

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ



Πτυχιακή Εργασία

Περιγραφή Φωτοβολταϊκού Πάνελ

Αλέξανδρος Κανάκης Α.Μ. 6914

Επιβλέπων : Σχοινάς Νικόλαος Επίκουρος Καθηγητής

ΑΘΗΝΑ ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2021

Copyright © Αλέξανδρος Κανάκης, 2021.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved. Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Δυτικής Ελλάδας.

Ευχαριστίες

Καταρχάς θέλω να ευχαριστήσω τον επίκουρο και καθηγητή μου Νικόλαο Σχοινά για τις κατευθύνσεις και τη βοήθεια που μου έδωσε κατά το σχεδιασμό και την εκπόνηση της παρούσας πτυχιακής εργασίας. Επίσης, θερμές ευχαριστίες στην οικογένειά μου για την αμέριστη υποστήριξή της σε όλα τα χρόνια των ακαδημαϊκών σπουδών μου και σε όλους όσους με βοήθησαν με τον οποιοδήποτε τρόπο κατά τη διάρκεια αυτού του πονήματος.

Περίληψη

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία θα ασχοληθούμε με την περιγραφή ενός φωτοβολταϊκού πάνελ, ποια στοιχεία το αποτελούν και γιατί χρησιμοποιείται το καθετί. Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια αναφορά σε όλες τις πηγές ενέργειας, συμβατικές και ανανεώσιμες καταλήγοντας στην ηλιακή ενέργεια την οποία εκμεταλλεύονται τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύεται εκτενέστερα ο ήλιος και πιο συγκεκριμένα η ηλιακή ακτινοβολία που μαζεύουν οι ηλιακή συλλέκτες. Στη συνέχεια στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται μια ιστορική αναδρομή σχετικά με την φωτοβολταϊκή τεχνολογία, το φωτοβολταϊκό φαινόμενο και πως φτάσαμε ως τη σημερινή της μορφή. Περιγράφετε ένα φωτοβολταϊκό πάνελ, τα μέρη, οι τύποι, οι τρόποι σύνδεσης, οι κατηγορίες, τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά ενός φβ στοιχείου όπως η καμπύλη I-V και άλλα, καθώς και ο βαθμός απόδοσής του και τα προβλήματα που συναντάμε, ώστε να έχουμε το μέγιστο δυνατό αποτέλεσμα. Στο τέταρτο και τελευταίο κεφάλαιο γίνεται λόγος για τον τρόπο αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας δηλαδή για τους ηλεκτρικούς συσσωρευτές, αναλύεται η δομή τους, οι κατηγορίες, η λειτουργία τους σε ένα φβ σύστημα, οι τύποι, τα χαρακτηριστικά τους μεγέθη, ο κύκλος λειτουργίας και η μοντελοποίηση ενός συσσωρευτή στην πιο απλή του μορφή κατά State Resistance.

Λέξεις κλειδιά: Φωτοβολταϊκό πάνελ, Φωτοβολταϊκά συστήματα, Φωτοβολταϊκό φαινόμενο

Abstract

In this thesis we will deal with the description of a photovoltaic panel, about the parts that it consists of and about their usage. In the first chapter a reference is made to all energy sources, conventional and renewable, ending with solar energy which is exploited by PV systems. The second chapter analyzes in more detail the sun and more specifically the solar radiation that collected by solar panels. Then in the third chapter there is a historical review about photovoltaic technology, the photovoltaic phenomenon and how we got to its current form. A photovoltaic panel is

described in this chapter about its parts, types, ways of connection, categories, electrical characteristics of a PV element such as curve IV and others, as well as its efficiency and the problems we encounter, in order to have the maximum possible result. Finally in the fourth chapter we will talk about the way of storing electricity and we will analyze the structure of electric accumulators. Furthermore we will elaborate the categories that are made up, their operation in a PV system, their types, their characteristic sizes, the operating cycle and finally the modeling of an accumulator in its simplest form according to State Resistance.

Key words : Photovoltaic panel, photovoltaic systems, Photovoltaic phenomenon

Πίνακας συντομογραφιών:

Φ/B = Φωτοβολταϊκό-ά

A.Π.Ε= Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1 : Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

1.1 Εισαγωγή	σελ. 7
1.2.Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας	σελ. 8
1.3. Αιολική ενέργεια	σελ. 8
1.4. Ενέργεια κυμάτων	σελ. 9
1.5. Γεωθερμική ενέργεια	σελ. 9
1.6. Βιομάζα	σελ. 10
1.7. Υδροηλεκτρική ενέργεια	σελ. 10
1.8. Ηλιακή ενέργεια	σελ. 11

Κεφάλαιο 2 : Ηλιακή ακτινοβολία

2.1. Ο ήλιος	σελ. 12
2.2. Ηλιακή ακτινοβολία	σελ. 12
2.3. Ηλιακή σταθερά	σελ. 13
2.4. Το ηλιακό φάσμα	σελ. 13
2.5. Ηλιακή γεωμετρία	σελ. 14
2.6. Απευθείας ακτινοβολία	σελ. 16
2.7. Διάχυτη ακτινοβολία	σελ. 17
2.8. Διάχυτη ανακλώμενη ακτινοβολία	σελ. 17

2.9. Προσανατολισμός – κλίση και σκίαση	σελ. 18
2.9.1. Όργανα μέτρησης ηλιακής ακτινοβολίας	σελ. 25

Κεφάλαιο 3 : Φωτοβολταϊκά συστήματα

3.1. Ιστορική αναδρομή	σελ. 26
3.2. Φωτοαγωγιμότητα	σελ. 29
3.3. Φωτοβολταϊκό φαινόμενο	σελ. 30
3.4. Περιγραφή φωτοβολταϊκού πάνελ	σελ. 31
3.5. Τύποι φωτοβολταϊκών πάνελ	σελ. 33
3.6 Τρόποι σύνδεσης φωτοβολταϊκών στοιχείων	σελ. 41
3.7. Κατηγορίες φωτοβολταϊκών συστημάτων	σελ. 44
3.8. Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκού στοιχείου	σελ. 48
3.9. Βαθμός απόδοσης, επιπτώσεις θερμοκρασίας κι άλλα	σελ. 51

Κεφάλαιο 4 : Αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας

4.1. Ηλεκτρικοί συσσωρευτές	σελ. 55
4.2. Δομή συσσωρευτών	σελ. 56
4.3. Κατηγορίες συσσωρευτών	σελ. 58
4.4. Λειτουργία συσσωρευτών στα ΦΒ συστήματα	σελ. 61
4.5. Τύποι συσσωρευτών	σελ. 64
4.6. Χαρακτηριστικά μεγέθη ενός συσσωρευτή	σελ. 66
4.7. Κύκλος λειτουργίας (DUTY CYCLE)	σελ. 69

Βιβλιογραφία**Κεφάλαιο 1 – Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας****1.1. Εισαγωγή**

Η ενέργεια αποτελούσε πάντα ένα από τα κύρια αγαθά για τον άνθρωπο, καθώς μέσω αυτής μπορούσε να ικανοποιήσει διάφορες βασικές του ανάγκες όπως η θέρμανση, η κίνηση και ο φωτισμός. Ο πιο συνηθισμένος τρόπος παραγωγής της ενέργειας είναι το πετρέλαιο, ο λιγνίτης και το φυσικό αέριο που αντλούνται από το έδαφος και το υπέδαφος αντίστοιχα, χωρίς ωστόσο να υπάρχουν σε απεριόριστες ποσότητες στη φύση. Η καύση αυτών των ορυκτών, όμως ελευθερώνει αέρια επιβλαβή για το περιβάλλον όπως το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) στην ατμόσφαιρα, ενώ παράλληλα δημιουργούνται διάφοροι ρύποι ή εκλύονται άλλα επιβλαβή αέρια, με συνέπεια την υπερθέρμανση του πλανήτη και την κλιματική αλλαγή. Στα μέσα του 20^{ου} αιώνα η πυρηνική ενέργεια ήρθε για να λύσει τα προβλήματα αυτά. Πολύ γρήγορα, όμως διάφορα ατυχήματα όπως αυτό του Τσερνόμπιλ δεν άφησαν περιθώρια αμφισβήτησης σχετικά με την αδυναμία μας στο να διασφαλίσουμε την ελεγχόμενη παραγωγή της πυρηνικής ενέργειας, καθώς οι ποσότητες της ραδιενέργειας που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα είναι τεράστιες και προκαλούν διάφορες μεταλλάξεις και ανωμαλίες στους ζωντανούς οργανισμούς.

1.2. Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ), είναι μορφές ενέργειας που προέρχονται από διάφορες φυσικές διαδικασίες, όπως ο άνεμος, η γεωθερμία, η κυκλοφορία του νερού και ο ήλιος. Για την αξιοποίηση τους δεν χρειάζεται κάποια ενεργητική παρέμβαση, όπως εξόρυξη, άντληση ή καύση, όπως με τις μέχρι τώρα εφαρμοσμένες πηγές ενέργειας, αλλά απλώς η εκμετάλλευση της ήδη υπάρχουσας ροής ενέργειας στη φύση. Πρόκειται για «καθαρές» μορφές ενέργειας, φιλικές στο περιβάλλον, που δεν αποδεδυόουν υδρογονάνθρακες, διοξείδιο του άνθρακα ή τοξικά και ραδιενεργά απόβλητα, όπως οι γνωστές πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται σε μεγάλη κλίμακα. Έτσι οι ΑΠΕ θεωρούνται από πολλούς μία αφετηρία για την επίλυση των οικολογικών προβλημάτων που αντιμετωπίζει ο πλανήτης μας όπως το φαινόμενο του θερμοκηπίου, καθώς θεωρητικά βρίσκονται στη φύση σε ανεξάντλητες ποσότητες, χωρίς όμως να παράγουν ενέργεια με έναν σταθερό ρυθμό, γιατί αυτό εξαρτάται από τα καιρικά φαινόμενα που επικρατούν σε κάθε τόπο. Η Ελλάδα ωστόσο είναι μια προνομιούχα χώρα ως προς τις συνθήκες και την εγκατάσταση συστημάτων στο θέμα αυτό. Παρακάτω θα δούμε τα κυριότερα είδη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

1.3. Αιολική ενέργεια

Η αιολική ενέργεια παράγεται από την εκμετάλλευση του ανέμου. Οι άνεμοι είναι μεγάλες μάζες που μετακινούνται με ταχύτητα από την μια περιοχή στην άλλη και δημιουργούνται από την ανομοιόμορφη θέρμανση της επιφάνειας της Γης από τον ήλιο. Η ενέργεια αυτή χαρακτηρίζεται ως ήπια μορφή ενέργειας και περιλαμβάνεται στις καθαρές πηγές, καθώς δεν εκπέμπει ρύπους και πρακτικά είναι ανεξάντλητη τόσο που η κινητική ενέργεια των ανέμων θα μπορούσε να καλύψει πάνω από δυο φορές τις ανάγκες της ανθρωπότητας σε ηλεκτρική ενέργεια. Σήμερα η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας γίνεται σχεδόν αποκλειστικά με μηχανές που μετατρέπουν την ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική και ονομάζονται

ανεμογεννήτριες που κατατάσσονται σε δυο βασικές κατηγορίες τις ανεμογεννήτριες με οριζόντιο άξονα, όπου ο δρομέας είναι τύπου έλικας και ο άξονας μπορεί να περιστρέφεται συνεχώς παράλληλα προς τον άνεμο και τις ανεμογεννήτριες με κατακόρυφο άξονα που παραμένει σταθερός.

1.4. Ενέργεια κυμάτων

Η ενέργεια κυμάτων παράγεται από την εκμετάλλευση των κυμάτων της θάλασσας. Τα κύματα σχηματίζονται από τους ανέμους της τροπόσφαιρας, και από τη διαφορά θερμοκρασίας σε διάφορα σημεία του νερού από τον ήλιο δημιουργώντας ρεύματα. Η ενέργεια αυτή προκύπτει από την κινητική ενέργεια συνεπώς είναι ανεξάρτητη από εισαγωγές καυσίμων, άρα φιλική προς το περιβάλλον, και πρακτικά ανεξάντλητη. Οι επιπτώσεις της εγκατάστασης κατασκευών για την εκμετάλλευση της προς την χλωρίδα και την πανίδα είναι ήπιες, ενώ μικρές θεωρούνται η οπτική και ακουστική ενόχληση. Η κυματική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για αφαλάτωση και παροχή γλυκού νερού κατάλληλου προς χρήση ιδιαίτερα στις νησιωτικές περιοχές όπου δεν υπάρχει άφθονο γλυκό νερό.

1.5. Γεωθερμική ενέργεια

Η γεωθερμική ενέργεια προέρχεται από το εσωτερικό της γης. Η θερμική ενέργεια εμπεριέχεται σε φυσικούς ατμούς, σε επιφανειακά ή υπόγεια θερμά νερά και σε θερμά ξηρά πετρώματα. Είναι ήπια και σχετικά ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, συνεισφέρει σε μια πιο καθαρή ατμόσφαιρα και στην εξοικονόμηση φυσικών πόρων, κυρίως με την ελάττωση κατανάλωσης των εγχώριων αποθεμάτων λιγνίτη. Η χρήση της είναι

συνήθως για ψύξη ή θέρμανση λόγω του ότι λίγα μέτρα κάτω από την επιφάνεια της γης η θερμοκρασία του εδάφους είναι σταθερή στους 18-20 βαθμούς Κελσίου, αν εκμεταλλευτούμε τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ υπεδάφους και επιφάνειας μπορούμε να θερμάνουμε χώρους το χειμώνα και να τους ψύξουμε αντίστοιχα το καλοκαίρι. Αυτό γίνεται εύκολα με τη χρήση μιας γεωθερμικής αντλίας θερμότητας. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμικά ρευστά λαμβάνει χώρα σε μονάδες που λειτουργούν είτε με συμβατικούς ατμοστρόβιλους ή με δυαδικό κύκλο ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του γεωθερμικού πόρου.

1.6. Βιομάζα

Η βιομάζα είναι κάθε οργανική ύλη που προέρχεται άμεσα ή έμμεσα από τον φυτικό κόσμο. Η ενέργεια που είναι δεσμευμένη στις φυτικές ουσίες προέρχεται από τον ήλιο, όπου με τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης τα φυτά μετασχηματίζουν την ηλιακή ενέργεια σε βιομάζα. Είναι ανανεώσιμη πηγή ενέργειας φιλική για τον πλανήτη καθώς η καύση της βιομάζας έχει μηδενικό ισοζύγιο διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) αφού οι ποσότητες που απελευθερώνονται κατά την καύση της δεσμεύονται πάλι από τα φυτά για τη δημιουργία της βιομάζας, όμως ο αυξημένος όγκος και η μεγάλη περιεκτικότητα σε υγρασία σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα δυσχεραίνουν την ενεργειακή αξιοποίησή της.

1.7. Υδροηλεκτρική ενέργεια

Η υδροηλεκτρική ενέργεια λέγεται η εκμετάλλευση της κινητικής ενέργειας του τρεχούμενου νερού (υδατικούς πόρους) με σκοπό κυρίως την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Είναι μια καθαρή και ανανεώσιμη

πηγή ενέργειας, πρακτικά ανεξάντλητη που συμβάλλει στη μείωση της εξάρτησης από συμβατικούς πόρους και φιλική προς το περιβάλλον, καθώς δεν παράγει φυσικούς ρύπους και θόρυβο. Η λειτουργία των υδροηλεκτρικών μονάδων βασίζεται στην κίνηση του νερού λόγω διαφοράς μανομετρικού ύψους μεταξύ των σημείων εισόδου και εξόδου. Για το σκοπό αυτό κατασκευάζεται ένα φράγμα που συγκρατεί την απαιτούμενη ποσότητα νερού στον δημιουργημένο ταμιευτήρα. Κατά τη διέλευση του από τον αγωγό πτώσεως κινεί έναν στρόβιλο ο οποίος θέτει σε λειτουργία την γεννήτρια. Δυστυχώς το κόστος κατασκευής φραγμάτων και εξοπλισμού των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής είναι μεγάλο καθώς και η χρονική διάρκεια που απαιτείται μέχρι την αποπεράτωση του έργου. Επίσης η έντονη περιβαλλοντική αλλοίωση στην περιοχή του ταμιευτηρίου επιφέρει αλλαγές στην χλωρίδα και την πανίδα, καθώς και στο τοπικό κλίμα αυξάνοντας την σεισμική επικινδυνότητα, για αυτό η διεθνής πρακτική προσανατολίζεται σε κατασκευή μικρών φραγμάτων.

1.8. Ηλιακή ενέργεια

Η ηλιακή ενέργεια είναι η ενέργεια που έχει ως πηγή τον ήλιο, καθώς η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία προσπίπτει στην επιφάνεια της γης. Η ηλιακή ακτινοβολία είναι πρακτικά ανεξάντλητη, ανανεώσιμη, αθόρυβη, αξιόπιστη, και καθαρή καθώς δεν επιφέρει ρύπους για την ατμόσφαιρα. Η αξιοποίηση της γίνεται με τρεις κατηγορίες εφαρμογών, τα παθητικά ηλιακά συστήματα, τα ενεργειακά ηλιακά συστήματα ή ηλιοθερμικά και τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Τα παθητικά συστήματα αποτελούνται από κατάλληλα σχεδιασμένα δομικά στοιχεία που εκμεταλλεύονται την ηλιακή ενέργεια για να ρυθμίζουν τον φωτισμό και την θερμοκρασία μέσα στους χώρους διαβίωσης. Τα ενεργειακά συστήματα συλλέγουν την ηλιακή ενέργεια και παράγουν θερμότητα και η πιο διαδεδομένη μορφή τους είναι οι γνωστοί ηλιακοί θερμοσίφωνες, και

τέλος τα φωτοβολταϊκά συστήματα μετατρέπουν το φως του ήλιου σε ηλεκτρισμό. Το κύριο πρόβλημα πέρα του κόστους κατασκευής είναι στην αποθήκευση της ενέργειας.

Κεφάλαιο 2 – Ηλιακή ακτινοβολία

2.1. Ο ήλιος

Ο ήλιος είναι ένα αστέρι του ηλιακού μας συστήματος και το λαμπρότερο σώμα του ουρανού. Αποτελεί μια από τις σημαντικότερες πηγές ενέργειας, καθώς η ηλιακή ακτινοβολία μεταφέρει μεγάλες ποσότητες ενέργειας προς όλες τις κατευθύνσεις μέσα στο χώρο και αποτελεί θεμελιώδη προϋπόθεση για την ύπαρξη και τη συντήρηση της ζωής. Η απόσταση του ήλιου από την Γη είναι 1 Α.Υ. καθώς είναι ο πιο κοντινός αστέρας από τους εκατοντάδες του Γαλαξία και η διάμετρός του είναι 1.39×10^6 km με μάζα 1.991×10^{30} Kg. Η θερμοκρασία κοντά στο κέντρο του ήλιου είναι της τάξης των 15×10^6 K και οφείλετε στις αυτοσυντηρούμενες πυρηνικές αντιδράσεις που συμβαίνουν στο εσωτερικό του κατά τις οποίες μετατρέπεται το υδρογόνο σε ήλιο. Η ακτίνα του είναι 6.966×10^8 m και ηλικία του υπολογίζεται στα 4,5 δισεκατομμύρια έτη. Τέλος η ηλιακή ενέργεια διαδίδεται στο σύμπαν, κυρίως με ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, αλλά και με σωματιδιακή μορφή.

2.2. Ηλιακή ακτινοβολία

Όπως αναφέραμε πιο πάνω η ηλιακή ακτινοβολία είναι η εκπομπή

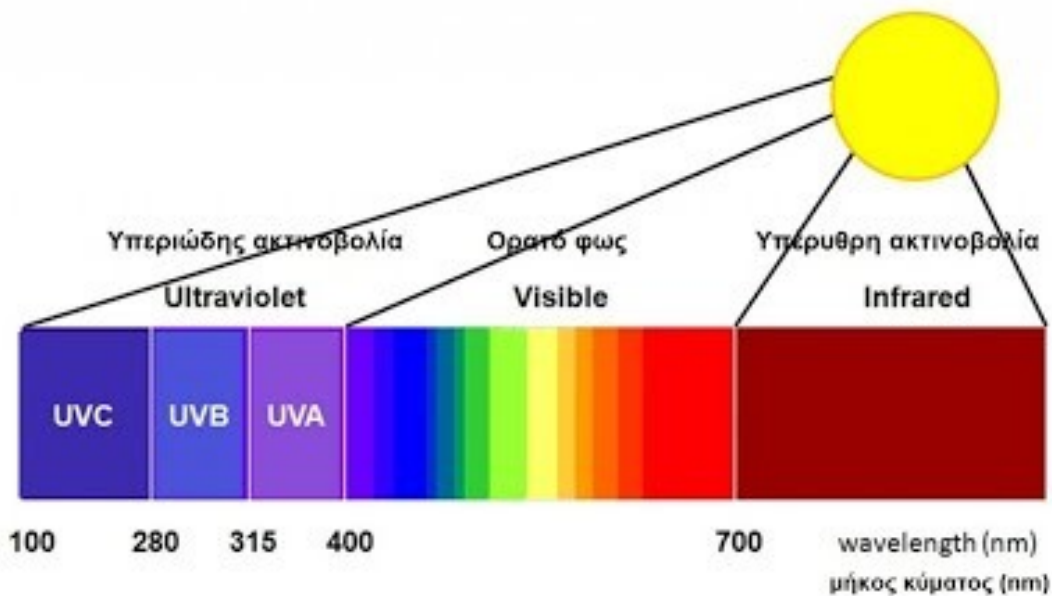
και διάδοση ενέργειας με ηλεκτρομαγνητικά κύματα είτε στο κενό είτε σε διαπερατό μέσο. Η ελλειπτική κίνηση της Γης γύρω από τον ήλιο έχει ως αποτέλεσμα η απόσταση μεταξύ τους να έχει μεταβολές περιοδικά με μέγιστη τιμή στις 4 Ιουλίου που καλείται αφήλιο περίπου $152,1 \times 10^6 \text{ km}$ και με ελάχιστη τιμή στις 3 Ιανουαρίου που καλείται περιήλιο περίπου $147,1 \times 10^6 \text{ km}$.

2.3. Ηλιακή σταθερά

Ηλιακή σταθερά (G_{sc}) ονομάζεται η ένταση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που φτάνει στα εξωτερικά όρια της ατμόσφαιρας σε μια επιφάνεια κάθετη προς τις ηλιακές ακτίνες, στη μέση απόσταση της γης από τον ήλιο. Η μέση τιμή της σύμφωνα με τελευταίες μετρήσεις από δορυφόρους είναι 1367 W/m^2 και χρησιμοποιείται διεθνώς ως πρότυπη τιμή της ηλιακής σταθεράς.

2.4. Το ηλιακό φάσμα

Το ηλιακό φάσμα λέγεται το εύρος του ηλιακού δίσκου το οποίο εκτείνεται σε τρεις βασικές περιοχές ανάλογα με το μήκος κύματος που εκπέμπεται, όπως αυτές απεικονίζονται παρακάτω.



2.5. Ηλιακή γεωμετρία

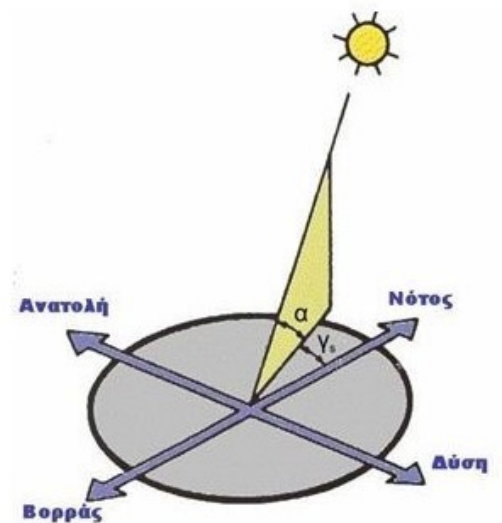
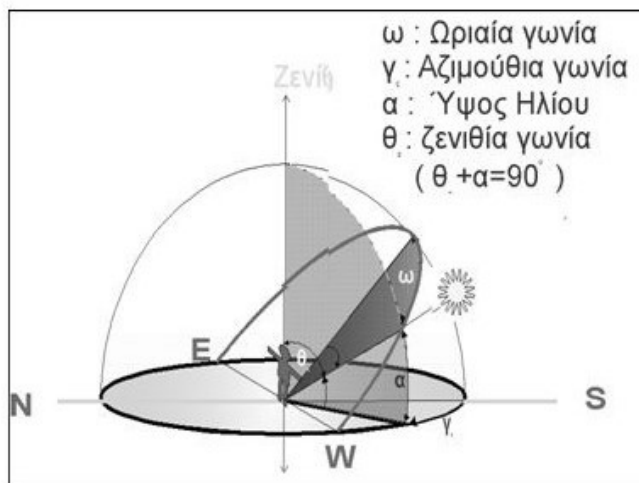
Η ηλιακή γεωμετρία περιγράφει την σχετική κίνηση της Γης και του ήλιου. Για να καθορίσουμε την θέση ενός αστρικού σώματος από οποιαδήποτε τοποθεσία πάνω στην επιφάνεια της Γης, απαιτείται ένα νέο σύστημα συντεταγμένων, το οριζόντιο σύστημα. Αναλύοντας την κίνηση του ήλιου σε συνιστώσες μας ενδιαφέρουν δυο κύριες που σχετίζονται με την παρακολούθηση του Ήλιου από οποιοδήποτε σημείο πάνω στην επιφάνεια της Γης, την ελλειπτική τροχιά και την περιστροφή της γης γύρω από τον εαυτό της, καθώς αυτές είναι που μεταβάλλουν την θέση του ήλιου. Έτσι λοιπόν για τις ηλιακές εφαρμογές θεωρούμε την ελλειπτική τροχιά της γης ως μια φαινομενική κίνηση του ήλιου ορίζοντας κάποιες ηλιακές γωνίες. Το οριζόντιο επίπεδο τέμνει την ουράνια σφαίρα στον ορίζοντα, έτσι η θέση του ήλιου ως προς το σημείο που βρίσκεται ο παρατηρητής μπορεί να καθοριστεί από τρεις γωνίες: την αζιμούθιο (γωνία από το βορά) , το ύψος του ηλίου (γωνία από το οριζόντιο επίπεδο) και την ζενιθία γωνία (γωνιακή απόσταση από την κατακόρυφη διεύθυνση). Άλλος σημαντικός παράγοντας για τον υπολογισμό της ηλιακής ενέργειας που

δεχόμαστε είναι ο ηλιακός χάρτης κάθε τόπου ο οποίος εξαρτάται από τα εξής:

- Το Γεωγραφικό πλάτος (Latitude) του τόπου, που συμβολίζεται με το μικρό ελληνικό γράμμα ϕ και είναι η γωνιακή απόσταση από τον ισημερινό. Το Γεωγραφικό πλάτος για τον ισημερινό είναι 0 μοίρες και ο Βόρειος +90 και ο Νότιος -90 αντίστοιχα.
- Το Γεωγραφικό μήκος (Longitude) που συμβολίζεται με το μικρό ελληνικό γράμμα λ το οποίο κυμαίνεται από 0 έως 180 και είναι η γωνιακή απόσταση από το αστεροσκοπείο του Greenwich στο Ηνωμένο Βασίλειο που έχει οριστεί κατά σύμβαση ως ο πρώτος ισημερινός και μετρείται με αρνητικό πρόσημο (-) ανατολικά και με θετικό (+) πρόσημο δυτικά αντίστοιχα.

Η θέση του Ηλίου:

- Επίπεδο του τόπου (ορίζοντας)
- Ζενίθ, Ναδίρ
- Αζιμούθιο [γ]
- Γωνία ύψους [α]



2.6. Απευθείας ακτινοβολία

Είναι η ακτινοβολία που φτάνει κατευθείαν από τον ηλιακό δίσκο στην επιφάνεια του εδάφους χωρίς να έχει υποστεί σκέδαση κατά την διαδρομή της μέσα στην ατμόσφαιρα. Εξαρτάται από την απόσταση Ηλίου-Γης, την ηλιακή απόκλιση, το ηλιακό ύψος, το γεωγραφικό πλάτος του τόπου, το υψόμετρο του τόπου, την κλίση της επιφάνειας επί της οποίας προσπίπτει, καθώς και από την απορρόφηση και διάχυση την οποία

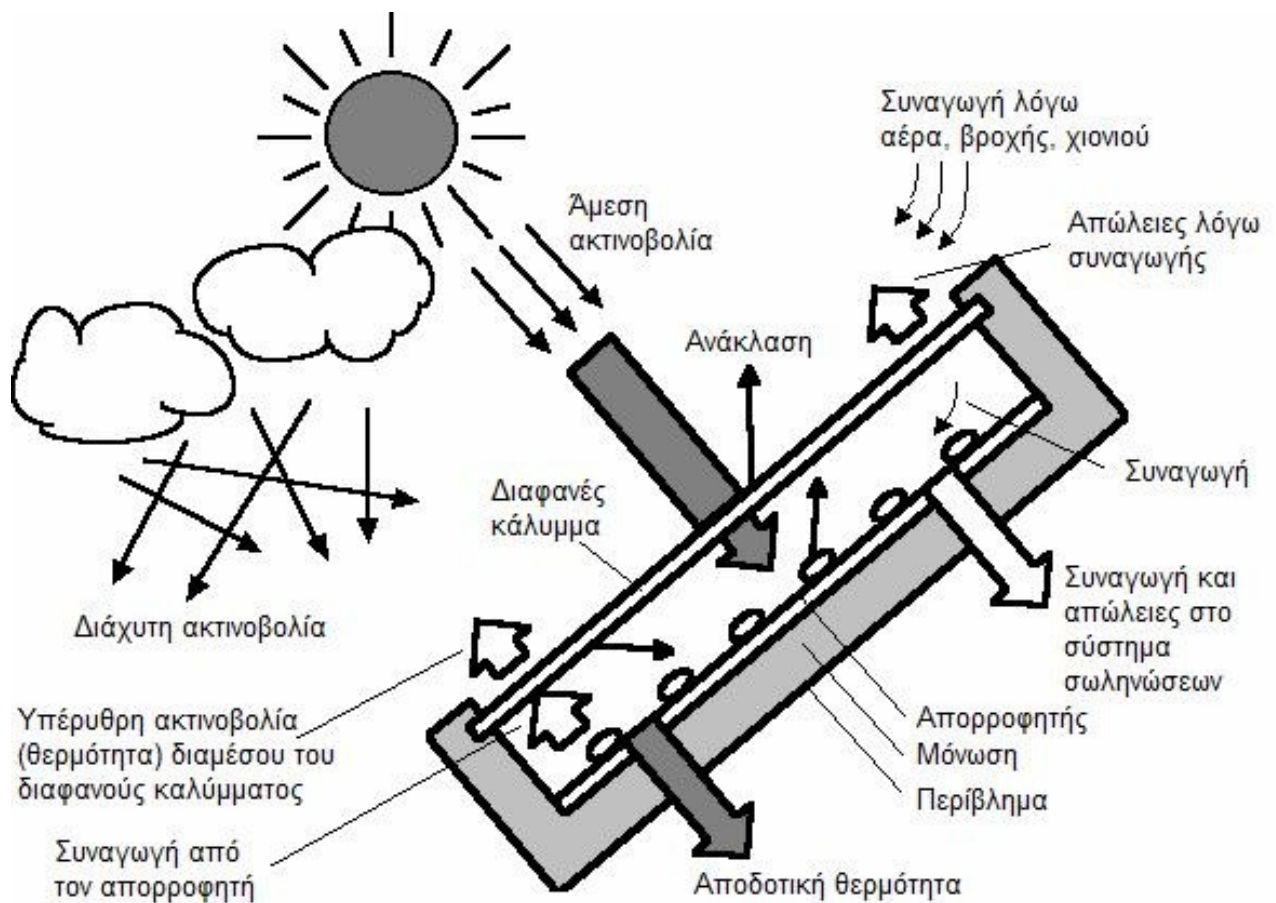
υφίσταται μέσα στην ατμόσφαιρα όπως αναφέραμε πιο πάνω.

2.7. Διάχυτη ακτινοβολία

Είναι το ποσό της ακτινοβολίας που φθάνει στην επιφάνεια του εδάφους μετά την ανάκλαση ή σκέδαση μέσα στην ατμόσφαιρα, αλλά και μετά από ανάκλαση πάνω στην επιφάνεια της γης. Η διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία εξαρτάται από το ηλιακό ύψος, το υψόμετρο του τόπου, την λευκαύγεια του εδάφους, το ποσό και το είδος των νεφών, καθώς και από την παρουσία διάφορων κέντρων διασκέδασης (αερολυμάτων, υδροσταγόνων κ.α.) που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα.

2.8. Διάχυτη ανακλώμενη ακτινοβολία

Είναι η ακτινοβολία που προέρχεται από τον ουράνιο θόλο αφού υποστεί πολλαπλές σκεδάσεις στα μόρια των αερίων της ατμόσφαιρας και αντανακλά στην επιφάνεια του εδάφους. Εξαρτάται από την μορφολογία, το χρώμα του εδάφους ή της επικαλύψεις του όπως π.χ. το γρασίδι ή το χιόνι και από την πυκνότητα των νεφών.


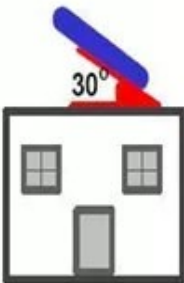

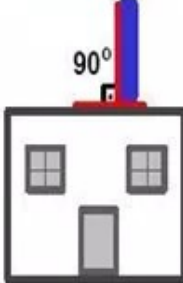


2.9. Προσανατολισμός - κλίση και σκίαση

Για να είναι εφικτή η μεγιστοποίηση της ενεργειακής αποδοτικότητας των φωτοβολταϊκών πλαισίων θα πρέπει να επιτυγχάνεται βέλτιστη εκμετάλλευση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Επειδή η συνεχής παρακολούθηση του ήλιου (tracker) δεν είναι οικονομικά αποδοτική (για την περίπτωση στέγης ή ταράτσας) επιλέγεται μια βέλτιστη κλίση και προσανατολισμός.

Για το βόρειο ημισφαίριο η βέλτιστη κλίση του φωτοβολταϊκού είναι 10° - 30° με κατεύθυνση προς το Νότο. Για την Ελλάδα η μεγιστοποίηση της συνολικής ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε επιφάνεια

σταθερής κλίσης επιτυγχάνεται για νότιο προσανατολισμό και κλίση περίπου 28°. Δεδομένου ότι στην περίπτωση των κτιριακών φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων οι βέλτιστες τιμές κλίσης και προσανατολισμού μπορεί να είναι ανέφικτες, προτείνονται επιφάνειες νότιου προσανατολισμού με αζιμουθιακή απόκλιση ως 70° από το Νότο και κλίση στο εύρος 10°-30°. Σημειώνεται ότι η χρήση γωνιών άνω των 10°-15° διευκολύνει τον αυτοκαθαρισμό (μέσω σταγονιδίων βροχής) των πλαισίων από σωματίδια σκόνης και άλλους ρύπους μέσω της βροχής.

	Κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο		
			
Ανατολικός - Δυτικός	85% kWh _(max)	90% kWh _(max)	50% kWh _(max)
ΝοτιοΑνατολικός - ΝοτιοΔυτικός	95% kWh _(max)	90% kWh _(max)	60% kWh _(max)
Νότιος	kWh_(max)	90% kWh _(max)	60% kWh _(max)
ΒορειοΑνατολικός - ΒορειοΔυτικός	67% kWh _(max)	90% kWh _(max)	30% kWh _(max)
Βόρειος	60% kWh _(max)	90% kWh _(max)	20% kWh _(max)

Για μεγαλύτερη ακρίβεια δείτε τον παρακάτω πίνακα. Θα παρατηρήσετε ότι όσο απομακρυνόμαστε από το Νότο είναι καλύτερο η κλίση να μειώνεται από το βέλτιστο των 30 μοιρών.

προσανατολισμός																				
		δύση							νότος						ανατολή					
		90°	80°	70°	60°	50°	40°	30°	20°	10°	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
τοποθέτηση πάνελ σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο	0°	87	88	90	91	92	92	93	93	93	93	93	93	92	92	91	90	89	87	86
	10°	84	87	90	92	94	95	95	96	96	97	97	96	95	94	93	91	89	87	84
	20°	82	85	90	93	94	96	97	98	99	99	98	97	96	95	93	91	88	84	81
	30°	78	83	87	91	93	96	97	98	99	100	98	97	96	95	93	89	85	81	78
	40°	75	79	84	87	92	94	95	96	96	96	96	95	94	92	90	86	82	77	72
	50°	70	74	79	83	87	90	91	93	94	94	94	93	91	88	83	80	76	73	70
	60°	65	69	73	77	80	83	86	87	87	87	88	87	85	82	78	74	71	67	63
	70°	59	69	66	70	72	75	78	79	79	79	79	79	78	75	72	62	64	61	56
	80°	50	56	60	64	66	68	69	70	71	72	72	71	70	67	66	60	57	54	50
	90°	41	49	54	58	59	60	61	61	63	65	65	63	62	59	59	52	50	47	44

Όσον αφορά τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά η επιλογή της κλίσης και του προσανατολισμού δεν έχουν να κάνουν τόσο με τη βέλτιστη επιλογή για τη μεγιστοποίηση της ετήσιας απόδοσης αλλά καθαρά με τη χρήση που απαιτείται. Έτσι αν μιλάμε για καλοκαιρινή χρήση και μόνο επιλέγεται κλίση κάτω των 15 μοιρών. Αν μιλάμε για χειμώνα και μόνο πάνω από 35 μοίρες. Αντίστοιχα αν η χρήση είναι πιο έντονη τα πρωινά ο ανατολικός προσανατολισμός είναι σημαντικός, ενώ για απογευματινή χρήση δυτικός. Δεν είναι λίγες οι φορές που σε ένα αυτόνομο φωτοβολταϊκό επιλέγουμε την τοποθέτηση σε Ανατολή και Δύση ώστε να έχουμε μία "καρδιοειδή" κατανομή ενέργειας για περισσότερες ώρες της μέρας με σκοπό η ενέργεια να καταναλώνεται όσο γίνεται απευθείας από τον ήλιο χωρίς φόρτιση-εκφόρτιση της συστοιχίας μπαταριών που συνεπάγεται γήρανσή τους. Επίσης προκρίνεται ο δυτικός προσανατολισμός πολλές φορές ώστε οι

μπαταρίες να είναι όσο γίνεται περισσότερο φορτισμένες λίγο πριν απαιτηθεί η έντονη χρήση τους δηλαδή τις πρώτες ώρες της νύχτας.

Στήριγμα με σταθερή γωνίας κλίσης του συλλέκτη:

Είναι ο απλούστερος και οικονομικότερος τρόπος στήριξης που μπορεί να εφαρμοστεί για την τοποθέτηση συλλεκτών. Ο σχεδιασμός του συστήματος είναι αρκετά απλός καθώς στο μόνο που πρέπει να δοθεί προσοχή είναι η γωνία κλίσης και ο προσανατολισμός των συλλεκτών. Είναι ένας αρκετά αξιόπιστος τρόπος καθώς δεν έχει κινητά μέρη και προτείνεται σε μέρη με ισχυρούς ανέμους, π.χ. βουνά. Επίσης χρησιμοποιείται όταν θέλουμε να ενσωματώσουμε τους συλλέκτες σε κτίρια πχ. προσόψεις, στέγες.

Για την τοποθέτηση των συλλεκτών πρέπει να επιλεγεί η καταλληλότερη γωνία κλίσης και ο προσανατολισμός. Όταν ο χώρος τοποθέτησης δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας και του έτους, είναι η πιο απλή περίπτωση. Τότε η γωνία κλίσης του συλλέκτη είναι κοντά στο γεωγραφικό πλάτος του τόπου και κατά κανόνα ακολουθείται νότιος αζιμουθιακός προσανατολισμός για το βόρειο ημισφαίριο (στο νότιο ημισφαίριο επιλεγούμε βόρειο). Όταν η γωνία κλίσης είναι ίση με το λ του τόπου, οι ακτίνες πέφτουν κάθετα στους συλλέκτες δυο φορές το χρόνο, το μεσημέρι των ισημεριών, 21 Μαρτίου και 22 Σεπτεμβρίου.

Κατά το ηλιακό μεσημέρι, ο ήλιος, έχει το μέγιστο ύψος, ELM (maximum elevation). Το ύψος αυτό μεταβάλλεται καθημερινά, από την ελάχιστη τιμή $ELM_{\epsilon\lambda}=(90\circ-\lambda)-23,5\circ$, στις 22 Δεκεμβρίου, μέχρι την μέγιστη $ELM_{\mu\epsilon\gamma}=(90\circ-\lambda)+23,5\circ$ (21 Ιουνίου) και στην συνέχεια μειώνεται και παίρνει την τιμή της 22ας Δεκεμβρίου. Η γωνία των ακτίνων κατά την μεσουράνηση του, ως προς την κάθετη στην επιφάνεια του συλλέκτη, μεταβάλλεται από $-23,5\circ$ έως $+23,5\circ$. Όταν ο συλλέκτης έχει κλίση ίση με την γωνιά λ του τόπου, η μέση ημερησία τιμή της ετησίας ενεργειακής απολαβής γίνεται μέγιστη.

Για να προκύψει, βεβαία η βέλτιστη γωνία κλίσης του συλλέκτη, με σταθερή γωνία κλίσης, πρέπει να ληφθούν υπόψη και οι κατά τόπους μετεωρολογικές συνθήκες οι οποίες επηρεάζουν την ολική διάχυτη και απευθείας ακτινοβολία καθώς και το albedo του εδάφους (ανακλαστικότητα του εδάφους). Για να προκύψει η βέλτιστη γωνία κλίσης πρέπει να καταγραφούν όλα αυτά τα μετεωρολογικά στοιχεία για αρκετά χρόνια και σε διαφορετικές γωνίες. Συνήθως όμως δεν είναι διαθέσιμες λόγω του μεγάλου κόστους των μετρήσεων, για το λόγο αυτό οι μετρήσεις γίνονται με έναν αισθητήρα ηλιακής ακτινοβολίας (π.χ. πυρανόμετρο) σε οριζόντια θέση για το μέγιστο χρονικό διάστημα. Μετά τη λήψη των μετρήσεων και κατάλληλη επεξεργασία προσδιορίζεται η βέλτιστη γωνία του συλλέκτη. Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν μετρήσεις για πλησιέστερη περιοχή, λαμβάνοντας υπόψη το albedo του εδάφους.

Παρατηρήσεις για την τοποθέτηση των συλλεκτών με σταθερή κλίση:

- Για τόπους με μέσα και μεγάλα γεωγραφικά πλάτη (>200) βρίσκεται στην περιοχή $\lambda-(10\div 15\circ)$.

- Για τόπους με μικρά λ , γύρω από τον ισημερινό, η βέλτιστη γωνία είναι $0\circ$. Στην πράξη όμως οι συλλέκτες τοποθετούνται με μια μικρή γωνία $5\div 10\circ$ ώστε, κατά την πλύση της επιφάνειας από το νερό της βροχής ή της πλύσης να απομακρύνονται τα διαφορά σώματα που επικάθονται (σκόνη, φύλλα, κ.α.).

- Για τόπους στους οποίους δεν υπάρχουν διαθέσιμα μετεωρολογικά δεδομένα ο συλλέκτης τοποθετείται σε γωνία $\beta=\lambda-10\circ$.

- Εάν πρέπει να καλυφθούν οι χειμερινές ανάγκες για ενέργεια, η καταλληλότερη γωνία είναι $\beta=\lambda+15\circ$. Ενώ εάν πρέπει να καλυφθούν οι θερινές ανάγκες για ενέργεια, τότε οι συλλέκτες τοποθετούνται με κλίση $\beta=\lambda-15\circ$.

- Σε περιοχές με φυσικά εμπόδια ο συλλέκτης τοποθετείται έτσι ώστε να προκύπτει η μέγιστη ενεργειακή απολαβή.

Στήριξη με εποχιακή ρύθμιση της κλίσης του συλλέκτη:

Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο, δεν υπήρχε δυνατότητα αλλαγής της γωνιάς κλίσης του συλλέκτη, με αποτέλεσμα η εγκατάσταση να αποδίδει πολύ λιγότερο από τις δυνατότητές της. Για να αυξηθεί η απόδοση του συστήματος κατασκευάζονται βάσεις, στις οποίες τοποθετούνται οι συλλέκτες, με δυνατότητα ρύθμισης της κλίσης τους. Η μηχανολογική κατασκευή είναι σχετικά φθηνή και απλή ώστε όλοι οι χρήστες να μπορούν να κάνουν την εποχιακή ρύθμιση.

Η ρύθμιση του συλλέκτη γίνεται δυο φορές τον χρόνο, μια κατά το χειμερινό εξάμηνο (22 Σεπτεμβρίου - 21 Μαρτίου) και μια κατά το θερινό εξάμηνο (21 Μαρτίου - 22 Σεπτεμβρίου). Η αλλαγή αυτή γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε η κλίση μεταξύ των ακτίνων του ηλίου και της επιφάνειας του συλλέκτη να πλησιάζει όσο το δυνατόν τις 90ο.

Για τον προσδιορισμό της σωστής γωνιάς του συλλέκτη πρέπει να είναι γνωστά τα μετεωρολογικά δεδομένα του τόπου (ηλιοφάνειας, ανέμου, θερμοκρασίας, κ.λ.π.), καθώς και το albedo του εδάφους όπως και στην προηγούμενη παράγραφο.

Συμπέρασμα:

- Κατά τη χειμερινή περίοδο η καταλληλότερη γωνία κλίσης είναι

$$- \beta = \lambda + (100 \div 150).$$

- Κατά τη θερινή περίοδο η καταλληλότερη γωνία είναι

$$- \beta = \lambda - (100 \div 150).$$

Παρατηρήσεις για την τοποθέτηση των συλλεκτών με ρυθμιζόμενη κλίση:

- Σε περιοχές με φυσικά εμπόδια ο συλλέκτης τοποθετείται έτσι ώστε να προκύπτει η μέγιστη ενεργειακή απολαβή κατά την διάρκεια όλου του έτους.
- Πρέπει να γίνεται σωστή μελέτη και σχεδιασμός της κατασκευής ώστε και στις δυο κλίσεις να επιτυγχάνεται η βέλτιστη γωνία για μέγιστη απόδοση.

Η σκίαση:

Πολύ κρίσιμος παράγοντας για την απόδοση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος είναι η σκίαση. Όταν ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο σκιάζεται ακόμη και εν μέρει παράγει σημαντικά χαμηλότερο ρεύμα και κατά συνέπεια λιγότερη ενέργεια. Το πρόβλημα όμως δε σταματάει εδώ, καθώς το συγκεκριμένο πλαίσιο αποτελεί σημείο συμφόρησης (bottleneck) για όλη την ομάδα πλαισίων που είναι συνδεδεμένα επιβάλλοντας το χαμηλότερο ρεύμα του σε όλα τα υπόλοιπα μειώνοντας σημαντικά τη συνολική παραγωγή του συστήματος. Πέραν της μειωμένης απόδοσης, επαναλαμβανόμενες τοπικές σκιάσεις σε ώρες υψηλής ακτινοβολίας καταπονούν το σκιασμένο φωτοβολταϊκό πλαίσιο προκαλώντας πρόωρη γήρανση, καθώς το ρεύμα των υπόλοιπων πλαισίων καταναλώνεται σε μορφή θερμότητας στο σκιασμένο.

Το πρόβλημα της σκίασης είναι ιδιαιτέρως έντονο στα φωτοβολταϊκά σε στέγες και ταράτσες για πολλούς λόγους. Καταρχάς λόγω του περιορισμένου χώρου δεν είναι εύκολο να απομακρυνθεί το σύστημα από παρακείμενα εμπόδια. Τα περισσότερα συστήματα εγκαθίστανται εντός πόλεων όπου τα διαφορετικά ύψη κτιρίων προκαλούν μόνιμες σκιάσεις. Τέλος, πολλά εμπόδια που βρίσκονται ήδη στη στέγη ή την ταράτσα, όπως η απόληξη του κλιμακοστασίου, προεξοχές σοφίτας, σπασίματα της στέγης, καμινάδες, ιστοί κεραιών, θερμοσίφωνες, λέβητες, σύρματα, το στηθαίο της ταράτσας κ.α. προκαλούν δυσεπίλυτα προβλήματα.

Από τα ανωτέρω είναι φανερό ότι σε κάθε περίπτωση πριν τη λήψη της απόφασης για την εγκατάσταση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος σε στέγη

ή ταράτσα θα πρέπει κάθε ιδιοκτήτης να συμβουλευτεί τη γνώμη ενός ειδικού και στην περίπτωση που υπάρχουν σκιάσεις θα πρέπει να εκπονηθεί μελέτη σκιάσεων η οποία θα δώσει στον ενδιαφερόμενο μια πολύ καλή εκτίμηση των απωλειών λόγω σκιάσεων και θα προτείνει εναλλακτικές λύσεις του προβλήματος.

Στις επιλογές που έχει ο σχεδιαστής του συστήματος για την επίλυση του προβλήματος των σκιάσεων είναι:

- Απομάκρυνση των εμποδίων αν είναι δυνατό (θερμοσίφωνες, κεραίες, σύρματα).
- Μείωση του ύψους των εμποδίων (καμινάδες, κεραίες).
- Απομάκρυνση από τα εμπόδια (τουλάχιστον τόση απόσταση όσο το διπλάσιο της διαφοράς ύψους εμποδίου-πλαισίου για την περίπτωση νότιας σκίασης).
- Κατάλληλος διαχωρισμός στοιχειοσειρών (ομαδοποίηση πλαισίων) ώστε να συνδέονται μαζί τα πλαίσια που υφίστανται παρόμοιες συνθήκες σκίασης (επίσης συνδέονται μαζί πλαίσια με ίδιο προσανατολισμό και ίδια κλίση) και να εισάγονται σε ξεχωριστή είσοδο του αντιστροφέα.
- Στις πιο δύσκολες περιπτώσεις που δεν αρκούν οι 2 ή το πολύ 3 διαφορετικές είσοδοι των κλασσικών αντιστροφέων χρησιμοποιούνται νέες τεχνολογίες αντιστροφέων που χειρίζονται κάθε πλαίσιο ξεχωριστά χωρίς οι διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας του να επηρεάζουν κανένα άλλο πλαίσιο.

Κατάλληλη επιλογή πλαισίων με διόδους παράκαμψης του πλαισίου όταν αυτό δε λειτουργεί

2.9.1. Όργανα μέτρησης της ηλιακής ακτινοβολίας

Τα όργανα μέτρησης της ηλιακής ακτινοβολίας διαφέρουν ανάλογα με το είδος και την επιζητούμενη ποιότητα στην ακρίβεια και διακρίνονται σε δυο μεγάλες κατηγορίες:

- Τους θερμικούς αισθητήρες, οι οποίοι απορροφούν ηλιακή ακτινοβολία σε μια μαύρη συνήθως πλάκα από ορισμένο υλικό και βάση της θέρμανσης αυτής μας δίνουν μια ένδειξη ενός φυσικού μεγέθους. Μερικοί τέτοιοι αισθητήρες είναι το Πυρανόμετρο, το Πυρηλιόμετρο (άμεση ηλιακή ακτινοβολία σε κάθετη πρόσπτωση), το Πυργεόμετρο (ακτινοβολία της ατμόσφαιρας) , το Πυρακτινόμετρο (ακτινοβολία που δέχεται ένα σημείο στο χώρο) , το Βολόμετρο κ.α.

- Τους αισθητήρες ηλεκτρικής διέγερσης, οι οποίοι βασίζονται στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, δηλαδή την εκπομπή ηλεκτρονίων από την επιφάνεια ενός μετάλλου είτε στη διέγερση ηλεκτρονίων από τη ζώνη σθένους στη ζώνη αγωγιμότητας, στην περίπτωση των ημιαγωγών. Μερικοί τέτοιοι αισθητήρες είναι η Φωτοδίοδος ημιαγωγών, τα Φωτοκύτταρα, το Φωτοβολταϊκό στοιχείο, ο Φασματογράφος κ.α.

Κεφάλαιο 3 - Φωτοβολταϊκά συστήμα

3.1. Ιστορική αναδρομή

Το 1839 ο Γάλλος φυσικός Edmund Becquerel παρατήρησε σπινθήρες ηλεκτρισμού σε μεταλλικά ηλεκτρόδια Pt και Ag μέσα σε ηλεκτρολύτη όταν αυτά υποβάλλονται σε ηλιακή ακτινοβολία, δηλαδή αυτό που ονομάζουμε φωτοβολταϊκό φαινόμενο.

Το 1870 ο Γερμανός φυσικός Hertz μελέτησε το φαινόμενο στα στερεά υλικά και συγκεκριμένα στο Σελήνιο (Se) και βρήκε αποδόσεις του υλικού της τάξεως του 1-2%.

Το 1876 οι Adams και ο φοιτητής του Day παρατήρησαν ότι μια ποσότητα ηλεκτρικού ρεύματος παραγόταν από το σελήνιο (Se) όταν αυτό ήταν εκτεθειμένο στο φώς.

Το 1905 ο Albert Einstein περιγράφει την φύση του φωτός και το φωτοηλεκτρικό αποτέλεσμα πάνω στο οποίο βασίζεται η φωτοβολταϊκή τεχνολογία.

Το 1937 οι Fischer και Godden κατασκευάζουν φωτοβολταϊκό στοιχείο από θειούχο μόλυβδο (Pbs).

Το 1939 γίνεται κατασκευή φωτοβολταϊκού στοιχείου από Σελήνιο (Se) με απόδοση 1%.

Στη δεκαετία του 1940 - 1950 ο Πολωνός Czochralski ανέπτυξε τη διαδικασία παραγωγής ημιαγωγού μονοκρυσταλλικού πυριτίου (Si) υψηλής καθαρότητας που έφτανε σε απόδοση κοντά 4%.

Το 1941 έχουμε την κατασκευή του πρώτου φωτοβολταϊκού στοιχείου από πυρίτιο Si (Ohi).

Έπειτα οι εξελίξεις ήταν ραγδαίες και έφεραν την επιστήμη των ΦΒ πολύ κοντά στη σημερινή της κατάσταση.

Το 1954 οι Fuller, Pearson και Charin ανακοίνωσαν την πρώτη κατασκευή ΦΒ στοιχείου πυριτίου Si με σχηματισμό επαφής p-n με διάχυση και με απόδοση 6%.

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

Το 1958 γίνεται η εκτόξευση του αμερικανικού δορυφόρου Vanguard I ο οποίος έχει ως βοηθητική πηγή ενέργειας 6 στοιχεία πυριτίου (Si).

Επίσης γίνεται εκτόξευση σοβιετικού δορυφόρου με μοναδική πηγή ενέργειας τα φωτοβολταϊκά στοιχεία.

Το 1959 έχουμε την κατασκευή φωτοβολταϊκού στοιχείου από Cds με απόδοση 5%.

Το 1962 γίνεται η μεγαλύτερη ΦΒ εγκατάσταση στην Ιαπωνία από την Sharp με συνολική ισχύ 242 Wp.

Το 1972 γίνεται κατασκευή ιώδους ηλιακού στοιχείου πυριτίου (Si) με απόδοση 14% από τους Lindmayer και Allison.

Το 1976 γίνεται κατασκευή φωτοβολταϊκού στοιχείου από άμορφο πυρίτιο (a-Si) με απόδοση 0,01% από τους Carlson και Wronski.

Το 1977 γίνεται κατασκευή ηλιακού στοιχείου από GaAs με απόδοση 16% από τον Kameth.

Το 1980 γίνεται η πρώτη εγκατάσταση ΦΒ PV στη Καλιφόρνια από την ARCO Solar χρησιμοποιώντας ταυτόχρονα και σύστημα παρακολούθησης της τροχιάς του ήλιου 2 αξόνων (dual-axis trackers) που φτάνει στα επίπεδα του 1 Mw.

Το 1981 γίνεται πτήση πάνω από την Μάγχη του αεροπλάνου εξοπλισμού με 16.128 φωτοβολταϊκά στοιχεία πυριτίου (Si) συνολικής ισχύς 2,7 Kw.

Το 1981 γίνεται η πρώτη εγκατάσταση φωτοβολταϊκών ισχύος 100 Kw στην Ελλάδα και η μεγαλύτερη στην Ευρώπη.

Το 1983 γίνεται η έναρξη λειτουργίας του πρώτου φωτοβολταϊκού σταθμού ισχύος 1 Mwp στην Βικτροβίλ.

Το 1999 η εταιρία Spectrolab σε συνεργασία με το NREL αναπτύσσουν ένα ΦΒ στοιχείο με απόδοση 32,3% με συνδυασμό τριών υλικών (στρώσεων) και ειδικό για τις εφαρμογές σε συγκεντρωτικά συστήματα CPV.

Από το 2004 και μετά ακολουθεί μια ασταμάτητη πορεία με την είσοδο μεγάλων εταιριών στο χώρο των ΦΒ συστημάτων να φέρνει μια μαζική παραγωγή με την Γερμανία και την Ιαπωνία να κυριαρχούν στην κατασκευή ΦΒ πάνελ και πλέον σε όλες τις ανεπτυγμένες χώρες αρχίζουν με τον έναν ή με τον άλλον τρόπο να υιοθετούν τις τεχνολογίες των φωτοβολταϊκών και να τις παγιώνουν στην συνείδηση των επενδυτών, αλλά και των καταναλωτών ενέργειας.

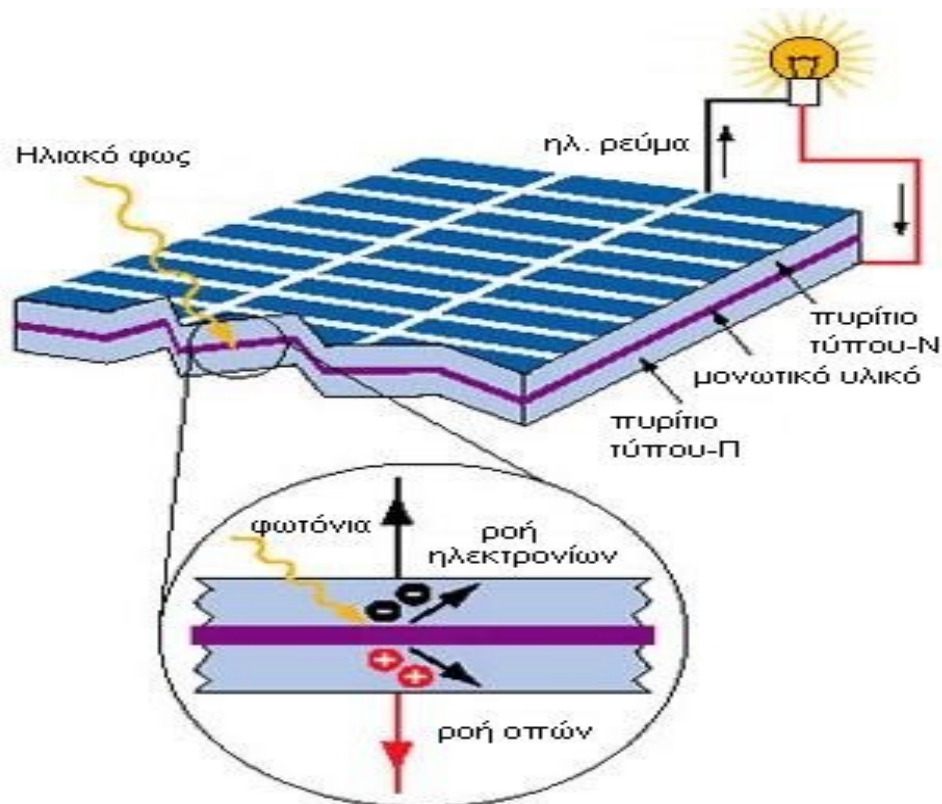
Βασισμένες κυρίως στα κρυσταλλικά υλικά αρκετές χώρες με πρωτοπόρες την Γερμανία και την Ιαπωνία έχουν επενδύσει τεράστια κονδύλια με σκοπό την ευρύτερη εκμετάλλευση της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας και έχουν ήδη αρχίσει να απολαμβάνουν τους καρπούς της εξελιγμένης τεχνογνωσίας τους.

3.2. Φωτοαγωγιμότητα

Η δομή των ηλεκτρονικών ζωνών των ημιαγωγών είναι διαφορετική από αυτή των μετάλλων εξαιτίας του ενεργειακού διακένου που βρίσκεται μεταξύ της τελείως γεμάτης ζώνης σθένους και της άδειας ζώνης αγωγιμότητας. Τα ηλιακά στοιχεία είναι δίοδοι ημιαγωγού με τη μορφή ενός δίσκου (δηλαδή η ένωση p-n εκτείνεται σε όλο το πλάτος του δίσκου) που όταν δεχτεί ηλιακή ακτινοβολία τότε τα ηλεκτρόνια στη ζώνη αγωγιμότητας και οι οπές στη ζώνη σθένους αυξάνονται με αποτέλεσμα να αυξάνεται και η αγωγιμότητά του. Έτσι η αυξημένη αγωγιμότητα του ημιαγωγού, με την επίδραση του φωτός ονομάζεται φωτοαγωγιμότητα.

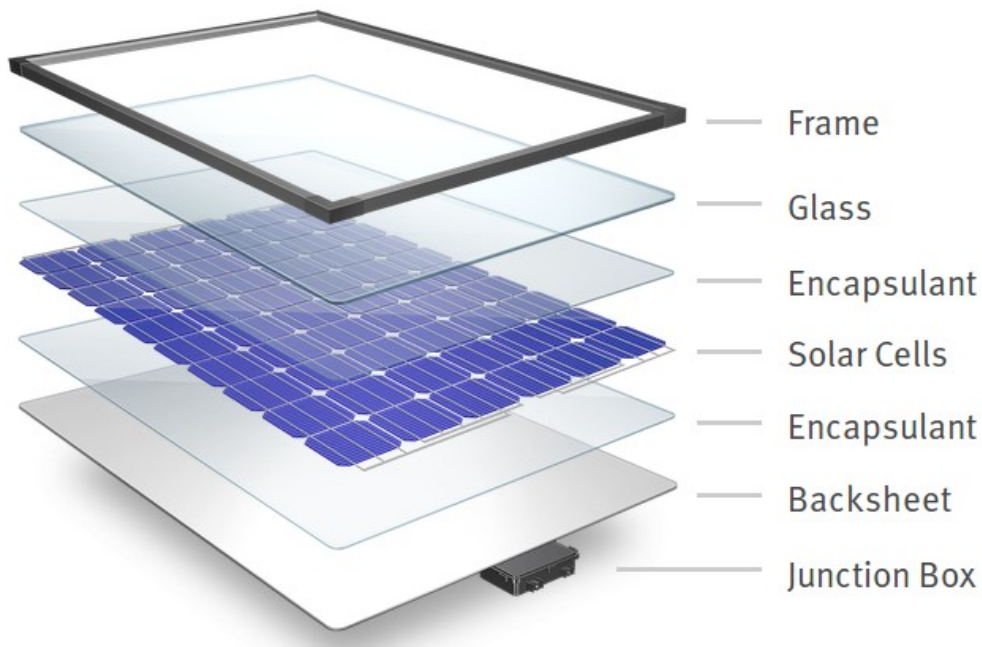
3.3. Φωτοβολταϊκό φαινόμενο

Φωτοβολταϊκό φαινόμενο ονομάζεται η μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρικό ρεύμα. Είναι μια φυσική διαδικασία που στηρίζεται σε δύο βασικές προϋποθέσεις τη φωτοαγωγιμότητα του ημιαγωγού και στο ηλεκτρικό πεδίο που δημιουργείται στις επαφές δύο διαφορετικών υλικών. Έτσι η εκδήλωση της διαφοράς δυναμικού ανάμεσα στις δύο όψεις του φωτιζόμενου δίσκου p-n όπως αναφέραμε πιο πάνω, η οποία αντιστοιχεί σε ορθή πόλωση της διόδου, ονομάζεται φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Απαιτείται κοντολογίς η δημιουργία διάταξης δύο φωτοαγώγιμων υλικών σε επαφή και η έκθεσή της στο φως.



3.4. Περιγραφή φωτοβολταϊκού πάνελ

Κάθε φωτοβολταϊκό στοιχείο αποτελείται από ένα στρώμα κυψελών πυριτίου, ένα μεταλλικό πλαίσιο, ένα γυάλινο περίβλημα και διάφορες καλωδιώσεις που επιτρέπουν την ροή ρεύματος από τα κύτταρα πυριτίου. Έκτος από τα ηλιακά κύτταρα πυριτίου, ένα τυπικό φωτοβολταϊκό πάνελ περιλαμβάνει γυάλινο περίβλημα που προσφέρει αντοχή και προστασία για τα φωτοκύτταρα πυριτίου. Κάτω από το εξωτερικό γυαλί, ο πίνακας διαθέτει ένα στρώμα για μόνωση και ένα προστατευτικό φύλλο, το οποίο προστατεύει από τη διαρροή θερμότητας και την υγρασία μέσα στο πλαίσιο. Η μόνωση είναι σημαντική επειδή η αύξηση της θερμοκρασίας οδηγεί σε μείωση της απόδοσης, με αποτέλεσμα τη χαμηλότερη απόδοση του ηλιακού πίνακα. Οι ηλιακοί συλλέκτες έχουν αντανακλαστική επίστρωση που αυξάνει την απορρόφηση του ηλιακού φωτός και επιτρέπει στα κύτταρα πυριτίου να λαμβάνουν τη μέγιστη έκθεση στον ήλιο. Τα ηλιακά κύτταρα πυριτίου κατασκευάζονται γενικά σε δύο κυτταρικούς σχηματισμούς μονοκρυσταλλικούς και πολυκρυσταλλικούς. Τα μονοκρυσταλλικά κύτταρα αποτελούνται από ένα μόνο πυρίτιο κρύσταλλο, ενώ τα πολυκρυσταλλικά κύτταρα αποτελούνται από θραύσματα πυριτίου.



Επιγραμματικά κάθε φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται από τα εξής μέρη:

1. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία
2. Υλικό EVA για την ενθυλάκωση των ΦΒ στοιχείων
3. Το ειδικό γυαλί στο εμπρόσθιο μέρος
4. Το ειδικό φύλλο προστασίας στο πίσω μέρος (συνήθως TPT tedlar)
5. Το πλαίσιο αλουμινίου
6. Το κουτί σύνδεσης

Και τα εξής τμήματα:

1. Τη φωτοβολταϊκή γεννήτρια (φωτοβολταϊκό πλαίσιο) με τη βάση στήριξης και ίσως (tracker) , σύστημα παρακολούθησης της ηλιακής τροχιάς.
2. Μπαταρίες – συσσωρευτές φωτοβολταϊκών
3. Ρυθμιστή φόρτισης για τον έλεγχο και προστασία των μπαταριών.
4. Μετατροπέα τάσεως dc (12v/24v/48v) inverter για μετασχηματισμό στα 220v AC.
5. Τα βασικά μέρη ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος είναι
1. Οι φωτοβολταϊκοί συλλέκτες 2. Οι αντιστροφείς 3. Οι μετατροπείς τάσης DC / AC 4. Οι ελεγκτές φόρτισης μπαταριών 5. Οι μπαταρίες βαθιάς εκφόρτισης

3.5. Τύποι φωτοβολταϊκών πάνελ

Με βάση το υλικό των στοιχείων τα φωτοβολταϊκά πάνελ μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε:

Φωτοβολταϊκά στοιχεία κρυσταλλικού πυριτίου:

Μονοκρυσταλλικού στοιχείου (sc-Si): Το πάχος τους είναι γύρω στα 0,3 χιλιοστά. Η απόδοση τους στην βιομηχανία κυμαίνεται από 15-18% για το πλαίσιο. Στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί ακόμα μεγαλύτερες αποδόσεις έως και 24,7%. Τα μονοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία χαρακτηρίζονται από το πλεονέκτημα της καλύτερης σχέσης απόδοσης/επιφάνεια ή ενεργειακής πυκνότητας. Ένα άλλο χαρακτηριστικό είναι το υψηλό κόστος κατασκευής σε σχέση με τα πολυκρυσταλλικά. Βασικές τεχνολογίες παραγωγής μονοκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών είναι η μέθοδος CZ (Czochralski) και η μέθοδος FZ (float zone). Αμφότερες βασίζονται στην ανάπτυξη ράβδου πυριτίου. Το μονοκρυσταλλικό φωτοβολταϊκό με την υψηλότερη απόδοση στο εμπόριο σήμερα, είναι της με απόδοση 18,5%. Είναι μάλιστα το μοναδικό που έχει τις μεταλλικές επαφές στο πίσω μέρος του πάνελ αποκομίζοντας έτσι μεγαλύτερη επιφάνεια αλληλεπίδρασης με την ηλιακή ακτινοβολία.



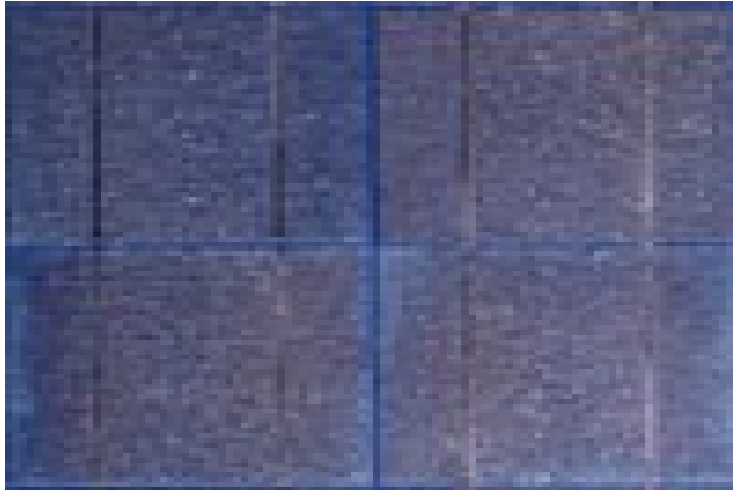
Μονοκρυσταλλικό πυρίτιο

Πολυκρυσταλλικού πυριτίου (mc-Si): Το πάχος τους είναι περίπου 0,3 χιλιοστά. Η μέθοδος παραγωγής τους είναι φθηνότερη από αυτήν των μονοκρυσταλλικών για αυτό και η τιμή τους είναι συνήθως λίγο χαμηλότερη. Βασικότερες τεχνολογίες παραγωγής είναι η μέθοδος απευθείας στερεοποίησης DS (directional solidification) ή ανάπτυξη λιωμένου πυριτίου (χύτευση), και η ηλεκτρομαγνητική χύτευση EMC. Οπτικά μπορεί κανείς να παρατηρήσει τις επιμέρους μονοκρυσταλλικές περιοχές. Όσο μεγαλύτερες είναι σε έκταση οι μονοκρυσταλλικές περιοχές τόσο μεγαλύτερη είναι και η απόδοση για τα πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά κελιά. Σε εργαστηριακές εφαρμογές έχουν αναπτυχθεί αποδόσεις έως και 20%, ενώ στο εμπόριο τα πολυκρυσταλλικά στοιχεία διατίθενται με αποδόσεις από 13 έως 15% για τα φωτοβολταϊκά πλαίσια (πάνελ).



Πολυκρυσταλλικό πυρίτιο

Ταινία πυριτίου (Ribbon-Si): Πρόκειται για μια σχετικά νέα τεχνολογία φωτοβολταϊκών στοιχείων. Αναπτύσσεται από την Evergreen Solar. Προσφέρει έως και 50% μείωση στην χρήση του πυριτίου σε σχέση με τις «παραδοσιακές τεχνικές» κατασκευής μονοκρυσταλλικών και πολύκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών κυψελών πυριτίου. Η απόδοση για τα φωτοβολταϊκά στοιχεία αυτά έχει φτάσει πλέον γύρω στο 12-13%, ενώ το πάχος του είναι περίπου 0,4 χιλιοστά. Στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί αποδόσεις της τάξης του 18%.



Ταινία πυριτίου

Φωτοβολταϊκά στοιχεία λεπτού υμενίου:

Δισεληνοϊνδιούχος χαλκός (CIS,CIGS): Έχει εξαιρετική απορροφητικότητα στο προσπίπτον φως, αλλά παρόλα αυτά η απόδοση του με τις σύγχρονες τεχνικές κυμαίνεται στο 11% πλαίσιο. Εργαστηριακά έγινε εφικτή απόδοση στο επίπεδο του 18,8% η οποία είναι και η μεγαλύτερη που έχει επιτευχθεί μεταξύ των φωτοβολταϊκών τεχνολογιών λεπτής επιστρώσεως. Με την πρόσμιξη γάλλου η απόδοση του μπορεί να αυξηθεί ακόμα περισσότερο CIGS. Το πρόβλημα που υπάρχει είναι ότι το ίδιο υπάρχει σε περιορισμένες ποσότητες στην φύση. Στα επόμενα χρόνια πάντως αναμένεται το κόστος του να είναι αρκετά χαμηλότερο.



Δισεληνοϊνδιούχος χαλκός

Άμορφου πυριτίου (a-Si): Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία αυτά, έχουν αισθητά χαμηλότερες αποδόσεις σε σχέση με τις δυο προηγούμενες κατηγορίες. Πρόκειται για ταινίες λεπτών επιστρώσεων οι οποίες παράγονται με την εναπόθεση ημιαγωγού υλικού (πυρίτιο στην περίπτωση μας) πάνω σε υπόστρωμα υποστήριξης, χαμηλού κόστους όπως γυαλί ή αλουμίνιο. Έτσι και λόγω την 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. Οι επιδόσεις που επιτυγχάνονται με χρησιμοποιώντας φωτοβολταϊκά πυριτίου κυμαίνονται για το πλαίσιο από 6 έως 8%, ενώ στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί αποδόσεις ακόμα και 14%. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα για το φωτοβολταϊκό στοιχείο a-Si είναι το γεγονός ότι δεν επηρεάζεται πολύ από τις υψηλές θερμοκρασίες. Επίσης, πλεονεκτεί στην αξιοποίηση της απόδοσης του σε σχέση με τα κρυσταλλικά ΦΒ, όταν υπάρχει διάχυτη ακτινοβολία (σύννεφα). 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. Επίσης υπάρχουν αμφιβολίες όσων αφορά 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, ενώ το υπόστρωμα μπορεί να είναι από 1 έως 3 mm.



Άμορφου πυριτίου

Τελουριούχο Κάδμιο (CdTe): 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 σύγχρονες τεχνικές όμως μας προσφέρουν αποδόσεις πλαισίου γύρω στο 6-8%. Στο εργαστήριο η απόδοση στα φωτοβολταϊκά στοιχεία έχει φτάσει το 16%. Μελλοντικά αναμένεται το κόστος του να πέσει αρκετά. Σημαντικότερος κατασκευαστής για φωτοβολταϊκά στοιχεία CdTe είναι η First Solar. Τροχοπέδη για την χρήση του αποτελεί το γεγονός ότι το κάδμιο σύμφωνα με κάποιες έρευνες είναι καρκινογόνο με αποτέλεσμα να προβληματίζει το ενδεχόμενο της εκτεταμένης χρήσης του. Ήδη η έχει εναντιωθεί στην

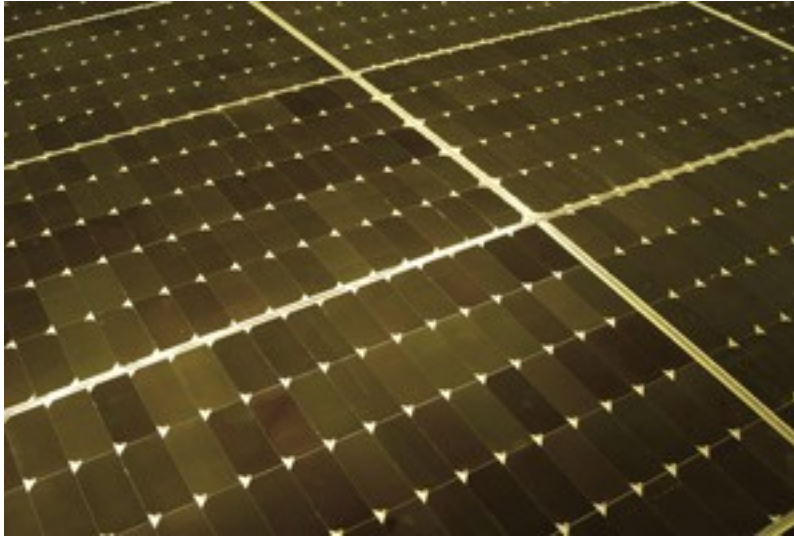
χρήση του. Επίσης προβληματίζει η έλλειψη του Τελλουρίου.
Σημαντικότερη χρήση του είναι η ενθυλάκωση του στο γυαλί ως δομικό υλικό (BIPV Building Integrated Photovoltaic).



Τελλουριούχο Κάδμιο

Αρσενικούχο Γάλλιο (GaAs): Είναι ένα παραπροϊόν της ρευστοποίησης άλλων μετάλλων όπως το αλουμίνιο και ο ψευδάργυρος. Είναι πιο σπάνιο ακόμα και από το χρυσό. Το Αρσενικό δεν είναι σπάνιο, αλλά έχει μειονέκτημα ότι είναι δηλητηριώδες. Το αρσενικούχο γάλλιο έχει ενεργειακό διάκενο $1,43\text{eV}$ που είναι ιδανικό για την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας. Η απόδοση του στην μορφή πολλαπλών συνενώσεων (multijunction) είναι η υψηλότερη που έχει επιτευχθεί και αγγίζει το 29%. Επίσης τα φωτοβολταϊκά στοιχεία GaAs είναι εξαιρετικά ανθεκτικά στις υψηλές θερμοκρασίες γεγονός που επιβάλλει σχεδόν την χρήση τους σε εφαρμογές ηλιακών συγκεντρωτικών συστημάτων (solar concentrators). 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 υποστρώματος.



Αρσενικούχο Γάλλιο

Άλλες τεχνολογίες φωτοβολταϊκών υλικών:

Υβριδικό φωτοβολταϊκό (HIT): Ένα υβριδικό φωτοβολταϊκό στοιχείο αποτελείται από στρώσεις υλικών διαφόρων τεχνολογιών. HIT (Heterojunction with Intrinsic Thin-layer). Τα πιο γνωστά εμπορικά υβριδικά φωτοβολταϊκά στοιχεία αποτελούνται από δυο στρώσεις άμορφου πυριτίου (πάνω και κάτω), ενώ ενδιάμεσα υπάρχει μια στρώση μονοκρυσταλλικού πυριτίου. Κατασκευάζεται από την Sunya Solar. Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι ο υψηλός βαθμός απόδοσης του πλαισίου που φτάνει σε εμπορικές εφαρμογές στο 17,2% και το οποίο σημαίνει ότι χρειαζόμαστε μικρότερη επιφάνεια για να μην έχουμε την ίδια εγκατεστημένη ισχύ. Τα αντίστοιχα φωτοβολταϊκά στοιχεία έχουν απόδοση 19,7%. Άλλα πλεονεκτήματα για τα υβριδικά φωτοβολταϊκά στοιχεία είναι η υψηλή τους απόδοση σε υψηλές θερμοκρασίες, αλλά και η μεγάλη τους απόδοση στην διαχεόμενη ακτινοβολία. Φυσικά αφού προσφέρει τόσα πολλά, το υβριδικό

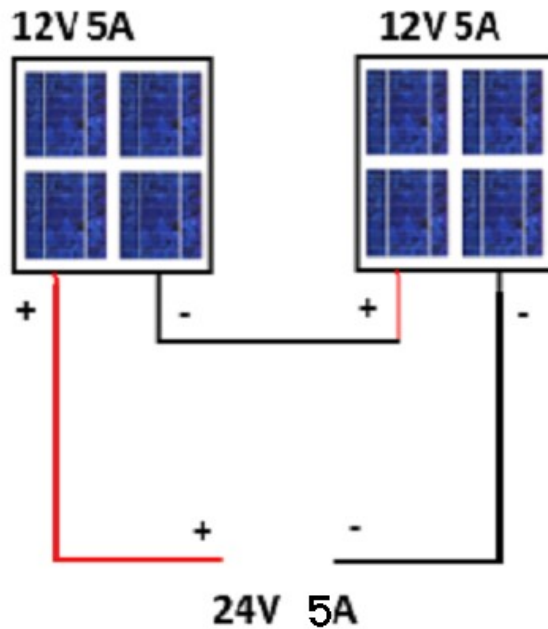
φωτοβολταϊκό είναι κάπως ακριβότερο σε σχέση με τα συμβατικά φωτοβολταϊκά πλαίσια.

Τύποι νανοκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών στοιχείων (nc-Si): Βασίζονται σε ένα υπόστρωμα με επίστρωση νανοκρυστάλλων. Η βασική τους πρώτη ύλη είναι το πυρίτιο, το CdTe ή ο CIGS και τα υποστρώματα είναι γενικά πυριτίου ή διάφοροι οργανικοί αγωγοί. Τα ηλιακά κύτταρα κβαντικών τελειών είναι μια παραλλαγή αυτής της προσέγγισης. Στο μέλλον τα φωτοβολταϊκά στοιχεία κβαντικών τελειών θα μπορούν να προσφέρουν πληθώρα πλεονεκτημάτων όπως ευκαμψία, χαμηλό κόστος, αλλά και υψηλή απόδοση που θα αγγίζει το 65%.

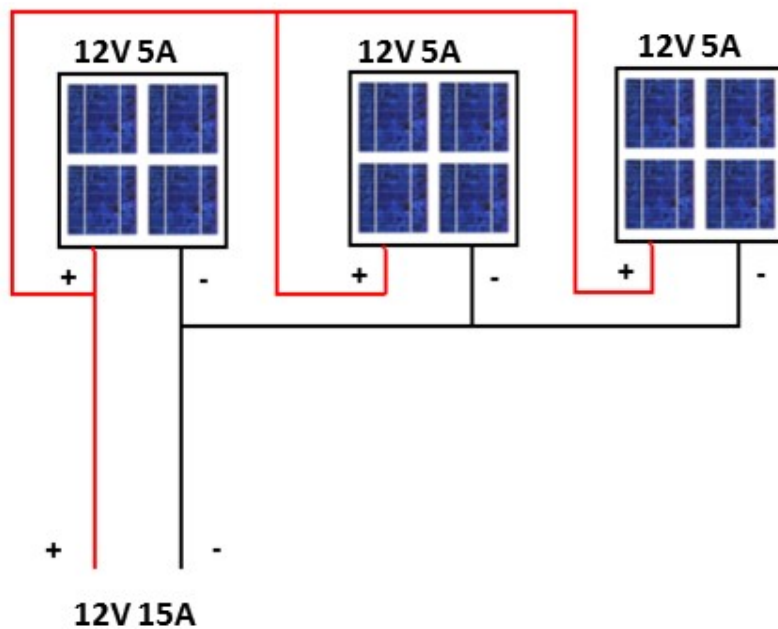
Τέλος η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών εξελίσσεται με ραγδαίους ρυθμούς και διάφορα εργαστήρια στον κόσμο παρουσιάζουν νέες πατέντες. Κάποιες από τις τεχνολογίες στα φωτοβολταϊκά στοιχεία που φαίνεται να ξεχωρίζουν και μελλοντικά πιθανώς να γίνει ευρεία η χρήσης τους είναι τα: Οργανικά/Πολυμερή στοιχεία.

3.6. Τρόποι σύνδεσης φωτοβολταϊκών στοιχείων

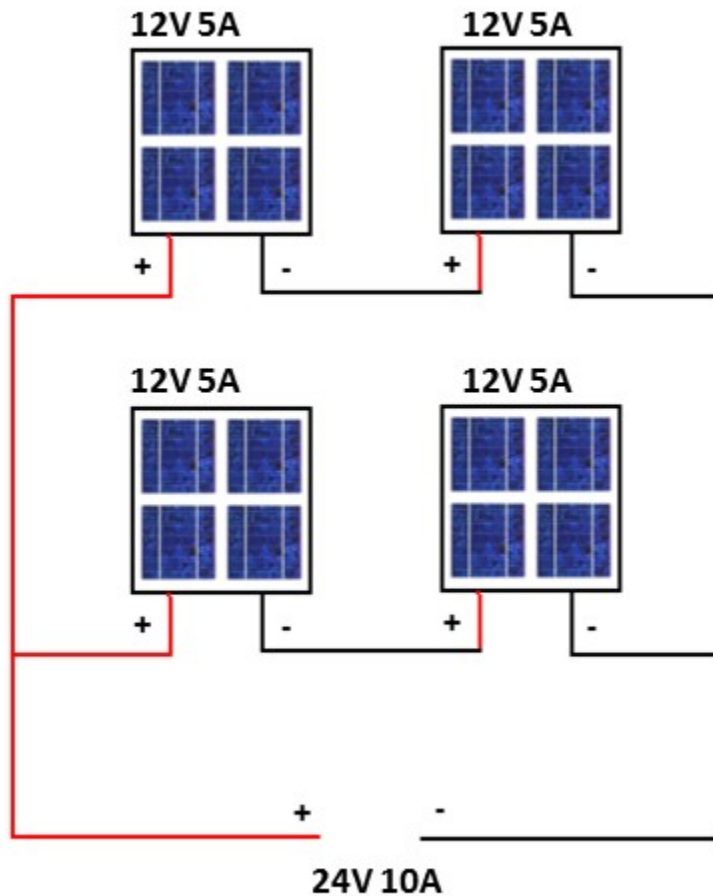
Σε σειρά: Σε αυτή την περίπτωση συνδέουμε τα + με τα – εναλλάξ και αθροίζουμε τα volt των κυψελών που διασυνδέουμε δηλαδή εάν κάθε συσκευή παράγει 12 V η συνολική παρεχόμενη τάση θα είναι $12+12+12+12+12=48$. Επίσης το συνολικό ρεύμα παραμένει ίδιο. Δηλαδή εάν κάθε συσκευή έχει ονομαστική τιμή ρεύματος 350 A τότε το συνολικό ρεύμα που ρέει στο κύκλωμα θα είναι 350 A.



Παράλληλα: Σε αυτή την περίπτωση συνδέουμε όλα τα + μεταξύ τους και όλα τα - μεταξύ τους και αθροίζουμε τα Ampere των κυψελών που διασυνδέουμε, δηλαδή εάν κάθε συσκευή έχει ονομαστική τιμή ρεύματος 350A τότε το συνολικό ρεύμα του κυκλώματος είναι $350+350=700A$, ενώ η τάση του ενός π.χ. 12 V είναι η συνολική τάση κυκλώματος δηλαδή 12 V.



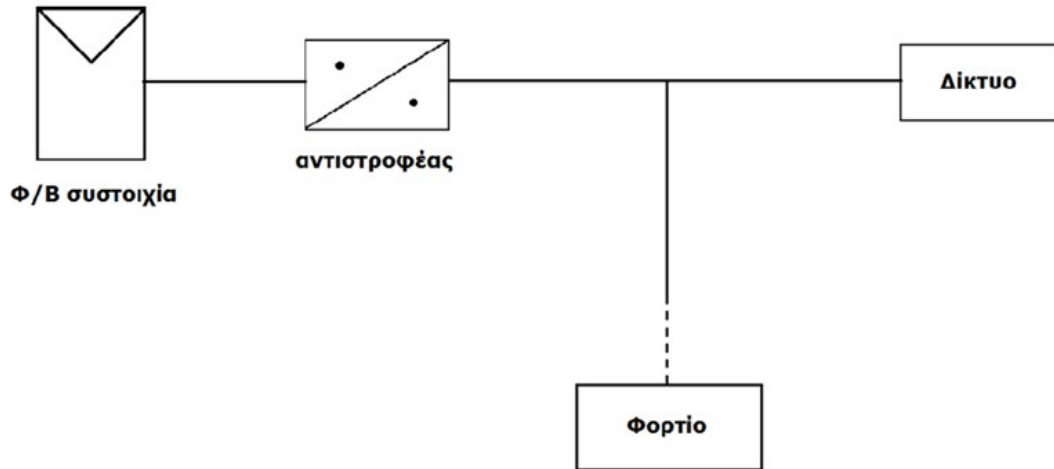
Μεικτή σύνδεση: Είναι δυνατό σε ένα κύκλωμα να έχουμε συνδυασμό των δυο παραπάνω τρόπων σύνδεσης ανάλογα με το τι θέλουμε να πετύχουμε, ώστε να έχουμε τα Volt και τα Ampere που θέλουμε επειδή όπως είναι γνωστό $V \times A = \text{Watt}$.



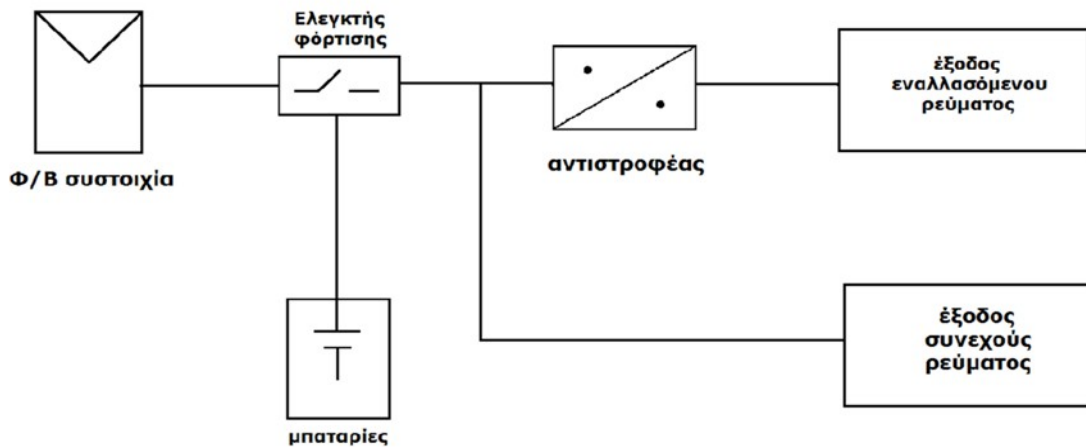
3.7. Κατηγορίες φωτοβολταϊκών συστημάτων

Διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά συστήματα (grid-connected system): Στα διασυνδεδεμένα με το δίκτυο φωτοβολταϊκά συστήματα, η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά τροφοδοτεί τα ηλεκτρικά φορτία και η περίσσεια ηλεκτρικής ενέργειας εφ'όσον υπάρχει διαβιβάζεται και πωλείται στο δίκτυο. Στις περιπτώσεις όμως που η ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά δεν επαρκεί για να καλύψει τα φορτία τότε το δίκτυο παρέχει την συμπληρωματική ενέργεια. Έτσι στα διασυνδεδεμένα συστήματα υπάρχουν δυο μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας. Ο ένας μετράει

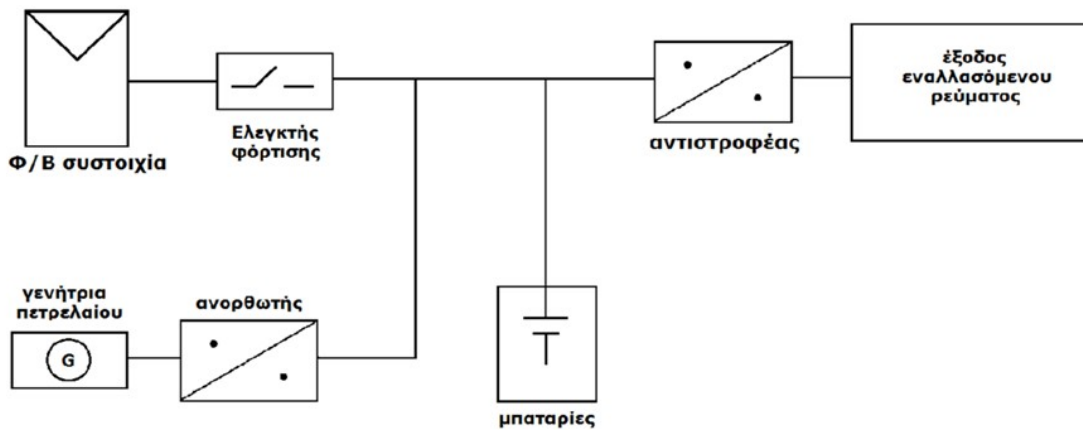
την ενέργεια που δίνεται στο δίκτυο και ο άλλος την ενέργεια που παρέχει το δίκτυο. Επίσης στη περίπτωση των διασυνδεδεμένων συστημάτων δεν απαιτείται χρήση συσσωρευτών, γεγονός που ελαττώνει το αρχικό κόστος της εγκατάστασης καθώς και το κόστος συντήρησης.



Αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα (off-grid system): Σήμερα υπάρχει πληθώρα μικρών φωτοβολταϊκών συστημάτων σε κεραιές τηλεπικοινωνιακών σταθμών, εξοχικά σπίτια, αντλίες άντλησης νερού, χιονοδρομικά κέντρα, τροχόσπιτα, φάρους, μετεωρολογικούς σταθμούς, υπαίθρια φωτιστικά σώματα, σκάφη και άλλα τα οποία καθίστανται ενεργειακά αυτόνομα. Βέβαια υπάρχουν συστοιχίες συσσωρευτών οι οποίες αποθηκεύουν την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια, ενώ σε περίπτωση που έχουμε φορτία εναλλασσόμενου ρεύματος θα πρέπει να υπάρχει ένας αντιστροφέας στο σύστημα ο οποίος θα μετατρέπει την συνεχή τάση σε εναλλασσόμενη. Όταν τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα συνδυαστούν και με άλλη ανανεώσιμη ή συμβατική πηγή ηλεκτρικής ενέργειας (ανεμογεννήτρια, ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος, κλπ) τότε χαρακτηρίζονται σαν υβριδικά.



Υβριδικά φωτοβολταϊκά συστήματα: Πρόκειται για αυτόνομα συστήματα που αποτελούνται από τη ΦΒ συστοιχία σε συνδυασμό με άλλες πηγές ενέργειας όπως μια γεννήτρια πετρελαίου ή άλλη μορφή ΑΠΕ (π.χ. ανεμογεννήτρια).

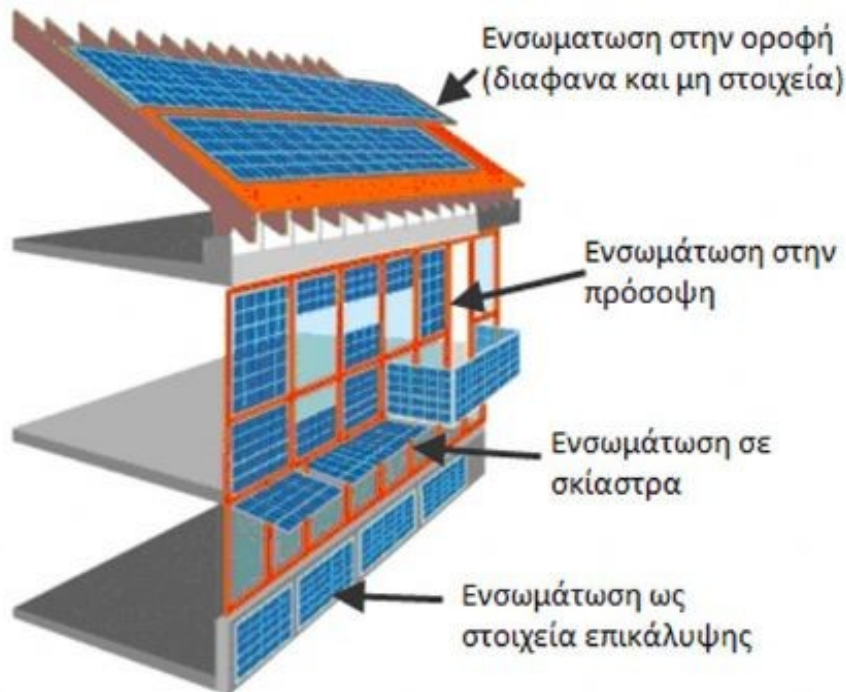


Φωτοβολταϊκά συστήματα ενσωματωμένα σε δομή κτηρίων: Τα

σύγχρονα Φ/Β συστήματα συνδυάζουν την μέγιστη ενεργειακή αποδοτικότητα με τις λειτουργικές ή αισθητικές παραμέτρους της αρχιτεκτονικής. Έτσι σε πολλές περιπτώσεις μπορούν να αντικαταστήσουν οικοδομικά υλικά όπως μια γυάλινη πρόσοψη ή μια στεγανοποιημένη στέγη και να συμπεριληφθούν με επιτυχία σε αρχιτεκτονικά έργα. Οι πιο συνηθισμένες εφαρμογές Φ/Β σε κτίρια είναι σε:

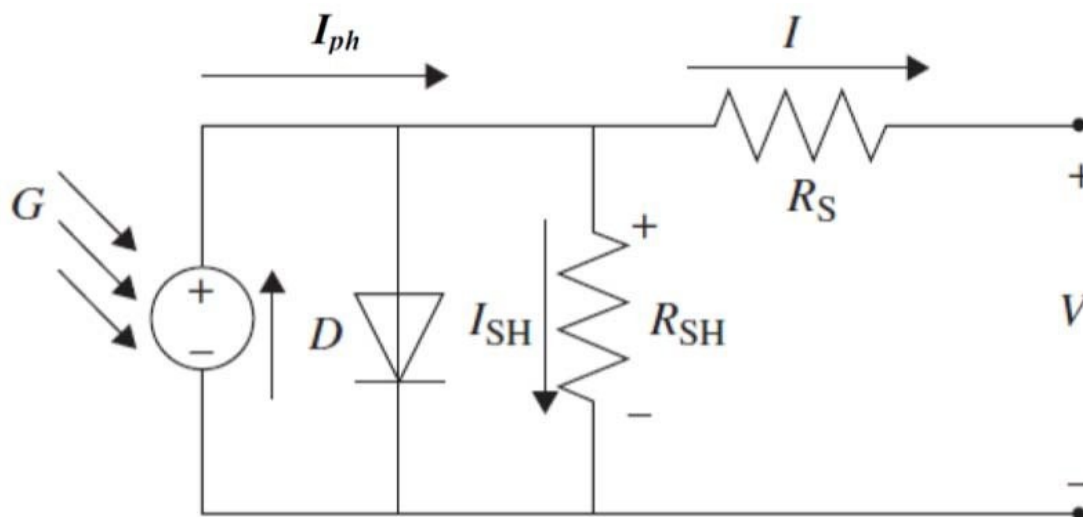
- Στέγη / Ταράτσα (πάνω από την στέγη, απευθείας ενσωμάτωση στη στέγη , αντικατάσταση της στέγης από τα φωτοβολταϊκά)
- Πρόσοψη (Σαν κύρια πρόσοψη, ως υαλοπέτασμα ή ως θερμή πρόσοψη)
- Σκίαστρα / Στέγαστρα (Το πλεονέκτημα τους είναι ότι η βέλτιστη κλίση τοποθέτησής τους για τη μεγιστοποίηση της παραγόμενης ενέργειας ταυτίζεται με την κλίση που παρέχει την μέγιστη σκίαση)

Το παρακάτω σχήμα δείχνει εναλλακτικές δυνατότητες ενσωμάτωσης Φ/Β σε δομή κτιρίων:



3.8. Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκού στοιχείου

Το ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου αποτελείται από μια πηγή σταθερού ρεύματος σε συνδυασμό με μια ιδανική δίοδο I_d . Αυτή η πηγή έντασης παράγει το φωτόρευμα I_{ph} (photocurrent) το οποίο είναι ανάλογο της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας. Στη συνέχεια βρίσκεται το μη ιδανικό τμήμα του φωτοβολταϊκού στοιχείου, το οποίο περιλαμβάνει μια αντίσταση R_{sh} (αντίσταση διακλάδωσης) παράλληλα με την δίοδο, η οποία αντιστοιχεί στις άμεσες απώλειες μέσω της επαφής. Στη σειρά προς τη χρήση των V_r και I_r , είναι η αντίσταση R_s (αντίσταση σειράς) που αντιστοιχεί, μεταξύ άλλων, με τις απώλειες στα σύρματα. Παρκάτω απεικονίζεται το πλήρες ισοδύναμο κύκλωμα ενός φβ στοιχείου:



Στους δυο πόλους του φωτοβολταϊκού στοιχείου, η ηλεκτρική ενέργεια ανακτάται υπό την μορφή μιας τάσης και ενός ρεύματος, V_r και I_r

αντίστοιχα.

Η εξίσωση μεταξύ I_p και V_p είναι η εξής:

$$I_p = I_{CC} - I_s \left(e^{\frac{V_p + I_p R_s}{kT/q}} - 1 \right) - \frac{V_p + I_p R_s}{R_s h}$$

Όπου: I_{CC} = Μεταβλητό ρεύμα, εξαρτημένο από την φωτεινή ακτινοβολία

T = Θερμοκρασία σε K

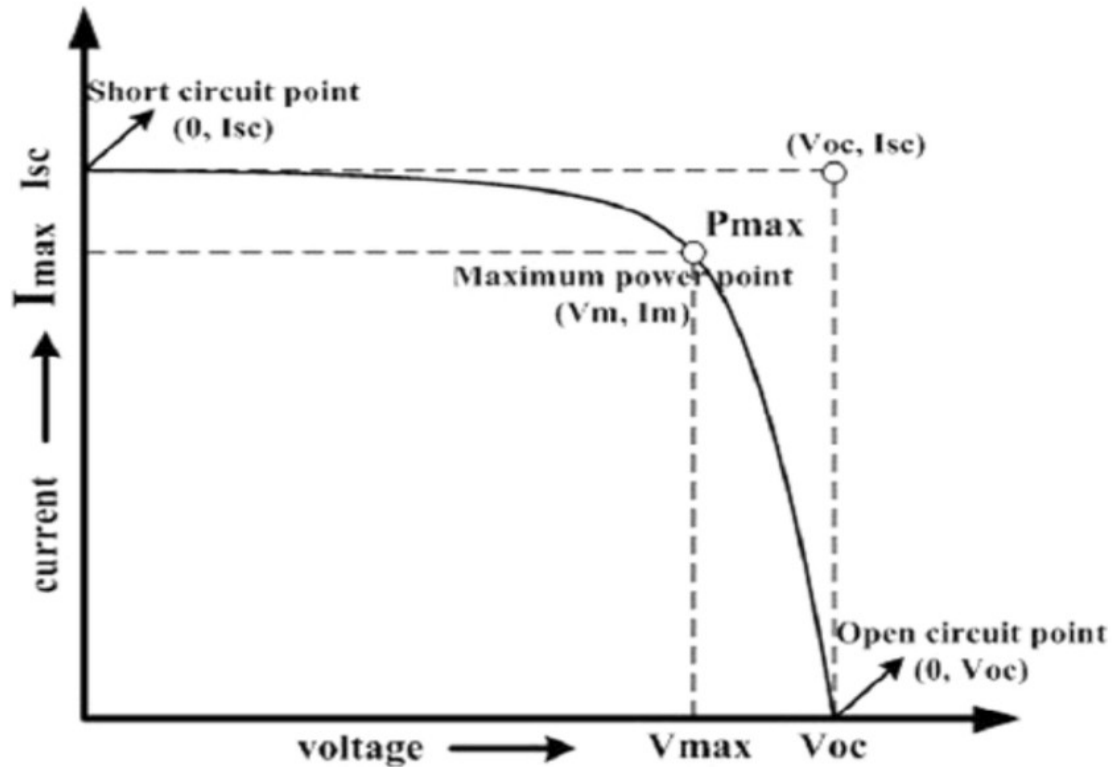
$k = 1.38 \cdot 10^{-23}$

J/K = (Σταθερά Boltzmann)

$q = 1.6 \cdot 10^{-19} C$ (φορτίο του ηλεκτρονίου)

I_s = κάποια nA (εγγενές χαρακτηριστικό της κάθε διόδου)

Η παρουσίαση της εξίσωσης $I_p = f(V_p)$ είναι περίπου:



Σε αυτή την καμπύλη μπορεί κανείς να αναγνωρίσει την καμπύλη της διόδου (προς τα κάτω, λόγω του συμβόλου – στην εξίσωση) και μετατοπίζεται προς την κορυφή της τιμής I_{sc} από το ρεύμα που παράγεται από φωτεινή ακτινοβολία.

Χαρακτηριστικά σημεία σε αυτή την καμπύλη για ένα στοιχείο κρυσταλλικού πυριτίου:

Τάση ανοιχτοκύκλωσης ($I_p = 0 \text{ A}$) V_{oc} (ισχύς $P = 0 \text{ W}$)

Ρεύμα βραχυκύκλωσης ($V_p = 0 \text{ V}$) = I_{sc} (μεταβλητό ανάλογα με την ακτινοβολία, ισχύς $P = 0 \text{ W}$)

Τάση φόρτισης $V_{pm} = 0.5 \text{ V}$ στο σημείο λειτουργίας όπου η ισχύς μεγιστοποιείται

Ρεύμα I_{pm} (μεταβλητό ανάλογα με την ακτινοβολία) στο σημείο

Μέγιστη ισχύς: $P_{max} = I_{pm} \times V_{pm}$

Αξίζει να σημειωθεί πως, μεταβάλλοντας την τάση V_{pm} από 0 ως V_{oc} (ή I_p από 0 έως I_{cc}), η ισχύς ξεκινά από 0W για να φτάσει το μέγιστο P_{max} , ενώ μετά κινείται πάλι προς τα 0 W.

Η απόδοση της ενεργειακής μετατροπής της φωτεινής ενέργειας σε ηλεκτρική ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου με επιφάνεια S , που αποδίδει ισχύ P_{max} υπό φωτεινή ακτινοβολία I_{rrad} είναι η εξής:

$$R_{cell} = \frac{P_{max} (W) / S (m^2)}{I_{rrad} (W/m^2)}$$

Έτσι μπορεί να οριστεί και ένας δείκτης ποιότητας, ο δείκτης πλήρωσης (Fill Factor), που αντικατοπτρίζει την ποιότητα ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου:

$$FF = \frac{V_{pm} \times I_{pm}}{V_{oc} \times I_{cc}}$$

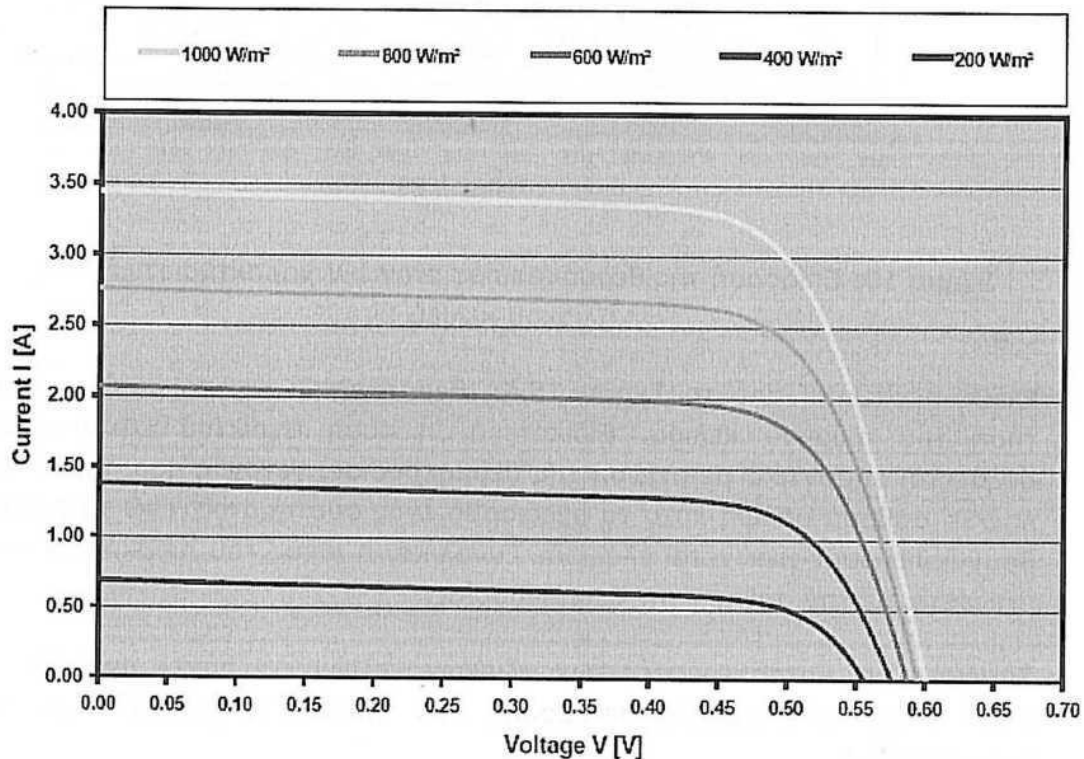
3.9. Βαθμός απόδοσης, επιπτώσεις θερμοκρασίας κι άλλα

Η ηλεκτρική έξοδος ενός ΦΒ πλαισίου στις εκάστοτε συνθήκες ακτινοβολίας και θερμοκρασίας χαρακτηρίζεται από την καμπύλη έντασης-τάσης (I-V). Το σημείο της καμπύλης για το οποίο το γινόμενο έντασης επί τάσης είναι μέγιστο καθορίζει τη μέγιστη ηλεκτρική ισχύ η οποία δύναται να αποδοθεί από το ΦΒ πλαίσιο στις αντίστοιχες συνθήκες ακτινοβολίας και θερμοκρασίας.

Επιπτώσεις της ακτινοβολίας:

Όταν η θερμοκρασία παραμένει σταθερή αλλά μεταβάλλεται η ένταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας, μεταβάλλετε και η I-V

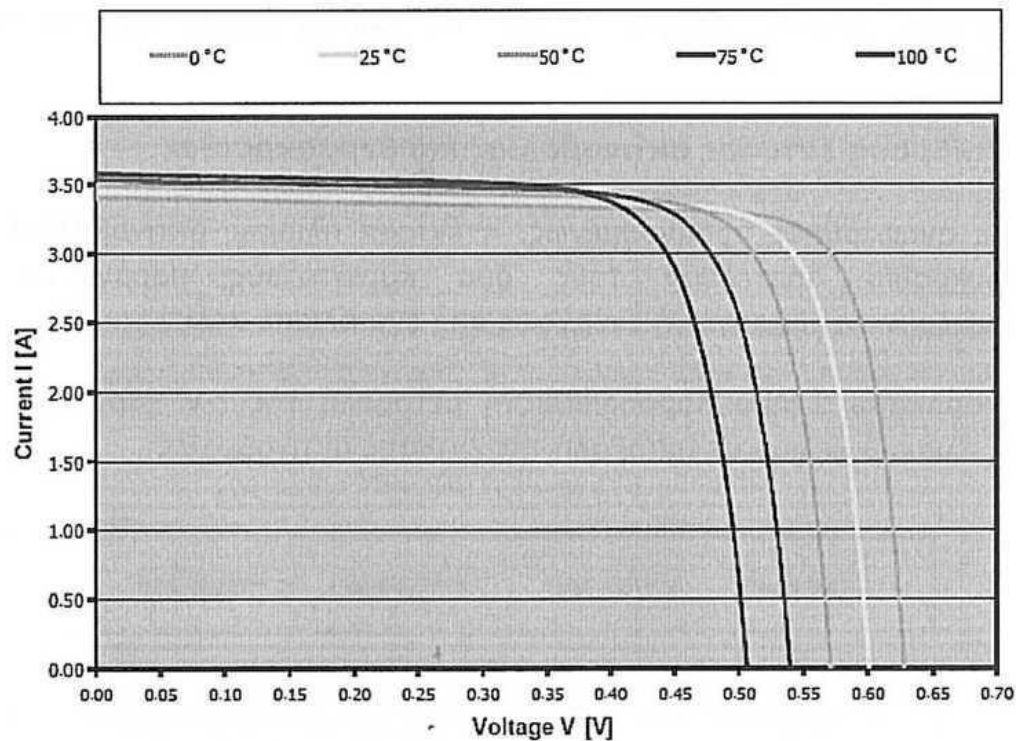
χαρακτηριστική. Για τους περισσότερους τύπους ηλιακών κυττάρων που έχουν σχεδιαστεί για λειτουργία σε ένταση ακτινοβολίας μιας περίπου ηλιακής σταθεράς, μορφή της καμπύλης δεν μεταβάλλεται ουσιαστικά με την ένταση στην περιοχή 0,5-2 ηλιακές σταθερές, το ρεύμα I_{sc} πρακτικά μεταβάλλεται αναλογικά με την ένταση, η τάση V_{oc} μεταβάλλεται λιγότερο (λογαριθμική εξάρτηση).



Επιπτώσεις της θερμοκρασίας:

Η μεταβολή της θερμοκρασίας προκαλεί τις παρακάτω μεταβολές στην I-V χαρακτηριστική: Με αύξηση της θερμοκρασίας του κυττάρου, το ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{sc} αυξάνεται ελαφρά (εξαρτάται βέβαια και από την ένταση της ακτινοβολίας και οφείλεται σε μεταβολή της δυνατότητας συλλογής των φορέων, αφού και το ενεργειακό χάσμα μειώνεται με αύξηση της θερμοκρασίας), ενώ η τάση ανοικτού κυκλώματος V_{oc} μειώνεται (οφείλεται σε μεταβολή των χαρακτηριστικών αγωγής της διόδου) και η ισχύς P_m (P_{mp} ή P_{max}) μειώνεται, ενώ μεταβάλλεται και η

μορφή της καμπύλης (το σημείο μέγιστης ισχύος της καμπύλης γίνεται πιο στρογγυλεμένο με αύξηση της θερμοκρασίας).



Φαινόμενο HOT SPOT:

Το φαινόμενο των θερμών κηλίδων (Hot Spot) μπορεί να εμφανιστεί από αστοχία υλικού ενός από τα φωτοβολταϊκά στοιχεία που απαρτίζουν μια φωτοβολταϊκή γεννήτρια, από λανθασμένη σύνδεση της πολικότητας των στοιχείων ή λόγω αστοχίας του υλικού ή από μερική σκίαση. Τότε το ΦΒ στοιχείο παράγει χαμηλότερο ρεύμα σε σχέση με τα υπόλοιπα στοιχεία που είναι συνδεδεμένα σε σειρά. Το φαινόμενο αυτό μπορεί να αποφευχθεί με τη χρήση μιας παρακαμπτήριας διόδου (δίοδος παράκαμψης), η οποία συνδέεται παράλληλα με μια σειρά φωτοβολταϊκών στοιχείων, την οποία θέλουμε να προστατέψουμε, αλλά με αντίθετη πόλωση.

Φαινόμενο PID:

Το φαινόμενο της Δυνητικής Επαγόμενης Υποβάθμισης (Potential-induced Degradation), το οποίο κάνει την εμφάνισή του σε ορισμένες φωτοβολταϊκές διατάξεις, οφείλεται στη διαφορά δυναμικού μεταξύ των ΦΒ κυψελών και του πλαισίου των ΦΒ μονάδων. Λόγω αυτής της διαφοράς μπορεί να απελευθερωθούν ηλεκτρόνια από την ΦΒ κυψέλη προς τη γη, μέσω του γειωμένου ΦΒ πλαισίου, η απελευθέρωση αυτή σε καμία περίπτωση δεν μπορεί να θωρηθεί αμελητέα, αφού σε ένα χρονικό ορίζοντα λίγων ετών αγγίζει ακόμα και το 30% της αρχικής απόδοσης. Στις ΦΒ εγκαταστάσεις με μετατροπείς γαλβανικής απομόνωσης μπορούμε να προλάβουμε το φαινόμενο αυτό αρκετά ικανοποιητικά γειώνοντας τον αρνητικό πόλο του αντιστροφέα. Έτσι το δυναμικό ολόκληρης της στοιχειοσειράς μετατοπίζεται στα θετικά. Όταν οι μετατροπείς της εγκατάστασης δεν έχουν μετασχηματιστή, επιτυγχάνεται μεγαλύτερη απόδοση με αρκετά μικρότερο κόστος. Στην περίπτωση αυτή η πρόληψη του φαινομένου PID μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση ενός PVOffsetBox.

Σε περίπτωση βλάβης ενός Φωτοβολταϊκού Σταθμού πραγματοποιούμε άμεσα διάγνωση της και προχωράμε στην αποκατάσταση της βλάβης εντός 24 ωρών.

Προβληματικά Junction Box:

Το πρόβλημα παρουσιάζεται στα φωτοβολταϊκά πάνελ. Αιτία είναι οι ελαττωματικές πλάκες στα κουτιά σύνδεσης Junction box, οι οποίες δημιουργούν βραχυκυκλώματα και καίγονται, ενώ στη συνέχεια καίγονται και τα συνδεδεμένα πάνελ. Στην περίπτωση αυτή πραγματοποιούμε διάγνωση της βλάβης με θερμογράφηση (χρήση θερμοκάμερας) και προχωράμε στην αποκατάσταση των κουτιών εντός 24 ωρών.

Κεφάλαιο 4 - Αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας

4.1. Ηλεκτρικοί συσσωρευτές

Συσσωρευτής είναι η συσκευή η οποία αποθηκεύει ενέργεια και την αποδεσμεύει με τη μορφή ηλεκτρισμού. Ονομάζεται αλλιώς και μπαταρία και τη χρησιμοποιούμε στη καθημερινότητά μας σε διάφορες συσκευές, αλλά ακόμα και στα φωτοβολταϊκά συστήματα. Τους συσσωρευτές τους χρησιμοποιούμε στα φωτοβολταϊκά συστήματα σε περίπτωση που για κάποιες μέρες δεν έχει αρκετή ηλιοφάνεια και αποδυναμώνεται η ισχύς των φωτοβολταϊκών. Έτσι λοιπόν, αν το σύστημα είναι αυτόνομο και δεν μπορεί να πάρει ρεύμα από τη ΔΕΗ, τότε συνδέεται με τον συσσωρευτή ο οποίος έχει αποθηκεύσει αρκετή ηλιακή ενέργεια, όλη την περίοδο που έχει ηλιοφάνεια και μόλις τη χρειαστούμε, μας την αποδεσμεύει και μας δίνει ηλεκτρισμό. Οι συσσωρευτές χρειάζονται φόρτιση αρκετά συχνά γιατί εκφορτίζονται πολύ γρήγορα και πρέπει να τους φορτίζουμε σχεδόν καθημερινά, ακόμα κι αν δεν τους χρησιμοποιούμε. Για να μην φθαρούν σύντομα οι συσσωρευτές πρέπει αρχικά να επιλέξουμε κάποιους που να μην έχουν πολύ λεπτές πλάκες μολύβδου για να μη φθαρούν γρήγορα. Επίσης, είναι απαραίτητο να τηρούμε σωστά όλες τις οδηγίες χρήσης, να φροντίζουμε τους συσσωρευτές κάθε μέρα και όταν τους φορτίζουμε να το κάνουμε σταδιακά και όχι απότομα και να τους τοποθετούμε σε χώρους με σταθερή θερμοκρασία. Ακόμα οι συσσωρευτές που θα επιλέξουμε πρέπει να είναι κατάλληλοι για βαθιές εκφορτίσεις και να έχουν όση μεγαλύτερη χωρητικότητα γίνεται για να έχουν περισσότερη αντοχή στο χρόνο. Οποιαδήποτε μπαταρία και να βάλουμε, θα λειτουργήσει, απλά μπορεί αργότερα να δημιουργήσει προβλήματα. Επομένως ο ιδανικότερος συσσωρευτής είναι αυτός που είναι κατάλληλος για τα φωτοβολταϊκά

συστήματα και αντέχει στις βαθιές εκφορτίσεις. Το κόστος των συσσωρευτών δεν είναι ιδιαίτερα υψηλό αλλά εξαρτάται πάντα από την ποιότητά του, τη χωρητικότητά του και την προέλευσή του. Φυσικά, η τιμή του έχει να κάνει με την αντοχή και την εγγύηση που του δίνεται.



Ηλεκτρικοί συσσωρευτές

4.2. Δομή συσσωρευτών

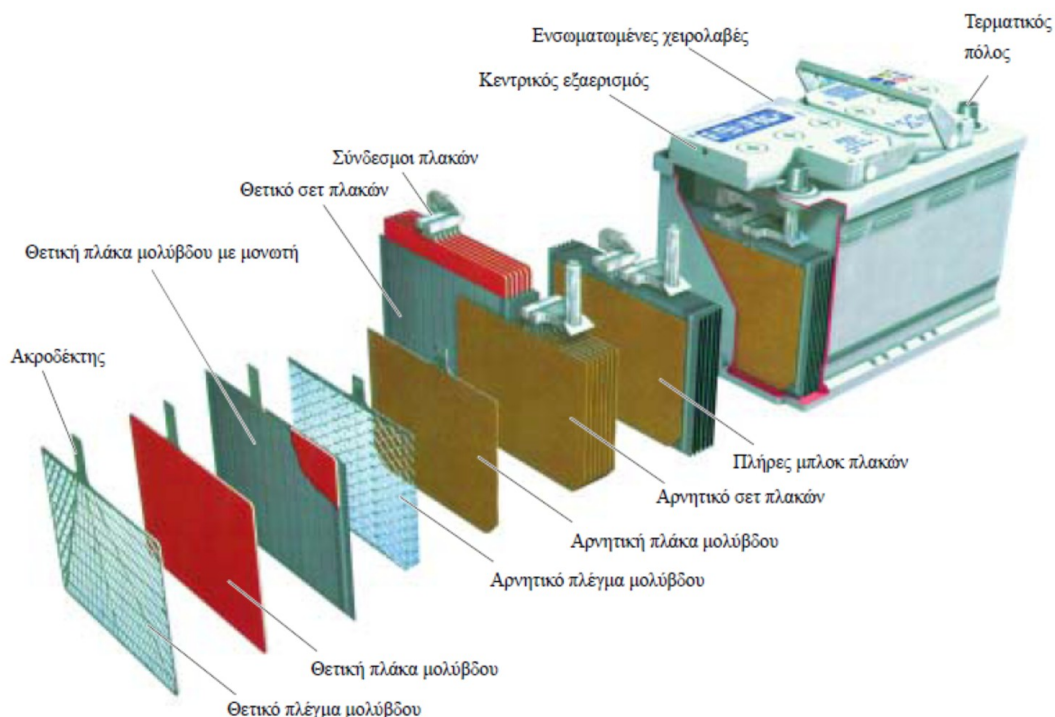
Παρόλο που χρησιμοποιούνται οι όροι συσσωρευτής ή μπαταρία, η βασική ηλεκτροχημική μονάδα είναι το στοιχείο. Ένας συσσωρευτής αποτελείται από ένα ή περισσότερα στοιχεία τα οποία συνδέονται μεταξύ τους σε σειρά ή παράλληλα ανάλογα με την επιθυμητή χωρητικότητα ή την επιθυμητή τάση εξόδου. Έτσι ένα στοιχείο αποτελείται από τρία βασικά συστατικά:

- Την άνοδο (αρνητικό ηλεκτρόδιο): Η οποία δίνει ηλεκτρόνια στο εξωτερικό κύκλωμα και οξειδώνεται κατά τη διάρκεια της ηλεκτροχημικής αντίδρασης.

- Την κάθοδο (θετικό ηλεκτρόδιο): Η οποία δέχεται τα ηλεκτρόνια από το εξωτερικό κύκλωμα και ανάγεται κατά τη διάρκεια της ηλεκτροχημικής αντίδρασης.
- Τον ηλεκτρολύτη (ιονικός αγωγός): Ο οποίος αποτελεί το μέσο για τη μεταφορά των ηλεκτρονίων στο εσωτερικό του στοιχείου μεταξύ της ανόδου και της καθόδου. Ο ηλεκτρολύτης είναι συνήθως κάποιο διάλυμα που συμβάλλει στην ιονική αγωγιμότητα της διάταξης. Μερικές μπαταρίες χρησιμοποιούν στερεούς ηλεκτρολύτες, οι οποίοι είναι ιοντικοί αγωγοί στη θερμοκρασία λειτουργίας του στοιχείου.

Επιγραμματικά μια μπαταρία αποτελείται από πέντε βασικά τμήματα:

1. Ένα πλαστικό ή ελαστικό δοχείο.
2. Τις θετικές και αρνητικές εσωτερικές πλάκες μολύβδου.
3. Τις ενδιάμεσες διαχωριστικές πλάκες κατασκευασμένες από πορώδες συνθετικό υλικό.
4. Τον ηλεκτρολύτη, ένα αραιό διάλυμα θειικού οξέος και νερού, γνωστό ως οξύ της μπαταρίας (αποτελείται από 4 μέρη θειικού οξέος και 11 μέρη αποσταγμένου νερού)
5. Τους πόλους μολύβδου και τους συνδετήρες των πλακών. Τόσο οι θετικές πλάκες όσο και οι αρνητικές, συνδέονται μεταξύ τους με ένα έλασμα που καταλήγει σε έναν ακροδέκτη, τον πόλο της μπαταρίας. Η συνδεσμολογία των θετικών πλακών καταλήγει στον θετικό πόλο και η συνδεσμολογία των αρνητικών πλακών καταλήγει στον αρνητικό πόλο.



4.3. Κατηγορίες συσσωρευτών

Οι μπαταρίες χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, με βάση την ικανότητά τους να μην επαναφορτίζονται (πρωτογενείς μπαταρίες) και να επαναφορτίζονται (δευτερογενείς μπαταρίες). Αυτές οι δύο κατηγορίες περιέχουν υποκατηγορίες που έχουν να κάνουν με συγκεκριμένες δομές ή σχεδιασμούς.

Πρωτογενείς μπαταρίες (μη επαναφορτιζόμενες)

Οι πρωτογενείς μπαταρίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν στις ηλεκτρικές συσκευές, σε φωτογραφικό εξοπλισμό, στα ρολόγια, στους υπολογιστές και σε πολλές άλλες χρήσεις της καθημερινής μας ζωής. Οι περισσότερες πρωτογενείς μπαταρίες είναι κυλινδρικές, επίπεδες ή κομβιόσχημες (κουμπιά) με χωρητικότητα κάτω από 20 Ah. Έχουν καλή διάρκεια ζωής, ελάχιστη ή καθόλου συντήρηση, και είναι εύκολες στη

χρήση. Συνήθως είναι οικιακής χρήσης, σε αντίθεση με τις δευτερογενείς που είναι συνήθως βιομηχανικής χρήσης. Οι κυριότεροι τύποι πρωτογενών μπαταριών είναι οι:

- Ψευδαργύρου / Άνθρακα (Zn/C): οι γνωστές σε όλους απλές μπαταρίες. Για τις απλούστερες χρήσεις και με τη μικρότερη διάρκεια ζωής.
- Ψευδαργύρου / Χλωριδίου (Zn/Cl): με λίγο μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Χρησιμοποιούνται εκεί που υπάρχουν μεγαλύτερες απαιτήσεις σε ενέργεια.
- Αλκαλικές Μαγγανίου: με μεγαλύτερη διάρκεια ζωής από τα δύο προηγούμενα είδη. Είναι μάλιστα και φιλικότερες προς το περιβάλλον.
- Αργύρου: συνήθως κομβιόσχημες, περιέχουν οξείδιο του αργύρου, και χρησιμοποιούνται κυρίως σε ρολόγια.
- Λιθίου: μεγάλης διάρκειας ζωής, περιέχουν μεταλλικό λίθιο και χρησιμοποιούνται ευρέως στον φωτογραφικό εξοπλισμό και στα κινητά τηλέφωνα.
- Ψευδαργύρου - αέρα: επίσης κομβιόσχημες, έχουν την καινοτομία ότι αντί θετικού πόλου, χρησιμοποιείται το ατμοσφαιρικό οξυγόνο.
- Υδραργύρου: με οξείδιο του υδραργύρου, χρησιμοποιείται κυρίως σε ιατρικές συσκευές, όπως ακουστικά βαρυκοΐας. Δυστυχώς, ο υδράργυρος που περιέχουν είναι επικίνδυνος για το περιβάλλον.

Δευτερογενείς μπαταρίες (επαναφορτιζόμενες)

Οι δευτερογενείς μπαταρίες επαναφορτίζονται ηλεκτρικά και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σχεδόν παντού. Χωρίζονται σε τρία βασικά συστήματα:

- επαναφορτιζόμενο σύστημα νικελίου - καδμίου (Ni-Cd): Οι πρώτες επαναφορτιζόμενες μπαταρίες που φτιάχτηκαν ποτέ. Χρησιμοποιούνται σε

ηλεκτρικά εργαλεία, φορητά τηλέφωνα, φορητούς υπολογιστές, παιχνίδια, κ.λ.π., με διάρκεια ζωής 4-5 χρόνια. Δυστυχώς το κάδμιο είναι βλαβερό. Έτσι γίνονται προσπάθειες να απομακρυνθεί αυτό το είδος μπαταρίας από την αγορά, και όπου είναι δυνατόν να αντικατασταθεί.

- επαναφορτιζόμενο σύστημα μολύβδου (Pb): Η ανακάλυψή τους έφερε την επανάσταση στην αυτοκινητοβιομηχανία, αφού οι περισσότερες μπαταρίες αυτοκινήτων ανήκουν σε αυτήν την κατηγορία. Δυστυχώς ο μόλυβδος είναι και αυτός επικίνδυνος για το περιβάλλον, γι αυτό γίνεται ήδη προσπάθεια να συλλέγονται οι άδειες μπαταρίες από τα συνεργεία αυτοκινήτων, και να στέλνονται για ανακύκλωση.
- σύστημα νικελίου - μετάλλου υδριδίου (NiMH). Φιλικότερες προς το περιβάλλον από τις Ni-Cd τις οποίες τείνουν να αντικαταστήσουν και με μεγαλύτερη διάρκεια ζωής.

Οι επαναφορτιζόμενες μπαταρίες παρουσιάζουν πολλά πλεονεκτήματα, οικονομικά και τεχνολογικά. Η ίδια μπαταρία μπορεί να χρησιμοποιηθεί πολλές φορές, κάνοντας απόσβεση του κόστους αγοράς της πολύ γρήγορα. Λειτουργούν σε υψηλές και χαμηλές θερμοκρασίες και έχουν πολύ υψηλή απόδοση στο μεγαλύτερο μέρος της λειτουργικής τους ζωής.

Μερικές από τις ηλεκτρικές συσκευές που χρησιμοποιούμε καθημερινά και η λειτουργία τους απαιτεί μπαταρίες είναι οι παρακάτω:

- Κασετόφωνα
- Ραδιόφωνα
- Φορητές συσκευές ήχου
- Παιχνιδομηχανές τσέπης
- Παιχνίδια (τηλεκατευθυνόμενα, κούκλες κλπ)
- Κινητά τηλέφωνα
- Ασύρματα τηλέφωνα

- Αυτοκίνητα
- Φορητοί ηλεκτρονικοί υπολογιστές (laptops)
- Φακοί
- Ρολόγια
- Φωτογραφικές μηχανές
- Ηλεκτρικά τρυπάνια και άλλα φορητά εργαλεία
- Βιντεοκάμερες
- Ακουστικά βαρυκοΐας
- Walky Talky
- Τηλεχειριστήρια κ.λ.π.

Και είναι μόνο μερικές από αυτές που χρησιμοποιούμε σπίτι μας. Στην πραγματικότητα, το μεγαλύτερο μέρος των μπαταριών χρησιμοποιούνται στην βιομηχανία και από επαγγελματίες, για φορητές συσκευές που χρειάζονται στην δουλειά τους. Επίσης μπαταρίες χρησιμοποιούνται ακόμη και για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, (ηλεκτρικοί συσσωρευτές) που αποθηκεύουν το ρεύμα μέχρι αυτό να σταλεί στα σπίτια μας.

4.4. Λειτουργία συσσωρευτών στα ΦΒ συστήματα

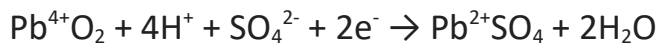
Ο συσσωρευτής είναι μία διάταξη ηλεκτροχημικής μετατροπής ενέργειας. Κατά τη φόρτιση η ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται σε χημική και κατά την εκφόρτιση η χημική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική. Ο συσσωρευτής των φωτοβολταϊκών εφαρμογών είναι επαναφορτιζόμενος και απαιτείται να μπορεί να επιτελεί πολλούς κύκλους φόρτισης-εκφόρτισης, καθότι είναι το πιο αναλώσιμο κομμάτι της εγκατάστασης – 8 έτη διάρκεια ζωής, ενώ τα φωτοβολταϊκά πλαίσια έχουν 30.

Η ηλεκτροχημική μετατροπή συνίσταται σε αντιστρεπτές χημικές αντιδράσεις οξειδοαναγωγής που λαμβάνουν χώρα στο θετικό και το αρνητικό ηλεκτρόδιο κατά τη φόρτιση και την εκφόρτιση. Η οξείδωση συνδέεται με την αποβολή ηλεκτρονίων και η αναγωγή με την πρόσληψη ηλεκτρονίων. Άνοδος είναι το ηλεκτρόδιο που αποβάλλει ηλεκτρόνια και κάθοδος αυτό που προσλαμβάνει ηλεκτρόνια. Τα ηλεκτρόδια προσαρτώνται στους ρευματοσυλλέκτες που καταλήγουν στους πόλους του κελιού, που είναι η στοιχειώδης μονάδα αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας σε μορφή χημικής ενέργειας. Ο συσσωρευτής μπορεί να αποτελείται από ένα κελί ή περισσότερα, συνδεδεμένα ηλεκτρικά μεταξύ τους. Τα ηλεκτρόδια βυθίζονται στο εσωτερικό του δοχείου του κελιού και η διάταξη συμπληρώνεται με ηλεκτρολύτη σε υγρή μορφή ή μορφή gel.

Ευρύτατα χρησιμοποιούμενοι συσσωρευτές στις φωτοβολταϊκές εφαρμογές είναι οι συσσωρευτές μολύβδου-οξέος. Στην κατάσταση πλήρους φόρτισης το θετικό ηλεκτρόδιο αποτελείται από διοξείδιο του μολύβδου (PbO_2) και το αρνητικό ηλεκτρόδιο από μόλυβδο (Pb). Τα ηλεκτρόδια είναι βυθισμένα σε διάλυμα θειϊκού οξέος (H_2SO_4) – ηλεκτρολύτης. Στο αρνητικό ηλεκτρόδιο συμβαίνει αυθόρμητα μία αντίδραση οξείδωσης:



Σε αυτή την περίπτωση το αρνητικό ηλεκτρόδιο λειτουργεί ως άνοδος. Ο μόλυβδος αντιδρά με το αρνητικά φορτισμένο ιόν SO_4^{2-} του ηλεκτρολύτη και σχηματίζει θειϊκό μόλυβδο, αποβάλλοντας ηλεκτρόνια που δίνουν στο ηλεκτρόδιο το αρνητικό του φορτίο. Στο θετικό ηλεκτρόδιο συμβαίνει αυθόρμητα μία αντίδραση αναγωγής:



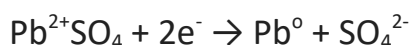
Σε αυτή την περίπτωση το θετικό ηλεκτρόδιο λειτουργεί ως κάθοδος. Από την αντίδραση του διοξειδίου του μολύβδου με τα ιόντα του ηλεκτρολύτη έχουμε σχηματισμό θειϊκού μολύβδου και νερού. Ο μόλυβδος προσλαμβάνει ηλεκτρόνια προσδίδοντας στο ηλεκτρόδιο θετικό φορτίο.

Εάν στους πόλους συνδεθεί φορτίο, τα ηλεκτρόνια, που δημιουργούνται απ' τις ως κατά τα άνω αντιδράσεις, ρέουν απ' το αρνητικό ηλεκτρόδιο προς το θετικό ηλεκτρόδιο. Η συμβατική φορά του ρεύματος είναι αντίθετη απ' τη ροή των ηλεκτρονίων. Το κύκλωμα εσωτερικά του συσσωρευτή κλείνει με τη ροή των ιόντων H^+ και SO_4^{2-} . Κατά τη διαδικασία της εκφόρτισης η διαφορά δυναμικού (τάση) μεταξύ των πόλων του συσσωρευτή μειώνεται. Η αντίδραση της οξειδοαναγωγής συνεχίζεται μέχρι την πλήρη εκφόρτιση του συσσωρευτή, οπότε και η χημική ενέργεια, που είναι αποθηκευμένη στο συσσωρευτή και είναι αποτέλεσμα έκλυσης κατά τις οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις, έχει μετατραπεί σε ηλεκτρική προς τροφοδότηση του φορτίου. Η διαφορά δυναμικού στους πόλους του συσσωρευτή μηδενίζεται.

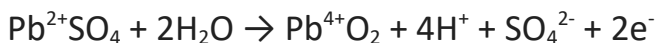
Φυσικά, στην πράξη, η διαδικασία της εκφόρτισης συνεχίζεται μέχρι κάποια τιμή της τάσης – αντίστοιχα βάθος εκφόρτισης – του συσσωρευτή, κάτω απ' την οποία ρυθμίζεται να σταματάει για να μην έχουμε μείωση της διάρκειας ζωής του συσσωρευτή και καταστροφή του.

Στην κατάσταση πλήρους εκφόρτισης και τα δύο ηλεκτρόδια αποτελούνται από θειϊκό μόλυβδο και ο ηλεκτρολύτης έχει μετατραπεί σε νερό. Συνδέουμε στους πόλους του συσσωρευτή πηγή ρεύματος – όπως ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο μέσω ρυθμιστή φόρτισης. Ο θετικός πόλος της πηγής συνδέεται στο θετικό πόλο του συσσωρευτή. Λαμβάνουν χώρα αντίστροφες χημικές αντιδράσεις οξειδοαναγωγής στο αρνητικό και το θετικό ηλεκτρόδιο και η ροή των ηλεκτρονίων, των ιόντων και κατ' επέκταση η φορά του ρεύματος είναι αντίστροφη απ' αυτή στη διαδικασία της εκφόρτισης.

Το αρνητικό ηλεκτρόδιο λειτουργεί ως κάθοδος προσλαμβάνοντας ηλεκτρόνια, το αρνητικό του δυναμικό αυξάνεται κατά απόλυτη τιμή, και ο θειϊκός μόλυβδος ανάγεται σε μόλυβδο:



Το θετικό ηλεκτρόδιο λειτουργεί ως άνοδος αποβάλλοντας ηλεκτρόνια, το θετικό του δυναμικό αυξάνεται, και ο θεϊκός μόλυβδος οξειδώνεται σε διοξείδιο του μολύβδου:



Η τάση του συσσωρευτή κατά τη φόρτιση αυξάνεται και η ηλεκτρική ενέργεια της πηγής ρεύματος μετατρέπεται σε χημική ενέργεια αποθηκευμένη στο συσσωρευτή. Με την πλήρη φόρτιση ολοκληρώνεται, με όλη αυτή τη διαδικασία ηλεκτροχημικής μετατροπής μέσω οξειδοαναγωγικών αντιδράσεων, ένας πλήρης κύκλος φόρτισης-εκφόρτισης.

4.5. Τύποι συσσωρευτών

Οι μπαταρίες βαθιάς εκφόρτισης (μόλυβδου-θεικού οξέος) για την αποθήκευση ενέργειας για καθημερινή χρήση. Η δυνατότητα βαθιάς εκφόρτισης οφείλεται στις χοντρές πλάκες μολύβδου οι οποίες αντέχουν στην διάβρωση. Είναι πιο βαριές και μεγαλύτερες από τις μπαταρίες εκκίνησης. Προτείνονται για αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα. Διακρίνονται σε δύο τύπους :Ανοιχτού τύπου μπαταρίες με υγρά με ανοιγόμενες τάπες. Κάθε κελί αποτελείται από 2 πλάκες μολύβδου (Pb) αντίθετα φορτισμένες. Ανάμεσα στις πλάκες υπάρχει υγρό διάλυμα θεικού οξέος. Η χημική αντίδραση μεταξύ των πλακών και του υγρού διαλύματος έχει σαν αποτέλεσμα την παραγωγή αρνητικά φορτισμένων ηλεκτρονίων και κατά συνέπεια την δημιουργία διαφοράς δυναμικού (V), δηλαδή την παραγωγή ρεύματος. Κατά την φόρτιση η χημική αντίδραση αντιστρέφεται.

Οι μπαταρίες για φωτοβολταϊκά, όπως επίσης και όλες οι μπαταρίες τεχνολογίας μολύβδου – οξέος, χωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες. Στη πρώτη κατηγορία έχουμε τις μπαταρίες κλειστού κα στη δεύτερη κατηγορία έχουμε τις μπαταρίες ανοιχτού τύπου. Η βασική τους διαφορά

είναι πως οι μπαταρίες φωτοβολταϊκών κλειστού τύπου δεν χρειάζονται συντήρηση, σε αντίθεση με τις μπαταρίες ανοιχτού τύπου που απαιτούν συντήρηση (συμπλήρωση υγρών κλπ). Στη κατηγορία των μπαταριών κλειστού τύπου των φωτοβολταϊκών συστημάτων ανήκουν και οι μπαταρίες τεχνολογίας AGM και GEL οι οποίες κατασκευάζονται στα 2V, 6V,8V και στα 12V και με διαφορετικές χωρητικότητες ώστε να μπορούμε να τις συνδυάσουμε με τις δικές μας ανάγκες και απαιτήσεις. Αυτές οι μπαταρίες αποτελούν προϊόντα συσσωρευτών τελευταίας τεχνολογίας με εξαιρετική αντοχή σε κύκλους φόρτισης – εκφόρτισης και κατά συνέπεια στην συνολική απόδοση του συστήματος.

Οι μπαταρίες βαθιάς εκφόρτισης ανάλογα με την εφαρμογή ο σχεδιαστής μπορεί να επιλέξει ανάμεσα σε κλειστού ή ανοιχτού τύπου μπαταρίες φωτοβολταϊκών.

Οι κλειστού τύπου μπαταρίες φωτοβολταϊκών (AGM VRLA, GEL VRLA, Opzv, sOpzv, μπαταρίες λιθίου) επιλέγονται κυρίως όταν τοποθετούνται σε κινούμενες κατασκευές (σκάφη-τροχόσπιτα) ή σε χώρους μη καλά αεριζόμενους.

Οι ανοιχτού τύπου μπαταρίες φωτοβολταϊκών (Opzs, sOpzs) συγκριτικά με τις μπαταρίες κλειστού τύπου έχουν το μειονέκτημα της αυξημένης συντήρησης (συνίσταται σε περιοδικό έλεγχο της στάθμης των υγρών) αλλά με παρόμοιο κόστος προσφέρεται ψηλότερη αποθηκευμένη ενέργεια για περισσότερους κύκλους φόρτισης-εκφόρτισης και ισχυρότερη αντοχή σε βαθιές εκφορτίσεις.

Εκτός από τους συσσωρευτές μολύβδου έχουν αναπτυχθεί κατά καιρούς και έχουν κυκλοφορήσει στο εμπόριο ή βρίσκονται ακόμα υπό μελέτη διάφοροι άλλοι τύποι συσσωρευτών όπως οι συσσωρευτές νικελίου. Γνωστοί και ευρέως χρησιμοποιούμενοι τύποι συσσωρευτών νικελίου είναι:

- Οι συσσωρευτές Νικελίου-Καδμίου (μεγάλη διάρκεια ζωής, δυνατότητα υπερφόρτισης, σχετικά σταθερή τάση λειτουργίας, ικανότητα παραμονής σε μέτρια στάθμη φόρτισης χωρίς πολλές φθορές, υψηλό κόστος και μικρή χωρητικότητα)
- Οι συσσωρευτές Νικελίου- Σιδήρου (δυνατότητα υπερφόρτισης και υπερεκφόρτισης με ελάχιστη μόνιμη βλάβη, σχετικά υψηλό κόστος και μικρός βαθμός απόδοσης)
- Οι συσσωρευτές Νικελίου- Ψευδαργύρου (μεγάλη πυκνότητα ισχύος, μικρή διάρκεια ζωής, σχετικά χαμηλός βαθμός απόδοσης και υψηλό κόστος)
- Οι συσσωρευτές REDOX (μεγάλη διάρκεια ζωής, δυνατότητα υπερφόρτισης και υπερεκφόρτισης χωρίς μόνιμη βλάβη, δυνατότητα ρύθμισης τάσης και απαίτηση βοηθητικών συσκευών για την λειτουργία τους).

4.6. Χαρακτηριστικά μεγέθη ενός συσσωρευτή

Βασικά χαρακτηριστικά των συσσωρευτών (μπαταρίες φωτοβολταϊκών) είναι η τάση τους (2Volts, 4V, 6V, 12V), η χωρητικότητα (σε Ah) και οι κύκλοι φόρτισης εκφόρτισης. Η χωρητικότητα πολλαπλασιαζόμενη με την τάση δίνει την αποθηκευμένη ενέργεια σε Wh. Σημειώνεται ότι για λόγους μη γήρανσης των μπαταριών ποτέ δεν λαμβάνεται όλη η αποθηκευμένη ενέργεια αλλά ποσοστό της.

Οι κύκλοι φόρτισης εκφόρτισης δείχνουν την αναμενόμενη διάρκεια ζωής ενός συσσωρευτή και εξαρτώνται άμεσα από τη χρήση του (ποσοστό εκφόρτισης). Έτσι μία μπαταρία που υφίσταται βαθιές εκφορτίσεις πχ 80% μπορεί να αντέξει 400 κύκλους, ενώ η ίδια μπαταρία για εκφόρτιση μόλις 20% μπορεί να αντέξει 1200 κύκλους. Οι 12βολτες μπαταρίες

φωτοβολταϊκών τύπου AGM έχουν 400-900 κύκλους για 50% εκφόρτιση ενώ οι 12βολτες τύπου Gel 800-1300 κύκλους. Οι 6βολτες μπαταρίες κυμαίνονται από 1200 μέχρι 1600 κύκλους ενώ οι 2βολτες μπαταρίες φωτοβολταϊκών παρέχουν 2.000-3.000 κύκλους για 50% εκφόρτιση. Οι μπαταρίες φωτοβολταϊκών λιθίου είναι οι μπαταρίες φωτοβολταϊκών με τους περισσότερους κύκλους (4-6000) αλλά με το μεγαλύτερο κόστος (στα θετικά τους επίσης το χαμηλό βάρος).

Όσον αφορά την τάση της μπαταρίας ενός φωτοβολταϊκού αυτή επιλέγεται συνήθως με βάση το μέγεθος του συστήματος. Μικρά συστήματα με ισχύ φωτοβολταϊκού κάτω από 1000Watts και αντιστροφείς κάτω από 1.200Watts επιλέγεται 12V. Μεσαία συστήματα με ισχύ φωτοβολταϊκού 1000-2000Watts και αντιστροφείς κάτω από 3.500Watts επιλέγεται 24V. Μεγαλύτερα συστήματα με ισχύ φωτοβολταϊκού πάνω από 2000Watts και αντιστροφείς πάνω από 3.500Watts επιλέγεται 48V.

Όσον αφορά τους κύκλους φόρτισης-εκφόρτισης συνήθως για συστήματα καθημερινής λειτουργίας (μόνιμες κατοικίες) επιλέγονται μπαταρίες φωτοβολταϊκών με πάνω από 1200 κύκλους (ανοιχτού τύπου), ενώ για συστήματα λιγότερο εντατικής χρήσης (εξοχικές κατοικίες) μπορούν να χρησιμοποιηθούν μπαταρίες με 400-800 κύκλους (κλειστού τύπου)

Η επιλογή της χωρητικότητας μιας μπαταρίας φωτοβολταϊκού είναι εξίσου κρίσιμο κομμάτι της σχεδίασης αφού δεν καθορίζει μόνο την αυτονομία του συστήματος (δηλαδή τις μέρες λειτουργίας με συγκεκριμένα φορτία χωρίς ηλιοφάνεια ή άνεμο) αλλά και τη μακροβιότητα των μπαταριών καθώς όσο περισσότερη χωρητικότητα τόσο μικρότερο βάθος εκφόρτισης και κατα συνέπεια περισσότεροι κύκλοι φόρτισης-εκφόρτισης. Σαν απλός κανόνας για μία μέρα αυτονομία και 50% εκφόρτιση η μπαταρία πρέπει να έχει χωρητικότητα διπλάσια της απαιτούμενης ημερήσιας ηλεκτρικής ενέργειας.

Κατά την επιλογή της χωρητικότητας μιας μπαταρίας φωτοβολταϊκού πρέπει να συνυπολογίσουμε τον ρυθμό φόρτισης και εκφόρτισης των

μπαταριών. Συνίσταται στις μπαταρίες φωτοβολταϊκών ένας ρυθμός φόρτισης και εκφόρτισης περίπου όση είναι η χωρητικότητα/10. Για παράδειγμα μία μπαταρία 1000Ah δεν πρέπει να την φορτίζουμε με πάνω από 100A (δηλαδή σε ένα 24βολτο σύστημα δεν μπορούμε να βάλουμε πάνω από 2400Watts φωτοβολταϊκά πάνελ ή φόρτιση από γεννήτρια με ισχύ πάνω από την ισχύ αυτή). Παρομοίως, ο ρυθμός εκφόρτισης της μπαταρίας δεν επιτρέπεται να είναι πάνω από 100A δηλαδή 2400Watts (συνεπώς σε ένα τέτοιο σύστημα θα ήταν συνετό να χρησιμοποιηθεί αντιστροφέας περίπου 3kva).

Ένα κρίσιμο σημείο για τη σύγκριση της χωρητικότητας των μπαταριών φωτοβολταϊκών είναι να αναφέρονται στο ίδιο χρονικό διάστημα εκφόρτισης (ρυθμός εκφόρτισης). Αυτό φαίνεται από την χωρητικότητα C20 ή C5 ή C100 κοκ. Αναλυτικότερα μία μπαταρία φωτοβολταϊκού 460Ah C100 μπορεί να δώσει 460Ah σε 100ώρες ενώ μία μπαταρία με την ίδια χωρητικότητα αλλά για C20 μπορεί σε 20 ώρες. Για να συγκρίνουμε δύο μπαταρίες φωτοβολταϊκών πρέπει να εξετάσουμε την χωρητικότητά τους για τον ίδιο ρυθμό εκφόρτισης (πχ, C10 που είναι ρεαλιστικό για φωτοβολταϊκά).

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στις μπαταρίες φωτοβολταϊκών ανοιχτού τύπου στην διαδικασία εξισορρόπησης η οποία πρέπει να γίνεται 2-3 φορές το χρόνο και βοηθάει στην μακροβιότητα των συσσωρευτών. Συνίσταται στην εφαρμογή τάσης αρκετά μεγαλύτερης από την ονομαστική για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Η εφαρμογή της υψηλής αυτής τάσης στην μπαταρία κάνει τον υγρό ηλεκτρολύτη να "βράζει" με τις φυσαλίδες που ανέρχονται στη διαδρομή τους να "σπάνε" του αγωγίσιμους δρόμους θείκωσης που βραχυκυκλώνουν τις πλάκες της μπαταρίας οδηγώντας σε γήρανσή της. Συνήθως οι ποιοτικοί ρυθμιστές φόρτισης κάνουν αυτόματα την διαδικασία, ειδάλλως ο χρήστης πρέπει να εκτελέσει την εξισορρόπηση με τη βοήθεια γεννήτριας.

Τέλος, στις μπαταρίες φωτοβολταϊκών θα πρέπει ο σχεδιαστής του συστήματος να λάβει σοβαρά υπόψη του καθ' υπόδειξη του

κατασκευαστή τις τιμές φόρτισης αλλά και τις τιμές αποκοπής της εκφόρτισης. Οι τιμές αυτές κυμαίνονται ανά τύπο μπαταρίας και ανά φίρμα.

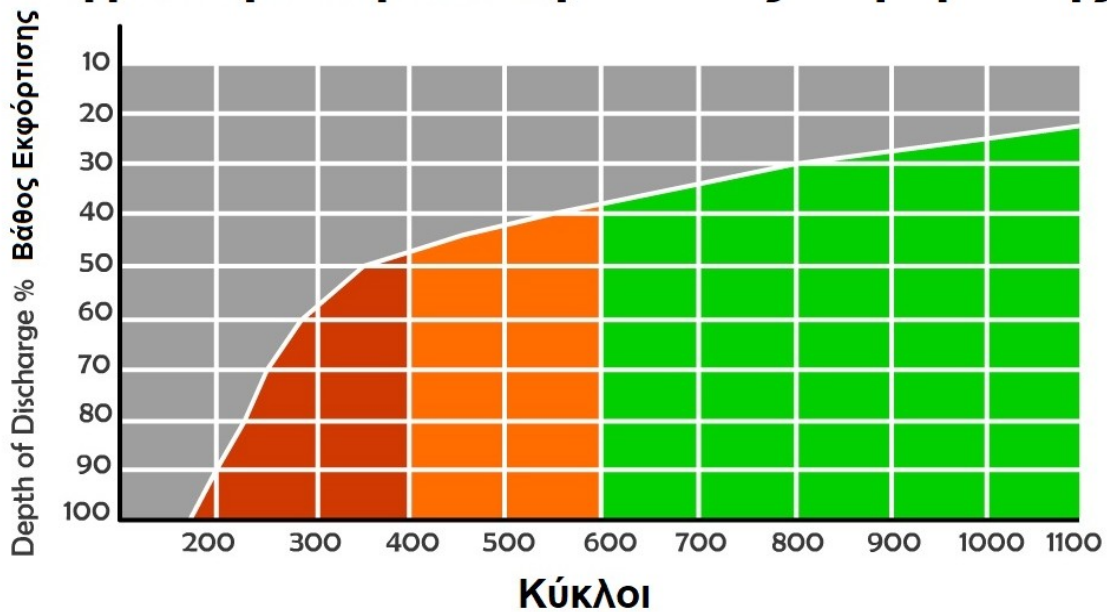
4.7. Κύκλος λειτουργίας (DUTY CYCLE)

Ο Κύκλος λειτουργίας μιας μπαταρίας, είναι η διαδικασία κατά την οποία διεξάγεται μία πλήρης φόρτιση και μετά μια εκφόρτιση σε συγκεκριμένο ποσοστό της χωρητικότητας (DOD) και σε καθορισμένες συνθήκες.

Όσο περισσότερο το ποσοστό εκφόρτισης, τόσο λιγότεροι οι κύκλοι ζωής της μπαταρίας. Επίσης όσο συχνότερα εκφορτίζουμε σε μεγάλο ποσοστό βύθισης, τόσο περισσότερο μειώνουμε τη συνολική ζωή της μπαταρίας.

Ο συνολικός αριθμός των κύκλων φόρτισης-εκφόρτισης, με συγκεκριμένα κριτήρια και μέχρι το σημείο όπου η μπαταρία θα δυσλειτουργεί, υποδηλώνει την πραγματική διάρκεια της ζωής της. Ο συνολικός αριθμός των κύκλων, επηρεάζεται άμεσα από το ποσοστό βύθισης της χωρητικότητας κατά την εκφόρτιση, καθώς και από άλλες συνθήκες όπως η θερμοκρασία και η υγρασία περιβάλλοντος.

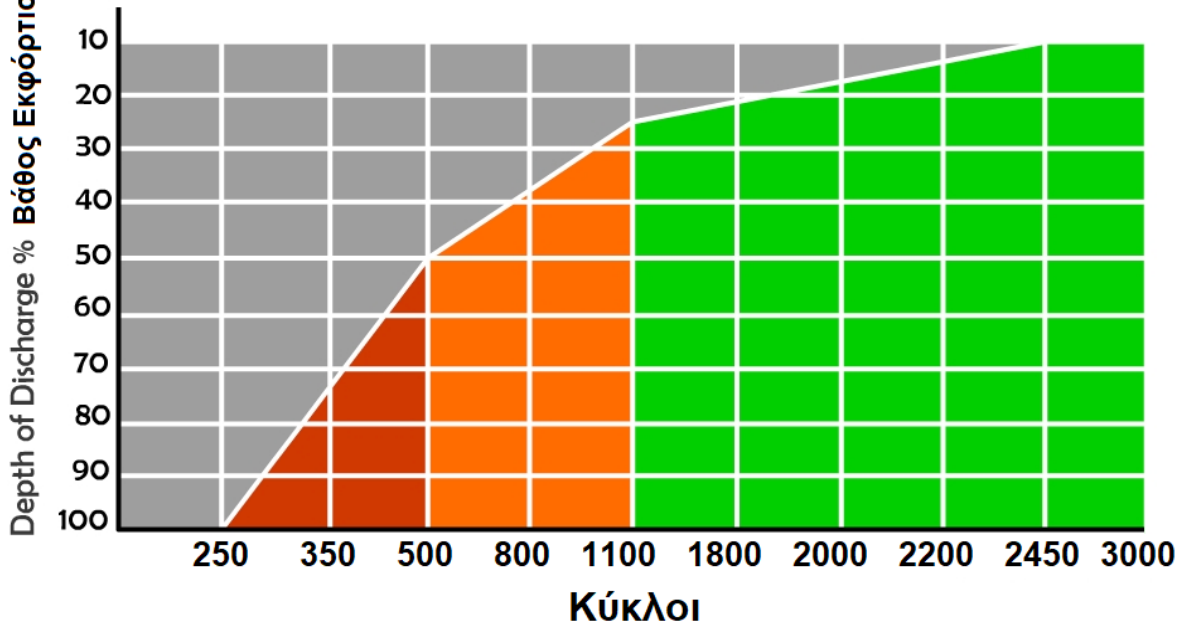
Κύκλοι Μπαταρίας Μολύβδου οξέος υγρού ηλεκτρολύτη, Βαθιάς εκφόρτισης



Ένας κανόνας που προέρχεται από τον Νόμο Arrhenius και περιγράφει πώς ο ρυθμός με τον οποίο προχωρά μια χημική αντίδραση, διπλασιάζεται για κάθε 10 βαθμούς άνοδο της θερμοκρασίας, στην περίπτωση αυτή ισχύει για το ρυθμό με τον οποίο η αργή υποβάθμιση των δραστικών χημικών ουσιών αυξάνεται.

Ομοίως, αντιπροσωπεύει τον τρόπο με τον οποίο αυξάνεται και η εσωτερική αντίσταση της μπαταρίας.

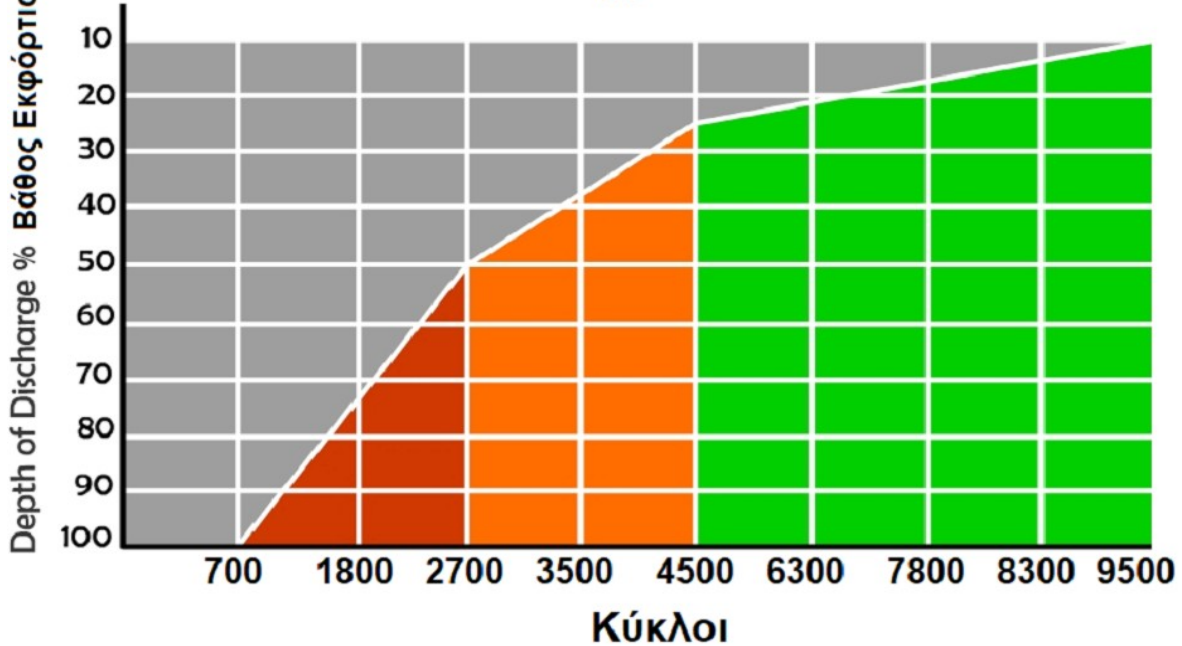
Κύκλοι Μπαταρίας AGM



Διαφορετικός τύπος μπαταρίας έχει διαφορετική διάρκεια ζωής και εξαρτάται από το βάθος της εκφόρτισης.

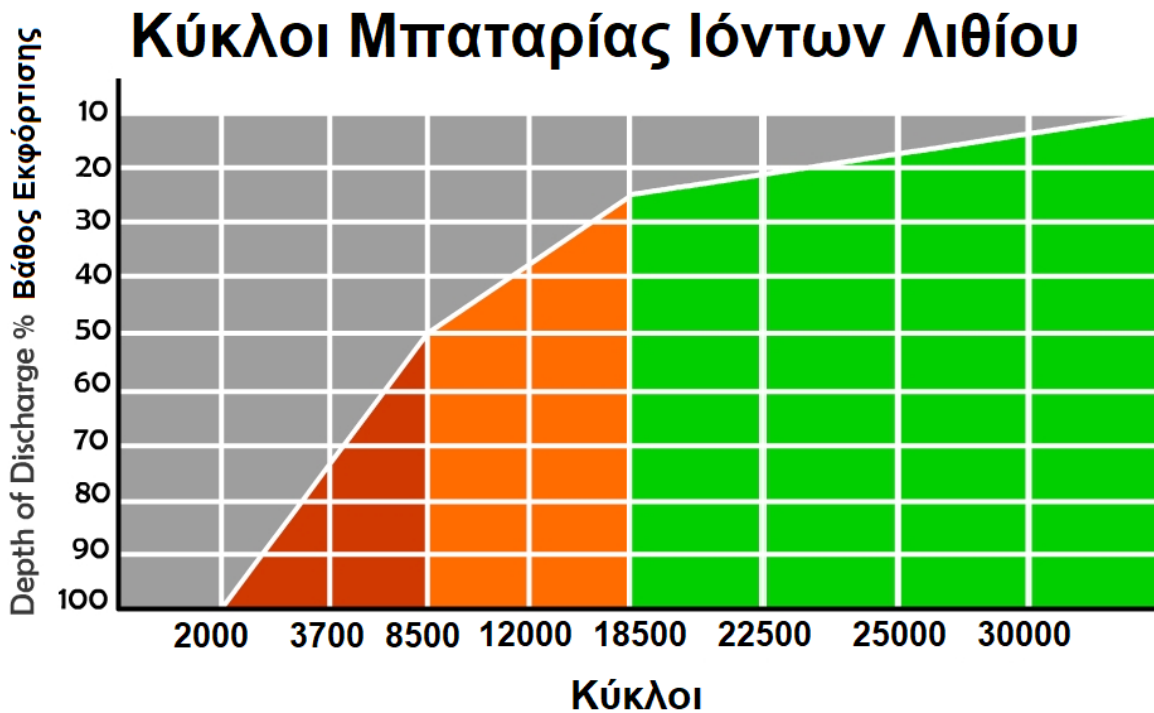
Η μπαταρία ιόντων λιθίου χαρακτηρίζεται γενικά ως ένας από τους καλούς υποψήφιους για μπαταρία μακράς διάρκειας με περισσότερους κύκλους ζωής, αρκεί να μην γίνεται κατάχρηση με εκτεταμένη εκφόρτιση.

Κύκλοι στοιχείου OPZS



Σε ορισμένες μπαταρίες, όπως η μπαταρίες ιόντων λιθίου, συνήθως υπολογίζουμε τη διάρκεια ζωής τους με DoD 80%, ενώ για μπαταρίες βαθιάς εκφόρτισης, μολύβδου οξέος και υγρού ηλεκτρολύτη, υπολογίζουμε τη διάρκεια ζωής τους με DoD 50% ή 25%.

Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου, που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν σε κυκλικές εφαρμογές, εξοπλίζονται με ένα κύκλωμα διαχείρισης μπαταρίας (BMS), το οποίο θα κλείσει τις κυψέλες, για να αποτρέψει την περαιτέρω εκφόρτιση που θα καταστρέψει την μπαταρία αν πέσει κάτω από μια ορισμένη τάση.

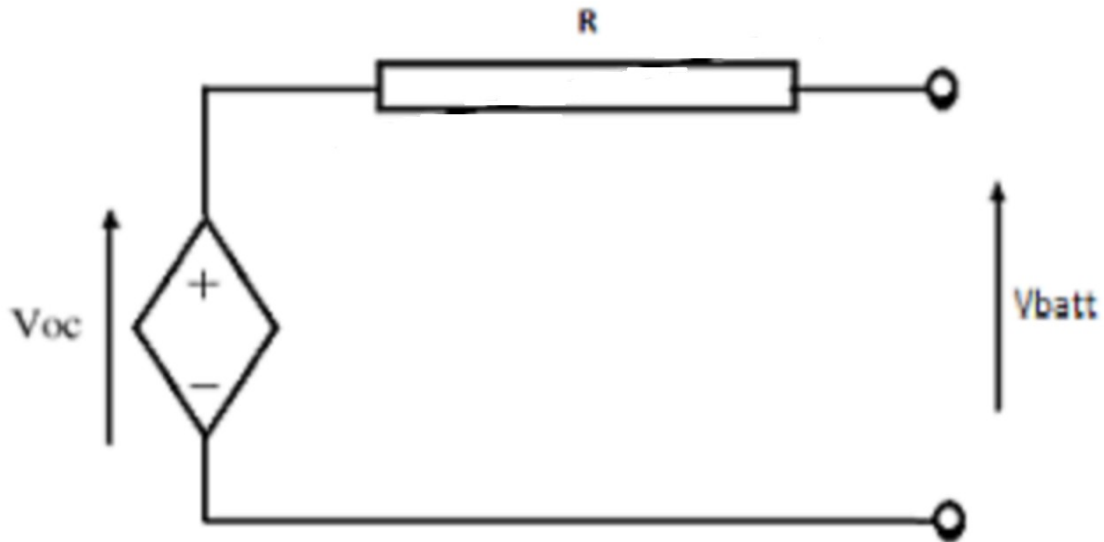


3.8. Μοντελοποίηση συσσωρευτών

Απλό μοντέλο (State Resistance):

Το απλό μοντέλο μπαταρίας αποτελείται από μια σταθερή αντίσταση R σε σειρά με μια ιδανική πηγή τάσης V_{oc} όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.

Η τάση ανοιχτού κυκλώματος V_{oc} μας δίνει την ιδανική, εσωτερική, τάση της μπαταρίας και η V_{batt} είναι η τάση ακροδεκτών της μπαταρίας. Το μοντέλο αυτό δεν περιλαμβάνει την πραγματική εσωτερική αντίσταση της μπαταρίας που σχετίζεται με τη στάθμη φόρτισης Soc (state of charge) και τη συγκέντρωση του ηλεκτρολύτη. Σε μια τέτοια περίπτωση μπορεί να διεξαχθεί απεριόριστη ενέργεια. Το μοντέλο αυτό είναι κατάλληλο μόνο για εφαρμογές που το ακριβές επίπεδο φόρτισης Soc δεν κρίνεται σημαντικό.



Η κατάσταση φόρτισης Soc ορίζεται από τον τύπο:

$$SOC = \frac{Q}{Q_{nom}}$$

Όπου, Q η πραγματική χωρητικότητα που είναι αποθηκευμένη στη μπαταρία, (Ah)

Q_{nom} η ονομαστική χωρητικότητα της μπαταρία, (Ah)

Εάν εξαιρέσουμε την απόδοση του συσσωρευτή κατά τη φόρτιση, η κατάσταση φόρτισης SOC συναρτήσει του χρόνου γίνεται:

$$dSOC/dt = i / Q_{nom}$$

Όπου, i είναι το ρεύμα φόρτισης/εκφόρτισης.

Η τάση ανοιχτού κυκλώματος VOC της μπαταρίας σύμφωνα με τη βιβλιογραφία δίνεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$VOC(Q) = V_0 - K \frac{Q_{nom} - Q}{Q_{nom}} + A * e^{-B*Q}$$

Όπου,

A το εκθετικό εύρος ζώνης (V)

B η εκθετική αντίστροφη χρονική σταθερά (Ah)

V_0 η σταθερή τάση της μπαταρίας (V)

K η πώλωση της τάσης (V)

Η τάση του συσσωρευτή είναι συνάρτηση της πραγματικής χωρητικότητας Q , η οποία είναι μία άλλη έκφραση της κατάστασης χωρητικότητας SOC. Η τάση V_{batt} στους ακροδέκτες της μπαταρίας προκύπτει προσθέσουμε την πτώση τάσης που προκαλείται από την εσωτερική αντίσταση του συσσωρευτή.

$$V_t = VOC + i * R_i$$

Η πτώση τάσης θεωρείται θετική κατά τη διάρκεια της φόρτισης και αρνητική κατά τη διάρκεια της εκφόρτισης. Η εσωτερική αντίσταση του συσσωρευτή αναγράφεται στα datasheets του κατασκευαστή.

Βιβλιογραφία

[1] Ιωάννης Ε. Φραγκιαδάκης 4^η έκδοση (2014). Φωτοβολταϊκά συστήματα. (Θεσσαλονίκη εκδόσεις Ζήτα)

[2] Stuart R. Wenham, Martin A. Green, Muriel E. Watt. Richard Corkish and Alistair Sproul (2013). Applied Photovoltaics.

[3] Κωνσταντίνος Καγκαράκης (1992). Φωτοβολταϊκή τεχνολογία. (Αθήνα εκδόσεις Συμμετρία)

[4] Ιωάννης Μπουγάς πτυχιακή εργασία (2015). Αυτόνομο ηλιακό σπίτι

[5] Κωνσταντίνος Χ, Παπακωνσταντίνου διπλωματική εργασία (2015). Μελέτη διαστασιολόγησης και ενσωμάτωσης στο δίκτυο φωτοβολταϊκών - αποθηκευτικών συστημάτων υπό τον θεσμό της ιδιοκατανάλωσης

[6] https://selasenergy.gr/fv_systems_main.php

[7] http://lyk-vatheos.eyv.sch.gr/Ergasies/2006-2007/tech_plir_A/EnalPE07.htm

[8] <http://www.solar-systems.gr/>

[9] <http://e-fotovoltaika.blogspot.com/>

[10] <http://www.mp-energy.gr/>