστό
Όταν θέλουμε να σταματήσουμε την εκφόρτιση του ο ρυθμιστής αναλαμβάνει να ανοίξει τον διακόπτη S_2
Η διάοδος D_1 εμποδίζει την εκφόρτιση των συσσωρευτών την νύχτα



- Ο ρυθμιστής έχει παράλληλη ζεύξη στην είσοδο και σειριακή στην έξοδο
Όταν ο συσσωρευτής φορτίζεται, θα πρέπει ο ρυθμιστής να έχει τον διακόπτη S_1 ανοικτό
Όταν πρέπει να σταματήσουμε την φόρτιση του συσσωρευτή ο ρυθμιστής αναλαμβάνει να κλείσει τον διακόπτη S_1
Όταν ο συσσωρευτής εκφορτίζεται και δίνει ηλεκτρική ενέργεια στο φορτίο, θα πρέπει ο ρυθμιστής να έχει τον διακόπτη S_2 κλειστό
Όταν θέλουμε να σταματήσουμε την εκφόρτιση του ο ρυθμιστής αναλαμβάνει να ανοίξει τον διακόπτη S_2
Η δίοδος D_1 εμποδίζει την εκφόρτιση των συσσωρευτών την νύχτα



Οι ρυθμιστές τάσης ανάλογα πως ελέγχουν τους διακόπτες τους χωρίζουμε σε τρεις κατηγορίες :

1. Στους ρυθμιστές που ανοιγοκλείνουν τους διακόπτες με την βοήθεια ηλεκτρονόμων (Ρελέ) ή ημιαγωγών εξαρτημάτων ανάλογα με την κατάσταση (φθηνή λύση)
2. Στους ρυθμιστές που φροντίζουν να φορτίζεται ο συσσωρευτής με σταθερή τάση (καλή λύση)
3. Στους ρυθμιστές που εκτός των άλλων ρυθμίζουν το φορτίο ώστε η φωτοβολταϊκή εγκατάσταση να λειτουργεί στο σημείο μεγίστης ισχύος , οπότε έχουμε την μεγαλύτερη απόδοση (η καλύτερη λύση για μεγάλες μονάδες)

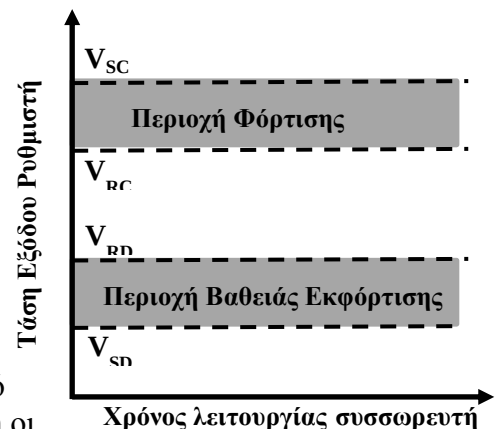
Ο ρυθμιστής πρέπει να παρακολουθεί με μεγάλη ακρίβεια την ελάχιστη διακύμανση τάσης που μπορεί να εμφανίζεται μεταξύ των πόλων της συστοιχίας των συσσωρευτών.

Για το λόγο ο ρυθμιστής τάσης θα πρέπει να κοντά στους συσσωρευτές

Χαρακτηριστικές τιμές τάσεις στους συσσωρευτές που ελέγχονται από ρυθμιστή τάσης

Στο διπλανό διάγραμμα φαίνονται 4 χαρακτηριστικές τιμές τάσεις στα άκρα τις συστοιχίας των συσσωρευτών εξόδου ενός ρυθμιστή τάσης

- V_{SC} (stop charging)
Όταν η τάση στα άκρα των συσσωρευτών υπερβεί την τιμή V_{SC} διακόπτεται η φόρτιση , ενώ το φορτίο παίρνει ενέργεια
- V_{RC} (recover charging)
Όταν η τάση στα άκρα των συσσωρευτών ανεβαίνει πάνω από την τιμή V_{RC} δεν συμβαίνει τίποτα στους διακόπτες , δηλαδή οι συσσωρευτές φορτίζονται και το φορτίο παίρνει ενέργεια



Όταν η τάση στα άκρα των συσσωρευτών κατεβαίνει κάτω από την τιμή V_{RC} διακόπτεται η φόρτιση , ενώ το φορτίο παίρνει ενέργεια

- V_{SD} (stop discharging)

Όταν η τάση στα άκρα των συσσωρευτών φτάσει την τιμή V_{SD} διακόπτεται η παροχή ενέργειας στο φορτίο , ενώ συνεχίζεται η φόρτιση των συσσωρευτών

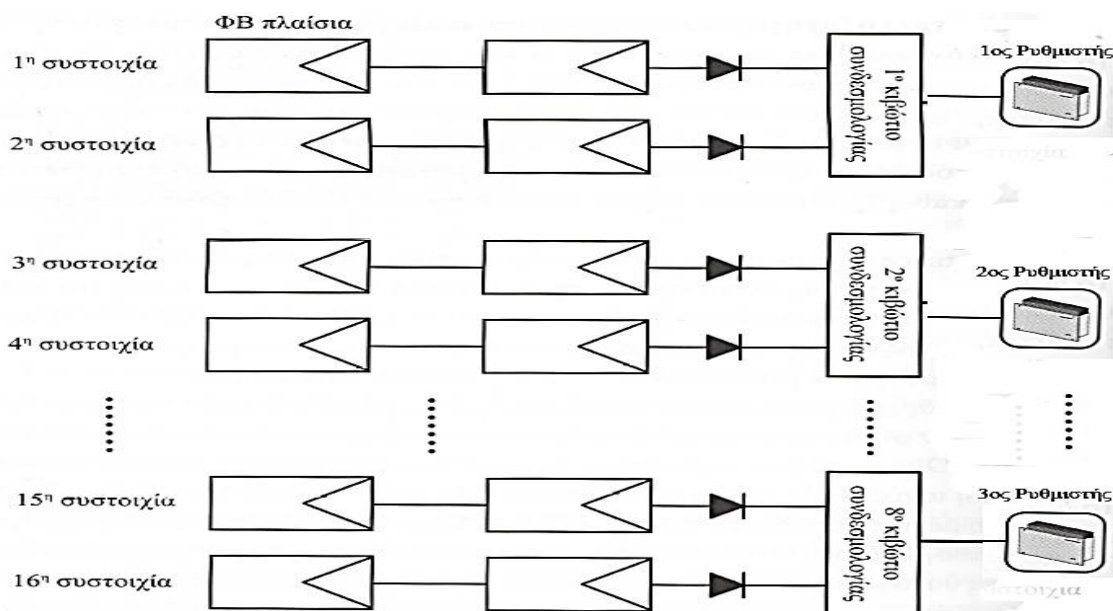
- V_{RD} (recover discharging)

Όταν η τάση στα άκρα των συσσωρευτών κατεβαίνει κάτω από την τιμή V_{RD} δεν συμβαίνει τίποτα στους διακόπτες , δηλαδή οι συσσωρευτές φορτίζονται και το φορτίο παίρνει ενέργεια. Αν όμως ο ρυθμός παροχής ενέργειας στο φορτίο είναι μεγαλύτερος από τον ρυθμό αποθήκευσης ενέργειας στους συσσωρευτές , τότε για προστασία διακόπτεται η παροχή ενέργειας στο φορτίο

Τεχνικά χαρακτηριστικά ενός ρυθμιστή τάσης

1. Ισχύς Εισόδου είναι η ισχύς που αποδίδεται από το φωτοβολταϊκό πεδίο στο ρυθμιστή φόρτισης. Θα πρέπει ταυτόχρονα και το εύρος τιμών της τάσεως εισόδου του ρυθμιστή να είναι συμβατό με την τάση εξόδου του φωτοβολταϊκού πεδίου
Πχ Αν διαθέτουμε ένα ρυθμιστή φόρτισης με στοιχείά εισόδου 1000 W , $70 - 100\text{ V}$ σημαίνει Ότι μπορεί να δεχτεί από το φωτοβολταϊκό πεδίο ισχύ μέχρι 1000 W και τάση που να βρίσκεται στην περιοχή $70 - 100\text{ V}$
2. Τάση Εξόδου , διαφέρει από την τιμή της τάσης εισόδου και συνδέεται άμεσα με τον τύπο των χρησιμοποιούμενων συσσωρευτών και την ακριβή συνδεσμολογία τους.
Δηλαδή, όταν η ονομαστική τάση ολόκληρης της διάταξης των συσσωρευτών είναι 48 V , θα πρέπει και ο ρυθμιστής φόρτισης να υποστηρίζει τάση εξόδου 48 V . ($12\text{V}/24\text{V}/36\text{V}/48\text{V}$).
3. Ρεύμα Εξόδου πρέπει να είναι συμβατό με το μέγιστο ρεύμα φόρτισης των συσσωρευτών.
4. Πλήθος παράλληλων ρυθμιστών: για μεγάλη φωτοβολταϊκή εγκατάσταση
5. Δυνατότητα ρύθμισης του φορτίου ώστε να ανιχνεύεται το σημείο μέγιστης ισχύος και να αυξάνεται η απόδοση (MPPT Maximum Power Point Tracking)

Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε μια φωτοβολταϊκή εγκατάσταση με αρκετούς ρυθμιστές τάσης



Παρουσίαση εμπορικών ρυθμιστών τάσης



VICTRON 75V - 15A MPPT 400W

Τιμή με ΦΠΑ 99,00 €

VICTRON 100V - 15A MPPT 400W

Τιμή με ΦΠΑ 130,00 €



ΡΥΘΜΙΣΤΗΣ EP-SOLAR TRACER 12/24V - 150V 30A
- MPPT 780W

Τιμή με ΦΠΑ 199,00 €

ΡΥΘΜΙΣΤΗΣ EP-SOLAR TRACER 12/24V - 100V 40A
- MPPT 1.040W

Τιμή με ΦΠΑ 227,00 €



VICTRON 75V - 50A
MPPT 1.400W

Τιμή με ΦΠΑ 299,00 €



ΡΥΘΜΙΣΤΗΣ EP-SOLAR
TRACER 12/24/48V - 150V
60A - MPPT 3.200W

Τιμή με ΦΠΑ 575,00 €



VICTRON 150V - 70A
MPPT 4.000W

Τιμή με ΦΠΑ 679,00 €



CIS - MPPT

500 W - 75 V

12 / 24 V

20 A

140 ευρώ



PCM - MPPT

1000 W - 150 V

12 / 24 / 36 / 48 V

40 A

400 ευρώ

Κεφάλαιο 7^ο

Συσσωρευτές

Γενικά στοιχεία για συσσωρευτές

Σε ένα αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα (ΑΦΣ) οι συσσωρευτές αποτελούν το κυριότερο μη οικολογικό τμήμα της εγκατάστασης λόγω των βαρέων μετάλλων και των οξέων που περιέχουν. Συγχρόνως, είναι και το δαπανηρότερο τμήμα ενός ΑΦΣ λόγω της περιοδικής αντικατάστασής τους στη συνολική διάρκεια λειτουργίας του φωτοβολταϊκού συστήματος, η οποία μπορεί να υπερβαίνει και τα 30 έτη.

Οι τεχνολογικές απαιτήσεις και ο τύπος των συσσωρευτών που χρησιμοποιούνται για τις φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις διαφέρουν από εκείνες των συσσωρευτών άλλων εφαρμογών. Στα πλαίσια της λειτουργίας τους θα πρέπει να ικανοποιήσουν μεγάλο αριθμό κύκλων φορτίσεων – εκφορτίσεων ο οποίος τυπικά ποικίλλει από 1500-5000, και αντιστοιχεί σε αναμενόμενη διάρκεια ζωής 3-7 έτη.

Οι κοινοί συσσωρευτές μολύβδου-οξέος δεν είναι κατάλληλοι για χρήση στις φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις, θα πρέπει να προσθέσουμε ειδικές προσμίξεις (ασβέστιο Ca, ή αντιμόνιο Sb) για να μπορούμε να έχουμε βαθιές εκφορτίσεις χωρίς σημαντική μείωση στη διάρκεια ζωής τους.

Μορφή συσσωρευτών

Ο συσσωρευτής είναι μια διάταξη που αποθηκεύει χημική ενέργεια, και στην συνέχεια την μετατρέπει σε ηλεκτρική ενέργεια προκειμένου να τροφοδοτήσει ένα κύκλωμα. Τα πιο σημαντικά εξαρτήματα ενός συσσωρευτή είναι :

1. Περίβλημα (κέλυφος)

Το περίβλημα του συσσωρευτή πρέπει να είναι ανθεκτικό ώστε να μην διαβρώνεται ούτε εξωτερικά, αλλά ούτε και εσωτερικά.

Να είναι φθινό, ελαφρύ και να σφραγίζεται εύκολα. Στην περίπτωση των συσσωρευτών μολύβδου – οξέος το υλικό του περιβλήματος είναι πολυπροπυλένιο.

2. Διαχωριστικά

Στη θερμοκρασία λειτουργίας το διαχωριστικό υλικό πρέπει να είναι χημικά σταθερό και να μην αντιδρά με τον ηλεκτρολύτη ή τα ενεργά υλικά. και σκοπό έχει να απομονώνει τους δυο πόλους. Στην πράξη, χρησιμοποιείται μια μεγάλη ποικιλία υλικών για την κατασκευή των διαχωριστικών των συσσωρευτών. Ακόμα και σε συσσωρευτές του ίδιου τύπου μπορεί να χρησιμοποιηθούν διαφορετικά διαχωριστικά υλικά.

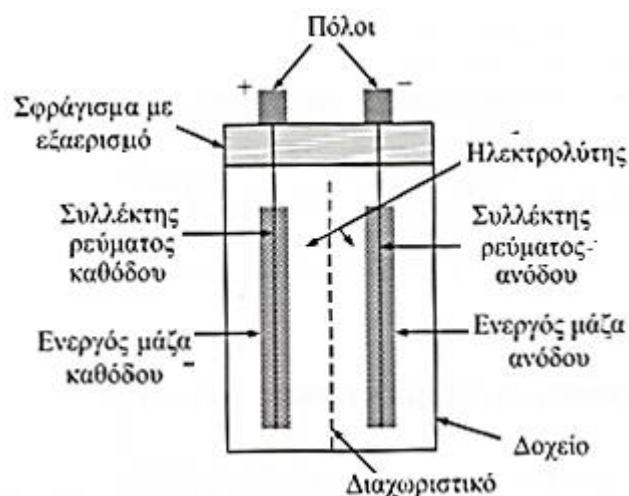
Στους συσσωρευτές μολύβδου – οξέος χρησιμοποιούμε μικροπορώδες πολυαιθυλένιο (διάμετρος πόρων (0,01 μm – 10 μm)

3. Ρευματοσυλλέκτες

Ο ρευματοσυλλέκτης είναι ένα πλατύ φύλλο ή πλέγμα μέσα στην ενεργό μάζα και μειώνει την ηλεκτρική αντίσταση του συσσωρευτή.

Επειδή η ενεργός μάζα έχει χαμηλή αγωγιμότητα ο ρευματοσυλλέκτης αναλαμβάνει να οδηγήσει τα ηλεκτρικά φορτία έξω από τον συσσωρευτή.

Στην περίπτωση των συσσωρευτών μολύβδου – οξέος, στον αρνητικό πόλο η ενεργός μάζα είναι από μολύβδο και δεν χρησιμοποιούμε ρευματοσυλλέκτη, στον θετικό πόλο η ενεργός μάζα είναι από διοξειδίο του μολύβδου και χρησιμοποιούμε ρευματοσυλλέκτη από μολύβδο.



4. Ηλεκτρολύτης

Είναι η χημική ουσία η οποία αλληλεπιδρά με τα ηλεκτρόδια και μας δίνει μια σειρά από ηλεκτροχημικές αντιδράσεις

Το αποτέλεσμα θα είναι η δημιουργία δυναμικού στα άκρα των πλακών

Όταν μειώνεται η θερμοκρασία του συσσωρευτή αυξάνεται η αντίσταση του ηλεκτρολύτη, κάτι που είναι μη επιθυμητό

Το βάρος του ηλεκτρολύτη επηρεάζει και το βάρος του συσσωρευτή.

Οι αποστάσεις μεταξύ των ηλεκτροδίων πρέπει να είναι οι ελάχιστες δυνατές, προκειμένου να ελαττώνεται η αντίσταση του συσσωρευτή, και το βάρος του ηλεκτρολύτη.

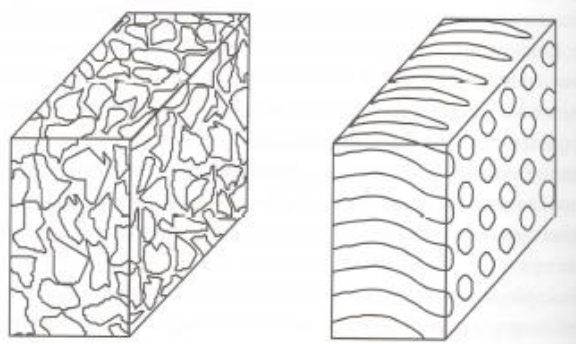
5. Ενεργά υλικά

Είναι τα υλικά που υπάρχουν στα δυο ηλεκτρόδια και αλληλεπιδρούν με τον ηλεκτρολύτη

Για να έχουμε καλύτερο αποτέλεσμα τα υλικά αυτά έχουν μια πορώδη μορφή και πολλές πόρες προσθέτουμε και άλλες ουσίες για καλύτερο αποτέλεσμα

Στην περίπτωση συσσωρευτών μολύβδου – οξέος στα ενεργά υλικά προσθέτουμε ιόντα ασβεστίου Ca ή αντιμονίου Sb για να μπορούμε να έχουμε βαθιές εκφορτώσεις

Στο εσωτερικό αυτών των ενεργών υλικών βρίσκονται οι ρευματοσυλλέκτες



6. Βαλβίδες Εξαερισμού

Ανάλογα με τις χημικές αντιδράσεις που γίνονται στο εσωτερικό του συσσωρευτή μπορεί να παράγονται αέρια τα οποία αυξάνουν την εσωτερική πίεση και πρέπει να εξέρχονται του συσσωρευτή με ελεγχόμενο τρόπο μέσω βαλβίδων εξαερισμού. (O_2 , H_2)

Κατηγορίες συσσωρευτών

Οι μπαταρίες χωρίζονται σε δυο μεγάλες κατηγορίες :

- Στις Πρωτεύουσες Μπαταρίες.

Αυτές οι μπαταρίες δεν έχουν τη δυνατότητα εύκολης ή αποτελεσματικής ηλεκτρικής επαναφόρτισης και, για το λόγο αυτό, εκφορτίζονται μια φορά και στη συνέχεια απορρίπτονται.

- Στις Δευτερεύουσες ή Επαναφορτιζόμενες Μπαταρίες.

Αυτές οι μπαταρίες μπορούν να επαναφορτιστούν ηλεκτρικά, μετά από την εκφόρτισή τους, στην αρχική τους κατάσταση με τη διαδικασία ροής ρεύματος μέσα από αυτές στην αντίθετη όμως κατεύθυνση από αυτή του ρεύματος εκφόρτισης.

Είναι συσκευές αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας και είναι γνωστές σαν συσσωρευτές

Παρακάτω αναφέρονται διάφοροι τύποι συσσωρευτών, από αυτούς στα φωτοβολταϊκά σύστημα χρησιμοποιούνται ευρέως μόνο οι δυο πρώτοι

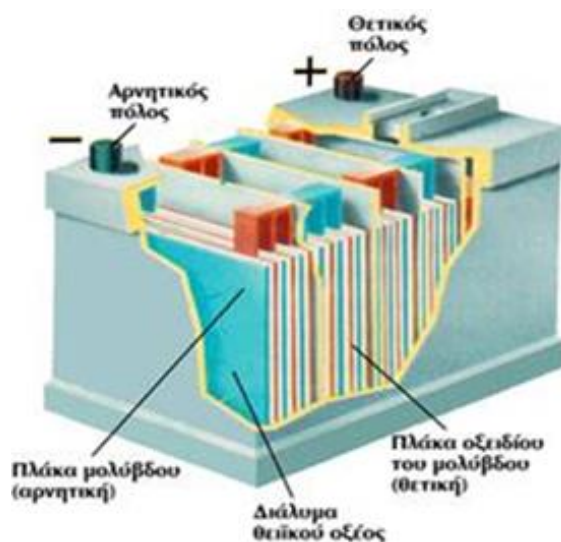
1) Συσσωρευτές Μολύβδου - Οξέος,

Ο θετικός πόλος αποτελεί την κάθοδο και είναι φτιαγμένος από οξείδιο του μολύβδου PbO_2

Ο αρνητικός πόλος αποτελεί την άνοδο και είναι φτιαγμένος από μόλυβδο Pb

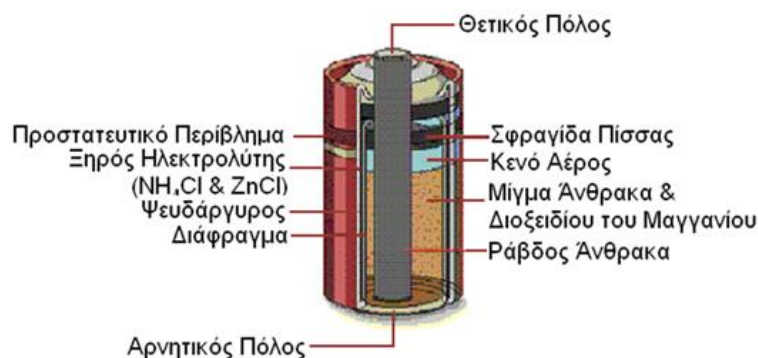
Ηλεκτρολύτης είναι το θειικό οξύ H_2SO_4

Το δυναμικό του κάθε κελιού είναι 2,05 V



- 2) Συσσωρευτές Νικελίου - Καδμίου,
Ο θετικός πόλος αποτελεί την κάθοδο και είναι φτιαγμένος από νικέλιο Ni
Ο αρνητικός πόλος αποτελεί την άνοδο και είναι φτιαγμένος από κάδμιο Cd . Ο ηλεκτρολύτης είναι το υδροξείδιου του καλίου KOH
Το δυναμικό του κάθε κελιού είναι 1,48 V

- 3) Συσσωρευτές Ψευδαργύρου - Άνθρακα,
Ο θετικός πόλος αποτελεί την κάθοδο και είναι φτιαγμένος από γραφίτη C
Ο αρνητικός πόλος αποτελεί την άνοδο και είναι φτιαγμένος από ψευδάργυρο Zn
Ηλεκτρολύτης είναι χλωριούχο αμμώνιο , χλωριούχος ψευδάργυρος , διοξείδιο του μαγγανίου , σκόνη άνθρακα
NH₄Cl , ZnCl₂ , MnO₂ , C
Το δυναμικό του κάθε κελιού είναι 1,55 V



- 4) Νικελίου σιδήρου 5) Υδριδικές νικελίου 6) Λιθίου διάφορων τύπων

Απαιτήσεις συσσωρευτών

Οι απαιτήσεις που πρέπει να ικανοποιούν τα συστήματα αποθήκευσης σε ένα αυτόνομο σύστημα παραγωγής ισχύος είναι πάρα πολλές . Ορισμένες από τις πιο σημαντικές απαιτήσεις είναι :

- Υψηλή ενεργειακή απόδοση
- Μεγάλη διάρκεια ζωής (σε χρόνια)
- Χαμηλό κόστος
- Καλή αποδοτικότητα φόρτισης ακόμα και σε πολύ μικρά ρεύματα
- Χαμηλός ρυθμός αυτοεκφόρτισης
- Μικρές απαιτήσεις συντήρησης
- Εύκολη ανεύρεση στην αγορά
- Εύκολη εκτίμηση της κατάστασης φόρτισης
- Εύκολα ανακυκλώσιμη
- Χαμηλή τοξικότητα των υλικών
- Ασφαλής συμπεριφορά σε περίπτωση υπερφόρτισης ή βαθιάς εκφόρτισης
- Εύκολη επεκτασιμότητα τάσης και χωρητικότητας μέσω συνδέσεων σε σειρά και παράλληλα
- Μικρό χάσμα τάσης μεταξύ φόρτισης και εκφόρτισης
- Ικανότητα γρήγορης φόρτισης
- Χαμηλές εκρηκτικές δυνατότητες

Χαρακτηριστικά συσσωρευτών

1. Χωρητικότητα

Ορίζεται το φορτίο που μπορεί να αποδοθεί από ένα συσσωρευτή.

Συνήθως, αναφέρεται με μονάδες αμπερώρια Ah (ποσά αμπερ μπορεί να δώσει σε 1 ώρα)

Έχει σχέση με τη γεωμετρία και το μέγεθος του κάθε συσσωρευτή.

Η ονομαστική χωρητικότητα ενός ηλεκτροδίου (π.χ. άνοδος ή κάθοδος) εξαρτάται από το βάρος του ενεργού υλικού του ηλεκτροδίου

Η πραγματική χωρητικότητα του κάθε ηλεκτροδίου, και επομένως του συσσωρευτή, εξαρτάται από την ποσότητα του ενεργού υλικού το οποίο μπορεί να καταναλωθεί κατά την εκφόρτιση, διατηρώντας σταθερή ένταση ρεύματος και προσδιορίζεται μόνο πειραματικά.

Η χωρητικότητα ενός συσσωρευτή εξαρτάται και από τις συνθήκες εκφόρτισης , δηλαδή την ένταση του ρεύματος εκφόρτισης και την θερμοκρασία

πχ αν έχουμε ένα συσσωρευτή με ονομαστική χωρητικότητα 200 Ah τότε μπορεί να μας δώσει 20 A για 10 h ή 10 A για 20 h ή 40 A για 5 h σε κανονική θερμοκρασία 25° C

2. Τάση

Είναι η διαφορά δυναμικού ανάμεσα στο θετικό και το αρνητικό ηλεκτρόδιο.

Η διαφορά δυναμικού, μετριέται σε volts και αναφέρεται ως τάση του στοιχείου ή της μπαταρίας.

Ένα μόνο στοιχείο μολύβδου οξέος έχει διαφορά δυναμικού περίπου 2 V υπό φορτίο.

Ένα πλήρως εκφορτισμένο στοιχείο μολύβδου οξέος έχει διαφορά δυναμικού περίπου 1.75 V,

Η τάση ανοικτού κυκλώματος είναι η τάση στα άκρα μπαταρίας όταν δεν διαρρέεται από ρεύμα

Η τάση κλειστού κυκλώματος είναι η τάση στα άκρα της μπαταρίας όταν διαρρέεται από ρεύμα και εξαρτάται από το ρεύμα, που την διαρρέει, τη στάθμη φόρτισης, την γήρανση της.

Τυπικά, οι ονομαστικές τάσεις των στοιχείων είναι μεταξύ 1,2 και 3,6 V.

Αν συνδέσουμε πολλά στοιχεία σε σειρά πετυχαίνουμε μεγαλύτερη ονομαστική τάση.

πχ για να φτιάξουμε μια μπαταρία 12 V, συνδέουμε 6 στοιχεία των 2 V σε σειρά

3. Ένταση Ρεύματος

Η ένταση του ρεύματος είναι ένα μέτρο του ρυθμού με τον οποίο εκφορτίζεται ο συσσωρευτής.

Η ένταση του ρεύματος και το δυναμικό του συσσωρευτή είναι άμεσα συσχετισμένα μεταξύ τους.

Για να πάρουμε στιγμιαία μεγάλη τιμή έντασης ρεύματος χωρίς να μειωθεί το δυναμικό θα πρέπει για γίνονται πολύ γρήγορα οι αντιδράσεις, και να έχει σχεδιαστεί σωστά το ενεργό υλικό

4. Στάθμη Φόρτισης

Το ποσοστό της χωρητικότητας που είναι διαθέσιμη στο συσσωρευτή μια συγκεκριμένη στιγμή.

100% στάθμη φόρτισης σημαίνει ότι ο συσσωρευτής είναι πλήρως φορτισμένος

0% στάθμη φόρτισης σημαίνει ότι ο συσσωρευτής έχει εκφορτιστεί.

Για τη διαχείριση της ενέργειας στα αυτόνομα συστήματα, η χωρητικότητα του συσσωρευτή και η πραγματική στάθμη φόρτισης είναι οι πιο σημαντικές παράμετροι.

Ο καθορισμός της στάθμης φόρτισης είναι δύσκολος σε αυτόνομα συστήματα παραγωγής ενέργειας με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας επειδή η πλήρης φόρτιση του συσσωρευτή είναι δύσκολο να επιτευχτεί

5. Βάθος Εκφόρτισης

Το βάθος εκφόρτισης είναι το αντίθετο από στάθμη φόρτισης, δηλαδή το ποσοστό της χωρητικότητας που έχει αφαιρεθεί από τον πλήρως φορτισμένο συσσωρευτή.

Αν η στάθμη φόρτισης είναι 100%, το βάθος εκφόρτισης είναι 0 %

Αν η στάθμη φόρτισης είναι 75%, το βάθος εκφόρτισης είναι 25 %

Αν η στάθμη φόρτισης είναι 30%, το βάθος εκφόρτισης είναι 70 %

Αν η στάθμη φόρτισης είναι 0%, το βάθος εκφόρτισης είναι 100 %

6. Κύκλος Ζωής

Είναι επαναλαμβανόμενη διαδικασία εκφόρτισης και φόρτισης που συμβαίνει σε ένα συσσωρευτή σε λειτουργία. Ένας κύκλος ισοδυναμεί με μια φόρτιση και εκφόρτιση

Ο κύκλος ζωής είναι ένα μέτρο του πόσους κύκλους μια μπαταρία μπορεί να δώσει κατά τη διάρκεια της χρήσιμης ζωής της πριν φτάσει η χωρητικότητά της στο 80% της αρχικής τιμής

Ο κύκλος ζωής εξαρτάται σε πολύ μεγάλο βαθμό από το βάθος του κάθε κύκλου.

7. Αποδοση Φορτίου

Ορίζεται ως ο λόγος των αμπερωρίων που δίνει η μπαταρία κατά την εκφόρτιση προς τα αμπερώρια που παίρνει ο συσσωρευτής κατά την φόρτιση μέσα σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Η απόδοση φορτίου είναι κοντά στην μονάδα

8. Αποδοση Ενέργειας

Ορίζεται ο λόγος της ενέργειας που δίνει ο συσσωρευτής κατά την εκφόρτιση προς την ενέργεια που παίρνει κατά την φόρτιση μέσα σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο

Η απόδοση ενέργειας είναι πάντα μικρότερη από την απόδοση φορτίου διότι οι συσσωρευτές εκφορτίζονται σε χαμηλότερη τάση από ότι φορτίζονται

9. Εσωτερική Αντίσταση

Χαρακτηρίζει την ικανότητα της μπαταρίας να χειρίζεται το φορτίο που προσφέρεται σε μια συσκευή . Θα πρέπει η εσωτερική αντίσταση της μπαταρίας να είναι αρκετά μικρότερη από την αντίσταση της συσκευής για να έχουμε σωστή τροφοδοσία με περιορισμένες απώλειες

10. Μέρες αυτονομίας

Είναι το χρονικό διάστημα που υπολογίζεται από τον λόγο της θεωρητικής ενέργειας που αποθηκεύει μια πλήρως φορτισμένη μπαταρία προς τη μέση ημερήσια ενέργεια που αποδίδει .

11. Χρόνος ζωής

Ο χρόνος ζωής μιας μη επαναφορτιζόμενης μπαταρίας είναι ο χρόνος που χρειάζεται η μπαταρία για να φτάσει το 90% της αρχικής της χωρητικότητας.

Αντίθετα, ο χρόνος ζωής μιας επαναφορτιζόμενης μπαταρίας ορίζεται σαν τη διάρκεια ικανοποιητικής επίδοσης που μετράται από το χρόνο που απαιτείται για να φτάσει η μπαταρία στο 80% της αρχικής της χωρητικότητας.

12. Αυτοεκφόρτιση

Αυτοεκφόρτιση ονομάζεται η απώλεια φορτίου σε μια μπαταρία αν αυτή αφεθεί σε κατάσταση ανοικτού κυκλώματος για υπολογίσιμο χρονικό διάστημα.

Για επαναφορτιζόμενες μπαταρίες, ο ρυθμός αυτοεκφόρτισης συνήθως αντιστοιχεί σε ένα ποσοστό χωρητικότητας που χάνεται ανά μήνα όταν αρχίζουμε με μια πλήρως φορτισμένη μπαταρία, σημαντικό ρολό παίζει και η θερμοκρασία της μπαταρίας.

Σε πολλές περιπτώσεις, ο ρυθμός αυτοεκφόρτισης διπλασιάζεται για κάθε αύξηση 10°C στη θερμοκρασία της μπαταρίας.

13. Προδιαγραφές

Ο κάθε συσσωρευτής σχεδιάζεται για μια καθορισμένη λειτουργία . Για τον λόγο αυτόν πρέπει να ακολουθεί τις προδιαγραφές του εργοστασίου , αν θέλουμε να έχει μεγάλη διάρκεια ζωής χωρίς προβλήματα

Συσσωρευτές Μολύβδου – Οξέως

Οι μπαταρίες μολύβδου οξέος καλύπτουν ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών

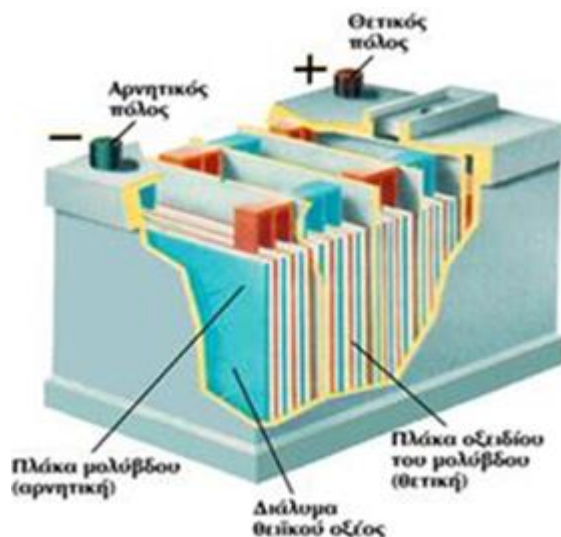
- α) σε οχήματα
- β) σε συστήματα σταθεροποίηση του δικτύου UPS
- γ) σε αυτόνομα συστήματα παροχής ηλεκτρικής ενέργειας

Οι μπαταρίες μολύβδου οξέος είναι ο φθηνότερος τύπος μπαταρίας συγκριτικά με άλλες επιλογές αλλά τα χαρακτηριστικά της και η απόδοσή της είναι πολύ ικανοποιητικά.

Στην κατάσταση φόρτισης οι μπαταρίες μολύβδου οξέος αποτελούνται από ένα θετικό ηλεκτρόδιο με διοξείδιο του μολύβδου (PbO_2) σαν ενεργό υλικό και ένα αρνητικό ηλεκτρόδιο στο οποίο το ενεργό υλικό είναι μεγάλης επιφάνειας σπογγώδης μολύβδος. Κατά την εκφόρτιση το διοξείδιο του μολύβδου και ο μολύβδος μετατρέπονται και τα δύο σε θειικό μολύβδο (PbSO_4)

Ανάμεσα στα ηλεκτρόδια, τοποθετείται ένας διαχωριστής που ως σκοπό έχει να αποτρέψει βραχυκυκλώματα μεταξύ των ηλεκτροδίων.

Ως ηλεκτρολύτης χρησιμοποιείται διάλυμα θειικού οξέος σε νερό ($\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$)



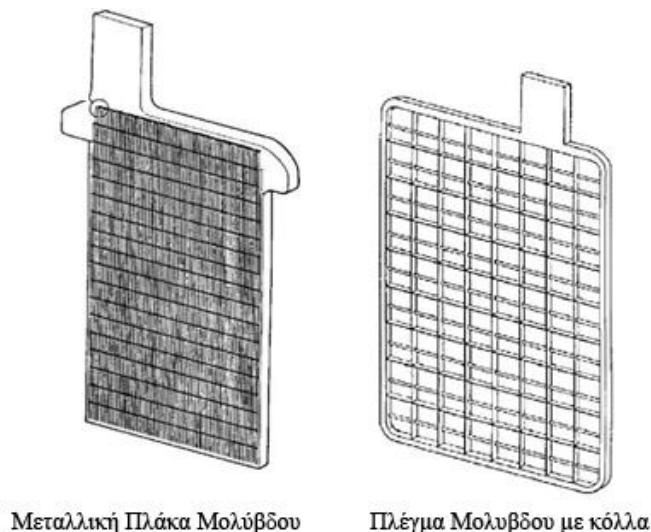
Ο ηλεκτρολύτης λαμβάνει μέρος στις βασικές αντιδράσεις φόρτισης και εκφόρτισης, καταναλώνεται κατά την εκφόρτιση και αναγεννιάται κατά τη φόρτιση.

Το απλούστερο ηλεκτρόδιο είναι μια επίπεδη πλάκα που αποτελείται από καθαρό μόλυβδο.

Για να αυξήσουμε την χωρητικότητα της μπαταρίας πρέπει να αυξήσουμε την επιφάνεια των ηλεκτροδίων που είναι εκτεθειμένη στον ηλεκτρολύτη

Αυτό το πετυχαίνουμε μετατρέποντας το ενεργό υλικό σε μια κόλλα που ενεργεί σα σφουγγάρι και ο ηλεκτρολύτης μπορεί να γεμίζει όλους τους πόρους.

Αυτή η κόλλα, τοποθετείται σε ένα πλέγμα και χρησιμεύει ως ο ηλεκτρικός αγωγός που μεταφέρει το ρεύμα τόσο κατά την φόρτιση όσο και κατά την εκφόρτιση (Ρευματοσυλλέκτης)



Η δομή του πλέγματος μοιάζει με κηρήθρα με την κόλλα να γεμίζει όλα τα παράθυρα στο πλέγμα. Συνήθως το πλέγμα είναι ένα κράμα μολύβδου με ασβέστιο ή αντιμόνιο ($Pb - Ca$ ή $Pb - Sb$) για να έχουμε ποιο σταθερή δομή και καλύτερα χαρακτηριστικά (βαθιά εκφόρτιση) Το δυναμικό του κάθε κελιού είναι 2,05 V

Οι συσσωρευτές μολύβδου οξέος διακρίνονται σε δύο τύπους με βάση τη μέθοδο κατασκευής τους.

- 1) Ανοικτού τύπου ή εξαεριζόμενες (flooded)
- 2) Κλειστού τύπου ή σφραγισμένες (sealed).

Όλοι οι συσσωρευτές μολύβδου οξέος παράγουν αέρια υδρογόνου και οξυγόνου στα ηλεκτρόδια κατά τη φόρτιση μέσω μιας διαδικασίας που ονομάζεται ηλεκτρόλυση.

Αυτά τα αέρια φεύγουν προς τα έξω στους συσσωρευτές ανοικτού τύπου , ενώ στους συσσωρευτές κλειστού τύπου συνδέονται και δίνουν νερό

Στους συσσωρευτές ανοικτού τύπου χρειάζεται η προσθήκη αποσταγμένου νερού , διαφορετικά κινδυνεύουν με καταστροφή , για αυτό σήμερα έχουν επικρατήσει η μπαταρίες κλειστού τύπου

Οι συσσωρευτές κλειστού τύπου συνήθως λέγονται VRLA (valve regulated lead acid)

Υπάρχουν δύο τύποι VRLA μπαταριών, ο τύπος AGM και ο τύπος GEL

Οι συσσωρευτές τύπου AGM παίρνουν το όνομά τους από ένα απορροφητικό στρώμα γυαλιού (absorbent glass mat - AGM) που τοποθετείται ανάμεσα στις σφικτά τοποθετημένες επίπεδες πλάκες. Όλο το οξύ απορροφάται από το γυάλινο διαχωριστικό στρώμα, του οποίου όμως οι πόροι δε γεμίζουν πλήρως. Οι άδειοι (ή σχεδόν άδειοι) πόροι παρέχουν ένα μονοπάτι ώστε το οξυγόνο που σχηματίζεται στο θετικό ηλεκτρόδιο κατά τη φόρτιση να κατευθυνθεί προς το αρνητικό ηλεκτρόδιο για σύνδεση με το υδρογόνο .

Οι AGM μπαταρίες παρουσιάζουν πρόβλημα στις υψηλές θερμοκρασίες γιατί υπάρχει απώλεια νερού

Οι συσσωρευτές τύπου GEL το θετικό οξύ αναμειγνύεται με σκόνη πυριτίου και σχηματίζει μια παχιά πάστα ή ζελέ (gel). Το πρόσφατα αναμειγμένο gel χύνεται στο δοχείο του στοιχείου πριν στερεοποιηθεί. Καθώς το gel στεγνώνει, σχηματίζονται μικροσκοπικές ρωγμές που επιτρέπουν τη διέλευση του οξυγόνου από τον θετικό ηλεκτρόδιο στο αρνητικό για να συνδεθεί με το υδρογόνο. Οι μπαταρίες τύπου GEL έχουν μεγαλύτερο χρόνο ζωής από τις αντίστοιχες τύπου AGM για αυτό είναι και ακριβότερες

Σήμερα μελετάνε οι επιστήμονες τον συνδυασμό συσσωρευτών μολύβδου μαζί με σουπερ – πυκνωτές για να αυξήσουν τον χρόνο ζωής των συσσωρευτών
(σουπερ – πυκνωτές είναι εκείνοι με πολύ μεγάλη χωρητικότητα της τάξης των Farad)

Συσσωρευτές Νικελίου – Καδμίου

Οι μπαταρίες νικελίου καδμίου στην κατάσταση φόρτισης έχουν θετικά ηλεκτρόδια με οξύ - υδροξείδιο του νικελίου (NiOOH) ως ενεργό υλικό , αρνητικά ηλεκτρόδια από κάδμιο ως ενεργό υλικό και ηλεκτρολύτη από υδροξείδιο του καλίου (KOH) σε νερό
Στην εκφόρτιση, το NiOOH του θετικού ηλεκτροδίου μετατρέπεται σε Ni(OH)_2 και το κάδμιο του αρνητικού ηλεκτροδίου μετατρέπεται σε Cd(OH)_2 .

Στους συσσωρευτές νικελίου καδμίου δεν υπάρχει ανάμειξη του ηλεκτρολύτη KOH στις αντιδράσεις φόρτισης και εκφόρτισης.

Στα φωτοβολταϊκά συστήματα η τάση φόρτισης κυμαίνεται μεταξύ 1,45 και 1,6 V ανά στοιχείο,

Οι μπαταρίες νικελίου καδμίου επιλέγονται έναντι των μπαταριών μολύβδου οξέος μόνο όταν απαιτείται λειτουργία σε πολύ χαμηλές (υπό το μηδέν) ή πολύ υψηλές (πάνω από 40°C) θερμοκρασίες, όπου οι μπαταρίες μολύβδου οξέος μπορεί να κινδυνεύουν από πάγωμα ή πολύ μειωμένη διάρκεια ζωής αντίστοιχα.

Οι μπαταρίες NiCd έχουν μικρή εσωτερική αντίσταση μεταξύ 0.4 και 2 m Ω για ένα πλήρως φορτισμένο στοιχείο 100Ah. Ο χρόνος ζωής μπορεί να είναι μεταξύ 8 και 25 έτη
Το κόστος της επένδυσης για τις μπαταρίες NiCd είναι περίπου 3 φορές υψηλότερο από αυτό των μπαταριών μολύβδου οξέος.

Μπαταρίες ιόντων λιθίου

Οι μπαταρίες λιθίου είναι η περισσότερο αναπτυσσόμενη τεχνολογία στο χώρο των μπαταριών τα τελευταία χρόνια. Μετά την τεράστια επιτυχία και επικράτησή τους στο χώρο των φορητών συσκευών όπως είναι τα κινητά τηλέφωνα και τα laptops, τα τελευταία χρόνια πραγματοποιήθηκε η μετάβασή τους από τα μικρά στοιχεία στις μπαταρίες μεγάλου μεγέθους με σκοπό τη χρήση τους σε ένα πλήθος εφαρμογών.

Δεν χρησιμοποιούνταν σε αυτόνομα συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ γίνονται έρευνες προς αυτή την κατεύθυνση.

Η λειτουργία της επαναφορτιζόμενης μπαταρίας ιόντων λιθίου, βασίζεται στη μετακίνηση ιόντων λιθίου, μεταξύ της καθόδου και της ανόδου

Τα τρία κύρια στοιχεία μιας μπαταρίας ιόντων λιθίου είναι το αρνητικό ηλεκτρόδιο, το θετικό ηλεκτρόδιο και ο ηλεκτρολύτης.

Το αρνητικό ηλεκτρόδιο ενός στοιχείου ιόντων λιθίου είναι κατασκευασμένο από άνθρακα.

Το θετικό ηλεκτρόδιο είναι οξείδιο λιθίου κοβαλτίου (LiCoO_2) ή οξείδιο λιθίου μαγγανίου (LiMn_2O_4), πάνω σε ένα ρευματοσυλλέκτη από λεπτό φύλλο αλουμινίου

Έχουν χρησιμοποιηθεί 4 είδη ηλεκτρολυτών:

- α) υγροί ηλεκτρολύτες , είναι διαλύματα ενός άλατος λιθίου σε οργανικούς διαλύτες
- β) gel ηλεκτρολύτες,
- γ) ηλεκτρολύτες πολυμερούς
- δ) κεραμικοί ηλεκτρολύτες

Οι σύγχρονοι τύποι των μπαταριών λιθίου έχουν ονομαστική τάση 3.6 V

Κάποια πλεονεκτήματα των μπαταριών ιόντων λιθίου είναι :

Μικρό βάρος , η υψηλή ενεργειακή πυκνότητά τους , η καλή απόδοση σε χαμηλές θερμοκρασίες και η μεγαλύτερη διάρκεια ζωής.

Βασικά μειονεκτήματα , το υψηλό κόστος και η περιορισμένη τεχνογνωσία
Σε μια έρευνα για τη χρήση μπαταριών λιθίου σαν συσκευές αποθήκευσης σε φωτοβολταϊκά
συστήματα. , χρησιμοποιήθηκε σαν ηλεκτρολύτης φωσφορικό άλας λιθίου σιδήρου LiFePO_4 ,

Συνδεσμολογίες Συσσωρευτών

Από τους συσσωρευτές του εμπορίου ξεχωρίζουμε δυο χαρακτηριστικά που μας ενδιαφέρουν :

α) Τάση	β) Χωρητικότητα
---------	-----------------

Η τάση άφορα την διάφορα δυναμικού στα άκρα των πόλων κατά την διαδικασία της φόρτισης του συσσωρευτή και είναι περίπου 12 V

Η χωρητικότητα άφορα το φορτίο που μπορεί να αποθηκεύσει , δηλαδή το ρεύμα που περνά μέσα από τον συσσωρευτή στην διαδικασία της φόρτισης

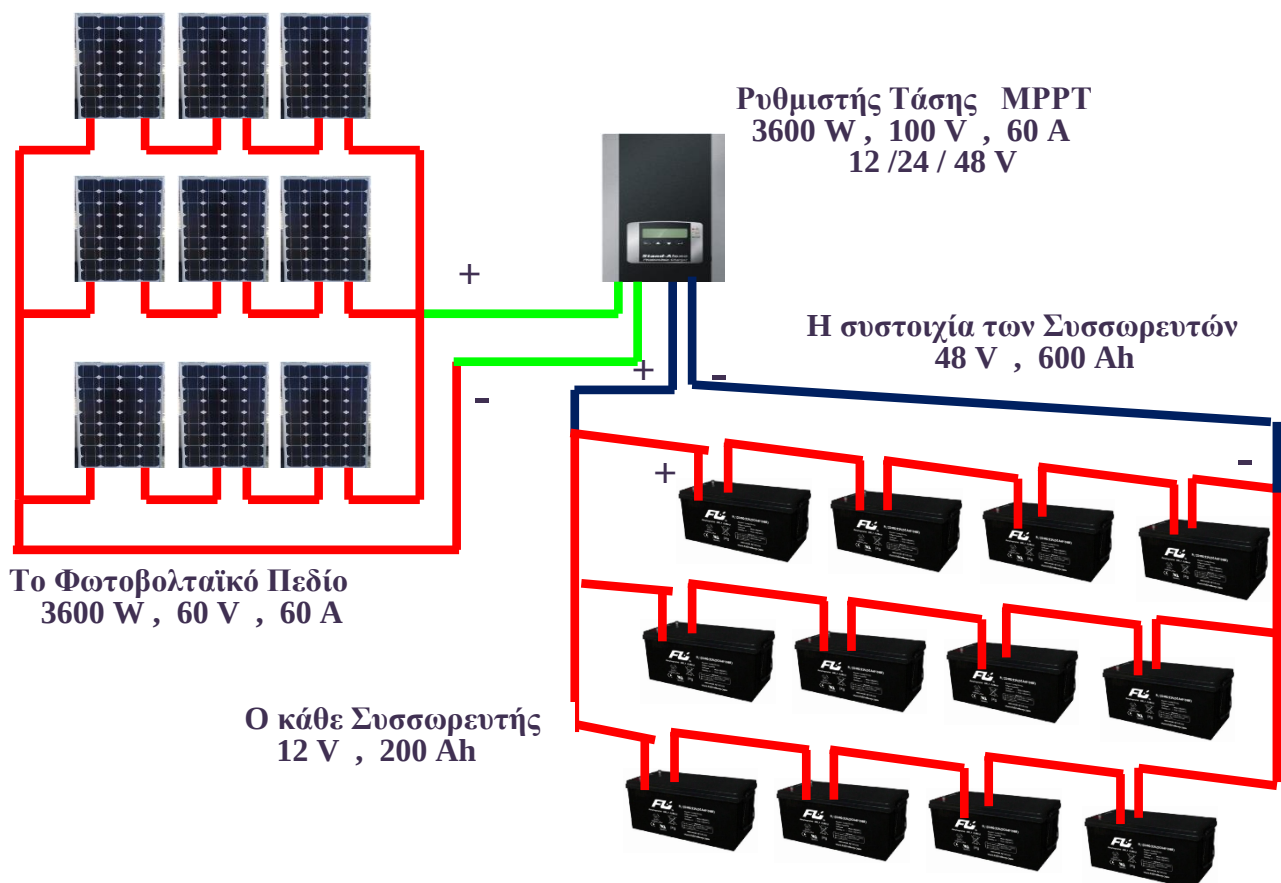
Ανάλογα την τάση και το ρεύμα που δίνει μια συστοιχία φωτοβολταϊκών πλαισίων θα είναι και η συστοιχία των συσσωρευτών που θα χρησιμοποιηθούν σε μια μεικτή συνδεσμολογία

Όταν συνδέουμε συσσωρευτές σε σειρά , αυξάνεται η τάση φόρτισης , ενώ το ρεύμα φόρτισης μένει το ίδιο . Αρά η τάση που μας δίνουν είναι ανάλογη του πλήθους , ενώ τα αμπερώρια είναι τα ίδια

Πχ αν συνδέσουμε σε σειρά 3 συσσωρευτές των 12 V - 150 Ah , θα πάρουμε 36 V , 150 Ah

Όταν συνδέουμε συσσωρευτές παράλληλα , αυξάνεται το ρεύμα φόρτισης , ενώ η τάση φόρτισης μένει η ίδια . Αρά τα αμπερώρια που μας δίνουν είναι ανάλογα του πλήθους , ενώ η τάση είναι τα ίδια .
 Πχ αν συνδέσουμε παράλληλα 3 συσσωρευτές των 12 V - 150 Ah , θα πάρουμε 12 V , 450 Ah

Το κάθε Φωτοβολταϊκό Πλαίσιο 400 W , 20 V , 20 A



Παρουσίαση εμπορικών συσσωρευτών



**Μπαταρία Hankook 200Ah
MF210H52R για Φωτοβολταϊκά
Μόλυβδου - Οξέος**
Τιμή: €255.00



**Μπαταρία Winner Mercury
12V 145Ah Gel Deep Cycle
για Φωτοβολταϊκά**
Τιμή: €428.04



**ΜΠΑΤΑΡΙΑ ΜΟΛΥΒΔΟΥ GEL ΒΑΘΕΙΑΣ
ΕΚΦΟΡΤΙΣΗΣ 200AH-12V**
Τιμή: €401



**Μπαταρία SLB 12V 200Ah AGM
Deep Cycle για Φωτοβολταϊκά**
Τιμή: €430



**Μπαταρία φωτοβολταϊκών Βαθειας
εκφόρτισης FullRiver DC Battery DC 140-12
140Ah 12Volt**
Τιμή: €413,06

Κεφάλαιο 8^ο

Αντιστροφέας Τάσης (Inverter)

Γενικά για Αντιστροφέα Τάσης σε Φωτοβολταϊκή Εγκατάσταση

Ο αναστροφέας σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα έχουν ως σκοπό τη μετατροπή της συνεχούς τάσης (DC) σε εναλλασσόμενη τάση (AC) σταθερού πλάτους και σταθερής συχνότητας.

Η συνεχή τάση μπορεί να προέρχεται κατευθείαν από την φωτοβολταϊκή εγκατάσταση ή από τις συστοιχίες συσσωρευτών όπου έχει αποθηκευτεί

Ο αναστροφέας των φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων διαφέρει από τους αναστροφείς άλλων ηλεκτρονικών εφαρμογών αφού έχει την δυνατότητα να ελέγχει την έξοδο των φωτοβολταϊκών και να δημιουργεί συνθήκες μέγιστης απόδοσης, και σε ορισμένες περιπτώσεις να ελέγχει ακόμα και τη φόρτιση των συσσωρευτών.

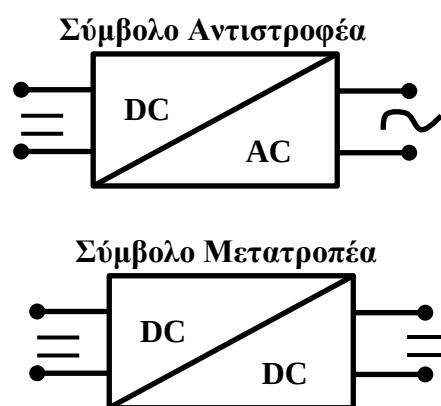
Θα πρέπει να διευκρινίσουμε ότι άλλο είναι ο Αντιστροφέας Τάσης (Inverter) και άλλο ο Μετατροπέας Τάσης (Converter)

Ο Αναστροφέας Τάσης όπως είπαμε μετατρέπει την συνεχή τάση σε εναλλασσόμενη τάση

Ο Μετατροπέας Τάσης μετατρέπει μια συνεχή τάση σε μεγαλύτερη συνεχή τάση

(πχ παίρνει συνεχή τάση 48 V και δίνει συνεχή τάση 200 V)

Φυσικά ο μετατροπέας τάσης θα προηγείται του αντιστροφέα τάσης και έτσι θα εξασφαλίζουμε καλύτερη απόδοση



Η τάση εισόδου V_{DC} των αναστροφέων εξαρτάται από την ονομαστική ισχύ τους.

Για ισχύ μερικών εκατοντάδων W οι τάσεις εισόδου κυμαίνεται από 12 V μέχρι 48 V

Για ισχύ μερικών KW η τάση εισόδου κυμαίνεται από 150 V μέχρι 400 V

Για ισχύ 100 KW και πάνω η τάση εισόδου κυμαίνεται από 600 V μέχρι 1000 V

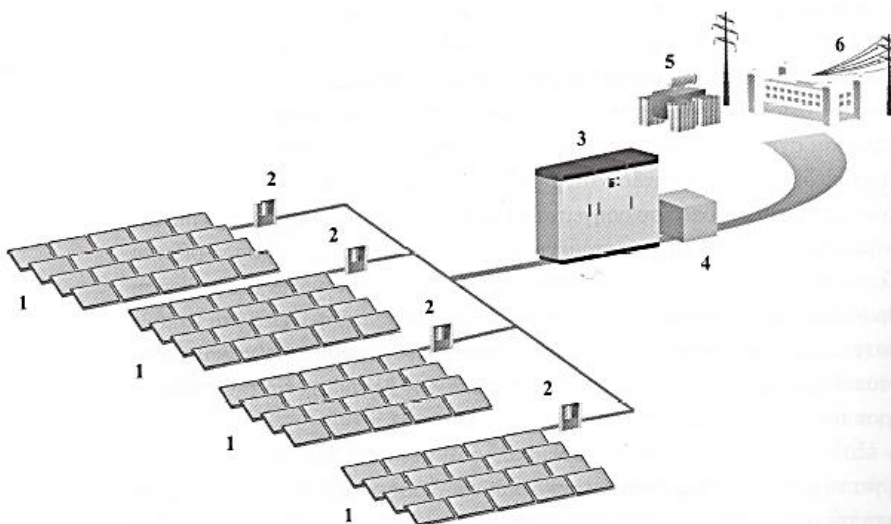
Κατηγορίες Αναστροφέων Τάσης ανάλογα την θέση στην φωτοβολταϊκή εγκατάσταση

Ανάλογα σε ποια θέση της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης παρεμβάλλονται οι αντιστροφείς έχουμε :

- α) Κεντρικός Αντιστροφέας για ολόκληρη την φωτοβολταϊκή εγκατάσταση
- β) Αναστροφέας Συστοιχίας για ένα μέρος της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης
- γ) Μικροαντιστροφέας για κάθε ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο

Η περίπτωση του κεντρικού αντιστροφέα σε φωτοβολταϊκή εγκατάσταση χρησιμοποιείται όταν διαχειριζόμαστε ισχύ πάνω από 100 KW

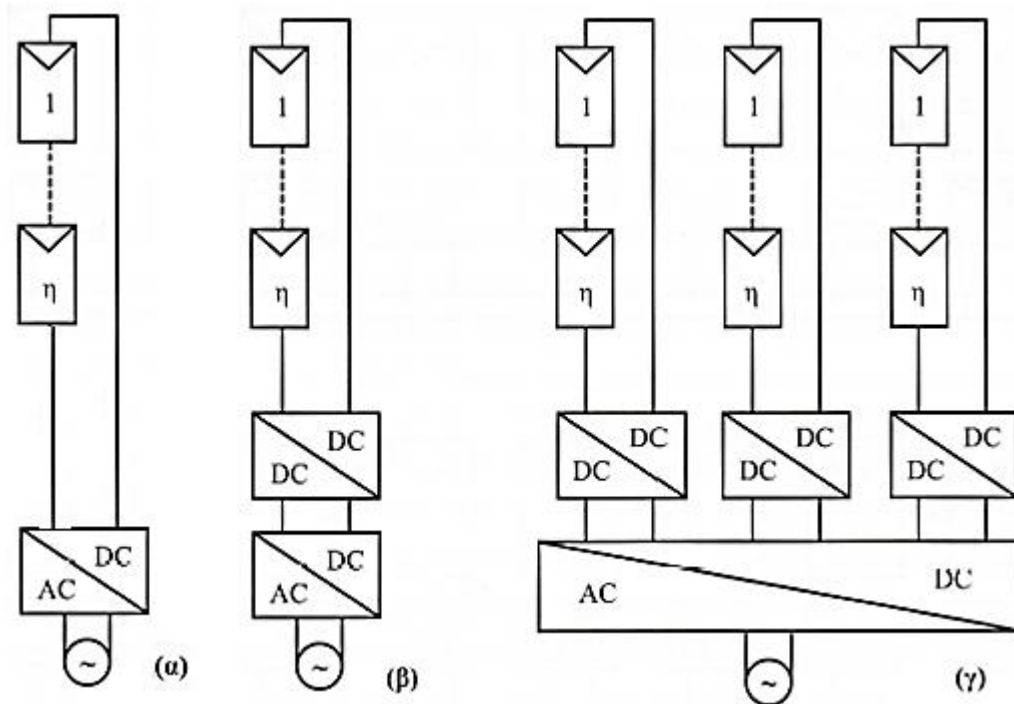
Στην εικόνα έχουμε 4 συστοιχίες από 20 φωτοβολταϊκά πλαίσια η κάθε συστοιχία



Η κάθε συστοιχία (1) συνδέεται με ένα μετατροπέα τάσης (2) DC/DC για να ανεβάσουμε την τάση της και στην συνέχεια καταλήγει στον κεντρικό αντιστροφέα (3) , ο οποίος διαχειρίζεται όλη την εγκατάσταση

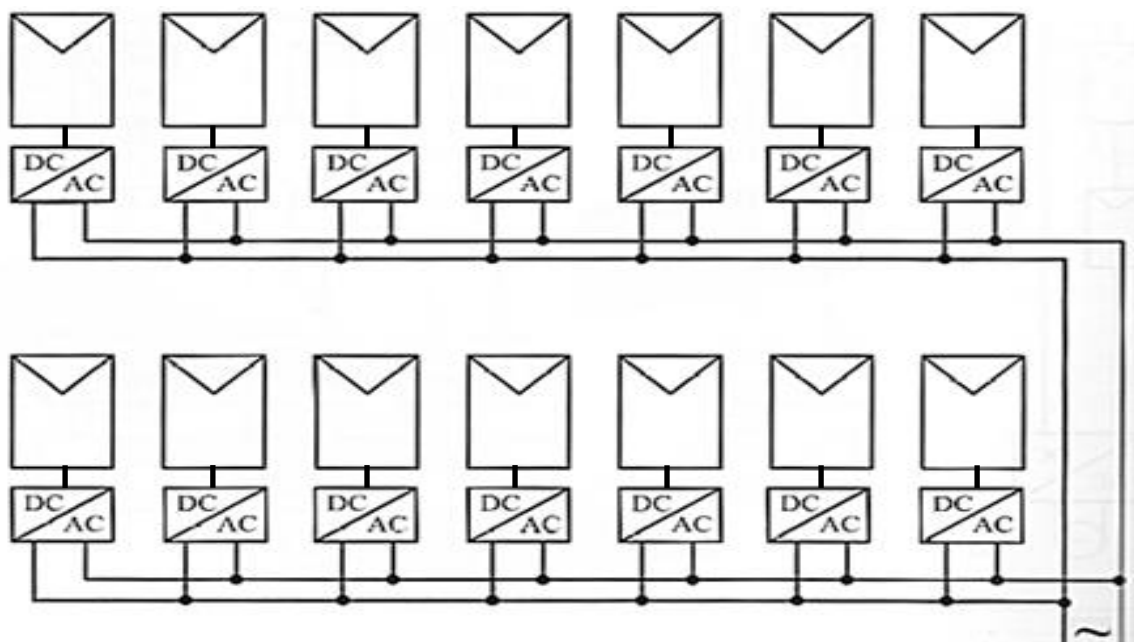
Στην συνέχεια η ηλεκτρική ενέργεια καταλήγει στο δίκτυο της ηλεκτρικής εταιρίας (Δ.Ε.Η)

Η περίπτωση του αντιστροφέα συστοιχίας φωτοβολταϊκών πλαισίων μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε μεγάλες και σε μεσαίες φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις



Στην (α) εικόνα ο αντιστροφέας ελέγχει μια συστοιχία , στην εικόνα (β) ο αντιστροφέας ελέγχει μια συστοιχία μέσω ενός μετατροπέα , στην εικόνα (γ) ο αντιστροφέας ελέγχει 3 συστοιχίες μέσω αντιστοιχών μετατροπέων

Η περίπτωση των μικροαντιστροφέων μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε μικρές φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις γιατί ανεβάζει το κόστος , μπορούμε όμως να κάνουμε καλύτερες ρυθμίσεις και να ανεβάσουμε την απόδοση της εγκατάστασης



Γενικά χαρακτηριστικά των Αντιστροφών Τάσης σε Φωτοβολταϊκές Εγκαταστάσεις

1) Ονομαστική Ισχύς

Είναι η μεγίστη ισχύς που μπορεί να διαχειριστεί ο αναστροφέας , δεν πρέπει να την ξεπερνάμε για μεγάλο χρονικό διάστημα διότι μειώνεται ο χρόνος ζωής του

2) Ονομαστική Τάση Εισόδου

Είναι η μεγίστη συνεχή τάση που μπορεί να δεχτεί ο αναστροφέας την είσοδο του

Συνήθως οι επιτρεπόμενες τιμές τάσεις βρίσκονται μέσα σε μια περιοχή

Δεν πρέπει να λειτουργεί ο αναστροφέας με χαμηλές τάσεις γιατί μειώνεται η απόδοση του

Για τον λόγο αυτόν όταν μειωθεί αρκετά η ισχύς από την φωτοβολταϊκή εγκατάσταση (δύση του Ήλιου) μπαίνει σε κατάσταση αναμονής και αποκόπτεται η φωτοβολταϊκή εγκατάσταση από το δίκτυο ή την συστοιχία συσσωρευτών .

Ξαναενεργοποιείται όταν η λαμβανομένη ισχύς φτάσει σε ικανοποιητικά επίπεδα

3) Ο αριθμός των φάσεων

Όταν διαχειρίζονται ισχύ μέχρι 5 KW τότε χρησιμοποιούν μια φάση (μονοφασικοί)

Όταν διαχειρίζονται ισχύ πάνω από 15 KW τότε χρησιμοποιούν τρεις φάσεις (τριφασικοί)

Όταν διαχειρίζονται ισχύ από 5 KW μέχρι 15 KW μπορεί να χρησιμοποιούν μια φάση ή και τρεις φάσεις ανάλογα με την περίπτωση

4) Διάρκεια ζωής

Η διάρκεια ζωής ενός αντίστροφε μειώνεται με την σκόνη , την υγρασία , την ηλιακή ακτινοβολία και όταν διαχειρίζεται ισχύ μεγαλύτερη από την ονομαστική ισχύ που έχει για μεγάλο χρονικό διάστημα

Γενικά η διάρκεια ζωής του είναι από 5 έως 10 χρόνια , αρά στην διάρκεια ζωής μιας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης περίπου 30 χρόνια θα αλλάξουμε τρεις φορές αντιστροφή

5) Η ονομαστική τάση εξόδου

Είναι η ενεργός τιμή της εναλλασσόμενης τάσης εξόδου που μπορεί να δώσει

Θα πρέπει η τάση να μην έχει διακυμάνσεις (επιτρέπονται μέχρι 5% διακυμάνσεις)

6) Η συχνότητα εξόδου

Είναι η συχνότητα της εναλλασσόμενης τάσης εξόδου . Η τιμή της είναι 50 Hz και πρέπει να παραμένει σταθερή με πολύ μικρές διακυμάνσεις (επιτρέπονται διακυμάνσεις μέχρι 2%)

7) Απόδοση

Ορίζεται σαν απόδοση ενός αντιστροφέα το πηλίκο της ισχύος του εναλλασσομένου ρεύματος

που δίνει προς την ισχύ του συνεχούς ρεύματος που παίρνει

$$\alpha = \frac{P_{AC}}{P_{DC}}$$

Η τιμή της απόδοσης κυμαίνεται γύρω στο 92 % όταν η ισχύς εισόδου είναι από 20% - 100 % της ονομαστικής ισχύος του αντιστροφέα

8) Υπερφόρτωση

Είναι η περίπτωση που ο αναστροφέας πρέπει να μπορεί να διαχειρίζεται ισχύ διπλασία ή και τριπλάσια της ονομαστικής ισχύος εισόδου . Δεν πρέπει όμως αυτό να γίνει για μεγάλο χρονικό διάστημα , διότι κινδυνεύει ο αναστροφέας

Κατηγορίες Αντιστροφών Τάσης ανάλογα με την κυματομορφή εξόδου

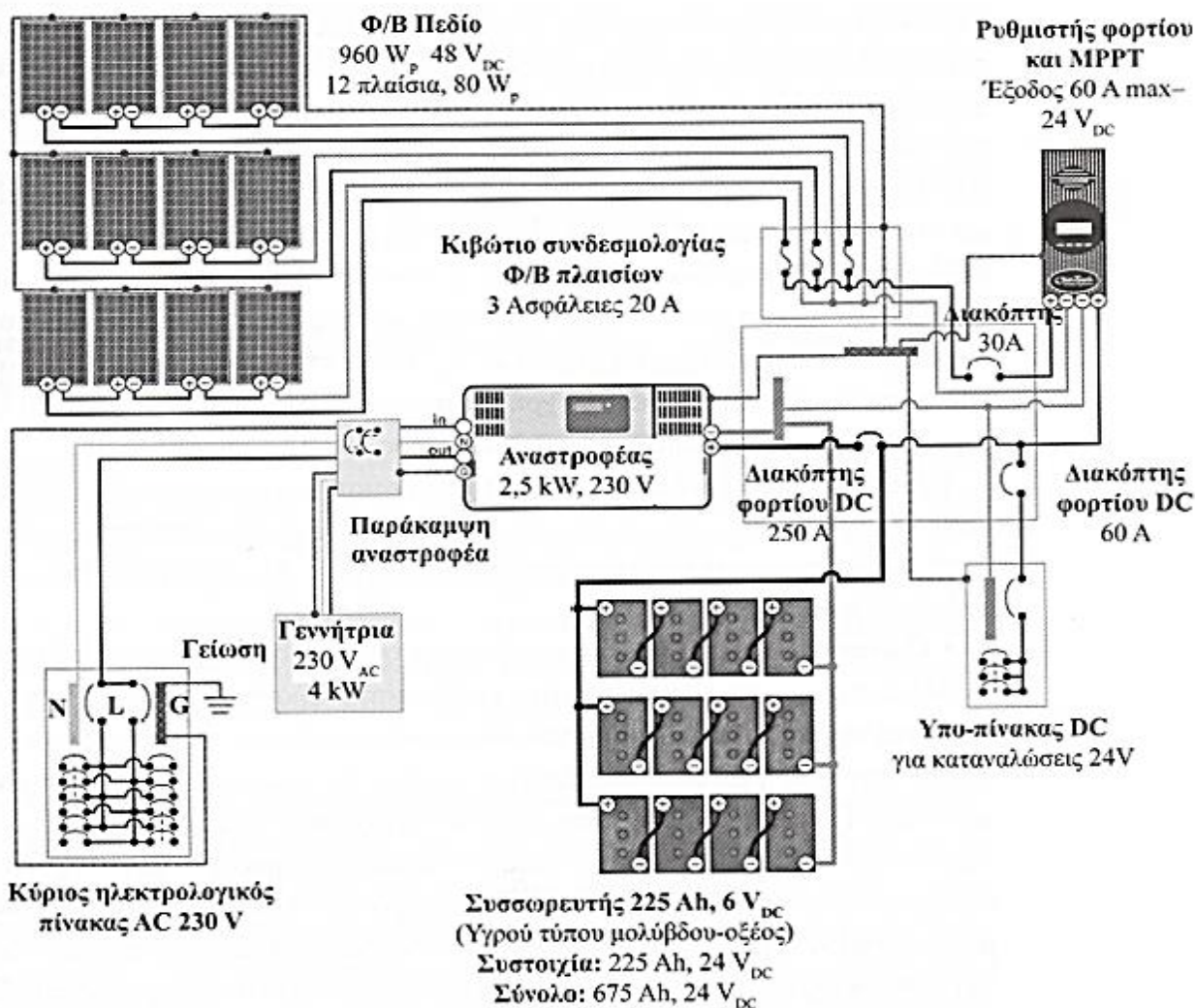
Ανάλογα με την κυματομορφή που δίνει στην έξοδο ένας αντιστροφέας τάσης έχουμε 3 περιπτώσεις :

- 1) Να δίνει τετραγωνικούς παλμούς συχνότητας 50 Hz
Είναι η φθηνότερη λύση και προτείνεται για μικρές φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις μέχρι 500 W που δεν θα τροφοδοτήσουν ευαίσθητα φορτία και δεν συνδέονται στο δίκτυο της Δ.Ε.Η (α)
- 2) Να δίνει ημιτονοειδή ή τροποποιημένους τετραγωνικούς παλμούς συχνότητας 50 Hz
Είναι καλύτερη επιλογή από την προηγούμενη αλλά θέλει προσοχή αν χρησιμοποιούμε ευαίσθητα φορτία, δεν θα έχουμε την δυνατότητα σύνδεσης με το δίκτυο της Δ.Ε.Η (β)
- 3) Να δίνει ημιτονική συχνότητας 50 Hz, είναι η καλύτερη και η ακριβότερη λύση
Στην περίπτωση αυτή έχουμε την δυνατότητα σύνδεσης με το δίκτυο της Δ.Ε.Η (γ)

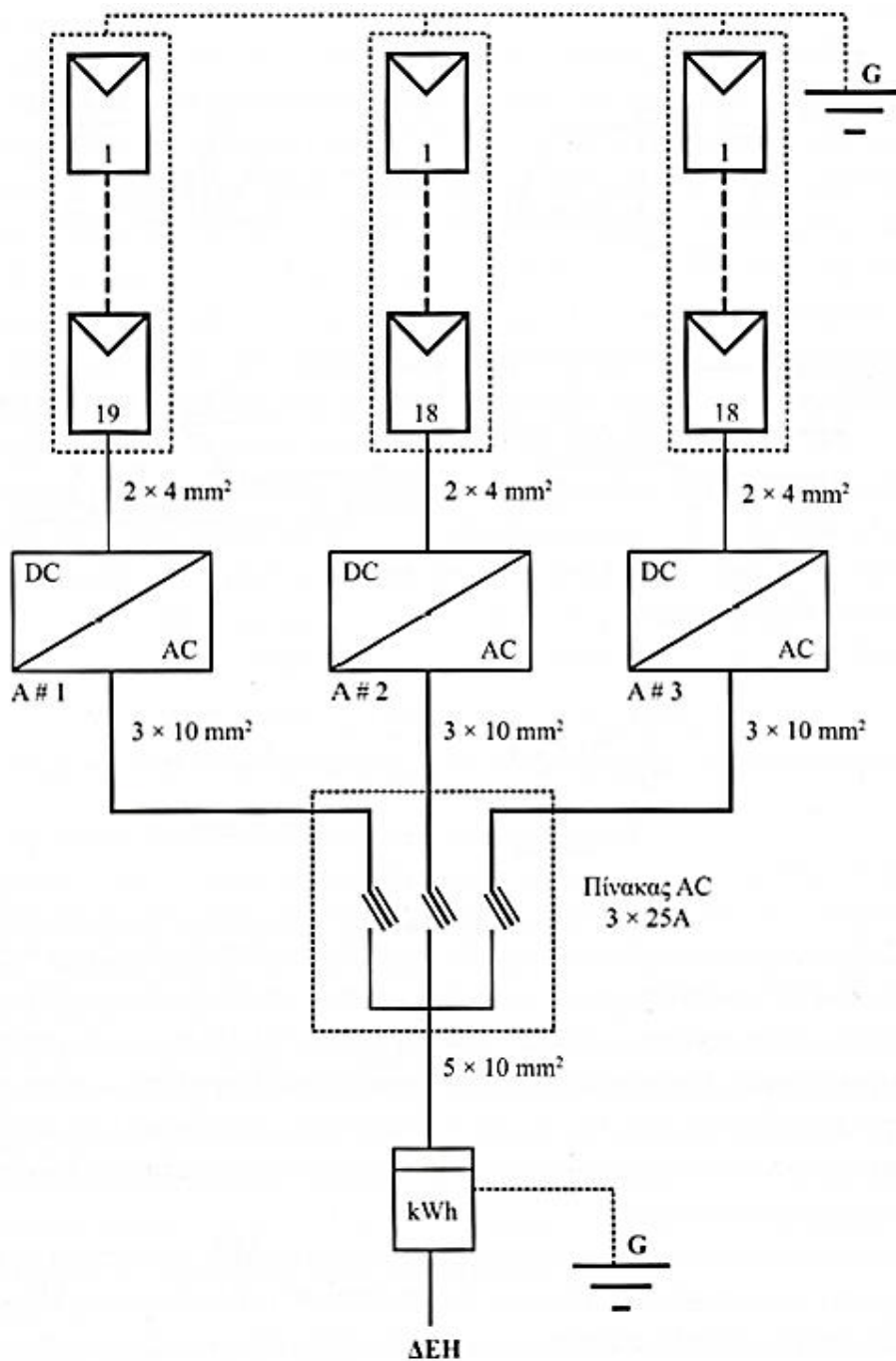


Σχέδια φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων

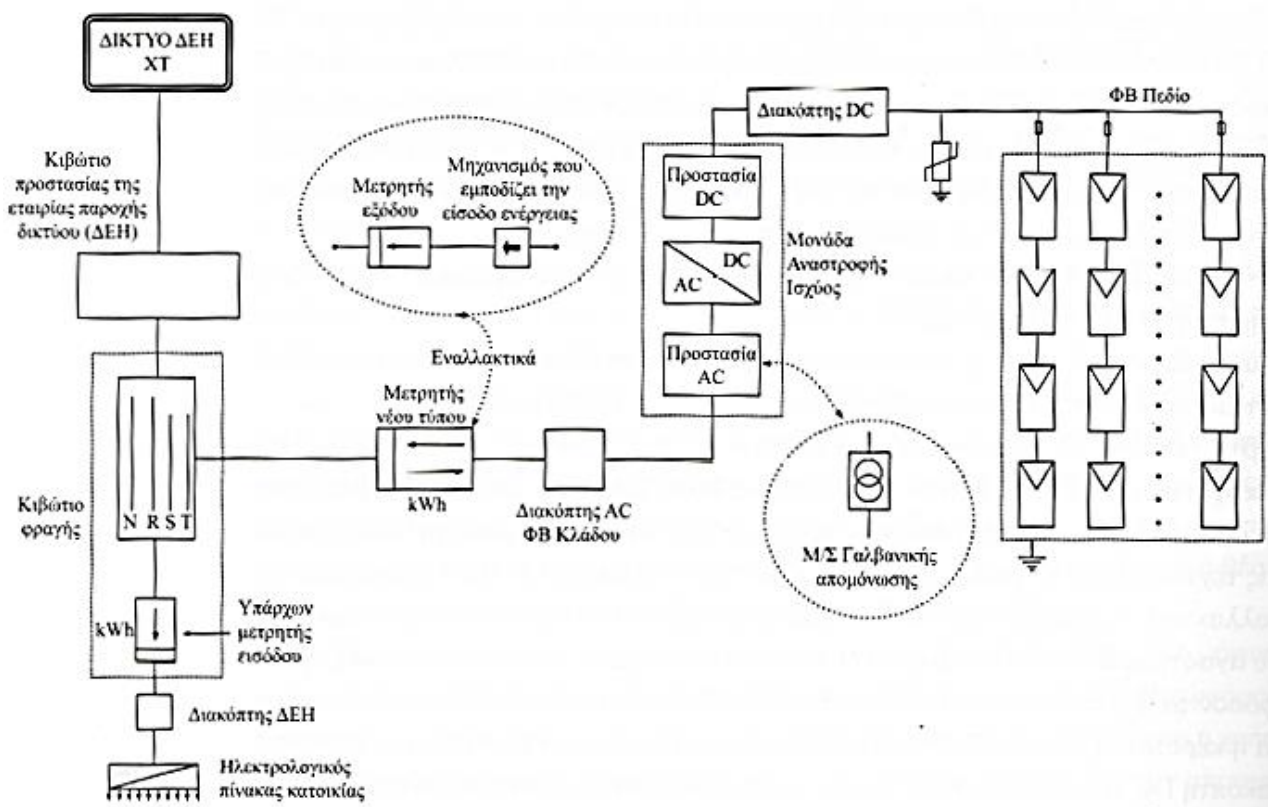
- Στην εικόνα φαίνεται μια αυτόνομη φωτοβολταϊκή εγκατάσταση μαζί και μια ηλεκτρική γεννήτρια πετρελαίου για να μας δώσει περισσότερη ενέργεια την νύχτα



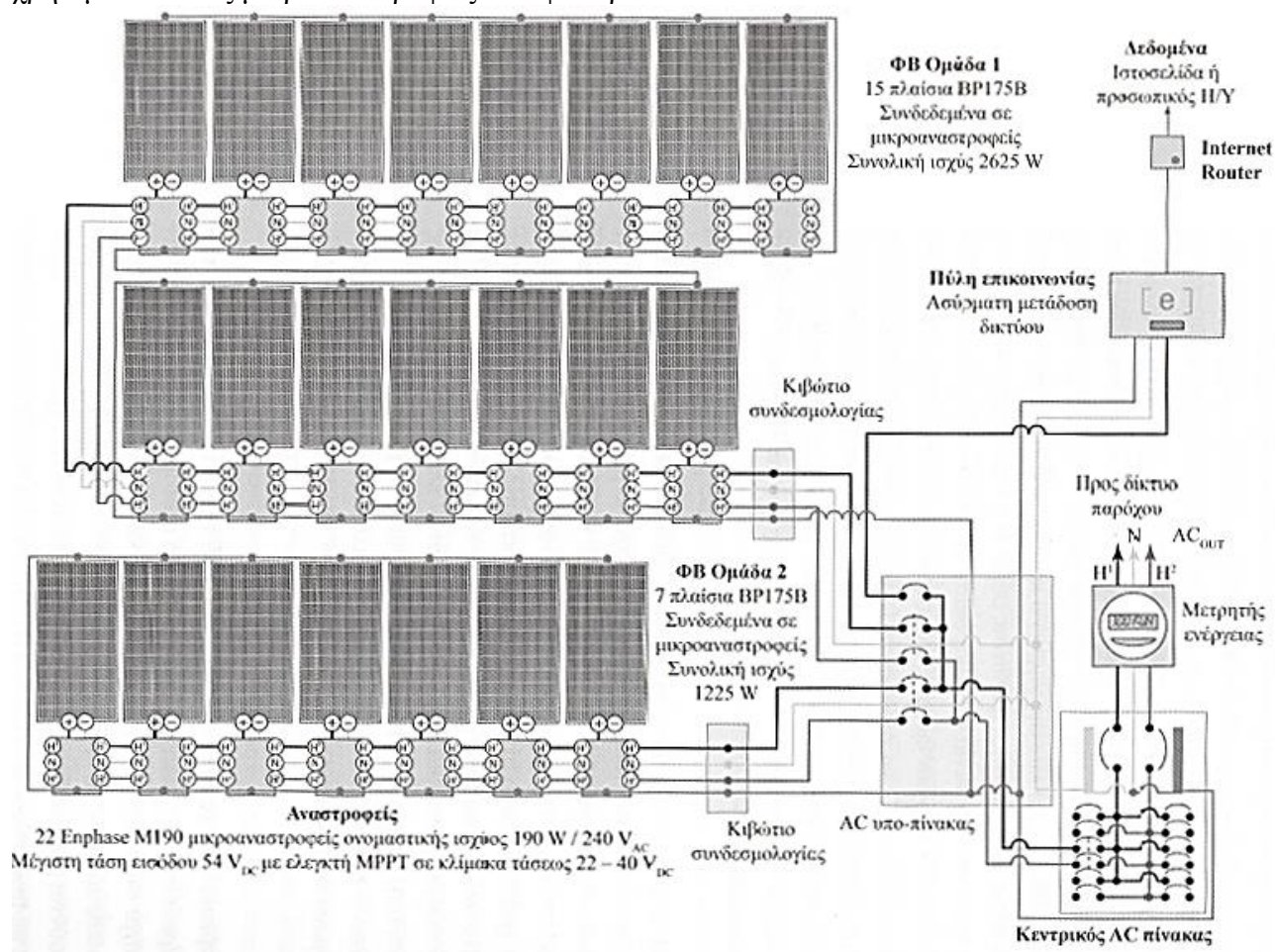
- Στην εικόνα φαίνεται μια φωτοβολταϊκή εγκατάσταση που συνδέεται στο δίκτυο της ηλεκτρικής εταιρείας (Δ.Ε.Η) , οπότε δεν χρησιμοποιούμε συστήματα αποθήκευσης
Στην περίπτωση αυτή οι αντιστροφείς τάσης θα πρέπει
 - να δίνουν καθαρή ημιτονική κυματομορφή καθορισμένου πλάτους και συχνότητας με αυτό που απαιτεί το δίκτυο
 - να μπορούν να ρυθμίζουν το φορτίο στην φωτοβολταϊκή εγκατάσταση για να λαμβάνουμε την μέγιστη ισχύ



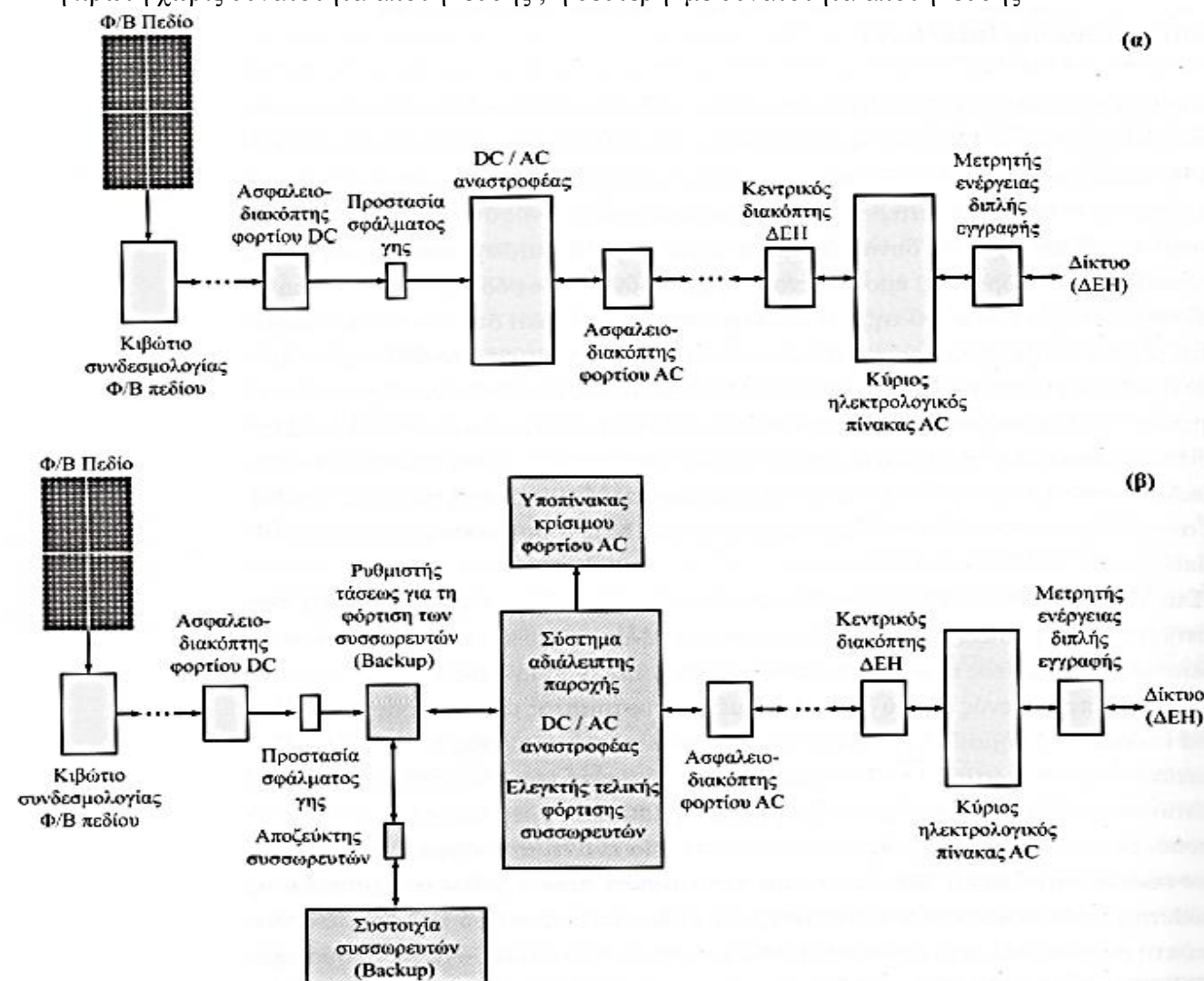
- Στην εικόνα φαίνεται μια φωτοβολταϊκή εγκατάσταση που συνδεεται στο δίκτυο χρησιμοποιώντας κεντρικό αναστροφέα τάσης



- Στην εικόνα φαίνεται μια φωτοβολταϊκής εγκατάστασης συνδεδεμένη στο δίκτυο χρησιμοποιώντας μικροαναστροφείς ανά φωτοβολταϊκό πλαίσιο



- Στην εικόνα φαίνονται δυο φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις και οι δυο συνδεονται στο δικτυο , η πρώτη χωρίς δυνατότητα αποθήκευσης , η δεύτερη με δυνατότητα αποθήκευσης



Παρουσίαση εμπορικών αντιστροφέων τάσης



**Inverter 12V DC - 230V AC
600 Watt με κυματομορφή
τροποποιημένου ημιτόνου
75 €**



**Inverter 12V DC- 230V AC
1000 W Καθαρού Ημιτόνου
475 €**



**Inverter 12V DC - 230V AC
2400W Καθαρού Ημιτόνου
1000 €**



**Inverter 24V DC - 230V AC
2600 W καθαρού ημιτόνου
2300 €**



**Inverter και
ρυθμιστής φόρτισης
24V DC - 230V AC
4400 W Καθαρού ημιτόνου
3700 €**



**Inverter και
ρυθμιστής φόρτισης
24V DC - 230V AC
7000 W Καθαρού ημιτόνου
5000 €**

Κεφάλαιο 9°

Συμπληρωματικά Στοιχεία σε Φωτοβολταϊκή Εγκατάσταση

Σε μια φωτοβολταϊκή εγκατάσταση πέρα από τα προαναφερθέντα θα μας απασχολήσουν

- Οι καλωδιώσεις
- Τα συστήματα στήριξης φωτοβολταϊκών πλαισίων
- Η γείωση της εγκατάστασης
- Η αντικεραυνική προστασία της εγκατάστασης
- Σε ειδικές περιπτώσεις φωτοβολταϊκά διπλής όψης

Καλωδιώσεις σε Φωτοβολταϊκή Εγκατάσταση

Τα βασικά πράγματα που μας ενδιαφέρουν σε ένα καλώδιο είναι :

- A) το υλικό κατασκευής
- B) η διατομή του καλωδίου
- Γ) η θωράκιση και προστασία από εξωτερικές επιδράσεις

Σε ότι αφορά το υλικό είναι ο χαλκός , ο οποίος δεν είναι ο καλύτερος αγωγός σε σχέση με άλλα υλικά όπως ο άργυρος , αλλά το κόστος του και η εύκολη ανεύρεση του τον καθιστούν καλή επιλογή

Οι παράγοντες που κυρίως επηρεάζουν τα καλώδια είναι

- 1) υγρασία 2) θερμοκρασία 3) ηλιακή ακτινοβολία 4) αλλοίωση από μικροοργανισμούς

Για τον λόγο αυτό τα καλώδια μπαίνουν μέσα σε στεγανοποιημένους σωλήνες που αερίζονται και τοποθετούνται ή υπόγεια ή εναέρια

Για την επιλογή της κατάλληλης διατομής του καλωδίου που θα επιλέξουμε παίζουν ρολό :

- 1) το μέγιστο ρεύμα που θα περνά
- 2) η μέγιστη επιτρεπόμενη πτώση τάσης
- 3) το είδος του ρεύματος , δηλαδή αν το ρεύμα που περνά είναι συνεχές ή εναλλασσόμενο μονοφασικό ή εναλλασσόμενο τριφασικό

Σε μια φωτοβολταϊκή εγκατάσταση έχουμε διάφορα τμήματα

- Το τμήμα που παρεμβάλλεται μεταξύ των ακροδεκτών εξόδου του φωτοβολταϊκού πεδίου και των ακροδεκτών εισόδου του ρυθμιστή φόρτισης

Το ρεύμα στην περιοχή αυτή είναι συνεχές και η μέγιστη τιμή του προκύπτει από τα χαρακτηριστικά των φωτοβολταϊκών πλαισίων, και την συνδεσμολογία που χρησιμοποιούμε

Για τη σύνδεση χρειαζόμαστε διπολικό καλώδιο, το οποίο ανάλογα πως μας βολεύει τοποθετείται είτε υπόγεια είτε εναέρια .

Η μέγιστη επιτρεπτή πτώση τάσης πρέπει να είναι το 3% της τάσης που διαχειριζόμαστε

Πχ όταν η τάση εξόδου από το φωτοβολταϊκό πεδίο είναι 100 V και η απόσταση φωτοβολταϊκού πεδίου και ρυθμιστή φόρτισης συσσωρευτών 25 m, τότε η συνολική πτώση τάσεως δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τα 3 V.

- Το τμήμα που παρεμβάλλεται μεταξύ των ακροδεκτών εξόδου του ρυθμιστή φόρτισης και των δύο πόλων των συσσωρευτών.

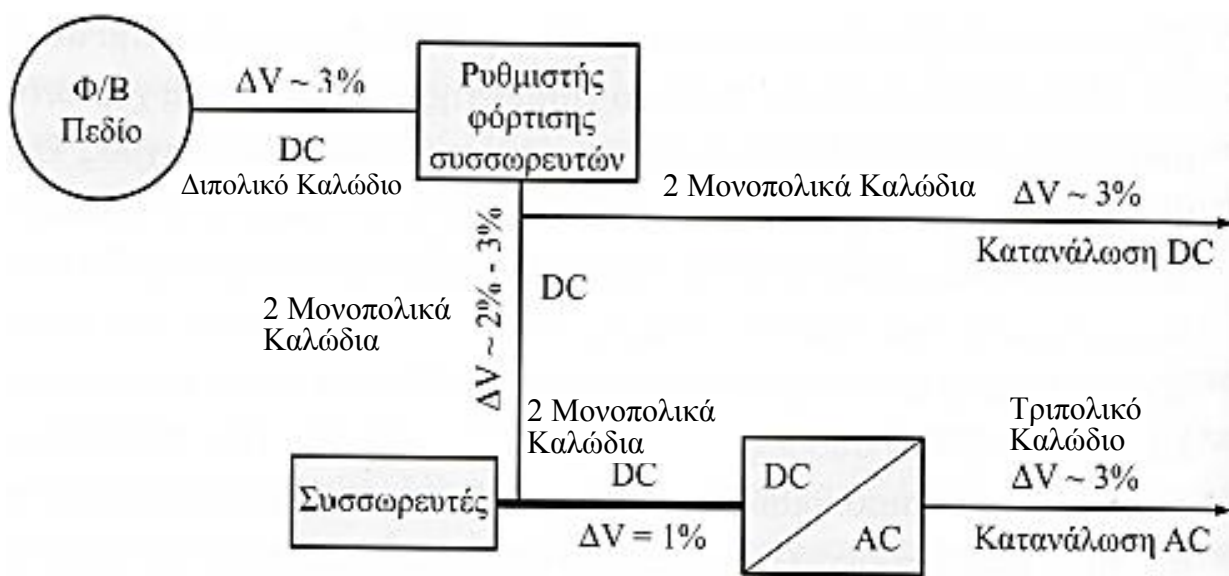
Το ρεύμα στην περιοχή αυτή είναι συνεχές και η τάση που διαχειριζόμαστε προσδιορίζεται από την συνδεσμολογία των συσσωρευτών, π.χ. 12 V, 24 V, 48 V.

Χρησιμοποιούμε δύο ξεχωριστά μονοπολικά καλώδια, τα οποία για λόγους προστασίας τοποθετούνται σε εξωτερικό αεριζόμενο κανάλι.

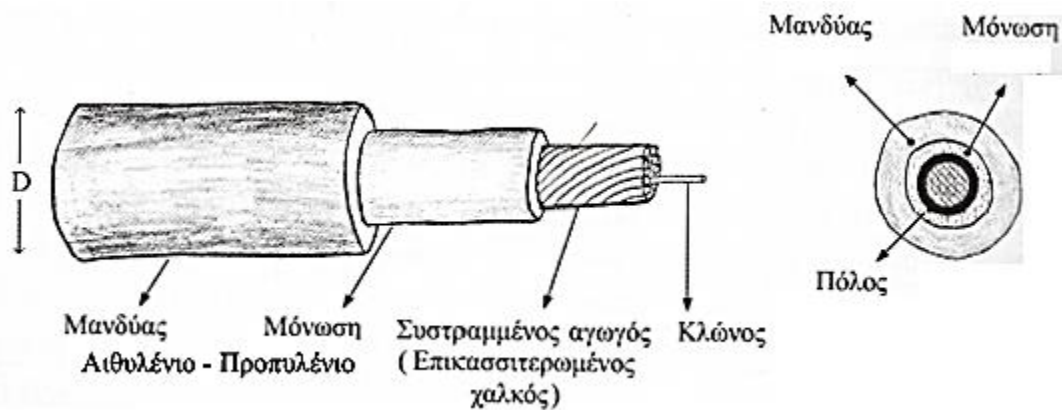
Η μέγιστη αποδεκτή τιμή πτώσης τάσης κατά μήκος του καλωδίου εξαρτάται από τον τύπο του ρυθμιστή, και μπορεί να 2% - 3% της τάσης του κυκλώματος

Πχ όταν το μήκος του καλωδίου είναι 5 m και η τάση του κυκλώματος 24 V, η μέγιστη πτώση τάσεως δεν θα υπερβαίνει τα 0,48 V

- Το τμήμα που παρεμβάλλεται μεταξύ των πόλων της συστοιχίας των συσσωρευτών και του ακροδέκτη εισόδου που βρίσκεται στη διάταξη του αναστροφέα τάσεως.
Αυτό το τμήμα της εγκατάστασης χαρακτηρίζεται από τις αυστηρότερες απαιτήσεις για απώλειες ηλεκτρικής ισχύος. Επίσης, τα υλικά μόνωσης των καλωδίων έχουν ιδιαίτερες προδιαγραφές
Το ρεύμα στην περιοχή αυτή είναι πάντοτε συνεχές και η τάση λειτουργίας του κυκλώματος προσδιορίζεται από την συνδεσμολογία των συσσωρευτών, π.χ. 12 V, 24 V, 48 V.
Χρησιμοποιούνται δύο ξεχωριστά μονοπολικά καλώδια, τα οποία συνήθως τοποθετούνται σε εξωτερικό κανάλι που αερίζεται
Η μέγιστη επιτρεπτή πτώση τάσεως κατά το μήκος του καλωδίου είναι 1% της τάσης του κυκλώματος
Πχ όταν η απόσταση συσσωρευτών-αναστροφέα είναι 3 m και η τάση του κυκλώματος 24 V η μέγιστη πτώση τάσης δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τα 0,24 V
- Το τμήμα που παρεμβάλλεται μεταξύ ρυθμιστή φόρτισης και καταναλωτή που χρησιμοποιεί συνεχές ρεύμα. Για κάθε γραμμή χρησιμοποιείται και ένα διπολικό καλώδιο μέσα σε ένα κανάλι
Θα πρέπει η τάση που χρησιμοποιεί ο καταναλωτής να είναι ίδια με την τάση που μπορεί να δώσει η συστοιχία συσσωρευτών. Η επιτρεπόμενη πτώση τάσης είναι γύρω στο 3%
- Το τμήμα που παρεμβάλλεται μεταξύ εξόδου του αναστροφέα και καταναλώσεων που χρησιμοποιούν εναλλασσόμενο ρεύμα
Σε μια οικιακή κατανάλωση η κάθε γραμμή αποτελείται από ένα εντοιχισμένο τριπολικό καλώδιο.
Σε περίπτωση εξωτερικών γραμμών η τοποθέτηση των καλωδίων γίνεται σε κανάλι.
Η επιτρεπόμενη πτώση τάσης είναι γύρω στο 3%



Τα μονοπολικά καλώδια που χρησιμοποιούμε για το συνεχές ρεύμα έχουν την παρακάτω μορφή



Όπως βλέπουμε ο μανδύας και η μόνωση είναι από αιθυλένιο ή προπυλένιο .

Οι προδιαγραφές των πλαστικών σχετικά με την θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι $-40^{\circ}\text{C} - 120^{\circ}\text{C}$,

Το μέταλλο που χρησιμοποιούμε είναι χαλκός με επίστρωση κασσιτέρου για να μην οξειδώνεται

Ο κεντρικός μεταλλικός αγωγός αποτελείται από πολλούς κλώνους και όχι ένα μονόκλωνο σύρμα

Θα πρέπει το καλώδιο να έχει μια καθορισμένη ευλυγισία

Το πάχος του μεταλλικού αγωγού καθορίζεται από το ρεύμα που θα περνά

Για τον θετικό πόλο χρησιμοποιούμε κόκκινο καλώδιο και για τον αρνητικό μαύρο

Συστήματα στήριξης Φωτοβολταϊκών Πλαισίων

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια συνήθως στερεώνονται στο έδαφος με δύο τρόπους:

1. Σε βάσεις σταθερής κλίσης
2. Σε βάσεις ρυθμιζόμενης κλίσης

Οι σταθερές βάσεις αποτελούν τον απλούστερο και οικονομικότερο τρόπο στερέωσης των φωτοβολταϊκών πλαισίων

Η αρχή σχεδιασμού τους είναι απλή , οι ακτίνες του ήλιου θα πρέπει να πέφτουν κάθετα στην επιφάνεια των πλαισίων κατά το μεσημέρι . , για τον λόγο αυτόν έχουν μια κλίση 30 μοιρών

Οι σταθερές βάσεις κατασκευάζονται συνήθως από αλουμίνιο ή ανοξείδωτο χάλυβα

Τοποθετούνται στο έδαφος σε σκεπές , σε ταράτσες σε προσόψεις κτηρίων

Στο έδαφος η στερέωση της βάσεις γίνεται με σκυρόδεμα ή με κάρφωμα .

Στις σκεπές , ταράτσες και προσόψεις κτηρίων δημιουργείται ένας σκελετός που βιδώνεται σε σταθερά σημεία

Τα μεταλλικά μέρη και οι βίδες που χρησιμοποιούνται είναι ανοξείδωτα για να μην διαβρωθούν

Οι σταθερές βάσεις συναρμολογούνται σε άπλες ή δίπλες ή τριπλές σειρές και μετά τοποθετούμε πάνω τα φωτοβολταϊκά πλαίσια





Τα συστήματα με βάσεις ρυθμιζόμενη κλίση λέγονται και συστήματα ιχνηλάτησης της πορείας του ήλιου. Χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη πολυπλοκότητα σε σχέση με τα συστήματα σταθερής κλίσης αλλά έχουν αυξημένες αποδόσεις, κατά μέσο όρο της τάξης του 30%.

Χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες:

- α) Συστήματα μονού άξονα
- β) Συστήματα διπλού άξονα

Στα συστήματα μονού άξονα η κίνηση των φωτοβολταϊκών πλαισίων γίνεται σε έναν άξονα, αυτόν της Ανατολής-Δύσης κατά τη διάρκεια μίας μέρας.

Τυπικά, τα συστήματα αυτά επιτυγχάνουν αύξηση της παραγωγής κατά 20-25% σε σχέση με τα συστήματα σταθερών βάσεων.



Στα συστήματα διπλού άξονα η κίνηση των φωτοβολταϊκών πλαισίων εκτός από άξονα, Ανατολής-Δύσης ρυθμίζεται και η κλίση ως προς το έδαφος

Η επιπλέον αυτή δυνατότητα παρέχει αυξημένη απόδοση κατά τυπικά 25-40% σε σχέση με τα συστήματα σταθερών βάσεων.



Πολλές φορές για να περιορίσουμε την πλήρη αυτοματοποίηση και να μειώσουμε το κόστος χρησιμοποιούμε οπτικά συστήματα συγκέντρωσης των ηλιακών ακτινών, οπότε δεν είναι αναγκαίο το φωτοβολταϊκό πλαίσιο να κάνει μεγάλες κινήσεις

Τα συστήματα ιχνηλάτησης απαιτούν ενέργεια αφού κάνουν περιοδικές κινήσεις κάθε 10 λεπτά. Η ανίχνευση της πορείας του ήλιου γίνεται συνήθως με δύο τρόπους: :
Ο πρώτος τρόπος είναι με ηλιακούς αισθητήρες, οι οποίοι αντιλαμβάνονται τη θέση του ήλιου.
Ο δεύτερος τρόπος είναι μέσω λογισμικού, από αστρονομικά δεδομένα, βάσει των οποίων υπολογίζεται η θέση και πορεία του ήλιου για κάθε μέρα του έτους, ανάλογα με τις γεωγραφικές συντεταγμένες της περιοχής.

Σήμερα συστήματα ιχνηλάτησης κατασκευάζονται για να φέρουν φωτοβολταϊκά πλαίσια με ισχύ που κυμαίνεται από 2 KW έως περίπου 30 KW.

Για τον λόγο αυτό θέλει μεγάλη προσοχή και πολύ καλή στερέωση της βάσης

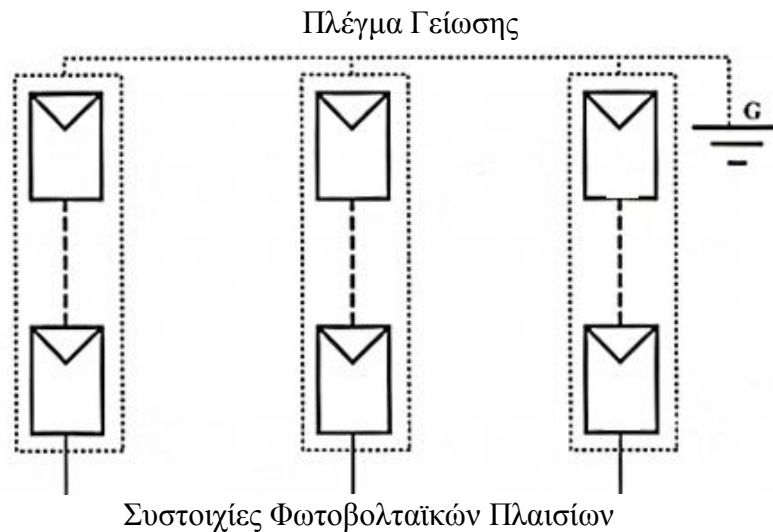
Λόγω της παρουσίας ηλεκτρομηχανικών και ηλεκτρο-υδραυλικών κινήσεων χρειάζεται τακτικός έλεγχος συντήρησης

Φωτοβολταϊκά πλαίσια δεν μπαίνουν μονό στο έδαφος ή σε κτήρια αλλά και σε οχήματα , πλοία , δορυφόρους για να τα δώσουν ενέργεια



Γείωση φωτοβολταϊκής εγκατάστασης

Για να αποφύγουμε βραχυκυκλώματα και ανεπιθύμητες βλάβες τοποθετούμε περιμετρικά κάθε σειράς φωτοβολταϊκών πλαισίων ένα κλειστό βρόχο κατασκευασμένο από ταινία γειώσεως. Η ταινία τοποθετείται μέσα στο έδαφος σε περιμετρικό χαντάκι βάθους 0,70 - 0,80 m, Όλες οι γειώσεις αυτές οι οποίες βρίσκονται στο περίγραμμα κάθε σειράς πλαισίων, συνδέονται μεταξύ τους και δημιουργούμε ένα ενιαίου συστήματος εδαφικής γείωσης, το οποίο καλύπτει όλη την επιφάνεια του φωτοβολταϊκού πεδίου



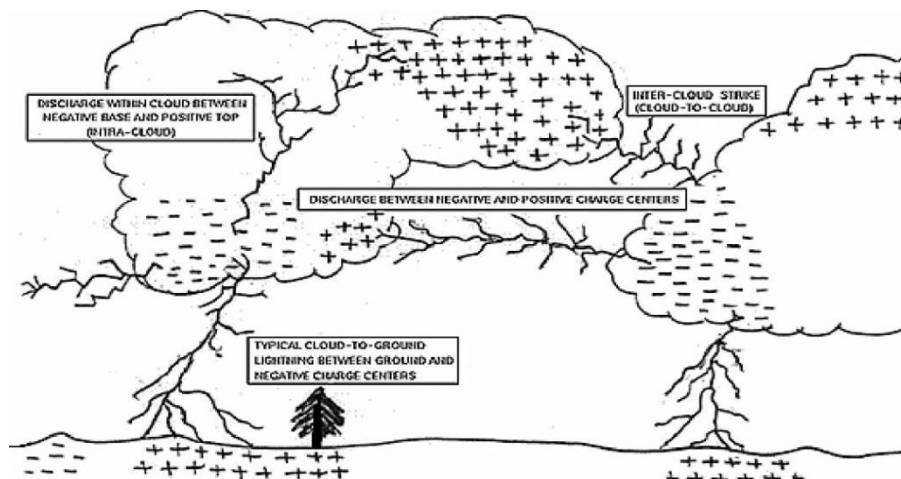
Αντικεραυνική προστασία φωτοβολταϊκής εγκατάστασης

Οι κεραυνοί είναι ηλεκτρικές εκκενώσεις που παρατηρούνται στην ατμόσφαιρα και αποτελούν ένα άστατο και απρόβλεπτο φαινόμενο.

Κεραυνοί μπορεί να δημιουργηθούν ανάμεσα σε διαφορετικά νέφη, μέσα στο ίδιο νέφος, ανάμεσα σε ένα νέφος και στον αέρα ή από ένα νέφος προς το έδαφος. .

Οι κεραυνοί συνήθως δημιουργούνται κατά τη διάρκεια των καταιγίδων,

Ο σχηματισμός των κεραυνών οφείλεται στη συγκέντρωση σε διαφορετικές περιοχές θετικών και αρνητικών ηλεκτρικών φορτίων. Έτσι, δημιουργείται ηλεκτρικό πεδίο και όταν η ένταση του φτάσει σε μεγάλη τιμή, ξεσπά ο κεραυνός με διάτρηση του αέρα και δημιουργία σπινθήρα.



Η εξωτερική εγκατάσταση αντικεραυνικής προστασίας στόχο έχει να συλλάβει τον κεραυνό πριν αυτός κτυπήσει την φωτοβολταϊκή εγκατάσταση και να διοχετεύσει το ρεύμα του κεραυνού στο έδαφος χωρίς να προκαλεί θερμικές , μηχανικές , ηλεκτρικές ζημιές

Η εξωτερική εγκατάσταση αντικεραυνικής προστασίας αποτελείται από:

- α) το συλλεκτήριο σύστημα που δέχεται τους κεραυνούς
- β) το σύστημα αγωγών καθόδου που οδηγεί το ρεύμα του κεραυνού στη γη
- γ) το σύστημα γείωσης που διαχέει το ρεύμα κεραυνού στο έδαφος

Ο συλλέκτης των κεραυνών είναι συνήθως μια μεταλλική ράβδος αιχμηρή στην άκρη ή ένα πλέγμα

Οι αγωγοί καθόδου είναι μεταλλικά σύρματα μεγάλης διατομής γυμνά που στερεώνονται πολύ καλά πάνω στο πύργο που βρίσκεται ο συλλέκτης

Το σύστημα που διοχετεύει το ρεύμα του κεραυνού στην γη είναι το σύστημα γείωσης που διαθέτει η φωτοβολταϊκή εγκατάσταση και παραλαμβάνει το ρεύμα από τους αγωγούς καθόδου



Φωτοβολταϊκά Διπλής Όψης

Η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών διπλής όψεως προέκυψε από τις διαστημικές ανάγκες

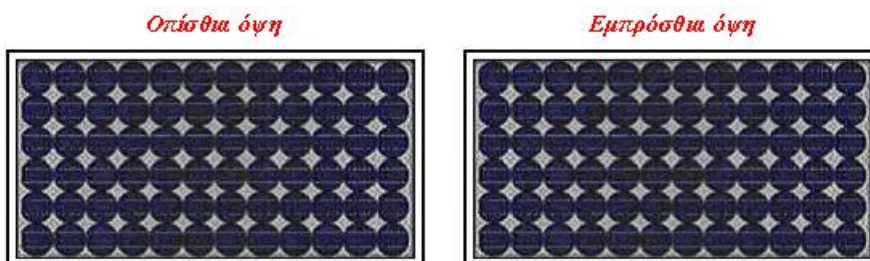
Για τους δορυφόρους η μόνη πηγή ενέργειας είναι η ηλιακή και για την υποστήριξη των οργάνων τους χρησιμοποιούνται φωτοβολταϊκές κυψέλες.

Προκειμένου οι δορυφόροι με τα φωτοβολταϊκά πλαίσια να είναι ενεργειακά αυτόνοτοι, επινοήθηκε η τεχνική λείανσης της κυψέλης και από την πίσω πλευρά και το κλείσιμο με τζάμι και στις δυο όψεις. Έτσι έχουμε περισσότερη ενέργεια από μικρότερη επιφάνεια.

Τα συμβατικά φωτοβολταϊκά πάνελ αξιοποιούν μέρος μόνο της προσφερόμενης ηλιακής ενέργειας, αφού είναι ενεργά από τη μία όψη. Αντίθετα τα φωτοβολταϊκά πάνελ διπλής όψης εκμεταλλεύονται:

- α) τον ήλιο μεγαλύτερο χρονικό διάστημα
- β) την ακτινοβολία που διαχέεται στο περιβάλλον
- γ) την ακτινοβολία που ανακλάται.

Μπορούν να αξιοποιηθούν και από τα επίγεια φωτοβολταϊκά συστήματα κάτω από προϋποθέσεις



Κεφάλαιο 10^ο

Υπολογισμοί σε φωτοβολταϊκή εγκατάσταση - Επίλογος

Υπολογισμοί για αυτόνομη φωτοβολταϊκή εγκατάσταση

Μια φωτοβολταϊκή εγκατάσταση λέγεται αυτόνομη όταν μπορεί να υποστηρίξει την ενεργειακή αυτονομία, ενός σπιτιού ή ενός εργοστασίου ή μιας επιχείρησης ή μιας αγροτικής μονάδας

Τα βήματα που ακολουθούμε είναι τα παρακάτω

1. Υπολογισμός της μέσης ημερησίας πυκνότητας ενέργειας στην περιοχή που βρίσκεται η οικία
Στην Αθηνά για συλλέκτη με γωνία 30° η Μέση Πυκνότητα Ενέργειας ανά εποχή είναι :
Χειμώνας 90 KWh/m^2 , Φθινόπωρο 137 KWh/m^2 , Άνοιξη 153 KWh/m^2 ,
Καλοκαίρι 196 KWh/m^2 και η Μέση Πυκνότητα Ενέργειας ανά μήνα είναι 144 KWh/m^2
Η Μέση Πυκνότητα Ενέργειας ανά ημέρα είναι $4,8 \text{ KWh/m}^2$
2. Υπολογισμός μέσης ημερησίας κατανάλωσης οικίας
Ένα σπίτι ανάλογα της ανάγκης του καταναλώνει τον μήνα :
 300 KWh έως 800 KWh , μέσος όρος μηνιαίας κατανάλωσης 550 KWh
Αν κάνουμε ανάγωση ανά ημέρα θα θέλουμε :
 10 KWh έως 27 KWh , μέσος όρος ημερησίας κατανάλωσης 19 KWh
3. Υπολογισμός της ισχύος που πρέπει να δώσει το φωτοβολταϊκό πεδίο
Θεωρούμε ότι από τις 30 ημέρες του μήνα 6 ημέρες έχει κακοκαιρία και η εγκατάσταση μας δεν προσφέρει ενέργεια, αλλά αξιοποιείται η αποθηκευμένη
Στο υπολογισμό της ισχύος πρέπει να λάβουμε υπόψη και τις απώλειες ενέργειας που οφείλονται σε διαφορές αιτίες
Υπάρχει ένας τύπος που δίνει προσεγγιστικά την μέγιστη ισχύ του φωτοβολταϊκού πεδίου
$$\text{Ισχύς } \Phi/B = \frac{(\text{Συντελεστής Απωλειών}) \cdot (\text{Μέση Ημερήσια Κατανάλωση})}{(\text{Μέση Ημερήσια Πυκνότητα Ενέργειας})} \cdot \left(\frac{\text{Ημέρες Μήνα}}{\text{Ημέρες Καλοκαιρίας}} \right)$$

$$\Leftrightarrow \text{Ισχύς } \Phi/B = \frac{1,9 \cdot 19}{4,8} \cdot \left(\frac{30}{24} \right) \Leftrightarrow \boxed{\text{Ισχύς } \Phi/B = 9,4 \text{ KW} = 9400 \text{ W}}$$
4. Υπολογισμός πλήθους φωτοβολταϊκών πλαισίων
Θεωρούμε ότι εμείς έχουμε φωτοβολταϊκά πλαίσια μονοκρυσταλλικά με στοιχεία :
Ονομαστική Ισχύς 235 Wp , Ρεύμα στο σημείο μέγιστης ισχύος $I_{MP} = 7,93 \text{ A}$,
Τάση στο σημείο μέγιστης ισχύος $V_{MP} = 29,6 \text{ V}$, Ρεύμα βραχυκύκλωσης $I_{SC} = 8,4 \text{ A}$,
Τάση ανοικτού κυκλώματος $V_{OC} = 36,2 \text{ V}$ και κόστος 300 €

Για να μπορούμε να πιάσουμε τα 9400 W ημερησίως θα θέλουμε $\frac{9400}{235} = 40$ πλαίσια
Συνολικό κόστος φωτοβολταϊκών πλαισίων $40 \cdot 300 = 12000 \text{ €}$

Η διάρκεια ζωής ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου είναι περίπου 30 χρόνια
5. Επιλογή Ρυθμιστή Φόρτισης Συσσωρευτών
Επιλεγούμε ένα ρυθμιστή φόρτισης με τα χαρακτηριστικά :
Α) Για την εισόδο από το φωτοβολταϊκό πεδίο :
Ισχύς 2200 W , Μέγιστη Συνεχή Τάση 140 V , Μέγιστο Ρεύμα 40 A ,
Εύρος Τάσεων όταν δουλεύουμε στο σημείο μέγιστης ισχύος $70 - 100 \text{ V}$
Β) Για την έξοδο στους συσσωρευτές :
Ισχύς 2200 W , Τάση εξόδου 48 V , Μέγιστο Ρεύμα 50 A
Κόστος ενός ρυθμιστή φόρτισης 420 €

6. Εύρεση συνδεσμολογίας φωτοβολταϊκών πλαισίων και τάσης εξόδου

Η τάση εξόδου από το φωτοβολταϊκό πεδίο εξαρτάται από :

- α) ποσό διαθέσιμο χώρο έχουμε για να απλώσουμε τα φωτοβολταϊκά πλαίσια
- β) τον αριθμό των πλαισίων που θα συνδεθούν σε σειρά
- γ) τα χαρακτηριστικά του ρυθμιστή φόρτισης
- δ) τα χαρακτηριστικά του αντιστροφέα
- ε) τα χαρακτηριστικά και το πλήθος των συσσωρευτών

Όταν η φωτοβολταϊκή εγκατάσταση είναι αυτόνομη και αποθηκεύεται η ενέργεια σε συσσωρευτές , ο καθοριστικός παράγοντας είναι η τάση εισόδου του ρυθμιστή φόρτισης και επιλέγουμε την μικρότερη δυνατή συνεχή τάση

Όταν η φωτοβολταϊκή εγκατάσταση στέλνει την ενέργεια στο δίκτυο της ηλεκτρικής εταιρείας (Δ.Ε.Η) τότε επιλέγεται η μεγαλύτερη δύναμη συνεχή τάση

Για ισχύ μέχρι 3 KW η συνεχή τάση εξόδου από το φωτοβολταϊκό πεδίο είναι 100 – 200 V

Για ισχύ μέχρι 15 KW η συνεχή τάση εξόδου από το φωτοβολταϊκό πεδίο είναι 200 – 400 V

Για ισχύ πάνω από 15 KW η συνεχή τάση εξόδου από το φωτοβολταϊκό πεδίο είναι 400 – 700 V

Η ελάχιστη τάση εξόδου του φωτοβολταϊκού πεδίου θα είναι περίπου 58 V ($1,2 \cdot 48 = 57,6$)

Μια ασφαλή τάση εξόδου του φωτοβολταϊκού πεδίου θα είναι περίπου 90 V ($1,2 \cdot 70 = 84$)

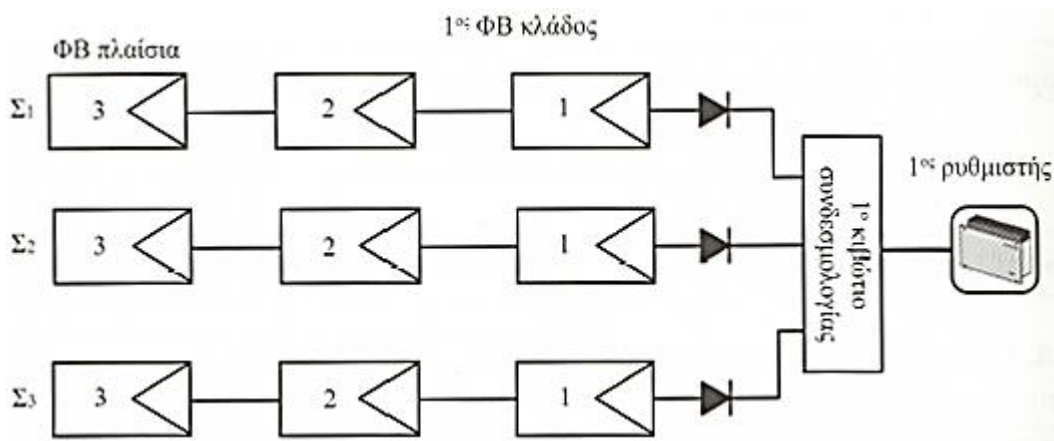
Επειδή το κάθε πλαίσιο δίνει τάση 29,6 V όταν δουλεύει στο σημείο μέγιστης ισχύος για να πάρουμε τάση 90 V πρέπει να συνδέσουμε 3 φωτοβολταϊκά πλαίσια σε σειρά ανά συστοιχία

Η ισχύς που μπορεί να δεχτεί ο ρυθμιστής φόρτισης είναι 2200 W , το κάθε πλαίσιο μπορεί να δώσει μέχρι 235 W , αν διαιρέσουμε αυτά τα δυο παίρνουμε τον αριθμό φωτοβολταϊκών πλαισίων που μπορεί να υποστηρίξει ένα ρυθμιστής φόρτισης $\frac{2200}{235} \approx 9$ πλαίσια

Επειδή έχουμε 3 πλαίσια ανά συστοιχία θα πάρουμε και 3 συστοιχίες σε παραλληλία και θα δημιουργήσουμε ένα κλάδο με 9 φωτοβολταϊκά πλαίσια τα όποια θα υποστηρίζονται ένα ρυθμιστή φόρτισης

Θα δούμε τώρα αν είμαστε εντάξει και με το μέγιστο ρεύμα εισόδου του ρυθμιστή φόρτισης που είναι 40 A

Η μέγιστη ισχύς των 9 πλαισίων είναι $9 \cdot 235 = 2115$ W , η μέγιστη τάση 90 V , αρά το μέγιστο ρεύμα που δίνουν τα 9 πλαίσια είναι $\frac{2115}{90} = 23,5$ A αρά είμαστε καλυμμένοι



Θυμίζουμε ότι χρειαζόμαστε 40 πλαίσια και ο κάθε κλάδος χρησιμοποιεί 9 , όποτε θα χρησιμοποιήσουμε $\frac{40}{9} = 4,44 \approx 5$ κλαδους , αρά 5 ρυθμιστές φόρτισης

Συνολικό κόστος ρυθμιστών φόρτισης συσσωρευτών $5 \cdot 420 = 2100$ €

Πρέπει να τονίσουμε ότι οι πολύ ρυθμιστές φόρτισης κάνουν την εγκατάσταση ποιο πολύπλοκη με πολλά καλώδια και επιπλέον απώλειες ενέργειας

Οι 5 ρυθμιστές φόρτισης θα συνδέονται μεταξύ τους με καλώδιο

Για να διατηρήσουμε την συμμετρία και ο κάθε κλάδος να έχει 9 πλαίσια θα πρέπει να αυξηθούν τα συνολικά πλαίσια σε 45 ($5 \cdot 9 = 45$)

Η μέγιστη ισχύ που θα δώσουν αλλάζει και γίνεται 10575 Wp

Το νέο κόστος των πλαισίων θα είναι 13500 €

7. Επιλογή συσσωρευτή

Θα χρησιμοποιήσουμε συσσωρευτές Μόλυβδου GEL με στοιχεία 12 V / 250 Ah και

Κόστος 450 €

8. Υπολογισμός συνολικής χωρητικότητας συσσωρευτών

Για να μπορέσουμε να βρούμε την συνολική χωρητικότητα των συσσωρευτών χρησιμοποιώντας ένα προσεγγιστικό τύπο

$$C = \frac{(\text{Συντελεστής}) \cdot (\text{Μέση Ημερήσια Κατανάλωση})}{(\text{Τάση Φόρτισης Συσσωρευτών})} \cdot (\text{Ημέρες Κακοκαιρίας}) \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow C = \frac{3,2 \cdot 19000 \cdot 6}{48} \cdot \Leftrightarrow \boxed{C = 7600 \text{ Ah}}$$

9. Εύρεση συνδεσμολογίας συσσωρευτών

Το πλήθος των συσσωρευτών θα είναι $\frac{7600}{250} \approx 30$

Θυμίζουμε ότι η τάση εξόδου του ρυθμιστή φόρτισης είναι 48 V , οπότε και η τάση εισόδου μιας συστοιχίας συσσωρευτών θα είναι 48 V και με δεδομένο ότι ο κάθε συσσωρευτής φορτίζεται στα 12 V θα πρέπει να συνδέσουμε 4 συσσωρευτές σε σειρά σε κάθε συστοιχία

Διαιρώντας το 30 με το 4 μας δίνει 7,5 αρά θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε 32 συσσωρευτές 4 σε κάθε σειρά και 8 σειρές σε παραλληλία με συνολική χωρητικότητα 8000 Ah και συνολικό κόστος $32 \cdot 450 = 14400 \text{ €}$

Η διάρκεια ζωής των συσσωρευτών είναι στην καλύτερη περίπτωση 7 χρόνια , αρά μετά απο 7 χρόνια πρέπει να ξαναπληρώσουμε το παραπάνω ποσόν

10. Επιλογή Αντιστροφέα

Όταν φωτοβολταϊκή μας εγκατάσταση είναι αυτόνομη ο αντιστροφέας θα παίρνει ενέργεια από τους συσσωρευτές

Όταν φωτοβολταϊκή μας εγκατάσταση συνδέεται κατευθείαν στο δίκτυο της Δ.Ε.Η ο αντιστροφέας θα παίρνει ενέργεια από το φωτοβολταϊκό πεδίο

Ονομαστική Τάση Εξόδου AC (ρυθμιζόμενη) 230 V (202 V - 253 V)

Συχνότητα δικτύου AC (ρυθμιζόμενη) 50 Hz / 60 Hz (45 Hz – 65 Hz)

Συνεχής Ισχύς Εξόδου AC στους 25° C 8000 W

Τάση Εισόδου DC από συσσωρευτές 48 V

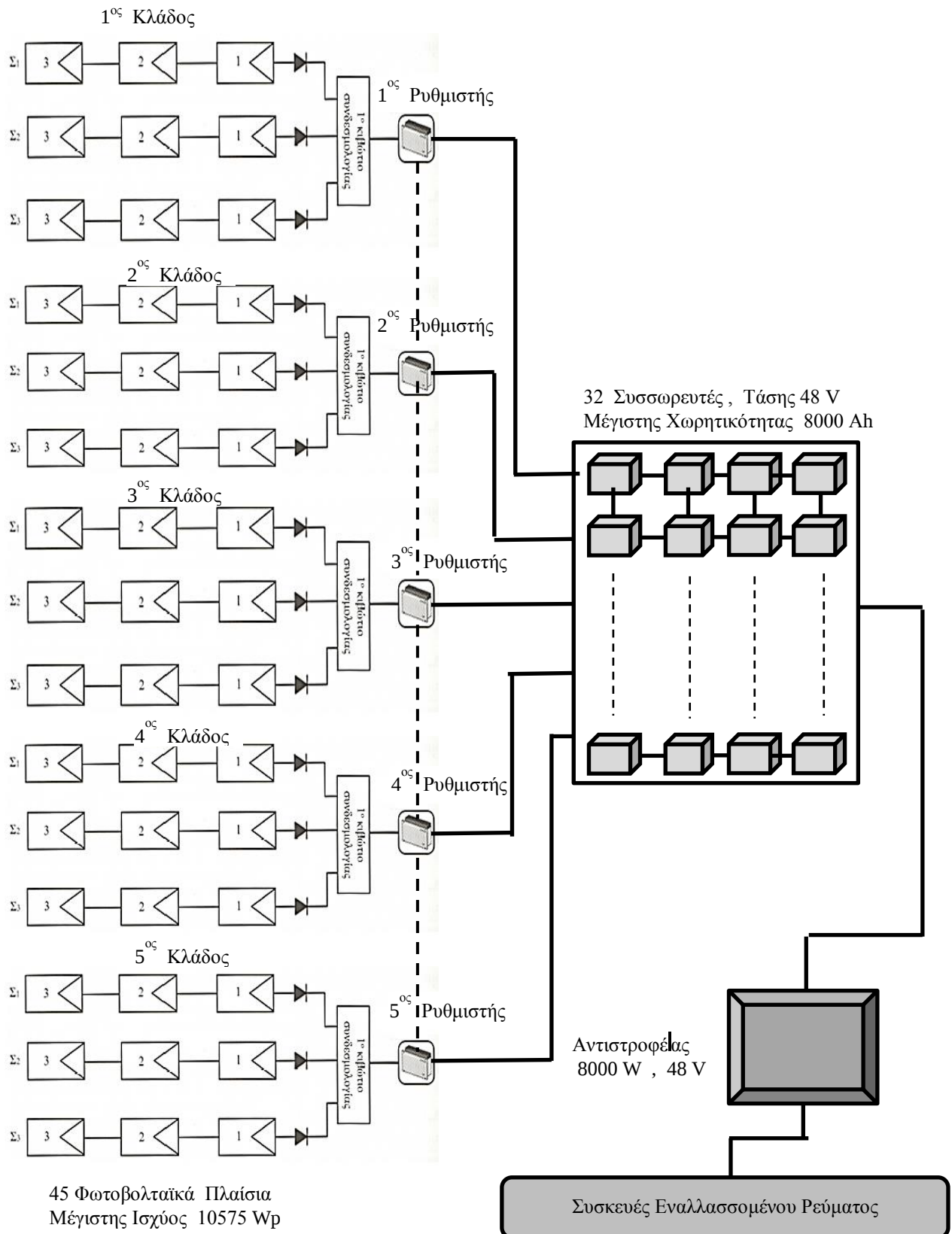
Μέγιστο ρεύμα φόρτισης συσσωρευτών 100 A

Κόστος 4300 € (διάρκεια ζωής περίπου 10 χρόνια)

11. Υπόλοιπα που απαιτούνται

- 1) πινάκες συνδέσεων
- 2) ασφάλειες
- 3) καλώδια
- 4) βάσεις στήριξης των πλαισίων
- 5) αντικεραυνική προστασία
- 6) γείωση
- 7) μονώσεις συσκευών , καλωδίων
- 8) όργανα μέτρησης έντασης ηλιακής ακτινοβολίας
- 9) συστήματα πυρασφάλειας
- 10) φωτισμός
- 11) συστήματα συναγερμού
- 12) μετρητές καταγραφής δεδομένων

- 13) δυνατότητα σύνδεσης με υπολογιστή και παρακολούθησης της εγκατάστασης μέσω δικτυού
 14) μελέτη , τοποθέτηση και σύνδεση των κομματιών από ηλεκτρολόγο
 15) συντήρηση της εγκατάστασης από κατάλληλο συνεργείο 16) περίφραξη
 Όλα τα παραπάνω έχουν ένα κόστος **10000 €**



Συνολικό Κόστος όλης της εγκατάστασης περίπου 45500 € , πρέπει να λάβουμε υπόψη ότι υπάρχουν φθορές , ζημιές και αλλαγές υλικών που ανεβάζουν το κόστος

Κόστος στην Δ.Ε.Η με τιμή ανά KWh 0,17 € για ένα έτος περίπου 1180 €

Βλέπουμε ότι δεν θα γίνει ποτέ απόσβεση της κατασκευής . Για να αξίζει τον κόπο η επένδυση θα πρέπει να συνδεθούμε στο δίκτυο της Δ.Ε.Η και να πουλάμε ενέργεια .

Στην περίπτωση αυτή κερδίζουμε το κόστος των συσσωρευτών και των ρυθμιστών φόρτισης (16650 €) πιθανόν να χρειαζόμαστε περισσότερους και μικρότερους αντιστροφείς

Η τιμή αγοράς της KWh από την Δ.Ε.Η είναι περίπου 0,11 €

Αν υποθέσουμε ότι μπορούμε να δίνουμε στην Δ.Ε.Η καθημερινά 9 KWh τότε στον χρόνο θα έχουμε κερδίσει περίπου 360 €

Αρά βλέπουμε ότι πάλι θα αργήσουμε πολύ να κάνουμε απόσβεση των χρημάτων

Συμπέρασμα για να αξίζει η επένδυση θα πρέπει να φτιάξουμε μια φωτοβολταϊκή εγκατάσταση που να δίνει ενέργεια στην Δ.Ε.Η πάνω από 100 KWh

Επίλογος

Η χρήση των φωτοβολταϊκών πλαισίων στις μέρες μας είναι επιβεβλημένη .

Οι λόγοι είναι κυρίως τρεις :

- A) Το κόστος από την αγορά πετρελαίου ή φυσικού αερίου , το οποίο όλο και αυξάνεται λόγω της μείωσης των αποθεμάτων
- B) Η ρύπανση του περιβάλλοντος , η οποία όλο και αυξάνεται λόγω της μεγάλης παραγωγής καυσαερίων
- Γ) Η επικινδυνότητα από την λειτουργία πυρηνικών εργοστασίων , τα οποία αντί να μειώνονται αυξάνονται

Η παράγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά συστήματα έχει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα , παρακάτω θα αναφερθούν ορισμένα

Επιδίωξη μας στα χρόνια που θα έρθουν πρέπει να είναι ο περιορισμός των μειονεκτημάτων , ώστε η αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας να γίνει αναγκαιότητα

Πλεονεκτήματα

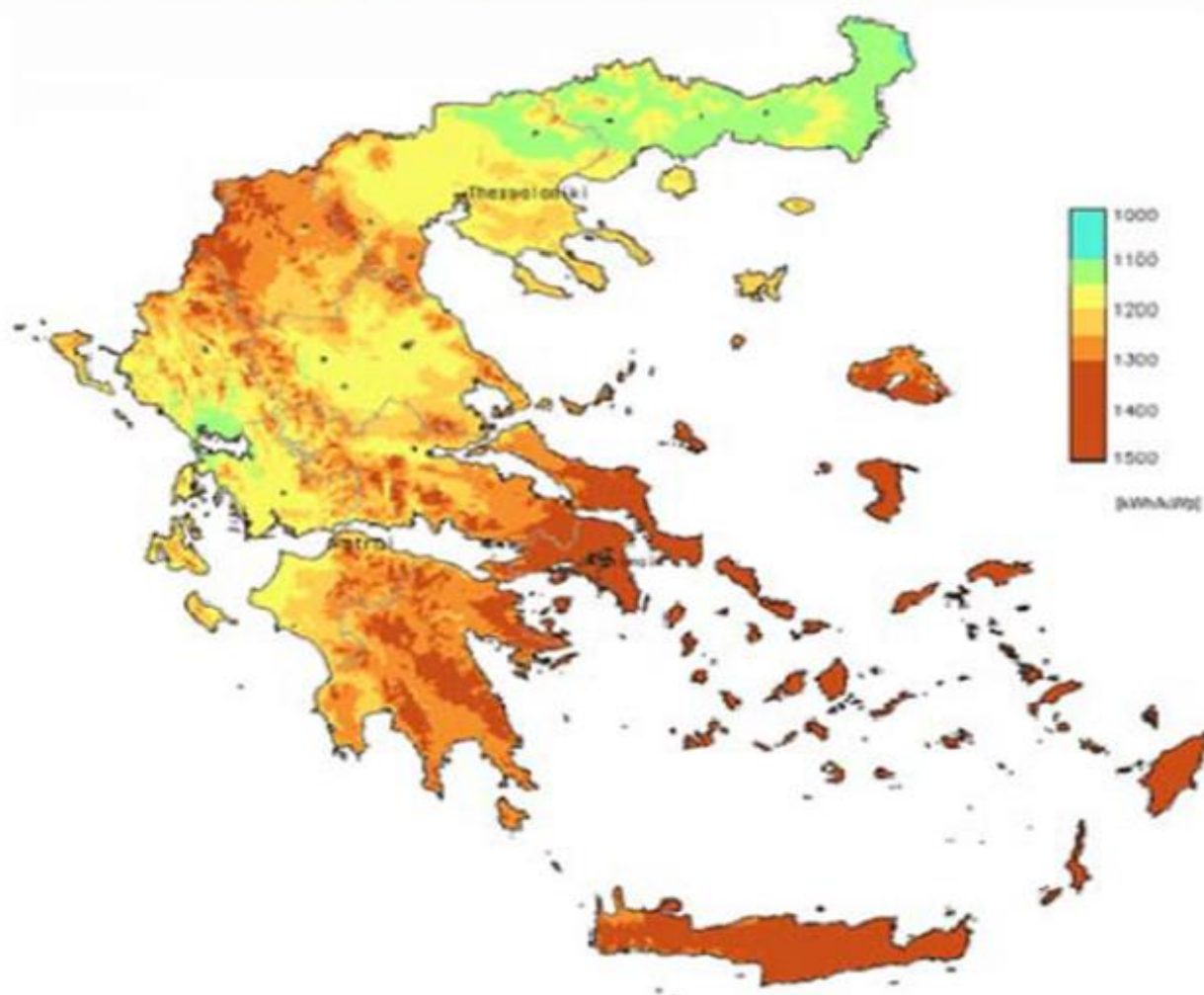
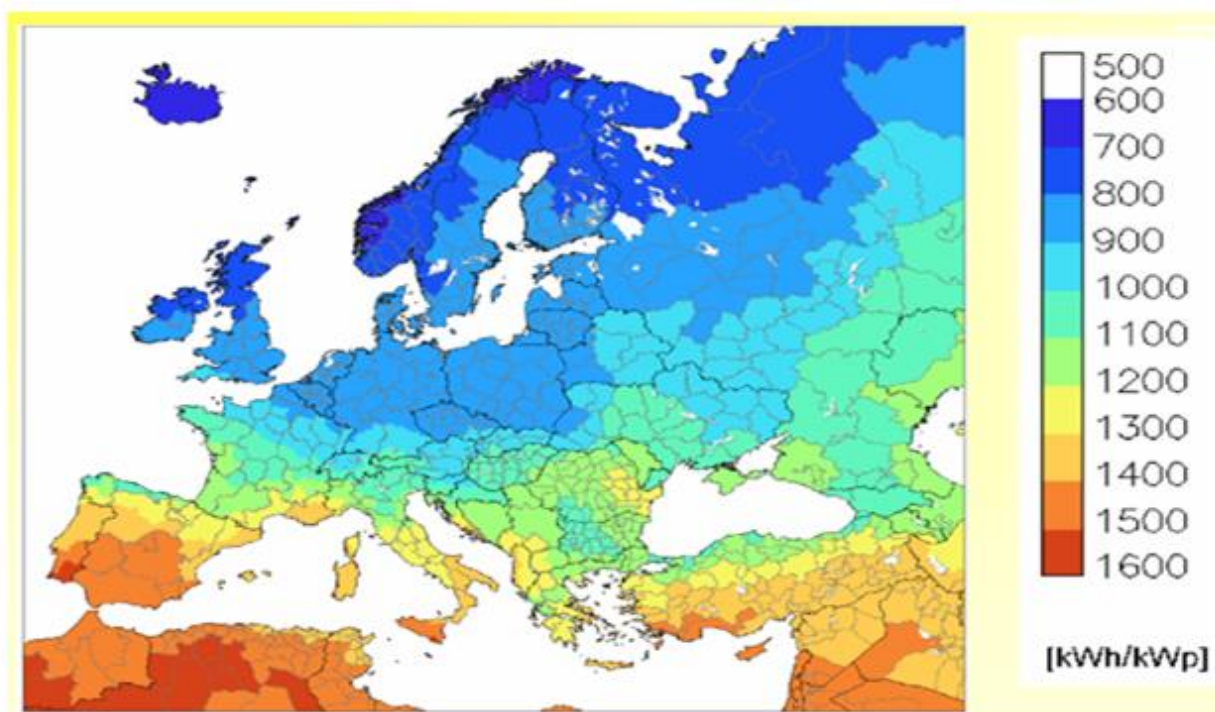
- Η παράγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από μια ανεξάντλητη πηγή , τον ήλιο
- Δεν προκαλεί άμεσους ρίπους για το περιβάλλον
- Προσφέρει εισόδημα και επένδυση χρημάτων
- Δημιουργεί θέσης εργασίας
- Βοήθα την χωρά στην εξοικονόμηση χρημάτων από την αγορά πετρελαίου
- Δίνει σε μια χωρά ενεργειακή αυτονομία και την δυνατότητα να μην εξαρτάται άμεσα από άλλες χώρες
- Περιορισμένο κόστος συντήρησης

Μειονεκτήματα

- Οι συσσωρευτές που χρησιμοποιούνται είναι τοξικοί για το περιβάλλον και η αντικατάσταση τους δημιουργεί μια οικονομική επιβάρυνση
- Οι εκτάσεις που φιλοξενούν φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις γίνονται ακατάλληλες για παράγωγή διότι το χώμα δεν δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία
- Πολλοί αγρότες πιστεύοντας ότι τα φωτοβολταϊκά είναι μια καλή επένδυση έχουν αφαιρέσει τις καλλιέργειες με αποτέλεσμα να μειωθεί η αγροτική παράγωγή και να αυξηθεί η τιμή των προϊόντων
- Το κόστος μιας φωτοβολταϊκής εγκαταστάσεις είναι μεγάλο και πολλές φορές πρέπει να περάσουν πολλά χρόνια για να γίνει απόσβεση χρημάτων
- Είναι εκτεθειμένα στις καιρικές συνθήκες και μπορεί μια θεομηνία να δημιουργήσει μεγάλη καταστροφή και απώλεια χρημάτων που επενδυθήκαν
- Οι τιμές των ηλεκτρικών εταιρειών που εκμεταλλεύονται την ηλεκτρική ενέργεια δεν είναι διασφαλισμένες και μπορεί η επένδυση να έγινε με αλλά δεδομένα τα οποία στην πορεία άλλαξαν και δεν αποφέρει το επιθυμητό κέρδος
- Έχουν χαμηλή απόδοση

Η Ελλάδα που είναι μια χωρά με υψηλή ηλιοφάνεια πρέπει επενδύσει πολύ στα φωτοβολταϊκά δημιουργώντας δίκες της εταιρίες που θα παραγάγουν υλικά για φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις με αποτέλεσμα και θέσεις εργασίας να δημιουργηθούν να μειωθεί το κόστος των υλικών , αρά να γίνει ποιο συμφέρουσα επένδυση

Παρακάτω φαίνεται η ετησια παραγωγή ενέργειας από φωτοβολταϊκά στην Ευρώπη και στην Ελλάδα



Φωτογραφικό Υλικό

Lobosillo PV Plant (12,7 MW), Spain



Lobosillo PV Plant (12,7 MW), Spain



PV Plant, USA

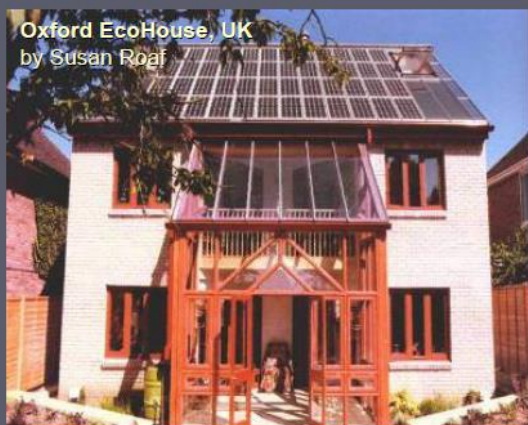
Pocking PV Plant (10 MW), Germany



ΚΑΤΟΙΚΙΕΣ



The Woubrugge House, Netherlands



Oxford EcoHouse, UK
by Susan Roaf



Heliotrop, Germany
by Prof. Rolf Disch Architect



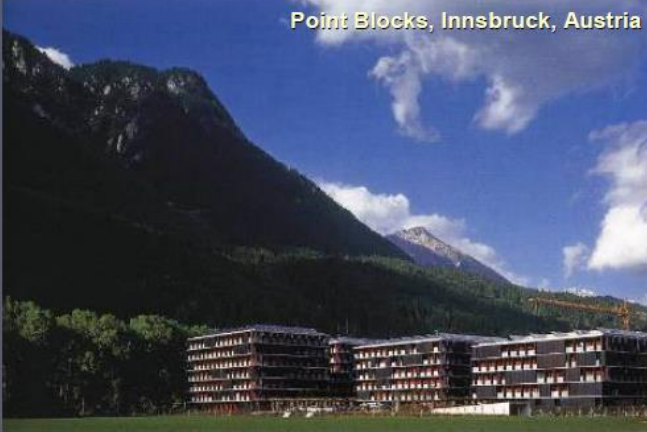
Low-energy House, Bregenz,
Germany, by Daniel Sauter



Darmstadt Solar House, Germany
by DoE

ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑΤΑ ΚΑΤΟΙΚΙΩΝ

Point Blocks, Innsbruck, Austria



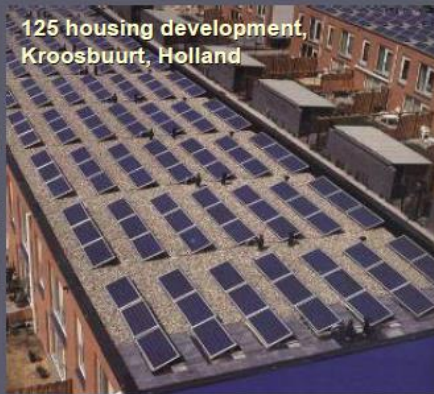
Student Housing, Switzerland



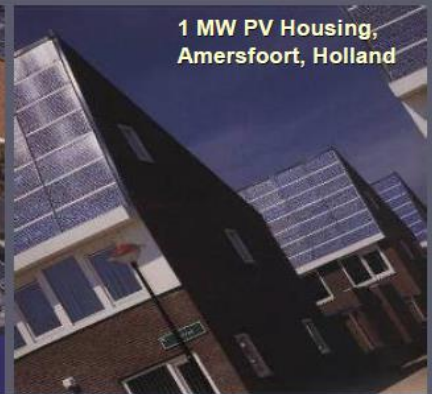
Panta Rhei subproject, (50 houses), Holland



125 housing development, Kroosbuurt, Holland



1 MW PV Housing, Amersfoort, Holland



ΔΗΜΟΣΙΑ ΚΤΙΡΙΑ



Handelshaus, Innsbruck, Austria



Service centre Tax Offices, Munich, Germany
by Bernhard Peck



Municipal Services Building, Pirmasens, Germany
by Bachmann & Weidinger

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑ-ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΑ



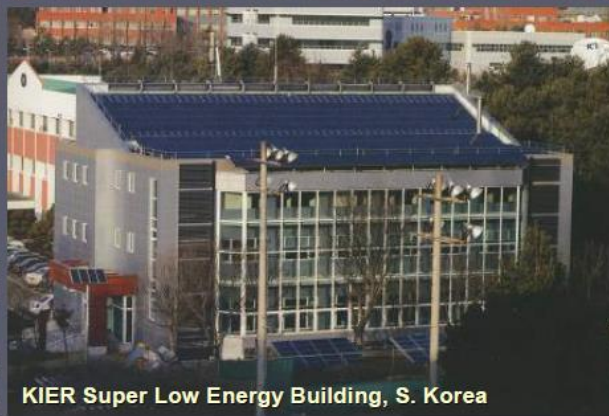
Scheidegger Metallbau, Kirchberg, Switzerland
by Hostettler & Partner



Super Energy Conservation Building, Tokyo, Japan
by Ohbayashi-Gumi Architect

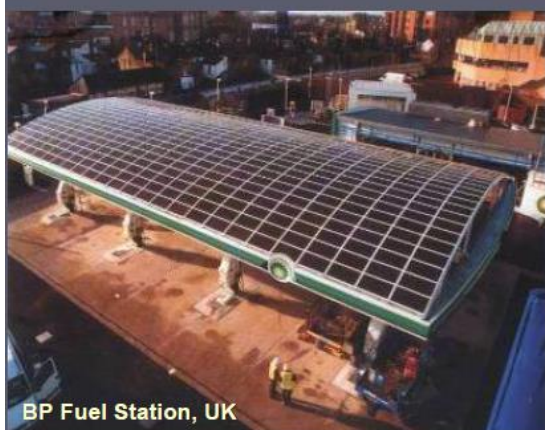


Solarzentrum Freiburg, Germany
by Planerwerkstatt Holken & Berghoff



KIER Super Low Energy Building, S. Korea

ΕΙΔΙΚΑ ΚΤΙΡΙΑ



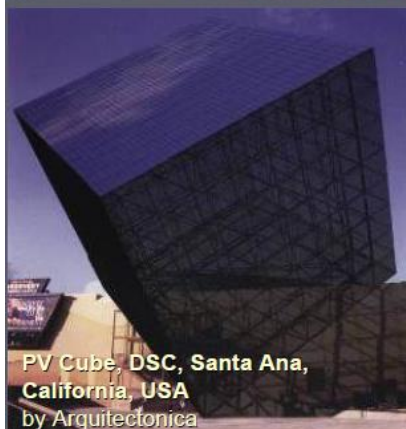
BP Fuel Station, UK



BP Demonstration Building, UK



Church of Steckborn, Switzerland
by Nordostschweizerische Kraftwerke AG



PV Cube, DSC, Santa Ana, California, USA
by Arquitectonica



Sainsbury's Petrol Station, UK

ΚΤΙΡΙΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Soft Centre HQ, Αθήνα



ΗΛΙΟΔΟΜΗ Α.Ε., Κιλκίς



Πράσινες πόλεις



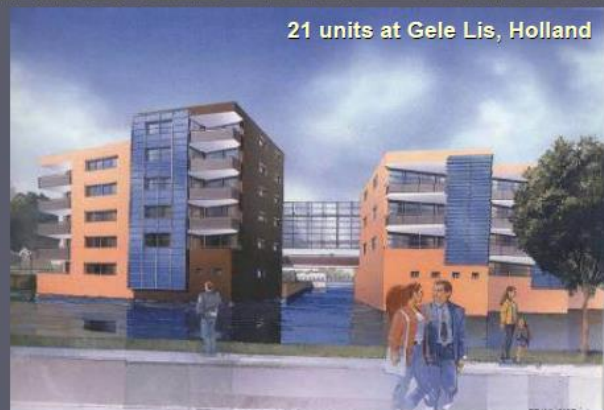
250 kWp Project, Housing Development, Amsterdam (1995), Holland



Το κέντρο διοίκησης του Masdar City, United Arab Emirates, by Foster & Partners



Kensal Green, UK



21 units at Gele Lis, Holland



Ένα από τα μεγαλύτερα φωτοβολταϊκά πάρκα στην Ελλάδα στη Θήβα, 50 χλμ βόρεια της Αθήνας.

Αποτελείται από 12.400 μονοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά πλαίσια.

Υπολογίζεται ότι η παραγωγή θα φτάσει τα 2.7 εκατομμύρια KWh το έτος, η οποία ισοδυναμεί με κατανάλωση ενέργειας 800 νοικοκυριών των 3 ατόμων.

Βιβλιογραφία

Η βιβλιογραφία κυρίως στηρίχτηκε στο Διαδίκτυο

Με την βοήθεια των μηχανών αναζήτησης γινόταν ο εντοπισμός εργασιών φοιτητών για το κάθε κομμάτι της εργασίας

Από το κάθε αρχείο που εντοπιζόταν στο διαδίκτυο γινόταν η άντληση στοιχείων που αφορούσε την δομή της εργασίας μας

Η συναρμολόγηση όλων αυτών των κομματιών μας έδωσε την δυνατότητα να παρουσιάσουμε μια εργασία που ξεκινά από το πυρίτιο σαν πρώτη υλη και καταλήγει στην αξιοποίηση μιας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης