



**Τ.Ε.Ι. Δυτικής Ελλάδας**  
**Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής Τ.Ε**

## **ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

«Θεωρητική ανάλυση και πρακτική μελέτη σχεδιασμού ενός αυτόνομου συστήματος αδιάλειπτης παροχής ισχύος σε ανθρώπινα ρούχα»

**ΚΙΟΥΦΤΗΣ ΧΡΗΣΤΟΣ (Α.Μ. 0605)**  
**ΒΑΡΙΑΝΤΖΑΣ ΝΕΚΤΑΡΙΟΣ-ΒΑΣΙΛΗΣ(Α.Μ. 0933)**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: κ. ΒΩΡΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ**

**ΑΝΤΙΠΡΙΟ 2014**

## Περιεχόμενα

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	7
1.1 Οι εναλλακτικές ενεργειακές πηγές.....	7
1.2 Αναδρομή στην ιστορία για την ανάπτυξη στα φωτοβολταϊκα pn συστήματα - SolarPhotovoltaicSystem.....	7
1.2.1 Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο-Φωτοβολταϊκά Πληροφορίες .....	8
1.3 Η ιστορία των φωτοβολταϊκών.....	8
1.4 Ανάλυση δομής ενός φωτοβολταϊκού συστήματος.....	10
1.5 Πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα της φωτοβολταϊκής ενέργειας. ....	10
1.6 Διάθρωση της διπλωματικής εργασίας.....	11
2. ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ .....	12
2.1 Γενικές αρχές.....	12
2.1.1. Η φωτοβολταϊκή μετατροπή – Τεχνολογία φωτοβολταϊκού στοιχείου .....	12
2.1.2. Η ένωση p-n και η διόδος ημιαγωγών .....	14
2.2 Φωτοβολταϊκή μετατροπή.....	16
2.2.1. Γενικά.....	16
2.2.2. Απορρόφηση ακτινοβολίας .....	17
2.2.3. Η δημιουργία του φωτορεύματος .....	17
2.3 Το φ/β σύστημα.....	18
2.3.1 Το φ/β πλαίσιο, τα φ/β πάνελα και οι συστοιχίες .....	18
2.3.2. Η απόδοση του φ/β/ πλαισίου.....	21
2.3.3. Επίδραση της θερμοκρασίας και της ρύπανσης .....	21
2.3.4. Η ισχύος αιχμής του φ/β/ πλαισίου.....	22
2.3.5. Απώλειες στα φ/β συστήματα.....	22
2.4 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των φωτοβολταϊκών στοιχείων.....	23
2.5 Ρυθμιστές, μετατροπείς και αντιστροφείς .....	27
2.6 Δομή, διάρκεια ζωής και κόστος.....	29
2.7. Είδη φ/β συστημάτων .....	29
2.7.1. Αυτόνομο φ/β/ σύστημα.....	29
3. Ηλιακή ενέργεια .....	31
3.1 Γενικά.....	31
3.2 Φωτοβολταϊκή ενέργεια. ....	32
3.3 Ηλιακή γεωμετρία .....	32
3.2.1 Προσανατολισμός του συλλέκτη.....	34
3.2.2 Βέλτιστη κλίση.....	35
3.2.3 Ένταση της ακτινοβολίας .....	36
3.2.4 Ολική ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο .....	36
3.2.5 Άμεση, διάχυτη και ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία.....	36
4. Τεχνικά μέρη project .....	38
4.1 Γυλέκο .....	38
4.2 Φωτοβολταϊκο πάνελ.....	38

4.2.1 Πως κατασκευάζονται τα φωτοβολταϊκά πάνελ.....	39
4.2.2 Κατηγορίες φωτοβολταϊκών πάνελ .....	42
4.3 Καλώδιο .....	45
4.4 Μπαταρία (συσσωρευτής) .....	47
4.4.1 Δομή .....	48
4.4.2 Κατηγορίες Μπαταριών.....	48
4.4.3 Τεχνικές φόρτισης μπαταρίας .....	55
4.5 Φορτιστής.....	57
4.6 Βολτόμετρο .....	60
4.7 Τελικό αποτέλεσμα.....	60
4.8 Μετρήσεις.....	61
5. Επίλογος.....	63
5.1 Συμπεράσματα.....	63
5.2 Το παρόν και το μέλλον της φ/β τεχνολογίας.....	63
Βιβλιογραφία.....	66

## Κατάλογος Σχημάτων και Πινάκων

- Σχήμα 2.1 :** α) Η κρυσταλλική δομή των κυριότερων ημιαγωγών είναι τετραεδρική. β) στους στοιχειακούς ημιαγωγούς όλα τα άτομα του πλέγματος είναι ίδια. γ) Στις ημιαγωγικές χημικές ενώσεις τα άτομα που βρίσκονται στις γειτονικές θέσεις είναι διαφορετικά
- Σχήμα 2.2 :** α) Η αθρόα κίνηση των φορέων διαμέσου της ένωσης p – η μιας διόδου σε ορθή πόλωση, που συνοδεύεται με τη συνεχή επανασύνδεση ελεύθερων ηλεκτρονίων και οπών. β) Η δραστική μείωση των φορέων στα τμήματα p και n μιας διόδου σε ανάστροφη πόλωση, και η δημιουργία αντίθετου πεδίου φράγματος από τα ιόντα των προσμίξεων, με αποτέλεσμα την έλλειψη ηλεκτρικής αγωγιμότητας
- Σχήμα 2.3 :** Η χαρακτηριστική καμπύλη έντασης  $I$  – τάσης  $V$  του ρεύματος μιας διόδου p –n
- Σχήμα 2.4 :** Απλοποιημένο ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα ενός φ/β στοιχείου
- Σχήμα 2.5 :** Η χαρακτηριστική καμπύλη έντασης  $I$  – τάσης  $V$  ενός φ/β στοιχείου στο σκοτάδι και στο φως
- Σχήμα 2.6 :** Το ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα ενός φ/β στοιχείου, που περιλαμβάνει τις αντιστάσεις σειράς  $R_s$ , καθώς και τις παράλληλες αντιστάσεις  $R_{SH}$
- Σχήμα 2.7 :** Τυπική καμπύλη της μεταβολής της απόδοσης των /β στοιχείων πυριτίου σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία τους
- Σχήμα 2.8 :** Τρεις συνηθισμένοι τρόποι παράθεσης των ηλιακών στοιχείων στα φ/β πλαίσια
- Σχήμα 2.9 :** α) Η καμπύλη του λόγου της ελεύθερης απόστασης  $a$  ανάμεσα στις γειτονικές σειρές των ηλιακών συλλεκτών μιας φ/β συστοιχίας, προς την επικάλυψη του ύψους του  $u$ , σε συνάρτηση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου  $\pi^0$ , ώστε να μην εμποδίζεται ουσιαστικά η πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας. Β) η έννοια των μηκών  $a, \gamma, \delta, \epsilon$ , και της γωνίας της κλίσης  $\beta_0$  για τη διάταξη των ηλιακών συλλεκτών στις φ,β συστοιχίες. Το διάγραμμα είναι εμπειρικό και προέρχεται από την έκδοση «StandalonePhotovoltaicSystems» της εταιρείας Monegon(1980).
- Σχήμα 2.10 :** Απλοποιημένα διαγράμματα ενός φ/β συστήματος (α) χωρίς ρυθμιστή τάσης (β) με ρυθμιστή για τη φόρτιση των συσσωρευτών στη βέλτιστη τάση.
- Σχήμα 2.11 :** Χαρακτηριστική καμπύλη έντασης ( $I$ ) - τάσης ( $V$ ) ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου στο σκοτάδι και στο φως.
- Σχήμα 2.12 :** Καμπύλες  $I$ - $V$  και  $P$ - $V$  φωτοβολταϊκού στοιχείου Si για σταθερές συνθήκες ακτινοβολίας και θερμοκρασίας.
- Σχήμα 2.13 :** Η μετατόπιση των σημείων λειτουργίας ( $\Sigma\Lambda$ ) ενός

φωτοβολταϊκού στοιχείου πυριτίου και η απομάκρυνση του από τα αντίστοιχα σημεία της μέγιστης ισχύος (MP) της I-V καμπύλης, για διαφορετικές συνθήκες ακτινοβολίας αλλά για σταθερή τιμή της αντίστασης του κυκλώματος που τροφοδοτεί το στοιχείο.

**Σχήμα 2.14 :**

Απλοποιημένα διαγράμματα ενός φ/β συστήματος (α) χωρίς ρυθμιστή τάσης (β) με ρυθμιστή για τη φόρτιση των συσσωρευτών στη βέλτιστη τάση. Και στις δύο περιπτώσεις προβλέπεται μια προστατευτική διάοδος για την αποφυγή της εκφόρτισης των συσσωρευτών διαμέσου της φ/β γεννήτριας, αν μειωθεί σημαντικά η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας.

**Σχήμα 2.15 :**

Παραδείγματα γενικού διαγράμματος ενός αυτόνομου φ/β συστήματος

**Σχήμα 3.1 :**

Η μεταβολή της απόκλισης και η επίδραση της στην τροχιά του ήλιου στον ουρανό.

**Σχήμα 3.2 :**

Οι γωνίες του ύψους  $\beta$  και του αζιμούθιου  $\theta$ , που περιγράφουν κάθε στιγμή τη θέση του ήλιου στον ουρανό.

**Σχήμα 3.3 :**

Η κλίση  $\beta_{\sigma}$  και η αζιμούθια γωνία  $\theta_{\sigma}$  που χαρακτηρίζουν τον προσανατολισμό ενός επιπέδου ηλιακού συλλέκτη στην επιφάνεια της γης.

**Πίνακας 1.1 :**

Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του φ/β συστήματος

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία στοχεύει στην θεωρητική ανάλυση και στην πρακτική μελέτη/σχεδιασμό ενός αυτόνομου συστήματος αδιάλειπτης παροχής ισχύος σε ανθρώπινα ρούχα. Η υλοποίηση θα αφορά ένα jacket με παροχή 12/5 volts σε USB ή powercable. Το σύστημα θα αποτελείται από ένα γιλέκο, φωτοβολταϊκά πλαίσια, μπαταρία, βολτόμετρο, καλώδια και φορτιστή. Γίνεται αναφορά στις μονάδες και συσκευές που αποτελούν ένα φωτοβολταϊκό σύστημα και στις βασικές αρχές λειτουργίας τους. Επίσης παρουσιάζονται γενικότερα θέματα που αφορούν τη Φ/Β τεχνολογία και τέλος γίνεται μια μελέτη αναφορικά με τις ιδιότητες, τα χαρακτηριστικά και τις δυνατότητες των αυτόνομων Φ/Β σε ιδιωτικό επίπεδο.

The diplomatic work to analyze theoretical and practical study / design of an autonomous system uninterruptible power human roucha. I implementation will involve a jacket at a rate 12/5 volts to USB or powercable. The system consists of a vest , photovoltaic panels, battery , cables and charger . Reference is made to units and devices , forming a photovoltaic system and the basic operating principles . General issues are also presented concerning the P / V technology and finally made a study on the properties , characteristics and capabilities of autonomous F / B privately .

# 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1 Οι εναλλακτικές ενεργειακές πηγές

Η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται συνήθως σε μεγάλους υδροηλεκτρικούς και θερμοηλεκτρικούς σταθμούς, ισχύος δεκάδων, εκατοντάδων ή και χιλιάδων MW, που καταναλώνουν πετρέλαιο, φυσικό αέριο, κάρβουνο ή ουράνιο και άλλα σχάσιμα υλικά ή χρησιμοποιούν υδατοπτώσεις. Όλες όμως αυτές οι ενεργειακές πηγές έχουν περιορισμένες σχετικά προοπτικές, αφού τα συμβατικά και πυρηνικά καύσιμα εξαντλούνται βαθμιαία αλλά και η υδραυλική ενέργεια είναι ποσοτικά καθορισμένη και γεωγραφικά εντοπισμένη. Είναι επομένως φανερή η ύπαρξη ενός ενεργειακού προβλήματος, τουλάχιστον ως προς τη μελλοντική αντιμετώπιση των αναγκών της ανθρωπότητας σε ηλεκτρισμό.

Μία πηγή ενέργειας, που συνδυάζει ιδανικά τις απαιτήσεις για νέες ενεργειακές αναζητήσεις, και που η ενδεχόμενη αξιοποίηση της βρήκε ανεπιφύλακτη αποδοχή στη διεθνή κοινή γνώμη, είναι η ηλιακή ακτινοβολία. Αρχικά χρησιμοποιήθηκε σε σημαντική κλίμακα, και παρουσιάζει απεριόριστες μελλοντικές προοπτικές, για την παραγωγή θερμότητας με σκοπό τη θέρμανση νερού, τη θέρμανση χώρων και πολλές άλλες οικιακές, γεωργικές ή βιομηχανικές χρήσεις.

Ο ηλιακός ηλεκτρισμός είναι η τεχνολογία της μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολίας απευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια. Βασίζεται στη χρήση φωτοβολταϊκών και ηλιακών συλλεκτών, τα οποία έχουν μεγάλο βαθμό αξιοπιστίας και δεν χρειάζονται καύσιμα ή συχνή συντήρηση. Εκατομμύρια των φωτοβολταϊκών αυτών συλλεκτών χρησιμοποιούνται ευρύτατα παγκοσμίως, παρέχοντας ηλεκτρική ενέργεια για τις επικοινωνίες, τα μέσα μεταφοράς, τις ιατρικές εγκαταστάσεις και για πολλές άλλες εφαρμογές.

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι κατάλληλα για περιοχές με αρκετή ηλιοφάνεια, και ειδικότερα για τις περιοχές αυτές όπου δεν υπάρχει άλλος τρόπος παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Ένα μικρό ηλιακό σύστημα σε ένα σπίτι μπορεί να παράγει ηλεκτρικό ρεύμα αρκετό για τον φωτισμό, τις ηλεκτρικές συσκευές και οτιδήποτε απαιτεί μικρή ισχύ λειτουργίας. Μεγαλύτερα φωτοβολταϊκά συστήματα χρησιμοποιούνται σε σχολεία, εργαστήρια, κέντρα υγείας και μικρά νοσοκομεία.

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα παρέχονται ως πλήρη πακέτα ειδικά π.χ. για φωτισμό, άντληση νερού κ.λ.π. Τα επιμέρους στοιχεία τα προμηθεύεται κανείς από διαφορετικές πηγές. Παρόλα αυτά, χρήστες και ηλεκτρονικοί ενδέχεται να αντιμετωπίσουν δυσκολίες όσον αφορά την εγκατάσταση, την επισκευή και την πιθανή επέκταση των συστημάτων τους.

Η ηλεκτρική ενέργεια που προέρχεται από την ηλιακή ακτινοβολία είναι κατάλληλη για τις αναπτυσσόμενες χώρες. Οι χώρες όμως αυτές αντιμετωπίζουν ιδιάζοντα προβλήματα, μεταξύ των οποίων η έλλειψη συναλλάγματος και περιορισμένη τεχνική κάλυψη.

## 1.2 Αναδρομή στην ιστορία για την ανάπτυξης στα φωτοβολταϊκα pn συστήματα - SolarPhotovoltaicSystem

Το φωτοβολταϊκο φαινόμενο αφορά την μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια. Το φωτοβολταϊκο φαινόμενο που αφορά τα

φωτοβολταικά στοιχεία ανακαλύφθηκαν το 1839 από τον Μπεκερέλ. Το φωτοβολταικό φαινόμενο που αφορά περιληπτικά την απορρόφηση της ενέργειας του φωτός από τα ηλεκτρόνια των ατόμων των φωτοβολταικών στοιχείων και την απόδραση των ηλεκτρονίων αυτών από τις κανονικές τους θέσεις με αποτέλεσμα την δημιουργία ρεύματος. Το ηλεκτρικό πεδίο που προϋπάρχει στα φωτοβολταικά στοιχεία οδηγεί το ρεύμα στο φορτίο.

### 1.2.1 Φωτοβολταικό Φαινόμενο-Φωτοβολταικά Πληροφορίες

Το ηλιακό φως – ηλιακή ενέργεια είναι ουσιαστικά μικρά πακέτα ενέργειας που ονομάζονται φωτόνια. Τα φωτόνια του ηλιακού φωτός-ενέργειας περιέχουν διαφορετικά ποσά ενέργειας ανάλογα με το μήκος κύματος του ηλιακού ενεργειακού φάσματος, το γαλάζιο χρώμα ή το υπεριώδες π.χ. έχουν περισσότερη ενέργεια από το κόκκινο ή το υπέρυθρο. Όταν λοιπόν τα φωτόνια προσκρούσουν σε ένα φωτοβολταικό στοιχείο (που είναι ουσιαστικά ένας ημιαγωγός), άλλα ανακλώνται, άλλα το διαπερνούν και άλλα απορροφώνται από το φωτοβολταικό ή τα φωτοβολταικά. Αυτά τα τελευταία φωτόνια είναι που παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα(ενέργεια). Τα φωτόνια αυτά αναγκάζουν τα ηλεκτρόνια του φωτοβολταικού ή των φωτοβολταικών στοιχείων να μετακινηθούν σε άλλη θέση. Η βασική θεωρία του ηλεκτρισμού είναι η κίνηση των ηλεκτρονίων από το θετικό προς το αρνητικό. Σ αυτή την απλή αρχή της φυσικής λοιπόν βασίζεται μια από τις πιο εξελιγμένες τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρισμού στις μέρες μας Ηλιακή Φωτοβολταική Διάταξη πλαισίων, τόξων, πάνελ. Τα φωτοβολταικά πλαίσια έχουν ως βασικό μέρος το ηλιακό στοιχείο ηλιακά φωτοβολταικά pn στοιχεία που είναι ένας κατάλληλα επεξεργασμένος ημιαγωγός λεπτού πάχους σε επίπεδη επιφάνεια. Η πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας δημιουργεί ηλεκτρική τάση και με την κατάλληλη σύνδεση σε φορτίο παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα. Τα ηλιακά φωτοβολταικά στοιχεία ομαδοποιούνται κατάλληλα και συγκροτούν τα φωτοβολταικά πλαίσια ή ηλιογεννήτριες ( pn module), τυπικής ισχύος από 10W έως 300W. Οι φωτοβολταικές γεννήτριες συνδέονται ηλεκτρολογικά μεταξύ τους και δημιουργούνται οι φωτοβολταικές συστοιχίες (pn-arrays).

Η ηλιακή ενέργεια είναι μια ανανεώσιμη μορφή ενέργειας που είναι φιλική προς το περιβάλλον. Αντίθετα από τα απολιθωμένα καύσιμα, η ηλιακή ενέργεια είναι διαθέσιμη παντού στη γη. Είναι ελεύθερη και ανεπηρέαστη από τις αυξανόμενες τιμές ενέργειας. Η ηλιακή ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί με διάφορους τρόπους : για θέρμανση, φωτισμό και παραγωγή μηχανικής και ηλεκτρικής ενέργειας. Ο ήλιος εκπέμπει τεράστια ποσότητα ενέργειας ημερησίως. Η ηλιακή ακτινοβολία αξιοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρισμού με δύο τρόπους. Θερμικές και φωτοβολταικές εφαρμογές. Η πρώτη είναι η συλλογή της ηλιακής ενέργειας για να παραχθεί θερμότητα, κυρίως για τη θέρμανση του νερού και τη μετατροπή του σε ατμό για την κίνηση τουρμπίνων. Στη δεύτερη εφαρμογή τα φωτοβολταικά συστήματα μετατρέπουν το φως του ήλιου σε ηλεκτρισμό με τη χρήση φωτοβολταικών κυψελών ή συστοιχιών.

### 1.3 Η ιστορία των φωτοβολταικών

<b>1839</b>	Ο 19χρονος φυσικός Edmund Becquerel ανακαλύπτει το φωτοβολταικό φαινόμενο, καθώς πειραματιζόταν με
-------------	--



	ηλεκτρολυτικό στοιχείο αποτλούμενο από δύο μεταλλικά ηλεκτρόδια σε αγώγιμο υγρό. Η ροή αυξανόταν με την έκθεση στον ήλιο. Οι σημειώσεις του γύρω από το φαινόμενο, είχαν φανεί πολύ ενδιαφέρουσες στην επιστημονική κοινότητα αλλά χωρίς πρακτική εφαρμογή.
<b>1883</b>	Ο CharlesFritz παράγει ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο με απόδοση 1-2%.
<b>1904</b>	Ο AlbertEinstein γράφει την πληρέστερη θεωρία γύρω από το φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Για την θεωρητική εξήγηση τιμήθηκε με βραβείο Nobel το 1921.
<b>1918</b>	Ο Πολωνός JanCzochralski κατασκευάζει το πρώτο στοιχείο μονο κρυσταλλικού πυριτίου.
<b>1932</b>	Παρατηρείται το φωτοβολταϊκό φαινόμενο στο κάδμιο σελήνιο. Σήμερα το CdS αποτελεί πολύ σημαντικό υλικό παραγωγής φωτοβολταϊκώνpanel.
<b>1954</b>	Στα BellLaboratories, ανακαλύπτουν ότι το πυρίτιο μαζί με συγκεκριμένα ρυπαρότητες είναι πολύ ευαίσθητες στο φως. Το αποτέλεσμα είναι τα πρώτα πρακτικά φωτοβολταϊκά στοιχεία με απόδοση 6%.
<b>1958</b>	Κατασκευάζεται φωτοβολταϊκό στοιχείο με απόδοση 9%. Στις 17 Μαρτίου εκτοξεύεται το VanguardI, ο πρώτος δορυφόρος τροφοδοτούμενος από φωτοβολταϊκά, που θα δοουλέψει συνεχόμενα για 8 χρόνια. Δύο ακόμη δορυφόροι ο ExplorerIII και οVanguardII εκτοξεύονται από τους Αμερικάνους και ο SputnikIII από τους Σοβιετικούς.Στην Γεωργία κατασκευάζεται ο πρωτοστροφοδοτούμενος από φωτοβολταϊκα στοιχεία τηλεφωνικός αναμεταδότης.
<b>1959</b>	Παράγονται φωτοβολταϊκά με 10% απόδοση. Η Αμερική εκτοξεύει τους δορυφόρους ExplorerVI και VII με 6.600 φωτοβολταϊκα στοιχεία.
<b>1960</b>	Παράγονται φωτοβολταϊκά με 14% απόδοση.
<b>1963</b>	Η Ιαπωνία εγκαθιστάφωτοβολταϊκά σε φάρους - η μεγαλύτερη φωτοβολταϊκή διάταξη της εποχής.
<b>1972</b>	Οι Γάλλοι εγκαθιστούν άμορφα CdSφωτοβολταϊκά σε ένα σχολείο στην επαρχία Niger.
<b>1976</b>	Ξεκινούν οι πρώτες εφαρμογές φωτοβολταϊκών για την τροφοδότηση ψυγείων, τηλεπικοινωνιακού & ιατρικού εξοπλισμού, άντλησης νερού και φωτισμού.
<b>1977</b>	Η συνολική παραγωγή φωτοβολταϊκών ξεπερνά τα 500 kW.
<b>1983</b>	Η παγκόσμια παραγωγή φωτοβολταϊκών ξεπερνά τα 21,3 MW.
<b>1984</b>	Κυκλοφορούν τα άμορφα φωτοβολταϊκά.
<b>1999</b>	Η συνολική παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύ σε φωτοβολταϊκά φτάνει τα 1000 MW.
<b>2002</b>	Η συνολική παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύ σε φωτοβολταϊκά φτάνει τα 2000MW.

Ο αυριανός στόχος: Το 20% της συνολικής παραγωγής ενέργειας να προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές.

#### 1.4 Ανάλυση δομής ενός φωτοβολταϊκού συστήματος

Το φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται από τα ακόλουθα τμήματα:

- (α) Τη φωτοβολταϊκή γεννήτρια (φωτοβολταϊκοπλαισιο) με τη Βάση στήριξης και ίσως (tracker), σύστημα παρακολούθησης της ηλιακής τροχιάς.
- (β) Μπαταρίες - συσσωρευτές φωτοβολταϊκών
- (γ) Ρυθμιστή φόρτισης για τον έλεγχο και προστασία των μπαταριών.
- (δ) Μετατροπέα τάσεως dc (12v/24v/48v) inverter για μετασχηματισμό στα 220V AC.

#### 1.5 Πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα της φωτοβολταϊκής ενέργειας.

Το ενδιαφέρον για την ηλιακή ενέργεια εντάθηκε όταν χάρη στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο, διαπιστώθηκε η πρακτική δυνατότητα της εύκολης, άμεσης και αποδοτικής μετατροπής της σε ηλεκτρική ενέργεια, με την κατασκευή φωτοβολταϊκών γεννητριών. Πράγματι, όπως δείχνεται συνοπτικά στον πίνακα [1.1], η φωτοβολταϊκή μέθοδος μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια έχει μόνο πλεονεκτήματα, να εξαιρεθούν κυρίως το κόστος, που είναι ακόμα αρκετά υψηλό για τις περισσότερες εφαρμογές, και η αδυναμία της φωτοβολταϊκής γεννήτριας να παράγει συνεχώς ηλεκτρική ενέργεια λόγω των διακυμάνσεων της ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια του 24ώρου.

**Πίνακας 1.1 :Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα φ/β συστήματος**

<b>Πλεονεκτήματα</b>
1. Ανανεώσιμη και ελεύθερα διαθέσιμη ενεργειακή πηγή
2. Ικανοποιητική απόδοση μετατροπής
3. Σχετικά εύκολη μέθοδος κατασκευής των ηλιακών
4. Πρακτικά απεριόριστη διάρκεια ζωής των ηλιακών στοιχείων (τουλάχιστον 20 ή 30 χρόνια)
5. Τα ηλιακά στοιχεία δεν έχουν κινούμενα μέρη, επομένως είναι σχεδόν απαλλαγμένα από την ανάγκη επίβλεψης και συντήρησης (αρκεί συνήθως η επιθεώρηση τους μια φορά το εξάμηνο). Αλλά και σε περίπτωση βλάβης, η αποκατάσταση της λειτουργίας γίνεται εύκολα λόγω της σπονδυλωτής μορφής της φωτοβολταϊκής διάταξης.
6. Η φωτοβολταϊκή μετατροπή δεν προκαλεί ρύπανση στο περιβάλλον, ούτε θόρυβο ή άλλη ενόχληση και δεν δημιουργεί απόβλητα ή άχρηστα παραπροϊόντα.
7. Δίνει τη δυνατότητα ανεξαρτησίας από κεντρικά ηλεκτρικά δίκτυα διανομής.
8. Οι φωτοβολταϊκοί σταθμοί μπορούν να λειτουργούν με όσο μικρή ισχύ ζητηθεί.
9. Η αναλογία της παραγόμενης ισχύος προς το βάρος της διάταξης είναι αρκετά μεγάλη, περίπου 1000W/Kg.

<b>Μειονεκτήματα</b>	
Α ν ά λ ο γ	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Υψηλό κόστος κατασκευής των ηλιακών στοιχείων</li> <li>2. Για τις περισσότερες εφαρμογές απαιτείται η δαπανηρή αποθήκευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, λόγω της αστάθειας και της μεγάλης διακύμανσης της ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας.</li> <li>3. Απαιτείται η χρησιμοποίηση μεγάλων σχετικά επιφανειών, λόγω της μικρής πυκνότητας της ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας.</li> </ol>

α

Με το βαθμό πολυπλοκότητας στην κατασκευή και τη λειτουργία, οι φωτοβολταϊκές γεννήτριες κατατάσσονται σε 3 κυρίως κατηγορίες :

- ♦ Τις απλές διατάξεις, όπου τα ηλιακά στοιχεία είναι τοποθετημένα σε σταθερά επίπεδα πλαίσια και δέχονται την ηλιακή ακτινοβολία με τη φυσική της πυκνότητα και διακύμανση στη διάρκεια της ημέρας.
- ♦ Τις διατάξεις με κινητά πλαίσια που περιστρέφονται αυτόματα και παρακολουθούν συνεχώς την πορεία του ήλιου στον ουρανό, ώστε τα ηλιακά στοιχεία να δέχονται κάθετα την ηλιακή ακτινοβολία σε όλη τη διάρκεια της ημέρας. Με τον τρόπο αυτό αυξάνεται η ηλεκτρική ενέργεια που παράγει ένα ηλιακό στοιχείο κατά 50% περίπου, αφού δέχεται πυκνότερη ακτινοβολία, ανά μονάδα εμβαδού της επιφάνειας του.
- ♦ Τις διατάξεις που με τη χρησιμοποίηση φακών ή κατόπτρων συγκεντρώνουν την ηλιακή ακτινοβολία και τη στέλνουν πολύ συμπυκνωμένη πάνω στα ηλιακά στοιχεία. Για την αποφυγή θέρμανσης, στις συγκεντρωτικές φωτοβολταϊκές διατάξεις απαιτείται η τεχνητή ψύξη των ηλιακών στοιχείων με κυκλοφορία ψυκτικού αέρα ή ψυκτικών υγρών.

## 1.6 Διάθρωση της διπλωματικής εργασίας

Το θεωρητικό υπόβαθρο που αφορά την κατασκευή, λειτουργία και τα χαρακτηριστικά των φ/β συστημάτων στο επόμενο κεφάλαιο (κεφ.2).

Ξεκινώντας από την περιγραφή του φ/β φαινομένου και την τεχνολογία των δομικών μονάδων των φ/β συστημάτων (τα ηλιακά φ/β στοιχεία), συνεχίζει με τη διαμόρφωση των φ/β/ πλαισίων και συστοιχιών, την απόδοση ενός φ/β συστήματος, τα κυριότερα χαρακτηριστικά του και τους παράγοντες από τους οποίους επηρεάζεται η απόδοση.

Αναπτύσσεται σε μικρότερο βαθμό η τεχνολογία των επιμέρους μερών ενός φ/β συστήματος (συσσωρευτές, ρυθμιστές τάσης κ.λ.π.) και τέλος, περιγράφονται αναλυτικά οι διαφορετικοί τύποι των φ/β συστημάτων και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά αυτών.

Στο κεφ.3 αναφέρονται οι όροι της ηλιακής γεωμετρίας και τα χαρακτηριστικά εκείνα της ηλιακής ακτινοβολίας που είναι απαραίτητα για τον υπολογισμό της ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στην επιφάνεια των ηλιακών στοιχείων. Με βάση τους υπολογισμούς αυτούς, προκύπτει και η βέλτιστη κλίση που θα πρέπει να έχουν τα ηλιακά στοιχεία για να απορροφούν τη μέγιστη ηλιακή ακτινοβολία.

Στο κεφ.4 αναφέρονται τα τεχνικά μέρη του project και παρουσιάζονται οι τελικές μετρήσεις.

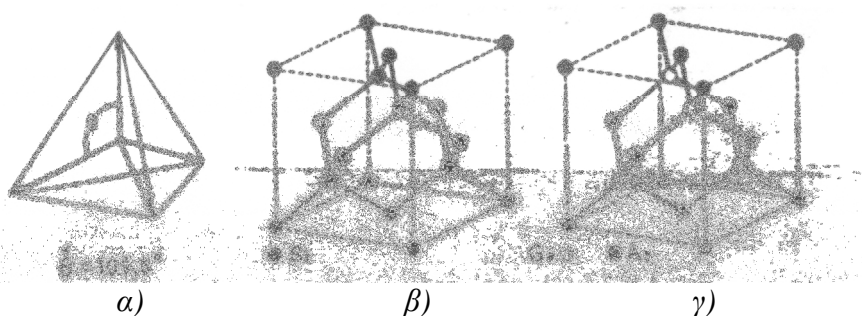
Τέλος στο κεφ.5 γίνεται ένας επίλογος για την τάση και την εξέλιξη των φωτοβολταϊκών στοιχείων.

## 2. ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

### 2.1 Γενικές αρχές

#### 2.1.1. Η φωτοβολταϊκή μετατροπή – Τεχνολογία φωτοβολταϊκού στοιχείου

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία κατασκευάζονται από ημιαγωγούς, που είναι σώματα με ενδιάμεση ηλεκτρική αγωγιμότητα, ανάμεσα στους αγωγούς (μέταλλα) και στους μονωτές (π.χ. τα πολυμερή και τα κεραμικά υλικά). Οι κυριότεροι ημιαγωγοί είναι τετρασθενή στοιχεία, όπως το πυρίτιο και το γερμάνιο, ή χημικές ενώσεις όπως το αρσενικούχο γάλλιο και το θειούχο κάδμιο, με τετραεδρική κρυσταλλική δομή (Σχήμα [2.1.]). Το πυρίτιο είναι ο ημιαγωγός με τη μεγαλύτερη χρήση όχι μόνο για τα ηλιακά στοιχεία αλλά και για τις άλλες ηλεκτρονικές εφαρμογές. Κάθε άτομο πυριτίου είναι ενωμένο με 4 γειτονικά άτομα, και ο κάθε χημικός δεσμός αποτελείται από 2 ηλεκτρόνια. Επομένως, όλα τα ηλεκτρόνια σθένους των ατόμων είναι απασχολημένα στους δεσμούς, με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν ελεύθεροι φορείς του ηλεκτρικού ρεύματος και το σώμα να μην διαθέτει ηλεκτρική αγωγιμότητα. Η εικόνα όμως αυτή ισχύει μόνο στην υποθετική περίπτωση που ο αγωγός βρίσκεται στη θεμελιώδη ενεργειακή κατάσταση, δηλ. είναι εντελώς υποβαθμισμένος ενεργειακά. Π.χ. σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, κοντά στο απόλυτο μηδέν, πράγματι οι ημιαγωγοί μετατρέπονται σε μονωτές.



**Σχήμα 2.1** α) Η κρυσταλλική δομή των κυριότερων ημιαγωγών είναι τετραεδρική. β) στους στοιχειακούς ημιαγωγούς όλα τα άτομα του πλέγματος είναι ίδια γ) στις ημιαγωγίμες χημικές ενώσεις τα άτομα που βρίσκονται στις γειτονικές θέσεις είναι διαφορετικά.

Όταν όμως οι ημιαγωγοί απορροφήσουν κάποια αξιόλογη ενέργεια, π.χ. με τη μορφή θερμότητας ή ακτινοβολίας, πραγματοποιείται μια ριζική μεταβολή. Στη συνηθισμένη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, η θερμική ενέργεια που παρέχεται στο σώμα και κατανέμεται στα άτομα του προκαλεί την ελευθέρωση πολλών ηλεκτρονίων από τους δεσμούς. Καθώς η θερμική ενέργεια ανακατανέμεται συνεχώς από το ένα άτομο στο άλλο, μπορεί να επαρκέσει στιγμιαία σε μερικές τυχαίες θέσεις για να διεγείρει και να ελευθερώσει από ένα

ηλεκτρόνιο σθένους σε μερικούς από τους δεσμούς του σώματος. Τα ελευθερωμένα αυτά ηλεκτρόνια απομακρύνονται από την περιοχή του δεσμού τους, χάρη στη κινητική ενέργεια που απέκτησαν από τη θερμότητα, και γίνονται ευκίνητοι φορείς ηλεκτρισμού, δίνοντας στον ημιαγωγό μια αξιόλογη ηλεκτρική αγωγιμότητα.

Η απομάκρυνση ηλεκτρονίων από μερικούς δεσμούς του σώματος και η αποδυνάμωση έτσι, ενός σχετικά μικρού πλήθους δεσμών στα υπό μελέτη σώματα, δεν συνεπάγεται την απώλεια της συνοχής των ατόμων τους και την κατάρρευση του κρυσταλλικού τους πλέγματος. Το πλήθος των ελεύθερων ηλεκτρονίων και επομένως και των διασπασμένων δεσμών των σωμάτων, είναι ένα μικρό ποσοστό του συνόλου των δεσμών των ατόμων τους. Π.χ. για το πυρίτιο στη συνηθισμένη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, η αναλογία είναι της τάξης του  $1:10^3$ .

Τα ελεύθερα ηλεκτρόνια περιφέρονται άτακτα στο σώμα, ανάμεσα από τα άτομα και τους δεσμούς, για όσο χρονικό διάστημα διατηρούν την αυξημένη τους ενέργεια. Αν μειωθεί σημαντικά η ενέργεια τους επιστρέφουν στην κενή θέση κάποιου ατελούς δεσμού και παύουν να είναι ελεύθερα. Οι κενές ηλεκτρονικές θέσεις των χημικών δεσμών σαν παγίδες δέσμευσης για όσα ελεύθερα ηλεκτρόνια ..... σχετικά μειωμένη ενέργεια. Ακόμα όμως και αν δεν υπάρχουν ελεύθερα ηλεκτρόνια στην περιοχή του δεσμού, αυτό δεν σημαίνει ότι η κενή θέση μένει αμετακίνητη, αφού είναι ενεργειακά αδιάφορο αν μια κενή θέση ηλεκτρονίου βρίσκεται σε ένα δεσμό ή σε ένα άλλο. Έτσι ένα ηλεκτρόνιο σθένους μπορεί να έρθει από ένα γειτονικό πλήρη δεσμό και να κάνει κατάληψη στη κενή θέση, με τη ταυτόχρονη δημιουργία μιας κενής θέσης στον δεσμό που κατείχε προηγουμένως, κ.ο.κ. Ο μηχανισμός αυτός μετακίνησης της κενής θέσης μπορεί να εξακολουθεί απεριόριστα, εκτός αν κάποια στιγμή παγιδέψει ένα ελεύθερο ηλεκτρόνιο και η κενή θέση πάψει να υπάρχει πια, αφού τώρα ο δεσμός θα έχει γίνει πλήρης με δύο ηλεκτρόνια.

Οι κενές θέσεις των δεσμών ονομάζονται οπές. Οι οπές διαγράφουν μια άτακτη κίνηση στο σώμα, από ένα δεσμό στον άλλο, αφού είναι τυχαίο από ποια πλευρά θα έρθει το γειτονικό ηλεκτρόνιο σθένους που συμπληρώνει τον ατελή δεσμό. Όταν όμως επιβληθεί ένα εξωτερικό ηλεκτρικό πεδίο, είναι πιθανότερο ότι το ηλεκτρόνιο θα έλθει από τη πλευρά που ευνοείται το πεδίο. Π.χ. να το πεδίο έχει τέτοια κατεύθυνση ώστε να προκαλεί την κίνηση των αρνητικά φορτισμένων ηλεκτρονίων από αριστερά προς τα δεξιά, η συνεπαγόμενη αντίθετη κίνηση της οπής, από δεξιά προς τα αριστερά, δημιουργεί ηλεκτρικό ρεύμα και αντιστοιχεί στη συμπεριφορά ενός σωματιδίου όμοιας μάζας με του ηλεκτρονίου αλλά με θετικό στοιχειώδες ηλεκτρικό φορτίο.

Συνοπτικά, στους ημιαγωγούς εκδηλώνονται δύο ανταγωνιστικοί μηχανισμοί, που επηρεάζουν τον μηχανισμό των φορέων. Ο ένας είναι η ελευθέρωση ηλεκτρονίων από τους δεσμούς, με ταυτόχρονη δημιουργία οπών, και ο άλλος είναι η παγίδευση ελεύθερων ηλεκτρονίων στις οπές, που συνεπάγεται την ταυτόχρονη εξαφάνιση και των δύο. Σε συνθήκες σταθερής ενεργειακής κατάστασης από θερμική, φωτονική ή άλλη ενέργεια, γίνεται τελικά αποκατάσταση ισορροπίας και το πλήθος των ηλεκτρονίων που ελευθερώνονται ανά μονάδα όγκου και χρόνου ισούται με το πλήθος των ελεύθερων ηλεκτρονίων που παγιδεύονται στις οπές. Έτσι σε σταθερή θερμοκρασία ή ακτινοβολία, η συγκέντρωση των ελεύθερων ηλεκτρονίων ή των

οπών ενός ημιαγωγού παραμένει σταθερή και είναι χαρακτηριστική για υλικό και τη θερμοκρασία. Όσο ασθενέστεροι είναι οι δεσμοί στο υλικό και όσο ψηλότερη είναι η θερμοκρασία του ή εντονότερη η ακτινοβολία, τόσο μεγαλύτερη θα είναι η συγκέντρωση των φορέων του.

Οι ημιαγωγοί που οφείλουν την αγωγιμότητα τους σε φορείς που προέρχονται κυρίως από προσμίξεις, ονομάζονται ημιαγωγοί προσμίξεων, σε διάκριση με τους καθαρούς ημιαγωγούς, που η αγωγιμότητα τους δεν οφείλεται σε ξένους παράγοντες αλλά προέρχεται από την ενδεχόμενη διέγερση ηλεκτρονίων σθένους προς τη ζώνη αγωγιμότητας.

Οι ημιαγωγοί προσμίξεων στους οποίους επικρατούν δότες και επομένως οι κύριοι φορείς του ηλεκτρικού ρεύματος είναι τα αρνητικά φορτισμένα ηλεκτρόνια, ονομάζονται τύπου n, από την αγγλική λέξη negative, που σημαίνει αρνητικός.

Αντίστοιχα, όταν επικρατούν οι αποδέκτες, οι ημιαγωγοί προσμίξεων ονομάζονται τύπου p, από την αγγλική λέξη positive που σημαίνει θετικός, αφού η αγωγιμότητα τους οφείλεται κυρίως στις οπές, που θεωρούνται θετικά φορτισμένοι φορείς.

### **2.1.2. Η ένωση p-n και η δίοδος ημιαγωγών**

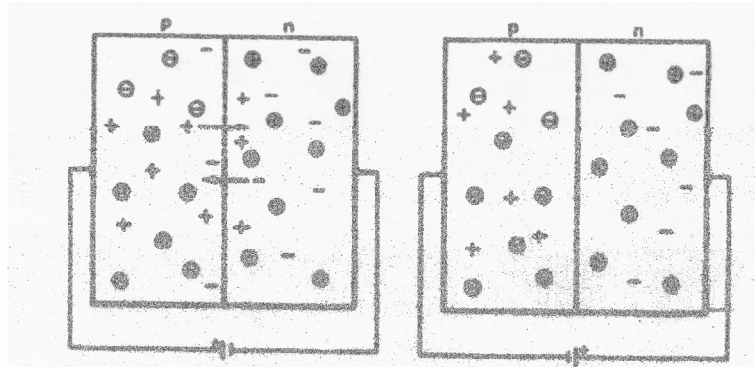
Οι σημαντικότερες ιδιότητες και εφαρμογές των διατάξεων ημιαγωγών δεν προέρχονται κυρίως από τη δημιουργία φορέων, αλλά οφείλονται περισσότερο στη διάχυση των φορέων τους. Βασική διάταξη για την εκδήλωση των ιδιοτήτων αυτών είναι η ένωση p – n που σχηματίζεται όταν έλθουν σε στενή επαφή ένα τεμάχιο ημιαγωγού τύπου p με ένα τεμάχιο ημιαγωγού τύπου n. Αμέσως τότε ένα μέρος από τις οπές του τεμαχίου τύπου p διαχέεται προς το τεμάχιο τύπου n, όπου οι οπές είναι λιγότερες, και συγχρόνως ένα μέρος από τα ελεύθερα ηλεκτρόνια του τεμαχίου τύπου n διαχέεται προς το τεμάχιο τύπου p, όπου τα ελεύθερα ηλεκτρόνια είναι επίσης πολύ λιγότερα.

Η ανάμιξη αυτή των φορέων στις περιοχές κοντά στη διαχωριστική επιφάνεια των τεμαχίων τύπου p και n, ανατρέπουν την κατάσταση ισορροπίας που υπήρχε πριν. Η αποκατάσταση των συνθηκών ισορροπίας γίνεται με επανασυνδέσεις των φορέων, μέχρι οι συγκεντρώσεις τους να πάρουν τιμές που ικανοποιούν τον νόμο δράσης των μαζών. Η περιοχή γύρω από μια ένωση p – n ονομάζεται ζώνη εξάντλησης των φορέων (ή περιοχή αραίωσης). Η διάταξη ημιαγωγών που αποτελείται από μια ένωση p-n και από μια ηλεκτρική σύνδεση στο κάθε τμήμα της ονομάζεται δίοδος ημιαγωγού ή απλά δίοδος.

Σε αντίθεση με τους ευκίνητους φορείς των ημιαγωγών που τείνουν να διαχέονται προς τις περιοχές με τη μικρότερη συγκέντρωσή τους, η συγκέντρωση των αρνητικών ιόντων στα οποία μετατράπηκαν οι αποδέκτες στο τμήμα τύπου p, και η συγκέντρωση των θετικών ιόντων στα οποία μετατράπηκαν οι δότες στο τμήμα τύπου n, παραμένουν αμετάβλητες, αφού τα ιόντα μένουν ακίνητα στο σώμα. Έτσι το υλικό χάνει τοπικά την ηλεκτρική ουδετερότητα και οι δύο πλευρές της ένωσης p – n φορτίζονται με αντίθετα ηλεκτρικά φορτία. Δημιουργείται επομένως μια διαφορά δυναμικού, που η τιμή της είναι σχετική μικρή (συνήθως περίπου 0.3 μέχρι 0.5 V), ανάλογα με τις συγκεντρώσεις των προσμίξεων) αλλά το ενσωματωμένο αυτό ηλεκτροστατικό πεδίο εμποδίζει την παραπέρα διάχυση των φορέων πλειονότητας προς το απέναντι τμήμα της ένωσης. Το αποτέλεσμα είναι ότι η δίοδος που περιέχει την

ένωση p – n παρουσιάζει εντελώς διαφορετική συμπεριφορά στην ροή του ηλεκτρικού ρεύματος, ανάλογα με την φορά του.

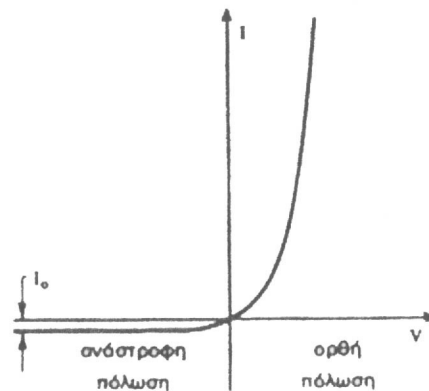
Η μία περίπτωση είναι να επιβληθεί στην δίοδο p – n ορθή πόλωση, δηλαδή ο αρνητικός πόλος της πηγής να συνδεθεί με το τμήμα τύπου n της διόδου, και ο θετικός πόλος με το τμήμα τύπου p. Τότε τα ηλεκτρόνια ρέουν ανεμπόδιστα προς την πηγή, διαμέσου του τμήματος τύπου n, προς την περιοχή της ένωσης όπου επανασυνδέονται με τις οπές που σχηματίζονται με την απομάκρυνση ηλεκτρονίων προς τον θετικό πόλο της πηγής, διαμέσου του τμήματος τύπου p (Σχήμα [2.2]).



**Σχήμα 2.2:** α) Η αθρόα κίνηση των φορέων διαμέσου της ένωσης p-n μιας διόδου σε ορθή πόλωση, που συνοδεύεται με τη συνεχή επανασύνδεση ελεύθερων ηλεκτρονίων και οπών. β) Η δραστική μείωση των φορέων στα τμήματα p και n μιας διόδου σε ανάστροφη πόλωση και η δημιουργία αντίθετου πεδίου φράγματος από τα ιόντα των προσμίξεων, με αποτέλεσμα την έλλειψη ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Οι σταυροί συμβολίζουν τις οπές, οι παύλες τα ελεύθερα ηλεκτρόνια, οι σταυροί στους κύκλους τα ακίνητα θετικά ιόντα και οι παύλες στους κύκλους τα ακίνητα αρνητικά ιόντα.

Αντίθετα, στην αντίστροφη πόλωση, δηλ. αν ο αρνητικός πόλος της πηγής συνδεθεί με το τμήμα τύπου p και ο θετικός με το τμήμα τύπου n, γίνεται επανασύνδεση των οπών του τμήματος τύπου p με τα ηλεκτρόνια που έρχονται από την πηγή και από την άλλη μεριά, απομάκρυνση όλων των ελεύθερων ηλεκτρονίων του τμήματος τύπου n προς τον θετικό πόλο της πηγής. Έτσι οι συγκεντρώσεις των φορέων μειώνονται πάρα πολύ, το πάχος της ζώνης εξάντλησης αυξάνει και τα φορτισμένα άτομα των προσμίξεων δημιουργούν ένα ισχυρό εσωτερικό ηλεκτροστατικό πεδίο που είναι αντίθετο προς το πεδίο που επιβάλλει η πηγή. Το αποτέλεσμα είναι ότι η δίοδος προβάλλει μέγιστη αντίσταση στο ηλεκτρικό ρεύμα.

Το σχήμα [2.3] δείχνει ακριβώς την ιδιόμορφη μεταβολή της έντασης του ρεύματος που διαρρέει μια δίοδο ένωσης p – n, σε συνάρτηση με την τιμή της τάσης και το είδος της πόλωσης που εφαρμόζεται.



**Σχήμα 2.3.:** Η χαρακτηριστική καμπύλη έντασης  $I$  – τάσης  $V$  του ρεύματος μιας διόδου p-n. Είναι φανερό ότι η δίοδος p – n είναι μια μη γραμμική αντίσταση, που δεν ακολουθεί τον νόμο του Ohm. Στην ορθή πόλωση το ρεύμα αυξάνει εκθετικά σε συνάρτηση με την τάση. Στην ανάστροφη πόλωση, το μικρό και περίπου σταθερό ρεύμα  $I_0$  που διαρρέει τη δίοδο, οφείλεται στους λίγους φορείς μειονότητας και ονομάζεται ανάστροφο ρεύμα κόρου.

Για αρνητικές τιμές της επιβαλλόμενης τάσης (ανάστροφη πόλωση), η ένταση του ρεύματος τείνει και σταθεροποιείται σε μια τιμή  $I_0$  που ονομάζεται ανάστροφο ρεύμα κόρου, ενώ για θετικές τιμές της τάσης (ορθή πόλωση) η ένταση ρεύματος, που διαρρέει μια δίοδο p – n από την τιμή της επιβαλλόμενης τάσης  $V$  δίνεται από τη σχέση :

$$I = I_0 \left[ \exp\left(\frac{eV}{\gamma KT}\right) - 1 \right] \quad (2.1)$$

Όπου  $e$  είναι το στοιχειώδες ηλεκτρονικό φορτίο,  $K$  είναι η σταθερά Boltzmann,  $T$  είναι η απόλυτη θερμοκρασία και  $\gamma$  είναι ένας συντελεστής που ανάλογα με την κατασκευή και την ποιότητα της διόδου παίρνει συνήθως τιμές μεταξύ 1 και 2. Στις συνηθισμένες διόδους πυριτίου το  $I_0$  είναι συνήθως μικρότερο από  $1\mu\text{A}$ , ενώ το ρεύμα της ορθής πόλωσης είναι πολλές χιλιάδες φορές μεγαλύτερο και φτάνει σε δεκάδες ή εκατοντάδες mA.

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία είναι διόδους που λειτουργούν σε συνθήκες ορθής πόλωσης. Έχει όμως σημασία η γνώση της τιμής του αναστρόφου ρεύματος κόρου διότι από αυτή εξαρτώνται οι τιμές των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών των στοιχείων.

## 2.2 Φωτοβολταϊκή μετατροπή

### 2.2.1. Γενικά

Η εκδήλωση της διαφοράς δυναμικού ανάμεσα στις δύο όψεις της διόδου, η οποία αντιστοιχεί σε ορθή πόλωση, ονομάζεται φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Η αποδοτική λειτουργία των ηλιακών φωτοβολταϊκών στοιχείων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στηρίζεται στην εκμετάλλευση του φαινομένου αυτού. Εκτός από τις προσμίξεις των τμημάτων p και n μιας ομοένωσης, δηλ. υλικού από τον ίδιο βασικό ημιαγωγό, το ενσωματωμένο ηλεκτροστατικό πεδίο, που είναι απαραίτητη προϋπόθεση για τη πραγματοποίηση ενός ηλιακού στοιχείου,



αλλά και κάθε φωτοβολταϊκής διάταξης, μπορεί να προέρχεται επίσης και από διόδους άλλων ειδών. Π.χ. από διόδους ετεροενώσεων – η διαφορετικών ημιαγωγών ή από διόδους Σότκυ, που σχηματίζονται όταν έρθουν σε επαφή ένας ημιαγωγός με ένα μέταλλο.

### 2.2.2. Απορρόφηση ακτινοβολίας

Στα φωτοβολταϊκά στοιχεία δεν είναι δυνατή η μετατροπή σε ηλεκτρική ενέργεια του συνόλου της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχονται στην επιφάνεια τους. Ένα μέρος από την ακτινοβολία ανακλάται πάνω στην επιφάνεια του στοιχείου και διαχέεται πάλι προς το περιβάλλον. Στη συνέχεια, από την ακτινοβολία που διεισδύει στον ημιαγωγό, προφανώς δεν μπορεί να απορροφηθεί το μέρος εκείνο που αποτελείται από φωτόνια με ενέργεια μικρότερη από το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού. Για τα φωτόνια αυτά ο ημιαγωγός συμπεριφέρεται σαν διαφανές σώμα. Έτσι, η αντίστοιχη ακτινοβολία διαπερνά άθικτη το ημιαγωγίμο υλικό του στοιχείου και απορροφάται τελικά στο μεταλλικό ηλεκτρόδιο που καλύπτει την πίσω όψη του, με αποτέλεσμα να το θερμαίνει. Αλλά και από τα φωτόνια που απορροφά ο ημιαγωγός, μόνο το μέρος εκείνο της ενέργειας τους που ισούται με το ενεργειακό διάκενο συμβάλλει στην εκδήλωση του φωτοβολταϊκού φαινομένου. Το υπόλοιπο μεταφέρεται σαν κινητική ενέργεια, στο ηλεκτρόνιο που ελευθερώθηκε από τον δεσμό, και τελικά μετατρέπεται επίσης σε θερμότητα. Η αύξηση της θερμοκρασίας των φωτοβολταϊκών στοιχείων επιδρά αρνητικά στην απόδοσή τους.

Σύμφωνα με τον νόμο του Beer, ο ρυθμός απορρόφησης των φωτονίων, επομένως και της δημιουργίας των φορέων από την ακτινοβολία που δέχεται ο ημιαγωγός, είναι μεγαλύτερος κοντά στην επιφάνεια του και εξασθενίζει εκθετικά με την απόσταση από αυτή.

### 2.2.3. Η δημιουργία του φωτορεύματος

Όταν ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο (για συντόμευση γράφεται φ/β στοιχείο) δέχεται μια κατάλληλη ακτινοβολία, διαγείρεται παράγοντας ηλεκτρικό ρεύμα, το φωτόρευμα  $I_{\phi}$ , που η τιμή του θα είναι ανάλογη προς τα φωτόνια που απορροφά το στοιχείο. Υποθέτοντας ότι έχουν εξασφαλιστεί οι δύο βασικές προϋποθέσεις για ένα καλό φ/β στοιχείο, δηλ. η ένωση p – n να βρίσκεται σε κατάλληλη απόσταση από την όψη του στοιχείου και η μέση διάρκεια ζωής των φορέων μειονότητας στον ημιαγωγό, από το οποίο είναι κατασκευασμένο το στοιχείο, να είναι αρκετά μεγάλη, τότε για την πυκνότητας του φωτορεύματος ισχύει ικανοποιητικά η σχέση :

$$I_{\phi} = e * g * (L_n + L_p) \quad (2.2)$$

Όπου  $e$  είναι το στοιχειώδες ηλεκτρικό φορτίο,  $g$  είναι ο ρυθμός δημιουργίας ζευγών φορέων από τα φωτόνια της ακτινοβολίας (πλήθος ζευγών ηλεκτρονίων – οπών ανά μονάδα χρόνου και μονάδα όγκου του ημιαγωγού), και  $L_n$ ,  $L_p$  είναι τα μέσα μήκη διάχυσης των ηλεκτρονίων και των οπών, αντίστοιχα.

Ένα χρήσιμο μέγεθος για τον υπολογισμό του φωτορεύματος είναι η φασματική απόκριση  $S$ , που ορίζεται ως το πλήθος των φορέων που συλλέγονται στα ηλεκτρόδια του φ/β στοιχείου, σε σχέση με τη φωτονική ροή  $\Phi$ , δηλ. με το πλήθος των φωτονίων της ακτινοβολίας που δέχεται το στοιχείο

ανά μονάδα επιφανείας και χρόνου. Για ακτινοβολία μήκους κύματος  $\lambda$ , η φασματική απόκριση  $S(\lambda)$  θα είναι :

$$S(\lambda) = \frac{I_{\phi}(\lambda)}{e\Phi(\lambda)} \quad (2.3)$$

Όπου  $\Phi(\lambda)$  είναι το πλήθος των φωτονίων με ενέργεια που αντιστοιχεί σε μήκος κύματος από  $\lambda$  μέχρι  $\lambda+\delta\lambda$ . Και επομένως το συνολικό φωτόρευμα του στοιχείου, όταν δέχεται πολυχρωματική ακτινοβολία θα είναι :

$$I_{\phi} = e \int_0^{\lambda_g} S(\lambda)\Phi(\lambda)d\lambda \quad (2.4)$$

Η τιμή της φασματικής απόκρισης, και συνεπώς και του φωτορεύματος ενός φ/β στοιχείου, εξαρτάται από πολλούς κατασκευαστικούς παράγοντες, όπως ο συντελεστής ανάκλασης στην επιφάνεια του στοιχείου, ο συντελεστής απορρόφησης και το πάχος του ημιαγωγού, το πλήθος των επανασυνδέσεων των φορέων, κ.λ.π.

Όταν το ποσοστό της ακτινοβολίας που ανακλάται στην επιφάνεια του στοιχείου δεν είναι αμελητέο, η παραπάνω σχέση γράφεται :

$$I_{\phi} = e \int_0^{\lambda_g} S(\lambda)[1 - R(\lambda)]\Phi(\lambda)d\lambda \quad (2.5)$$

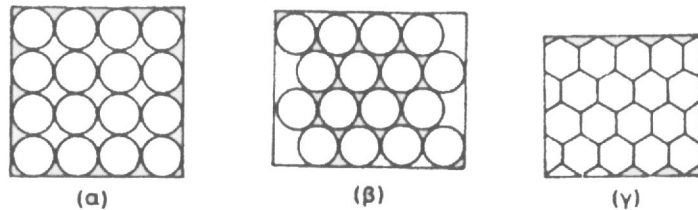
Όπου  $R(\lambda)$  είναι ο δείκτης ανάκλασης για την ακτινοβολία μήκους κύματος  $\lambda$ .

## 2.3 Το φ/β σύστημα

### 2.3.1 Το φ/β πλαίσιο, τα φ/β πανέλα και οι συστοιχίες

Το βασικό και χαρακτηριστικό συστατικό κάθε φ/β εγκατάστασης είναι η φ/β γεννήτρια, που αποτελείται από τους ηλιακούς συλλέκτες και τα φ/β/ ηλιακά στοιχεία.

Η τάση και η ισχύος των φ/β/ στοιχείων είναι πολύ μικρή για να ανταποκριθεί στην τροφοδότηση των συνηθισμένων ηλεκτρικών καταναλώσεων ή για τη φόρτιση των συσσωρευτών. Για τον λόγο αυτό, φ/β/ στοιχεία συνδέονται σε σειρά, σε ομάδες κατάλληλου πλήθους για την απόκτηση της επιθυμητής τάσης (σχήμα [2.8]).



**Σχήμα 2.8.:** Τρεις συνηθισμένοι τρόποι παράθεσης των ηλιακών στοιχείων στα φ/β πλαίσια.

Τα πλαίσια κατασκευάζονται ως εξής : τα ηλιακά στοιχεία στερεώνονται με κολλητική ουσία σε ένα ανθεκτικό φύλλο από μέταλλο (συνήθως αλουμίνιο) ή από ενισχυμένο πλαστικό, που αποτελεί την πλάτη του πλαισίου, ενώ η εμπρός όψη τους καλύπτεται από ένα προστατευτικό φύλλο γυαλιού ή διαφανούς πλαστικού. Το εμπρός και πίσω φύλλο συγκρατούνται μεταξύ τους, στεγανά και μόνιμα, με τη βοήθεια μιας ταινίας αποσυνθετικό ή φυσικό ελαστικό και συσφίγγονται με ένα περιμετρικό μεταλλικό περίβλημα. Διαμορφώνεται έτσι το φ/β πλαίσιο (module), που είναι η δομική μονάδα που κατασκευάζεται βιομηχανικά και κυκλοφορεί στο εμπόριο για να χρησιμοποιηθεί ως συλλέκτης στη συγκρότηση των φ/β γεννητριών. Λόγω των απαιτούμενων υλικών και εργασιών για την κατασκευή του, το κόστος των φ/β πλαισίων είναι σημαντικά μεγαλύτερο από το κόστος των ηλιακών στοιχείων που περιέχουν. Πριν τα φ/β πλαίσια βγούν στο εμπόριο, υποβάλλονται συνήθως σε μια σειρά από αυστηρές δοκιμές ποιοτικού ελέγχου με θερμικές και μηχανικές καταπονήσεις, καθώς και σε δοκιμασία 5ήμερης συνεχούς παραμονής σε ατμόσφαιρα σχετικής υγρασίας 95% και θερμοκρασίας 95°C, για να ελεγχθεί η στεγανότητα τους.

Συνώνυμο σχεδόν με το φ/β πλαίσιο είναι το φ/β πανέλο (panel). Όπως και το πλαίσιο, έχει επίσης συναρμολογηθεί και προκατασκευαστεί στο εργοστάσιο και είναι έτοιμο για τοποθέτηση στη φ/β εγκατάσταση, αλλά με τη διαφορά ότι ένα πανέλο μπορεί να αποτελείται από περισσότερα χωριστά πλαίσια (το ένα δίπλα στο άλλο), που είναι σε κοινή συσκευασία και κοινή ηλεκτρική σύνδεση μεταξύ τους. Ο αριθμός των πλαισίων ενός πανέλου είναι τόσος, ώστε οι διατάξεις και το βάρος του να μην είναι εμπόδιο για την μεταφορά και την τοποθέτηση του στη φ/β εγκατάσταση.

Για την αύξηση της αξιοπιστίας ενός φ/β συστήματος, είναι σκόπιμο οι συνδέσεις των φ/β στοιχείων μέσα στα πλαίσια, αλλά και στα πανέλα ή ανάμεσα στα γειτονικά πλαίσια και πανέλα, να μην είναι μόνο στη σειρά αλλά και στις παράλληλες. Έτσι αν ένα φ/β στοιχείο σκιαστεί ή αν πάθει βλάβη, δεν θα μηδενιστεί η ισχύς που παράγει το σύστημα, όπως θα συνέβαινε αν όλα τα φ/β στοιχεία ήταν συσυνδεδεμένα σε σειρά.

Η φ/β γεννήτρια μιας μικρής φ/β εγκατάστασης μπορεί να αποτελείται από ένα μόνον πλαίσιο ή πανέλο. Σε μεγαλύτερες όμως εγκαταστάσεις, ομάδες περισσότερων φ/β πλαισίων (ή πανέλων) τοποθετούνται σε κοινή κατασκευή στήριξης και ονομάζονται φ/β συστοιχίες (arrays). Η σύνδεση των φ/β πλαισίων, στη σειρά ή παράλληλα, γίνεται με τρόπο που η τάση εξόδου της συστοιχίας να αποκτά την επιθυμητή τιμή. Είναι φανερό ότι η διαφορετική συνδεσμολογία των πλαισίων μιας φ/β γεννήτριας δεν μεταβάλλει την ισχύ της, αφού η οποία αύξηση της τάσης εξόδου της γεννήτριας συνεπάγεται ανάλογη μείωση της έντασης του ρεύματος που παράγει.

Κάθε φ/β εγκατάσταση έχει σπονδυλωτή συγκρότηση από φ/β πλαίσια, πανέλα ή συστοιχίες, που το πλήθος τους (και η συνολική επιφάνεια τους) καθορίζεται από την ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που επιδιώκεται να παραχθεί. Η δομή αυτή επιτρέπει την εύκολη επέκταση των φ/β εγκαταστάσεων, με την προσθήκη νέων συλλεκτών, για την αντιμετώπιση των αναγκών που θα προέλθουν από ενδεχόμενη μελλοντική αύξηση της ηλεκτρικής κατανάλωσης.

Η τοποθέτηση των φ/β πλαισίων και των φ/β πανέλων, μόνων τους ή σε συστοιχίες, γίνεται κατά τέτοιο τρόπο ώστε κάθε φ.β πλαίσιο να έχει ανοικτό ορίζοντα. Σε μια τοποθεσία με γεωγραφικό πλάτος  $\pi^0$ , η προϋπόθεση του ανοικτού ορίζοντα θεωρείται ότι εξασφαλίζεται όταν η γωνία του ύψους ( $\beta_\varepsilon$ ) των γειτονικών συστοιχιών, δέντρων, κτιρίων ή άλλων εμποδίων, ικανοποιεί τη σχέση:

$$\beta_\varepsilon \leq 48^0 - \pi^0 \quad (2.15)$$

Π.χ στην Αθήνα, που βρίσκεται σε γεωγραφικό πλάτος  $38^0$ , η γωνία του ύψους των διαφόρων εμποδίων δεν πρέπει να ξεπερνά τις  $10^0$ .

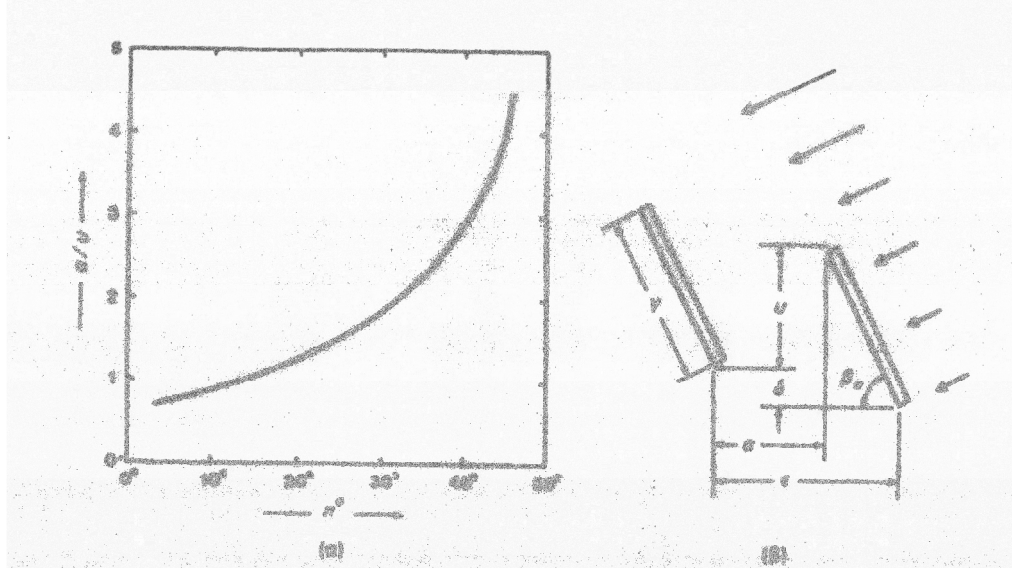
Ειδικότερα το διάγραμμα του σχήματος [2.9] βοηθά στον προσδιορισμό της απόστασης ανάμεσα στις παράλληλες σειρές των ηλιακών συλλεκτών στις φ/β/ συστοιχίες, ώστε η μια σειρά να μην σκιάζει αισθητά την επομένη. Συγκεκριμένα, το διάγραμμα δίνει, ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου, την ελάχιστη απαιτούμενη τιμή του λόγου της ελεύθερης απόστασης ανάμεσα στις δύο σειρές ( $\alpha$ ) προς την επικάλυψη του ύψους της κατασκευής στήριξης του συλλέκτη ( $u$ ). Αν  $\gamma$  είναι το πλάτος του στηρίγματος (που συμπίπτει με το πλάτος του συλλέκτη),  $\beta_\sigma$  είναι η κλίση του και  $\delta$  είναι η υψομετρική διαφορά ανάμεσα στα στηρίγματα των δύο σειρών, τότε το  $u$  δίνεται από τη σχέση:

$$u = \gamma \cdot \eta \cdot \mu \beta_\sigma - \delta \quad (2.16)$$

Στη συνέχεια, με τη βοήθεια του διαγράμματος προκύπτει η αντίστοιχη τιμή του  $\alpha$ , και από τη σχέση:

$$\varepsilon = \alpha + \gamma \cdot \sigma \nu \beta_\sigma \quad (2.17)$$

υπολογίζεται η τιμή του  $\varepsilon$ , δηλ. η ελάχιστη απαιτούμενη απόσταση των σειρών



**Σχήμα 2.9 :** α) Η καμπύλη του λόγου της ελεύθερης απόστασης  $\alpha$  ανάμεσα στις γειτονικές σειρές των ηλιακών συλλεκτών μιας φ/β συστοιχίας, προς την επικάλυψη του ύψους του  $u$ , σε συνάρτηση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου  $\pi^0$ , ώστε να μην εμποδίζεται ουσιαστικά η πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας. Β) η έννοια των μηκών  $\alpha, \gamma, \delta, \varepsilon$ , και της γωνίας της κλίσης  $\beta_\sigma$  για τη διάταξη των ηλιακών συλλεκτών στις φ,β συστοιχίες. Το διάγραμμα είναι εμπειρικό και

προέρχεται από την έκδοση «StandalonePhotovoltaicSystems» της εταιρείας Monegon(1980).

### 2.3.2. Η απόδοση του φ/β/ πλαισίου

Το κάθε φ/β πλαίσιο παρουσιάζει τα δικά του ηλεκτρικά χαρακτηριστικά απόδοση, τάση, ισχύ, κ.λ.π.) που διαμορφώνονται από τα αντίστοιχα μεγέθη των χωριστών ηλιακών στοιχείων που περιέχει. Επομένως, ο συντελεστής απόδοσης του φ/β πλαίσιο ( $P_{\pi}$ ) προς την ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται στην επιφάνεια του ( $S$ ). Προφανώς, την ίδια τιμή θα έχει και ο λόγος της μέγιστης ηλεκτρικής ενέργειας  $E$  που παράγει το φ/β πλαίσιο επί ένα ορισμένο χρονικό διάστημα, προς την ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται στο ίδιο χρονικό διάστημα. δηλ. :

$$\eta = \frac{P_{\pi(w)}}{H(W/m^2) \cdot S(m^2)} = \frac{E(kWh)}{\Pi(kWh/m^2) \cdot S(m^2)} \quad (2.18)$$

όπου  $\Pi$  είναι η πυκνότητα της ηλιακής ενέργειας που πέφτει στην επιφάνεια του φ/β πλαισίου.

Η τιμή του  $\eta_{\pi}$  εξαρτάται όχι μόνο από τη μέση απόδοση των ηλιακών στοιχείων ( $\eta$ ), αλλά και από τον συντελεστή κάλυψης του πλαισίου ( $\sigma_{\kappa}$ ), που ορίζεται ως ο λόγος της συνολικής ενεργού επιφάνειας των ηλιακών στοιχείων, δηλ. της επιφάνειας του ημιαγωγού όπου γίνεται η απορρόφηση και η μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας, προς τη συνολική επιφάνεια του φ/β πλαισίου. Ισχύει επομένως η σχέση :

$$\eta = \eta \cdot \sigma_{\kappa} \quad (2.19)$$

Η τιμή του  $\sigma_{\kappa}$  εξαρτάται κυρίως από το σχήμα και την πυκνότητα της τοποθέτησης των ηλιακών στοιχείων πάνω στο φ/β πλαίσιο. Συνήθως κυμαίνεται από περίπου 0.78 για κυκλικά στοιχεία σε παράλληλες στοιχισμένες σειρές, και φτάνει μέχρι σχεδόν 1 για τα μεγαλύτερου κόστους τετραγωνικά ή εξαγωνικά ηλιακά στοιχεία.

### 2.3.3. Επίδραση της θερμοκρασίας και της ρύπανσης

Η απόδοση των φ/β στοιχείων επηρεάζεται σημαντικά από τη θερμοκρασία. Ο συντελεστής απόδοσης που δίνεται για τα ηλιακά στοιχεία ή για τα φ/β πλαίσια αντιστοιχεί σε μια συμβατική θερμοκρασία, που συχνά, ιδίως στους θερινούς μήνες, διαφέρει αξιόλογα από την πραγματική θερμοκρασία του στοιχείου. Έχει μετρηθεί ότι αφενός, και κυρίως λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχονται, αλλά και λόγω των ηλεκτρικών απωλειών που πραγματοποιούνται πάνω τους, στις αντιστάσεις σειράς, τα ηλιακά στοιχεία αποκτούν κατά τη λειτουργία τους θερμοκρασία μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, ανάλογα και με την ταχύτητα του ανέμου. Για τη διόρθωση του σφάλματος αυτού χρησιμοποιείται ο αδιάστατος συντελεστής  $\sigma_{\theta}$ , με τον οποίο πολλαπλασιάζεται ο συντελεστής απόδοσης των ηλιακών στοιχείων. Το ίδιο εφαρμόζεται και για τα φ/β πλαίσια.

Ένας άλλος παράγοντας που μπορεί να μειώσει την ηλεκτροπαραγωγή των φ/β πλαισίων, ιδίως όταν έχουν μικρή κλίση, είναι η ρύπανση της

επιφάνειας τους από την επικάλυψη σκόνης, φύλλων χιονιού, εντόμων και άλλων ακαθαρσιών. Η μείωση είναι σημαντικότερη σε αστικές και βιομηχανικές περιοχές λόγω της αιθάλης που αιωρείται στην ατμόσφαιρα και προσκολλάται ισχυρά στη γυάλινη ή πλαστική επιφάνεια των φ/β πλαισίων, χωρίς να μπορεί η βροχή να τη ξεπλύνει αρκετά. Στις περιπτώσεις αυτές χρειάζεται να γίνεται περιοδικός καθαρισμός της επιφάνειας των φ/β πλαισίων. Λύση αποτελεί και η αύξηση της κλίσης των πλαισίων για την αποφυγή συσσώρευσης χιονιού ή σκόνης.

Όταν η φ/β γεννήτρια βρίσκεται σε περιοχή όπου ο βαθμός ρύπανσης είναι σημαντικός, είναι σκόπιμο να προβλέπεται στους υπολογισμούς η αντίστοιχη μείωση στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τα φ/β πλαίσια, με τη χρησιμοποίηση ενός αδιάστατου συντελεστή καθαρότητας ( $\sigma_p$ ), ο οποίος ορίζεται ως ο λόγος της ηλεκτρικής ισχύος που παράγει το ρυπασμένο φ/β πλαίσιο προς την ηλεκτρική ισχύ που παράγει όταν η επιφάνεια του είναι εντελώς καθαρή. Η τιμή του  $\sigma_p$  είναι τόσο μικρότερη από τη μονάδα, όσο εντονότερη είναι η ρύπανση του περιβάλλοντος, όσο μικρότερη είναι η κλίση του φ/β πλαισίου, όσο σπανιότερες είναι οι βροχές στην περιοχή, κ.λ.π. Έτσι, οπότε είναι απαραίτητο, ως συντελεστής απόδοσης των φ/β πλαισίων για τους υπολογισμούς θεωρείται το γινόμενο του ενδεικτικού συντελεστή απόδοσης  $\eta_{\pi}$ , που δίνεται για συμβατική θερμοκρασία και καθαρή επιφάνεια, επί τους συντελεστές διόρθωσης για τη θερμοκρασία  $\sigma_{\theta}$  και τη ρύπανση  $\sigma_p$ . Δηλ. ισχύει η γενικότερη σχέση :

$$E = \Pi \cdot S \cdot \eta_{\pi} \cdot \sigma_{\theta} \cdot \sigma_p \quad (2.20)$$

#### 2.3.4. Η ισχύς αιχμής του φ/β/ πλαισίου

Συχνά δεν είναι διαθέσιμα όλα τα λεπτομερειακά κατασκευαστικά δεδομένα και ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των φ/β πλαισίων (διαστάσεις, συντελεστής κάλυψης, συντελεστής απόδοσης κ.λ.π.), αλλά δίνεται μόνο μια ενδεικτική ισχύς αιχμής ( $P_a$ ), που αντιστοιχεί στην παραγόμενη μέγιστη ηλεκτρική ισχύ όταν το φ/β πλαίσιο δεχτεί ηλιακή ακτινοβολία με πυκνότητα ισχύος ενός ηλίου, δηλ.  $1\text{Kw/m}^2$ .

Οι μονάδες ισχύος, που εκφράζουν την ισχύ αιχμής ενός φ/β πλαισίου, μιας ολόκληρης φ/β εγκατάστασης ή και ενός ηλιακού στοιχείου, ονομάζονται watt αιχμής ( $W_p$ , peakwatts) και kWatt αιχμής ( $kW_p$ ). Ισχύει επομένως :

$$P_a (kW_p) = 1 (kW/m^2) \cdot S(m)^2 \cdot \eta_{\pi} \quad (2.21)$$

Στην περίπτωση που είναι γνωστή μόνο η ισχύς αιχμής  $P_a$ , για τον υπολογισμό της μέσης ημερήσιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας του φ/β πλαισίου, χρησιμοποιείται η ισοδύναμη σχέση :

$$E(kWh/d) = \Pi(kWh/m^2 \cdot d) \cdot \frac{P_a (kW_p)}{1(kW/m^2)} \cdot \sigma_{\theta} \cdot \sigma_p \quad (2.22)$$

#### 2.3.5. Απώλειες στα φ/β συστήματα

Πέρα από τις διάφορες διορθώσεις που αναφέρθηκαν στα προηγούμενα και λαμβάνονται συνήθως υπόψη στον υπολογισμό της επιφάνειας των φ/β συλλεκτών (θερμοκρασίας, ρυπαρότητας), πρέπει να αναφερθούν και οι μικρές ηλεκτρικές απώλειες στους αγωγούς που συνδέουν τα φ/β πλαίσια στις φ/β

συστοιχίες, καθώς και στις συνδέσεις τους με τα άλλα μέρη του φ/β συστήματος (διατάξεις ρύθμισης, προστασίας και ελέγχου, συσσωρευτές, κ.λ.π.) Πρόσθετες, και μάλιστα σημαντικότερες, απώλειες μπορεί να οφείλονται στην λειτουργία αυτών των άλλων μερών του συστήματος, και κυρίως στην φόρτιση και εκφόρτιση των συσσωρευτών.

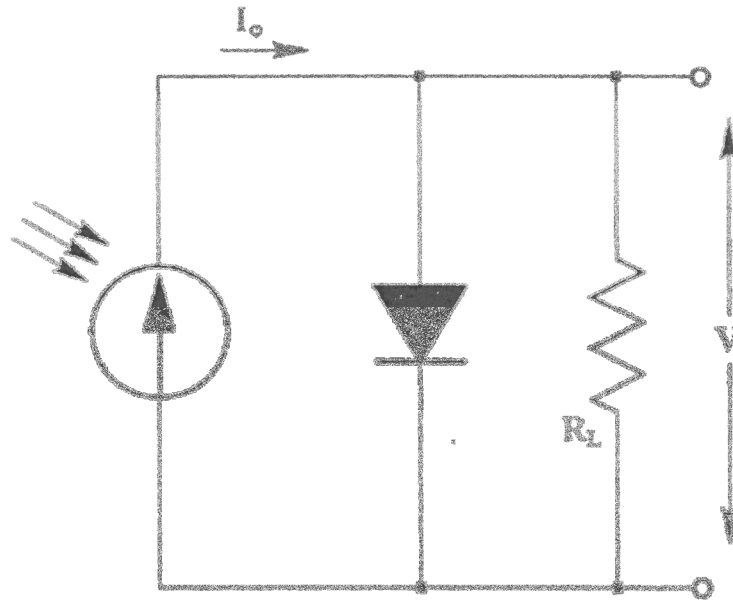
Εξάλλου, η τιμή του συντελεστή απόδοσης των φ/β πλαισίων που χρησιμοποιείται στους υπολογισμούς, αφορά στις συνθήκες τάσης – έντασης που αντιστοιχούν στη μέγιστη δυνατή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Είναι όμως πολύ πιθανό, ιδίως όταν το σύστημα δεν έχει αξιόπιστο ρυθμιστή ισχύος, ότι κατά τη λειτουργία του θα υπάρξει μια σημαντική απόκλιση από τις ιδανικές αυτές συνθήκες, με αποτέλεσμα την εμφάνιση αντίστοιχης απώλειας στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Επομένως, κατά τον υπολογισμό της απαιτούμενης επιφάνειας των φ/β συλλεκτών ενός συστήματος, πρέπει να γίνεται πρόβλεψη, ανάλογα με την περίπτωση και για την κάλυψη όλων αυτών των απωλειών, που μπορεί να είναι της τάξης του 20% ως 30% της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας ή και περισσότερο.

Τέλος, λόγω φθοράς στα φ/β πλαίσια και στα άλλα μέρη του συστήματος, αναμένεται ότι με την πάροδο του χρόνου θα παρουσιάζεται μια μικρή βαθμιαία πτώση στην ποσότητα της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, που συνήθως υπολογίζεται στο 1% ως 2% κάθε έτος.

## **2.4 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των φωτοβολταϊκών στοιχείων.**

Για να γίνει μια εκτίμηση των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών και της λειτουργίας ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου, μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελεί μια πηγή ρεύματος που ελέγχεται από μία διόδο και ότι περιγράφεται από το πολύ απλοποιημένο διάγραμμα του σχήματος . Στο ισοδύναμο αυτό δεν συμπεριλαμβάνεται η αντίσταση λόγω της κίνησης των φορέων μέσα στον ημιαγωγό και στις επαφές με τα ηλεκτρόδια, όπως ακόμα και η μη άπειρη αντίσταση διαμέσου της διόδου και τα αναπόφευκτα ρεύματα διαρροής.



Σχήμα 2.10 Απλοποιημένο ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου.

Σε συνθήκες ανοιχτού κυκλώματος, θα αποκατασταθεί ισορροπία όταν η τάση που θα αναπτυχθεί ανάμεσα στις δύο όψεις του στοιχείου, θα προκαλεί ένα αντίθετο ρεύμα που θα αντισταθμίζει το φωτόρευμα, για το οποίο και θα ισχύει:

$$I_{\phi} = I_0 \left( e^{\frac{eV}{\gamma k T}} - 1 \right)$$

όπου  $I_0$ , είναι το ανάστροφο ρεύμα κόρου,  $e$  το στοιχειώδες ηλεκτρικό φορτίο,  $k$  η σταθερά Boltzmann,  $T$  η απόλυτη θερμοκρασία και  $\gamma$  ένας συντελεστής που ανάλογα με την κατασκευή και την ποιότητα της διόδου παίρνει συνήθως τιμές μεταξύ 1 και 2. Από την παραπάνω σχέση, η τάση ανοιχτοκυκλώματος θα είναι:

$$V_{oc} = \frac{\gamma k T}{e} \ln \left( \frac{I_{\phi}}{I_0} + 1 \right), \quad I_0 < I_{\phi} \Rightarrow V_{oc} = \frac{\gamma k T}{e} \ln \left( \frac{I_{\phi}}{I_0} \right)$$

Η παραπάνω σχέση δείχνει τη λογαριθμική μεταβολή της  $V_{oc}$  σε συνάρτηση με το  $I_{\phi}$ , δηλαδή με την ένταση της ακτινοβολίας που δέχεται το φωτοβολταϊκό στοιχείο και την εξάρτηση της από τις διάφορες ιδιότητες του ημιαγωγού. Στην άλλη ακραία περίπτωση, δηλαδή σε συνθήκες βραχυκύκλωσης ανάμεσα στις δύο όψεις του στοιχείου, το ρεύμα βραχυκύκλωσης θα ισούται με το παραγόμενο φωτόρευμα,  $I_{sc} = I_{\phi}$ .

Όταν το κύκλωμα του φωτοβολταϊκού στοιχείου κλείσει διαμέσου μιας εξωτερικής αντίστασης  $R_L$ , το ρεύμα θα πάρει μια μικρότερη τιμή  $I_L$  που βρίσκεται με τη λύση της εξίσωσης :

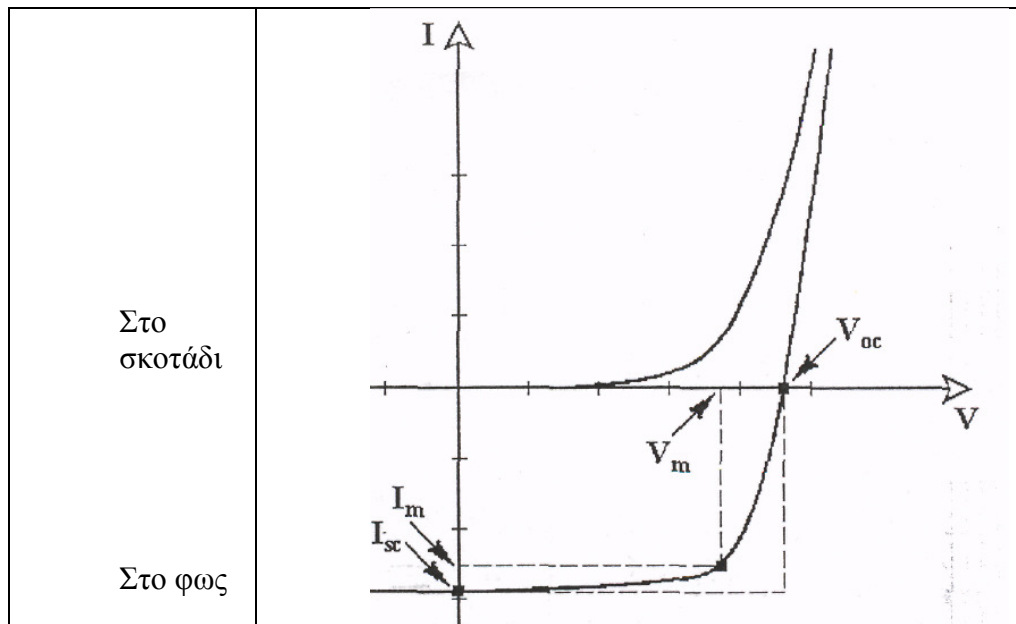
$$I_L = I_{\phi} - I_0 \cdot \left( e^{\frac{e \cdot I_L \cdot R_L}{\gamma \cdot k \cdot T}} - 1 \right)$$



Προφανώς θα υπάρχει κάποια τιμή της αντίστασης, δηλαδή του φορτίου του κυκλώματος, για την οποία η ισχύς που παράγει το φωτοβολταϊκό στοιχείο θα γίνεται μέγιστη ( $P_m = I_m \cdot V_m$ ). Στις συνθήκες αυτές, θα αντιστοιχεί μια βέλτιστη τάση  $V_m$ , που δίνεται από τη λύση της εξίσωσης:

$$\frac{I_\phi}{I_0} + 1 = \left(1 + \frac{e \cdot V_m}{\gamma \cdot k \cdot T}\right) \cdot e^{\frac{e \cdot V_m}{\gamma \cdot k \cdot T}}$$

Στο διάγραμμα του κατωτέρω σχήματος, φαίνονται τα παραπάνω χαρακτηριστικά μεγέθη που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της συμπεριφοράς και λειτουργίας των φωτοβολταϊκών στοιχείων και καθορίζουν την απόδοσή τους.

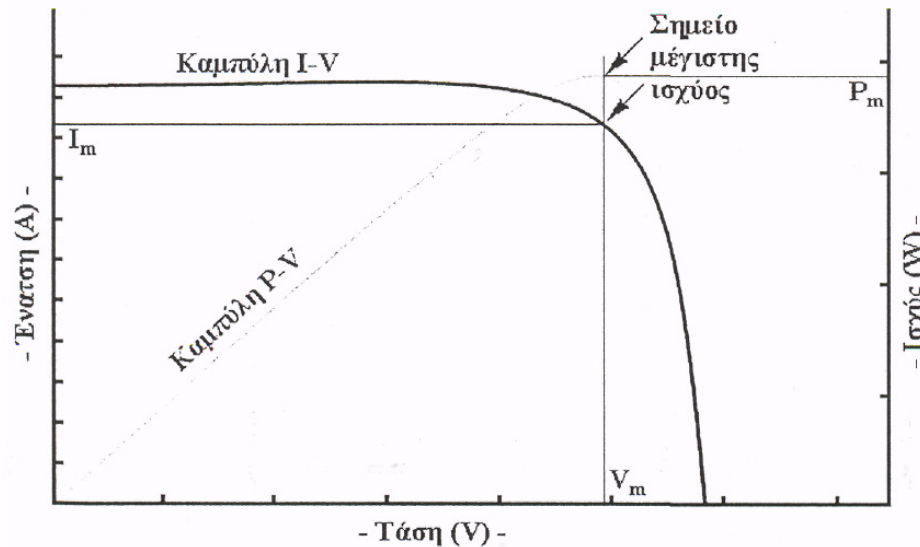


Σχήμα 2.11 Χαρακτηριστική καμπύλη έντασης (I) - τάσης (V) ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου στο σκοτάδι και στο φως.

Ως πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, το φωτοβολταϊκό στοιχείο έχει μια αρκετά ασυνήθιστη συμπεριφορά. Δηλαδή, σε αντίθεση με τις περισσότερες κοινές ηλεκτρικές πηγές οι οποίες διατηρούν περίπου σταθερή τάση στην περιοχή κανονικής τους λειτουργίας, η τάση των φωτοβολταϊκών στοιχείων μεταβάλλεται ριζικά και μη γραμμικά σε συνάρτηση με την ένταση του ρεύματος που δίνουν στο κύκλωμα, έστω και αν η ακτινοβολία παραμένει σταθερή. Επίσης ένας παράγοντας που επιδρά αρνητικά στην απόδοση των φωτοβολταϊκών στοιχείων είναι η θερμοκρασία. Συγκεκριμένα, με την αύξηση της θερμοκρασίας προκαλείται αντίστοιχη αύξηση της ενδογενούς συγκέντρωσης των φορέων του ημιαγωγού, με αποτέλεσμα να πραγματοποιούνται περισσότερες επανασυνδέσεις φορέων. Έτσι, εκδηλώνεται ισχυρότερο ρεύμα διαρροής διαμέσου της διόδου, που συνεπάγεται μείωση της  $V_{oc}$  και αντίστοιχη μείωση της απόδοσης του στοιχείου.

Για σταθερές συνθήκες ακτινοβολίας (και θερμοκρασίας) και για μεταβαλλόμενες τιμές στην αντίσταση του κυκλώματος που τροφοδοτεί το ηλιακό κύτταρο, η τάση και η ένταση του ρεύματος του κυττάρου παίρνουν

ενδιάμεσες τιμές ανάμεσα στις ακραίες που αντιστοιχούν σε μηδενική αντίσταση (βραχυκυκλωμένη κατάσταση με μέγιστη τιμή ρεύματος,  $I_{sc}$  και μηδενική τάση) και άπειρη αντίσταση (ανοιχτοκυκλωμένη κατάσταση με μηδενική τιμή ρεύματος και μέγιστη τιμή τάσης,  $V_{oc}$ ), όπως παρουσιάζεται στο σχήμα .



Σχήμα 2.12 Καμπύλες I-V και P-V φωτοβολταϊκού στοιχείου Si για σταθερές συνθήκες ακτινοβολίας και θερμοκρασίας.

Παράλληλα μεταβάλλεται ομαλά και η ισχύς που παράγει το στοιχείο, με μέγιστη τιμή  $P_m$  σε ένα ορισμένο ζεύγος τιμών τάσης  $V_m$  και έντασης  $I_m$  για το οποίο η καμπύλη της ισχύος ως προς την τάση (P-V) παρουσιάζει μέγιστο. Διαφορετικά μπορεί να ειπωθεί, ότι για τις τιμές αυτές των  $I_m$  και  $V_m$ , το εμβαδόν του ορθογωνίου που σχηματίζεται από την I-V καμπύλη και τους άξονες τάσης και έντασης ρεύματος, γίνεται μέγιστο. Η μαθηματική συνθήκη για το σημείο μέγιστης ισχύος είναι:

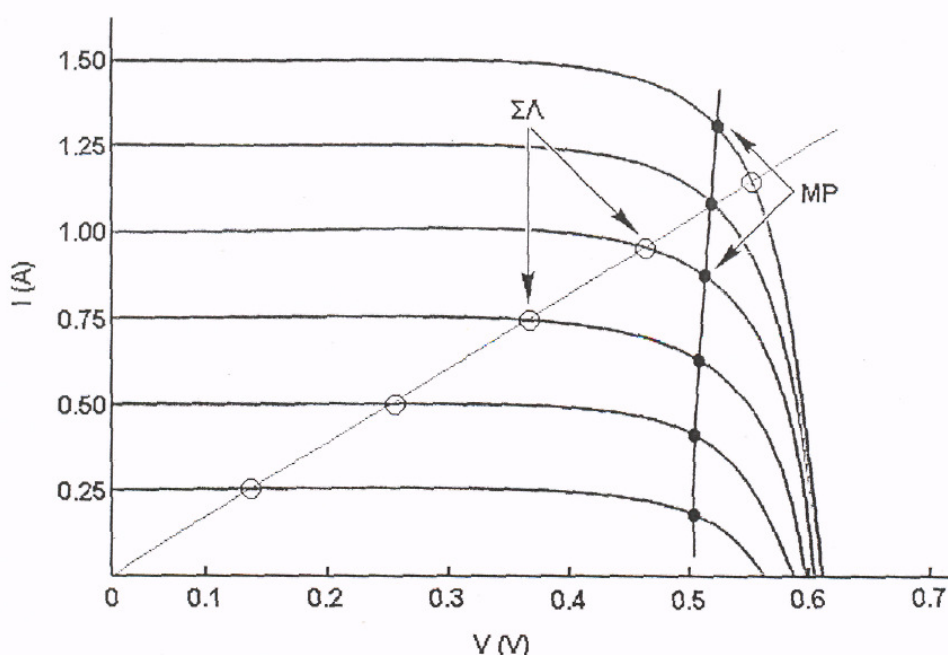
$$dP = \frac{\partial P}{\partial I} \cdot dI + \frac{\partial P}{\partial V} dV = 0 \Rightarrow$$

$$\left( \frac{\partial P}{\partial I} = V, \frac{\partial P}{\partial V} = I \right) \quad \frac{dV}{dI} = -\frac{V_m}{I_m} = R_m$$

όπου  $R_m$  είναι η δυναμική αντίσταση του φωτοβολταϊκού στοιχείου. Αυτή η δυναμική αντίσταση είναι μια συνάρτηση της ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας των στοιχείων. Επομένως για τη μεταφορά μέγιστης ισχύος από τη φωτοβολταϊκή γεννήτρια στο φορτίο ενός φωτοβολταϊκού συστήματος, πρέπει να γίνεται ταίριασμα του φορτίου στη μονίμως μεταβαλλόμενη δυναμική αντίσταση της γεννήτριας. Η μεταβολή της πυκνότητας της ισχύος της ακτινοβολίας συνεπάγεται αντίστοιχη μεταβολή της  $V_{oc}$  και της  $I_{sc}$  από το μηδέν για το σκοτάδι, μέχρι τις μέγιστες τιμές τους για τη μέγιστη ένταση της

ακτινοβολίας. Επίσης, με την αύξηση της θερμοκρασίας παρατηρείται αισθητή μείωση της ανοιχτοκυκλωμένης τάσης,  $V_{oc}$  των φωτοβολταϊκών στοιχείων.

Παρατηρώντας το σχήμα που ακολουθεί, για την ακτινοβολία που δίνει  $I_{SC}=1.25A$  έχουμε περίπου  $I_m=1.1A$  και  $V_m=0.5V$ . Επομένως η κατάλληλη αντίσταση του κυκλώματος για να παράγεται η μέγιστη ηλεκτρική ισχύς από το φωτοβολταϊκό στοιχείο είναι  $R_L=V_m/I_m=0.5/1.1 = =0.455\Omega$ . Η αντίσταση αυτή όπως φαίνεται και στο σχήμα, είναι εντελώς ακατάλληλη για όλες τις άλλες συνθήκες ακτινοβολίας, αφού η ευθεία με κλίση  $1/0.455$  τέμνει τις αντίστοιχες καμπύλες I-V σε σημείο διαφορετικό από το σημείο μέγιστης ισχύος. Η τιμή της εσωτερικής αντίστασης του συσσωρευτή (και σε σχέση με το φορτίο κατανάλωσης) στο αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα καθορίζει κατά πόσο κοντά στο σημείο μέγιστης ισχύος θα λειτουργεί η φωτοβολταϊκή γεννήτρια στα μεταβαλλόμενα επίπεδα της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στα ηλιακά στοιχεία.



**Σχήμα 2.13** Η μετατόπιση των σημείων λειτουργίας ( $\Sigma\Lambda$ ) ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου πυριτίου και η απομάκρυνση του από τα αντίστοιχα σημεία της μέγιστης ισχύος (MP) της I-V καμπύλης, για διαφορετικές συνθήκες ακτινοβολίας αλλά για σταθερή τιμή της αντίστασης του κυκλώματος που τροφοδοτεί το στοιχείο.

Βιβλιογραφία :

1. Κ.Καγκαράκη , Φωτοβολταϊκή τεχνολογία

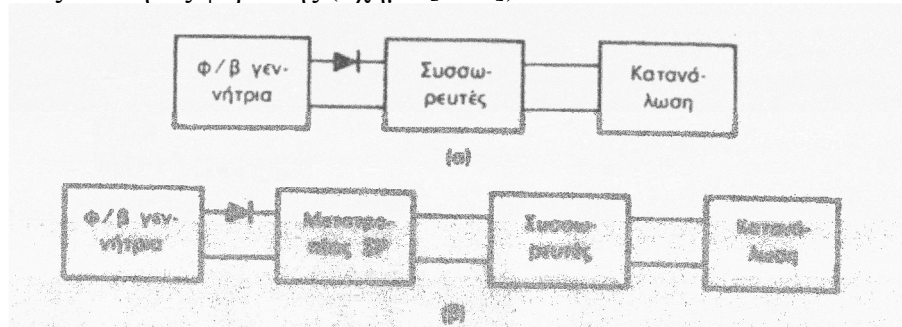
## 2.5 Ρυθμιστές, μετατροπείς και αντιστροφείς

Η καλή λειτουργία και η αυξημένη απόδοση των  $\phi/\beta$  συστημάτων υποβοηθείται συχνά με τη χρησιμοποίηση ειδικών διατάξεων, συνήθως

ηλεκτρονικών ισχύος, που επεξεργάζονται την ηλεκτρική ενέργεια που παράγει η φ/β γεννήτρια.

Σκοπός τους είναι η διατήρηση της τάσης εξόδου του φ/β πλαισίου σε επιθυμητή τιμή.

Η τάση φόρτισης των συσσωρευτών μπορεί να ανεξαρτητοποιηθεί εντελώς από την τάση εξόδου της φ/β γεννήτριας, με την παρεμβολή ενός μετατροπέα συνεχούς ρεύματος. Ο μετατροπέας αυτός περιλαμβάνει την τάση που δίνει η φ/β γεννήτρια, που είναι αναγκαστικά ασταθής λόγω των διακυμάνσεων της ηλιακής ακτινοβολίας, τη μετατρέπει στην εϋνοική τάση για τη φόρτιση των συσσωρευτών και τη σταθεροποιεί, ώστε να εξασφαλίζονται οι βέλτιστες συνθήκες φόρτισης (σχήμα [2.10]).



**Σχήμα 2.14:** Απλοποιημένα διαγράμματα ενός φ/β συστήματος (α) χωρίς ρυθμιστή τάσης (β) με ρυθμιστή για τη φόρτιση των συσσωρευτών στη βέλτιστη τάση. Και στις δύο περιπτώσεις προβλέπεται η τοποθέτηση μιας προστατευτικής διόδου για την αποφυγή της εκφόρτισης των συσσωρευτών διαμέσου της φ/β γεννήτριας, αν μειωθεί σημαντικά η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας.

Όταν οι συσσωρευτές του συστήματος φορτιστούν πλήρως, η περίσσεια του ηλεκτρικού ρεύματος που παράγεται στην φ/β γεννήτρια διοχετεύεται από τον ρυθμιστή προς κατάλληλες αντιστάσεις ή προς τη γη, και έτσι προστατεύονται οι συσσωρευτές από τους κινδύνους της υπερφόρτισης (περισσότερα για τους συσσωρευτές και τη λειτουργία τους σε επόμενη παράγραφο).

Εκτός από το ρυθμιστή τάσης, τα φ/β συστήματα μπορούν να περιέχουν και άλλες ηλεκτρονικές διατάξεις, όπως είναι οι ρυθμιστές ισχύος, γνωστοί με τη συντομογραφία MPPT (από την αγγλική έκφραση maximum power point trackers, δηλ. διατάξεις παρακολούθησης του σημείου της μέγιστης ισχύος). Ο προσδιορισμός τους είναι να επιδιώκουν την λειτουργία της φ/β γεννήτριας στο σημείο της καμπύλης τάσης – έντασης που αντιστοιχεί στη μέγιστη απόδοση, όσο επιτρέπει ο συντελεστής πλήρωσης FF. Στη συνέχεια με το μετατροπέα τάσης, η τάση εξόδου της φ/β γεννήτριας μετατρέπεται στην απαιτούμενη για την φόρτιση των συσσωρευτών του συστήματος. Πάντως, το κόστος των διατάξεων αυτών είναι σημαντικό, και έτσι συνήθως παραλείπονται στα σχετικά μικρής ισχύος συστήματα.

Τέλος, στην έξοδο των φ/β συστημάτων παρεμβάλλεται συχνά ένας αντιστροφέας, που μετατρέπει το συνεχές ρεύμα της φ/β γεννήτριας και των συσσωρευτών σε εναλλασσόμενο, αν αυτό εξυπηρετεί καλύτερα το δίκτυο της τοπικής κατανάλωσης. Κύρια κίνητρα για την προτίμηση της εναλλασσόμενης τάσης, και την τοποθέτηση μεταλλακτών και μετασχηματιστών, είναι ότι οι

ηλεκτρικές συσκευές του εμπορίου είναι συνήθως κατασκευασμένες για εναλλασσόμενο ρεύμα και έχουν μικρότερο κόστος από τις αντίστοιχες του συνεχούς ρεύματος. Επίσης, η ανύψωση της τάσης, που γίνεται συγχρόνως με τη μετατροπή της από συνεχή σε εναλλασσόμενη, συνεπάγεται μείωση των απωλειών στους αγωγούς του δικτύου.

Σημειώνεται πάντως ότι και η λειτουργία των παραπάνω διατάξεων συνοδεύεται με συχνά αξιόλογες απώλειες. Π.χ. ο συντελεστής απόδοσης των διαφόρων ηλεκτρονικών ισχύος είναι συνήθως περίπου 90-95%, εφόσον λειτουργούν κοντά στην ονομαστική τους ισχύ, αλλά γίνεται πολύ μικρότερης όταν η ισχύς είναι μειωμένη.

## **2.6 Δομή, διάρκεια ζωής και κόστος**

Στις σχετικά μεγάλες εγκαταστάσεις, οι διατάξεις αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας χρειάζεται να έχουν αρκετά σημαντική χωρητικότητα και σχηματίζονται από ομάδες μεγάλου πλήθους συσσωρευτών. Η δομή τους είναι σπονδυλωτή, αφού οι ομάδες αυτές αποτελούνται συνήθως από ανεξάρτητους συσσωρευτές. Έτσι, η συνολική χωρητικότητα της διάταξης μπορεί αργότερα να προσαρμοστεί στις μεταβαλλόμενες συνθήκες, με την πάροδο του χρόνου και την ενδεχόμενη εξέλιξη της κατανάλωσης, αυξάνοντας ή μειώνοντας το πλήθος των συσσωρευτών.

Αντικατάσταση των συσσωρευτών θα πρέπει να γίνεται κάθε 2 ως 5 χρόνια, και αυτό λόγω του αριθμού των κύκλων φόρτισης – εκφόρτισης που «αντέχει» κάθε συσσωρευτής. Αντίθετα η διάρκεια ζωής των φ/β πλαισίων και των άλλων μερών του συστήματος είναι πολύ μεγαλύτερη, πάνω από 20 – 30 χρόνια.

Λόγω της κατασκευής τους, οι συσσωρευτές χαρακτηρίζονται από σχετικά μεγάλο βάρος και κόστος. Γι' αυτό είναι συχνά οικονομικότερο να μην επιδιώκεται η πλήρης ικανοποίηση των καταναλώσεων του συστήματος με αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας της φ/β γεννήτριας, αλλά να προτιμάται η τοποθέτηση μιας βοηθητικής ενεργειακής πηγής, συνήθως ενός μικρού ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους ντήζελ, για την αντιμετώπιση των αιχμών της ζήτησης. Έτσι, γίνεται σημαντική μείωση της απαιτούμενης χωρητικότητας των συσσωρευτών, αλλά επίσης και της ισχύος της φ/β γεννήτριας του συστήματος.

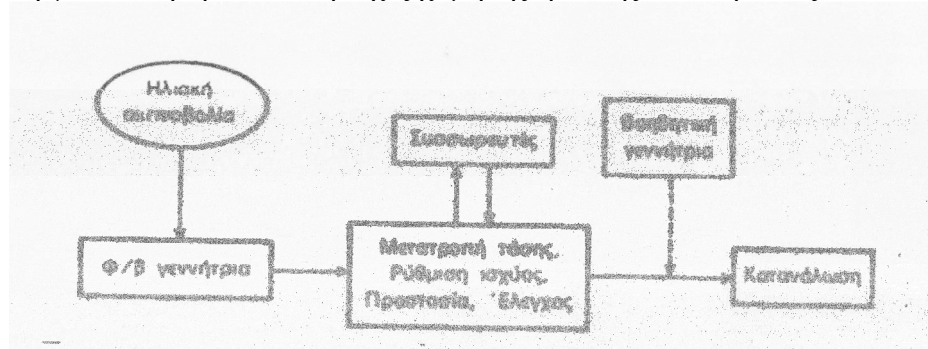
## **2.7. Είδη φ/β συστημάτων**

### **2.7.1. Αυτόνομο φ/β/ σύστημα**

Η συνηθέστερη, και ίσως η πληρέστερη, εφαρμογή της φ/β τεχνολογίας είναι η κατασκευή αυτόνομων φ/β συστημάτων. Δηλ. εγκαταστάσεων που λειτουργούν αυτοδύναμα για την τροφοδότηση καθορισμένων καταναλώσεων, χωρίς να συνδέονται με μεγάλα κεντρικά ηλεκτρικά δίκτυα διανομής, από τα οποία θα μπορούσαν να αντλούν συμπληρωματική ή να στέλνουν την ενδεχόμενη περίσσεια της παραγόμενης φ/β ηλεκτρικής ενέργειας.

Το βασικό συστατικό ενός αυτόνομου φ/β συστήματος, είναι φ/β γεννήτρια, στους ηλιακούς συλλέκτες της οποίας γίνεται η μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια. Συνήθως, όπως δείχνει το σχήμα

[2.11], το σύστημα περιλαμβάνει επίσης, ανάλογα με το είδος της κατανάλωσης και το βαθμό της απαιτούμενης αξιοπιστίας, συσσωρευτές για την αποθήκευση της περίσσειας της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, ώστε να χρησιμοποιηθεί όταν η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι ανεπαρκής ή ανύπαρκτη, διατάξεις για τη ρύθμιση και τη μετατροπή της τάσης και τη ρύθμιση της ισχύος της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, ώστε να αυξηθεί η απόδοση του συστήματος, άλλες διατάξεις προστασίας και ελέγχου και συχνά μια βοηθητική γεννήτρια, συνήθως ένα ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος που να λειτουργεί με καύση βενζίνης ή ντίζελ, για την αντιμετώπιση εκτάκτων περιστάσεων (συντήρηση ή βλάβη του συστήματος, τροφοδότηση πρόσθετων φορτίων, επικουρική λειτουργία σε απρόβλεπτα περιοχές χαμηλής ηλιακής ακτινοβολίας κ.λ.π.).



*Σχήμα 2.15: Παραδείγματα γενικού διαγράμματος ενός αυτόνομου φ/β συστήματος*

Ο συμπληρωματικός εξοπλισμός των φ/β συστημάτων ονομάζεται BOS από τα αρχικά της αγγλικής έκφρασης *balanceofthesystem* (υπόλοιπα του συστήματος).

## 3. Ηλιακή ενέργεια

### 3.1 Γενικά

Η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας για κάλυψη καθημερινών αναγκών δεν είναι κάτι το καινοφανές. Από αρχαιοτάτων χρόνων η ηλιακή ενέργεια αξιοποιήθηκε από τον άνθρωπο στην γεωργία, την κατοικία και την βιομηχανία. Η ηλιακή ενέργεια είναι μια ανανεώσιμη μορφή ενέργειας που είναι φιλική προς το περιβάλλον. Αντίθετα από τα απολιθωμένα καύσιμα, η ηλιακή ενέργεια είναι διαθέσιμη παντού στη γη. Είναι ελεύθερη και ανεπηρέαστη από τις αυξανόμενες τιμές ενέργειας. Η ηλιακή ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί με διάφορους τρόπους : για θέρμανση, φωτισμό και παραγωγή μηχανικής και ηλεκτρικής ενέργειας.

Ο ήλιος εκπέμπει τεράστια ποσότητα ενέργειας ημερησίως. Η ηλιακή ακτινοβολία αξιοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρισμού με δύο τρόπους. Θερμικές και φωτοβολταϊκές εφαρμογές. Η πρώτη είναι η συλλογή της ηλιακής ενέργειας για να παραχθεί θερμότητα, κυρίως για τη θέρμανση του νερού και τη μετατροπή του σε ατμό για την κίνηση τουρμπίνων. Στη δεύτερη εφαρμογή τα φωτοβολταϊκά συστήματα μετατρέπουν το φως του ήλιου σε ηλεκτρισμό με τη χρήση φωτοβολταϊκών κυψελών ή συστοιχιών.

Η ηλιακή ακτινοβολία αποτελείται από ένα σύνολο ηλεκτρομαγνητικών ακτινοβολιών με μήκη κύματος από 0.3 μέχρι 3mm και μπορεί περίπου να εξομοιωθεί με την ακτινοβολία που εκπέμπει ένα μέλαν σώμα σε θερμοκρασία 5762K. Η ένταση της ακτινοβολίας που φτάνει στην γη έξω από την ατμόσφαιρα είναι σταθερή και ανεξάρτητη από τις εποχές του έτους, η λεγόμενη ηλιακή σταθερά  $G_{sc} = 1353W/m^2$ .

Το μέγεθος όμως, η διάρκεια και οι μεταβολές της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στη επιφάνεια της γης σε μια περιοχή ποικίλλει ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου, το ύψος από την επιφάνεια της θάλασσας, την ώρα της ημέρας, την εποχή του έτους και το κλίμα της περιοχής. Επίσης επηρεάζεται σε αξιόλογο βαθμό και από άλλους απρόβλεπτους παράγοντες, όπως οι ηλιακές κηλίδες και εκρήξεις, η ατμοσφαιρική ρύπανση, κ.λ.π.

Το ενδιαφέρον για την ηλιακή ενέργεια εντάθηκε όταν χάρη στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο, διαπιστώθηκε η πρακτική δυνατότητα της εύκολης, άμεσης και αποδοτικής μετατροπής της σε ηλεκτρική ενέργεια με την κατασκευή φωτοβολταϊκών γεννητριών. Η φωτοβολταϊκή μέθοδος μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια έχει κυρίως πλεονεκτήματα, αν εξαιρεθούν το σχετικά υψηλό κόστος για τις περισσότερες εφαρμογές, η αδυναμία της φωτοβολταϊκής γεννήτριας να παράγει συνεχώς ηλεκτρική ενέργεια λόγω των διακυμάνσεων της ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας

Αυτή η τεχνολογία που εμφανίστηκε στις αρχές του 1970 στα διαστημικά προγράμματα των ΗΠΑ έχει μειώσει το κόστος παραγωγής ηλεκτρισμού με αυτόν τον τρόπο από \$300 σε \$4 το Watt. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα χρησιμοποιούνται κυρίως σε αγροτικές και απομακρυσμένες περιοχές όπου η σύνδεση με το δίκτυο είναι πολύ ακριβή. Αν και όλη η γη δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία, η ποσότητά της εξαρτάται κυρίως από τη γεωγραφική θέση, την ημέρα, την εποχή και τη νεφοκάλυψη. Η έρημος δέχεται περίπου το διπλάσιο ποσό ηλιακής ενέργειας από άλλες περιοχές.

### 3.2 Φωτοβολταϊκή ενέργεια.

Το φως του ήλιου μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιώντας τα φωτοβολταϊκά ή ηλιακά κύτταρα. Τα φωτοβολταϊκά κύτταρα (PV) είναι συσκευές ημιαγωγών, συνήθως φτιαγμένες από πυρίτιο, οι οποίες δεν περιέχουν κανένα υγρό, διαβρωτική χημική ουσία ή κινούμενο μέρος. Παράγουν ηλεκτρική ενέργεια με χρήση του φωτός, απαιτούν λίγη συντήρηση, δεν μολύνουν και λειτουργούν σιωπηλά, κάνοντας τη φωτοβολταϊκή ενέργεια την καθαρότερη και ασφαλέστερη μέθοδο ηλεκτρικής παραγωγής.

Τα ηλιακά ηλεκτρικά ή φωτοβολταϊκά συστήματα μετατρέπουν ένα ποσοστό της ηλιακής ενέργειας άμεσα σε ηλεκτρική. Το πυρίτιο, το δεύτερο αφθονότερο στοιχείο στον φλοιό της γης, είναι το ίδιο υλικό ημιαγωγών που χρησιμοποιείται στους υπολογιστές. Όταν το πυρίτιο συνδυάζεται με ένα ή περισσότερα υλικά, παρουσιάζει ηλεκτρικές ιδιότητες στο φως του ήλιου. Τα ηλεκτρόνια διεγείρονται από το φως και κινούνται μέσω του πυριτίου. Αυτό είναι γνωστό ως φωτοβολταϊκή επίδραση και οδηγεί στην άμεση παραγωγή συνεχούς ηλεκτρικής ενέργειας (DC). Τα Φ/Β πλαίσια έχουν μια οικονομικά ενεργή ζωή 20 - 30 ετών.

Η Φ/Β ενέργεια είναι μια από τις πιο ελπιδοφόρες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στον κόσμο. Αντίθετα από τον άνθρακα, το φυσικό αέριο, το πετρέλαιο, κ.λ.π. Τα πλεονεκτήματα είναι σαφή: είναι συνολικά μη ρυπαντικό, δε χρειάζεται βοήθεια από μηχανές, και δεν απαιτεί πολλή συντήρηση. Ένα πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό της φωτοβολταϊκής ηλεκτρικής παραγωγής είναι ότι δεν απαιτεί μια εγκατάσταση μεγάλης κλίμακας για να λειτουργήσει, σε αντίθεση με τους κοινούς σταθμούς ηλεκτρικής παραγωγής. Οι ηλιογεννήτριες μπορούν να εγκατασταθούν σε κάθε σπίτι ή επιχείρηση ή σχολείο, και να παράγουν ισχύ ήσυχα και ακίνδυνα.

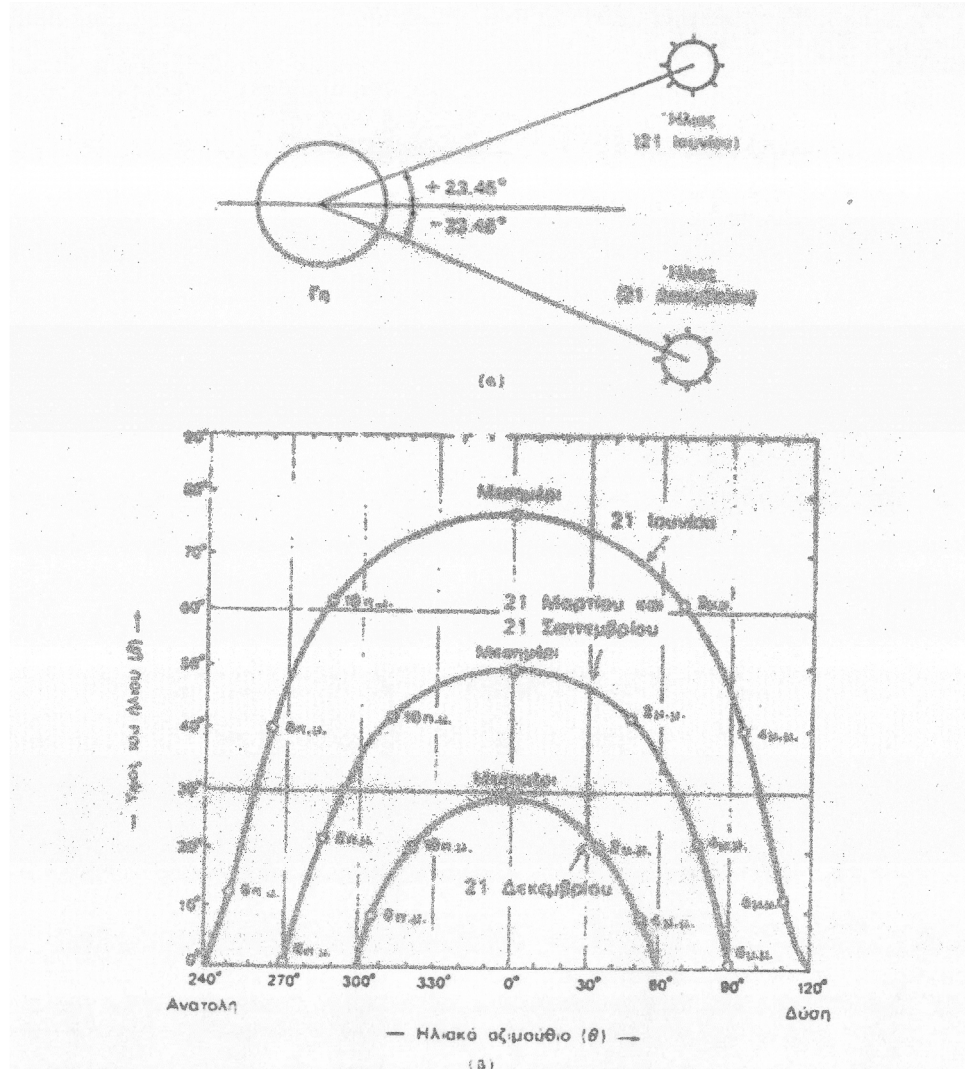
Ένα βασικό μειονέκτημα ενός φωτοβολταϊκού συστήματος είναι ότι, σε αντίθεση με πολλά άλλα συστήματα μετατροπής, η τροφοδοσία του (ηλιακή ακτινοβολία) δεν είναι καθόλου σταθερή αλλά αυξομειώνεται μεταξύ μιας μέγιστης και της μηδενικής τιμής, ακολουθώντας συχνά απότομες και απρόβλεπτες διακυμάνσεις. Το ποσό της ενέργειας που περιέχεται στο φως του ήλιου, ονομάζεται ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας και με μία πιο αυστηρή ορολογία, ροή ακτινοβολίας που ορίζεται ως το ποσό της ενέργειας της ακτινοβολίας που περνά στη μονάδα του χρόνου από τη μονάδα εμβαδού μιας επιφάνειας τοποθετημένης κάθετα στην κατεύθυνση της ακτινοβολίας και εκφράζεται συνήθως σε  $\text{kW/m}^2$ . Επίσης στα φωτοβολταϊκά στοιχεία δεν είναι δυνατή η μετατροπή σε ηλεκτρική ενέργεια του συνόλου της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχονται στην επιφάνεια τους. Ένα μέρος από την προσπίπτουσα ακτινοβολία ανακλάται πάνω στην επιφάνεια του στοιχείου και διαχέεται πάλι προς το περιβάλλον, ενώ από τη ακτινοβολία που διεισδύει ένα μέρος πάλι συμβάλει στην εκδήλωση του φωτοβολταϊκού φαινομένου.

### 3.3 Ηλιακή γεωμετρία

Ο σημαντικότερος παράγοντας που διαμορφώνει την ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας είναι η θέση του ήλιου σε σχέση με το σημείο της γης που δέχεται την ακτινοβολία. Κατά τη διάρκεια μιας χρονιάς, η θέση του ήλιου παίρνει πολύ



διαφορετικές τιμές, σαν αποτέλεσμα της μεταβολής της απόκλισης ( $\delta$ ), δηλ. της γωνίας που σχηματίζεται ανάμεσα στην ευθεία που ενώνει το κέντρο της γης με το κέντρο του ήλιου, και το επίπεδο του ισημερινού (Σχήμα [3.1]). Οι τιμές της απόκλισης του ήλιου είναι θετικές για το βόρειο ημισφαίριο και αρνητικές για το νότιο.

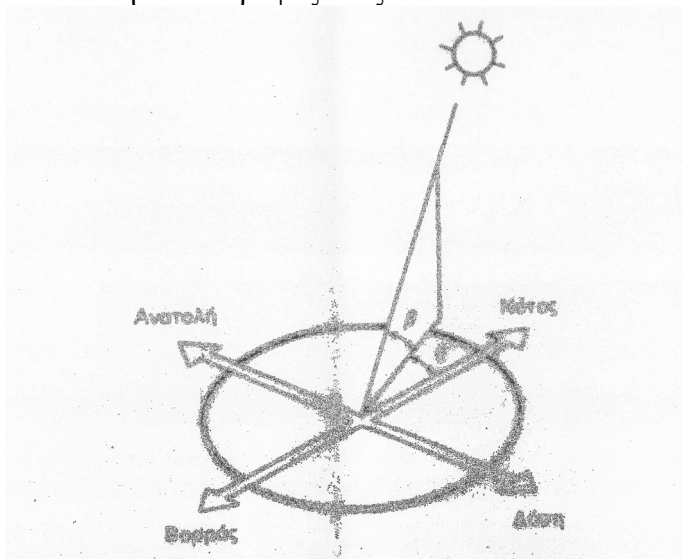


**Σχήμα 3.1:** Η μεταβολή της απόκλισης και η επίδραση της στην τροχιά του ήλιου στον ουρανό (α). Η ακραία απόκλιση του ήλιου κατά το θερινό και το χειμερινό ηλιοστάσιο. (β) Παραδείγματα των αντίστοιχων τροχιών που διαγράφει ο ήλιος στον ουρανό στη διάρκεια της ημέρας, κατά τα ηλιοστάσια καθώς και τις ισημερίες, σε τοποθεσία, γεωγραφικό πλάτος βόρειο  $38^\circ$ , όπως η Αθήνα. Οι ενδείξεις του μεσημεριού και των ωρών της ημέρας είναι σε ηλιακές τιμές.

Ιδιαίτερα χρήσιμα μεγέθη για την γενική εκτίμηση της καθημερινής και της εποχιακής διακύμανσης της ακτινοβολίας σε ένα τόπο, είναι η θεωρητική ηλιοφάνεια, δηλ. το χρονικό διάστημα από την ανατολή μέχρι τη δύση του ήλιου, καθώς και η μέση πραγματική ηλιοφάνεια που δείχνει μέσο όρο των ωρών που ο ήλιος δεν καλύπτεται από τα σύννεφα. Επίσης, ο αριθμός των ηλιοφεγγών ημερών, στη διάρκεια των οποίων ο ήλιος δεν καλύπτεται καθόλου

από σύννεφα, καθώς και των ανήλιων ημερών, που ο ήλιος καλύπτεται από σύννεφα καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας.

Η θέση του ήλιου στον ουρανό ενός τόπου περιγράφεται από δύο γωνίες : το ύψος και το αζιμούθιο. Το ύψος του ήλιου ( $\beta$ ) είναι η γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στην κατεύθυνση του ήλιου και στον ορίζοντα (Σχήμα [3.2]). Αντί για το ύψος, χρησιμοποιείται συχνά η συμπληρωματική της γωνία, δηλ. η γωνία ανάμεσα στην κατεύθυνση του ήλιου και στην κατακόρυφο, που ονομάζεται ζενιθιακή απόσταση (ή ζενιθιακή γωνία) του ήλιου. Ζενίθ είναι το σημείο του ουρανού που συναντά η κατακόρυφος ενός τόπου.



**Σχήμα 3.2:** Οι γωνίες του ύψους  $\beta$  και του αζιμούθιου  $\theta$ , που περιγράφουν κάθε στιγμή τη θέση του ήλιου στον ουρανό.

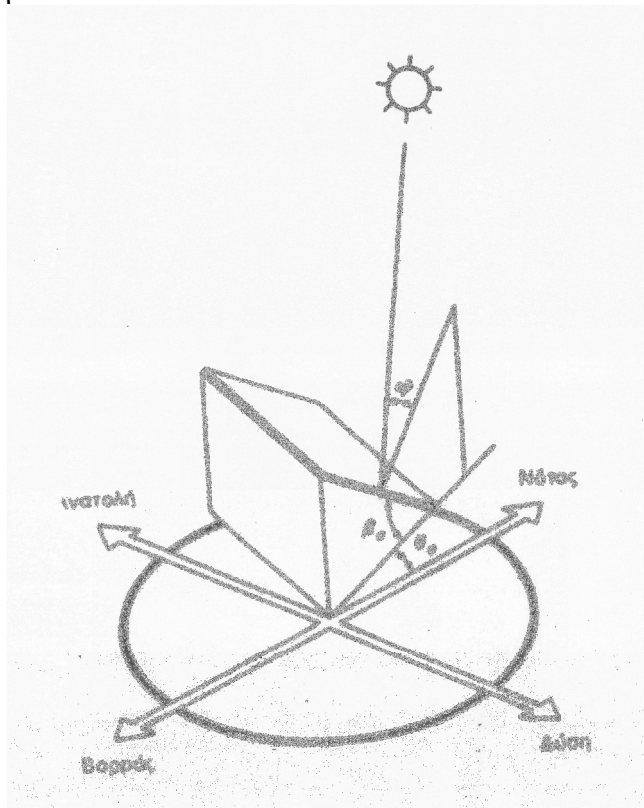
Το ηλιακό αζιμούθιο ( $\theta$ ) είναι η γωνία που σχηματίζεται πάνω στο οριζόντιο επίπεδο ανάμεσα στην προβολή της κατεύθυνσης του ήλιου και στον τοπικό μεσηβρινό βορρά – νότου. Δεξιά από τον νότο το αζιμούθιο παίρνει θετικές τιμές, και προς τα αριστερά αρνητικές. Κατά τη διάρκεια της ημέρας, το ύψος του ήλιου και το αζιμούθιο μεταβάλλονται συνεχώς καθώς ο ήλιος διατρέχει τον ουρανό.

### 3.2.1 Προσανατολισμός του συλλέκτη

Από τα πιο σημαντικά στοιχεία κάθε συστήματος που εκμεταλλεύεται την ηλιακή ενέργεια είναι ο προσανατολισμός του ηλιακού συλλέκτη σε σχέση με την κατεύθυνση της ηλιακής ακτινοβολίας. Ο προσανατολισμός ενός επιπέδου στην επιφάνεια της γης περιγράφεται από δύο γωνίες : την κλίση και την αζιμούθια γωνία (Σχήμα [3.3]). Η κλίση του συλλέκτη ( $\beta_s$ ) είναι η διέδρη γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στο επίπεδο του συλλέκτη και στον ορίζοντα. Δείχνει πόσο γέρνει ο συλλέκτης και μπορεί να πάρει τιμές από  $0-180^\circ$ . Για γωνίες μεγαλύτερες των  $90^\circ$ , το επίπεδο του συλλέκτη είναι στραμμένο προς τα κάτω.

Η αζιμούθια γωνία του συλλέκτη ( $\theta_s$ ) είναι η γωνία που σχηματίζεται πάνω στο οριζόντιο επίπεδο ανάμεσα στην προβολή της κατακόρυφου του

συλλέκτη και στον τοπικό μεσημβρινό βορρά – νότου. Παίρνει τιμές από  $-180^{\circ}$  μέχρι  $+180^{\circ}$ . Η γωνία  $-180^{\circ}$  αντιστοιχεί σε τοποθέτηση του συλλέκτη προς το βορρά, η γωνία  $-90^{\circ}$  προς την ανατολή, η γωνία  $0^{\circ}$  προς το νότο και η γωνία  $+90^{\circ}$  προς τη δύση.



**Σχήμα 3.3 :** Η κλίση  $\beta_{\sigma}$  και η αζιμούθια γωνία  $\theta_{\sigma}$  που χαρακτηρίζουν τον προσανατολισμό ενός επιπέδου ηλιακού συλλέκτη στην επιφάνεια της γης.

Η πυκνότερη ισχύς μιας δέσμης ηλιακής ακτινοβολίας πάνω σε ένα επίπεδο συλλέκτη θα πραγματοποιείται όταν η επιφάνεια του είναι κάθετη προς την κατεύθυνση της ακτινοβολίας, δηλ. όταν η γωνία πρόσπτωσης ( $\varphi$ ) είναι  $0^{\circ}$ . Η συνθήκη όμως αυτή δεν είναι εύκολο να εξασφαλιστεί καθώς ο ήλιος συνεχώς μετακινείται στον ουρανό κατά τη διάρκεια της ημέρας. Για το λόγο αυτό έχουν κατασκευαστεί μηχανικές διατάξεις που επαναπροσανατολίζουν συνεχώς το συλλέκτη, ώστε η επιφάνεια του να αντικρίζει πάντα κάθετα τον ήλιο. Οι διατάξεις όμως αυτές είναι πολύπλοκες και δαπανηρές και η χρήση τους δικαιολογείται μόνο σε ειδικές περιπτώσεις εφαρμογών, όπως στα συστήματα συγκεντρωτικής ακτινοβολίας με φακούς ή κάτοπτρα.

### 3.2.2 Βέλτιστη κλίση

Συνήθως οι συλλέκτες τοποθετούνται με σταθερή κλίση και αζιμούθια γωνία και επιλέγονται κατά τέτοιο τρόπο ώστε η γωνία της πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας να είναι όσο το δυνατό μικρότερη, κατά τη διάρκεια του έτους. Η γωνία πρόσπτωσης της ακτινοβολίας συνδέεται με τις άλλες γωνίες της ηλιακής γεωμετρίας με τη σχέση :

$$\text{συν}\varphi = \text{συν}\beta \cdot \eta\mu\beta_{\sigma}\text{συν}(\theta_{\sigma}-\theta) + \eta\mu\beta \cdot \text{συν}\beta_{\sigma} \quad (3.1)$$

Στο βόρειο ημισφαίριο η βέλτιστη κλίση του συλλέκτη, για τη διάρκεια όλου του έτους, είναι ίση με τη γεωγραφική παράλληλο του τόπου, και η αζιμούθια γωνία είναι  $0^{\circ}$ . Λόγω της μεταβολής της απόκλισης του ήλιου στη διάρκεια του έτους, η βέλτιστη κλίση του συλλέκτη είναι διαφορετική για κάθε εποχή.

### 3.2.3 Ένταση της ακτινοβολίας

Κάθε φ/β σύστημα τροφοδοτείται με ηλιακή ενέργεια και παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Η τροφοδοσία του όμως δεν είναι σταθερή, αλλά αυξομειώνεται μεταξύ μιας μέγιστης και της μηδενικής τιμής, ακολουθώντας συχνά απρόβλεπτες και απότομες διακυμάνσεις.

Δεδομένου ότι η ηλιακή ακτινοβολία είναι διάχυτη και διαδίδεται προς διάφορες κατευθύνσεις, ως μέτρο του ποσού της ενέργειας που περνά στη μονάδα ρου χρόνου από τη μονάδα μιας επιφάνειας χρησιμοποιείται ο όρος ένταση ακτινοβολίας. Με τον ίδιο όρο χαρακτηρίζεται και η πυκνότητα της ηλιακής ενέργειας που δέχεται μια επιφάνεια σε ένα καθορισμένο χρονικό διάστημα. Στο σχεδιασμό των φ/β συστημάτων χρησιμοποιείται συνήθως ως μετεωρολογικό δεδομένο η μέση ηλιακή ενέργεια ανά τετραγωνικό μέτρο οριζόντιας επιφάνειας και ανά ημέρα ( $\text{KWh/m}^2 \cdot \text{day}$ ).

### 3.2.4 Ολική ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο

Η εύρεση της μέσης μηνιαίας τιμής της ακτινοβολίας γίνεται από μετρήσεις τουλάχιστον δέκα ετών. Οι μετρήσεις της ηλιακής ακτινοβολίας είναι η καλύτερη πηγή πληροφοριών. Στην περίπτωση που δεν υπάρχουν, είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν εμπειρικές σχέσεις, για να εκτιμηθεί η ολική ακτινοβολία, σε οριζόντιο επίπεδο ενός τύπου. Οι εμπειρικές αυτές σχέσεις λαμβάνουν ως βάση την ακτινοβολία της ατμόσφαιρας και τις ώρες ηλιοφάνειας ενός τόπου ή το ποσοστό νεφοκάλυψης.

### 3.2.5 Άμεση, διάχυτη και ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία

Η ολική ακτινοβολία που προσπίπτει σε μια επιφάνεια απαρτίζεται από τρία μέρη

- ♦ Την άμεση,  $I_b$  που έρχεται κατευθείαν από τον ήλιο
- ♦ Την διάχυτη,  $I_d$  που προέρχεται από όλο τον ουράνιο θόλο και γεννάται κατά τη σκέδαση της άμεσης ακτινοβολίας σε άτομα, μόρια και αιωρούμενα σωματίδια και
- ♦ Την ανακλώμενη,  $I_r$  που προέρχεται από διάφορες γειτονικές επιφάνειες όταν η επιφάνεια αναφοράς είναι κοντά σε κτίρια υψώματα, ή δεν ορίζονται όποτε δέχεται ακτινοβολία από το έδαφος.

Έτσι, μπορούμε να γράψουμε:

$$I = I_b + I_d + I_r \quad (3.2)$$

Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω, άμεση είναι η ακτινοβολία που προέρχεται από τον ηλιακό δίσκο, έχει ορισμένη κατεύθυνση για ορισμένο επίπεδο αναφοράς και ορισμένη χρονική στιγμή. Με καθαρό ουρανό αποτελεί

το μεγαλύτερο ποσοστό της ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει στο επίπεδο αναφοράς αλλά αυτή η αναλογία διαφοροποιείται λόγω σκόνης, καπνού, αιωρούμενων σωματιδίων και ανατρέπεται τις συννεφιασμένες μέρες.

Διάχυτη είναι η ακτινοβολία που προέρχεται από όλο τον υπόλοιπο ουράνιο θόλο, εκτός του ηλιακού δίσκου. Είναι ισχυρότερη στο τμήμα του ουρανού κοντά στον ήλιο και γίνεται ασθενέστερη μακριά από τον ηλιακό δίσκο, σε περίπτωση καθαρού χωρίς σύννεφα ή σκόνη ουρανού. Στην περίπτωση που το επίπεδο αναφοράς είναι οριζόντιο, δέχεται τη διάχυτη ακτινοβολία από ολόκληρο του ουράνιο θόλο εφόσον μεσολαβούν φυσικά ή τεχνητά εμπόδια (π.χ. λόφοι, κτίρια, κ.λ.π). Το κατακόρυφο επίπεδο δέχεται τη μισή διάχυτη ακτινοβολία για τις ίδιες συνθήκες. Οποσδήποτε ούτε τις συγκεκριμένες και ομιχλώδεις ημέρες ούτε τις καθαρές είναι ισοτροπική. Ωστόσο για πρακτικές εφαρμογές γίνεται η παραδοχή ότι είναι ισοτροπική.

Η ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία φτάνει στο επίπεδο αναφοράς μετά από ανάκλαση σε φυσικές ή τεχνητές, που υπάρχουν στο περιβάλλοντα χώρο. Έτσι η γνώση της απαιτεί κάθε φορά καλή γνώση της τοπογραφίας του χώρου και του δείκτη ανακλαστικότητας των επιφανειών, που ανακλούν την ηλιακή ακτινοβολία. Οι Liu και Jordan δέχονται ως δείκτη ανακλαστικότητας του εδάφους 0.2 ενώ της επιφάνειας που είναι στρωμένη με χιόνι 0.7.

## 4. Τεχνικά μέρη project

### 4.1 Γιλέκο



Ανδρικό γιλέκο 100% πολυεστέρας με πλήρες φερμουάρ μπροστά και fleece επένδυση του σώματος.

### 4.2 Φωτοβολταϊκο πάνελ



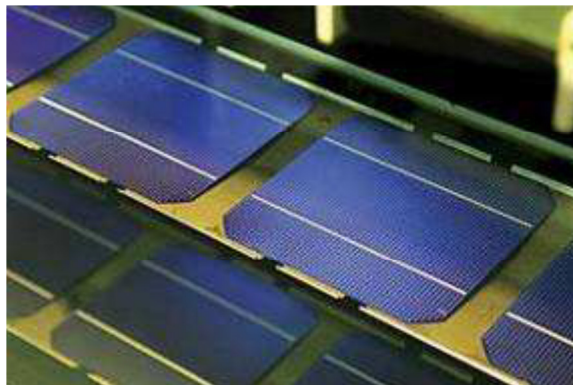
#### 4.2.1 Πως κατασκευάζονται τα φωτοβολταϊκά πάνελ

Το υλικό που χρησιμοποιείται σήμερα περισσότερο για την κατασκευή φωτοβολταϊκών στοιχείων στην βιομηχανία είναι το πυρίτιο. Το πυρίτιο σήμερα, αποτελεί την πρώτη ύλη για το 90% της αγοράς των φωτοβολταϊκών. Αν υπάρχουν αρκετές τεχνολογίες διαφορετικές μεταξύ τους, η πιο συνήθης είναι αυτή του κρυσταλλικού πυριτίου πρώτη ύλη για την παραγωγή αυτών των στοιχείων είναι το διοξείδιο του πυριτίου που το παίρνουν από χαλαζιακά πετρώματα.



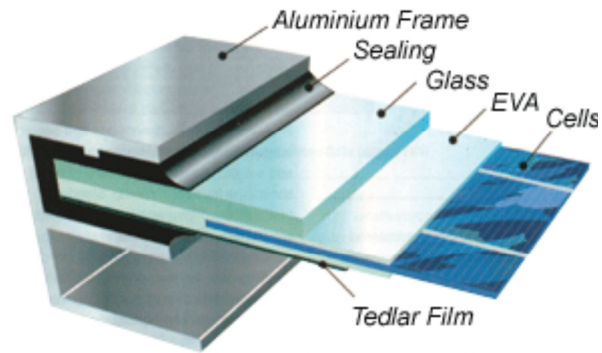
Πυρίτιο

Το πυρίτιο, αφού υποστεί ειδική επεξεργασία (καθαρισμό σε υψηλό βαθμό >99,99999%, αντίστοιχο αυτού που πούχουν τα chips για τους υπολογιστές) γίνεται πολύ λεπτός φέτες (ηλιακά στοιχεία ή αλλιώς ηλιακές κυψέλες) που ενώνονται ηλεκτρικά μεταξύ τους για να σχηματίσουν το φωτοβολταϊκό πλαίσιο.

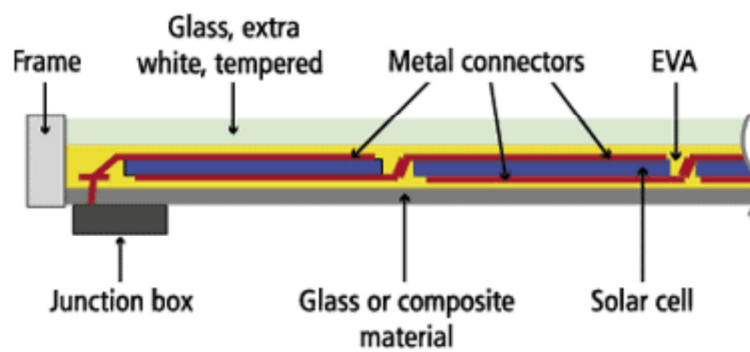


Ηλιακή συστοιχία

Το παρακάτω διάγραμμα δείχνει πως γίνεται η συναρμολόγηση των ηλιακών στοιχείων σε φωτοβολταϊκό πλαίσιο.



Laminated Solar Module Glass-Tedlar



Συνήθως δηλαδή, τα ηλιακά στοιχεία περιβάλλονται από ένα λεπτό φιλμ EVA (πάχους 0,25-0,5 mm), ενώ στην πάνω πλευρά μπαίνει και ένα ενισχυμένο γυαλί (ειδικό γυαλί μεαντιανακλαστική στρώση και μεγάλη αντοχή). Από κάτω μπαίνει ή μία στρώση tedlar ή κάποιο άλλο υλικό (π.χ. γυαλί ή μέταλλο). Οι στρώσεις αυτές των υλικών συνήθως ενθυλακώνονται σε ένα πλαίσιο αλουμινίου. Στο πίσω μέρος μπαίνει ένα junction box από πολυεστέρα για τη σύνδεση των καλωδίων το οποίο προσκολλάται με κόλλα σιλικόνης



Φωτοβολταϊκά πλαίσια





Η διαδικασία παραγωγής κρυσταλλικών φωτοβολταϊκών

**Στάδιο 1:** Επεξεργασία της “πρώτης ύλης” (“Casting and Wafering”, δηλαδή κρυστάλλωση με θερμική διεργασία του πυριτίου σε κυλινδρικούς μονοκρυστάλλους ή πολυκρυσταλλικές χελώνες ή κατευθείαν σε πολυκρυσταλλικά δισκία πυριτίου και κοπή των παραπάνω σε λεπτά δισκία ή φέτες πυριτίου).

**Στάδιο 2:** Παραγωγή ηλιακών στοιχείων



Μονάδα παραγωγής ηλιακών στοιχείων

**Στάδιο 3:** Συναρμολόγηση φωτοβολταϊκών πλαισίων



Συναρμολόγηση φωτοβολταϊκών πλαισίων

Δυο τύποι πυριτίου χρησιμοποιούνται για την δημιουργία φωτοβολταϊκών στοιχείων: το άμορφο και το κρυσταλλικό πυρίτιο, ενώ το κρυσταλλικό πυρίτιο διακρίνεται σε *μονοκρυσταλλικό* ή *πολυκρυσταλλικό*. Το άμορφο και το κρυσταλλικό πυρίτιο παρουσιάζουν τόσο πλεονεκτήματα, όσο και μειονεκτήματα, και κατά τη μελέτη του φωτοβολταϊκού συστήματος γίνεται η αξιολόγηση των ειδικών συνθηκών της εφαρμογής (κατεύθυνση και διάρκεια της ηλιοφάνειας, τυχόν σκιάσεις κλπ.) ώστε να επιλεγεί η κατάλληλη τεχνολογία.

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

Ιδιαίτερα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών. Το πυρίτιο, ανάλογα με την επεξεργασία του, δίνει μονοκρυσταλλικά, πολυκρυσταλλικά ή άμορφα υλικά, από τα οποία παράγονται τα φωτοβολταϊκά στοιχεία (κυψέλες). Τα πάνελ συνήθως αποτελούνται από:

- Ένα ηλιακό γυαλί με προ-τοποθετημένη την ειδικά επεξεργασμένη μεμβράνη προστασίας (EVA). Πρόκειται ουσιαστικά για ένα σκληρυσμένο, προεντεταμένο ηλιακό γυαλί.
- Ηλιακές φωτοβολταϊκές κυψέλες ενωμένες σε στοιχειοσειρές.
- Μία υαλώδη μεμβράνη ειδικής επεξεργασίας (EVA) καθώς και μια μονωτική μεμβράνη στην πίσω πλευρά.

Και τα τρία παραπάνω στρώματα δημιουργούν ένα ανθεκτικό ελασματοποιημένο φύλλο, πολύ ανθεκτικό στις καιρικές συνθήκες, το οποίο τοποθετείται σε ένα σταθεροποιητικό πλαίσιο αλουμινίου και μια υποδοχή σύνδεσης.

#### **4.2.2 Κατηγορίες φωτοβολταϊκών πάνελ**

##### **Μονοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά πάνελ:**

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

##### Χαρακτηριστικά:

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

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

Χαρακτηριστικά:

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

**Πάνελ λεπτού υμενίου (thinfilm):**

Πρόκειται για μια ευρύτερη κατηγορία, που περιλαμβάνει τα λεγόμενα πάνελ «τρίτης γενιάς» που προέρχονται από πολλές διαφορετικές μεθόδους παραγωγής και επεξεργασίας (π.χ. άμορφου πυριτίου (a-Si), Δισεληνοϊνδιούχου χαλκού (CuInSe<sub>2</sub> ή CIS), ΤελουριούχουΚαδμίου (CdTe), Αρσενικούχου Γαλλίου (GaAs) κλπ). Τα πάνελ άμορφου πυριτίου που είναι και τα πλέον διαδεδομένα αυτής της κατηγορίας, αποτελούνται από ταινίες λεπτών επιστρώσεων οι οποίες παράγονται με την εναπόθεση ημιαγωγού υλικού (πυρίτιο στην περίπτωση μας) πάνω σε υπόστρωμα υποστήριξης, χαμηλού κόστους όπως από γυαλί ή αλουμίνιο. Ο χαρακτηρισμός άμορφο φωτοβολταϊκό προέρχεται από τον τυχαίο τρόπο με τον οποίο είναι διατεταγμένα τα άτομα του πυριτίου.


Χαρακτηριστικά:

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

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

Χαρακτηριστικά:

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

ΤΥΠΟΣ	Λεπτού υμενίου	Πολυκρυσταλλικά	Μονοκρυσταλλικά
Εμφάνιση			
Απόδοση ανά Μονάδα επιφάνειας	a-Si: 4,5-6,5% μ-Si: 8-9% CIS-CIGS: 6-12% CdTe: 6-11%	11-16%	11-19%
Επιφάνεια ανά kWp	9-25 m <sup>2</sup>	7-9 m <sup>2</sup>	5,5-9 m <sup>2</sup>

**Συμπεράσματα**

Διαβάζοντας ονομαστικά τα τεχνικά χαρακτηριστικά της κάθε κατηγορίας, σε συνδυασμό και με τα κοστολογικά χαρακτηριστικά τους, δεν προκύπτει ένα μοναδικό στοιχείο που να στρέφει την επιλογή μας σε κάποια συγκεκριμένη κατηγορία. Οι αποδόσεις είναι λίγο ως πολύ ίδιες και τα κόστη επίσης. Άρα, η επιλογή φωτοβολταϊκών πάνελ έχει να κάνει κατά κύριο λόγο με τις ιδιαιτερότητες της κάθε μιας εγκατάστασης ξεχωριστά και, όταν λέμε ιδιαιτερότητες, εννοούμε, το διαθέσιμο χώρο, τον προσανατολισμό και την κλίση της και ίσως και με την προσωπική χρωματική επιλογή (μαύρου ή μπλε χρώματος). Για την σωστή απόφαση επιλογής φωτοβολταϊκού συστήματος στο

project έχουμε κάνει ανάλυση και έχουμε συμπεριλάβει στην μελέτη της μας όλα τα χαρακτηριστικά και τις ιδιαιτερότητες της εγκατάστασης, έτσι ώστε να πετύχουμε το βέλτιστο αποτέλεσμα για τον τελικό μας στόχο. Βάση λοιπόν της σχέσης απόδοσης-κόστους επιλέξαμε τον τύπο μονοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά πάνελ γιατί καλύπτει σε μεγάλο βαθμό τις ανάγκες του project. Επίσης μεγάλο ρόλο στην επιλογή μας έπαιξε ο βαθμός απόδοσης που έχουν τα μονοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά πάνελ.

### **Βαθμός απόδοσης**

Ο βαθμός απόδοσης εκφράζει το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια στο φωτοβολταϊκό στοιχείο. Τα πρώτα φωτοβολταϊκά στοιχεία, που σχεδιάστηκαν τον 19ο αιώνα, δεν είχαν παρά 1-2% απόδοση, ενώ το 1954 τα εργαστήρια *Bell Laboratories* δημιούργησαν τα πρώτα Φ/Β στοιχεία πυριτίου με απόδοση 6%. Στην πορεία του χρόνου όλο και αυξάνεται ο βαθμός απόδοσης: η αύξηση της απόδοσης, έστω και κατά μια ποσοστιαία μονάδα, θεωρείται επίτευγμα στην τεχνολογία των φωτοβολταϊκών. Στην σημερινή εποχή ο τυπικός βαθμός απόδοσης ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου βρίσκεται στο 13 – 19%, ο οποίος, συγκρινόμενος με την απόδοση άλλου συστήματος (συμβατικού, αιολικού, υδροηλεκτρικού κλπ.), παραμένει ακόμη αρκετά χαμηλός. Αυτό σημαίνει ότι το φωτοβολταϊκό σύστημα καταλαμβάνει μεγάλη επιφάνεια προκειμένου να αποδώσει την επιθυμητή ηλεκτρική ισχύ.

### **Τι προδιαγραφές έχουν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια που κυκλοφορούν στην ευρωπαϊκή αγορά;**

Για να κυκλοφορήσει ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο στην ευρωπαϊκή αγορά πρέπει να πληροί κάποιες προδιαγραφές ανάλογα με την τεχνολογία του. Συγκεκριμένα, τα

Κρυσταλλικά φωτοβολταϊκά πρέπει να πληρούν τις προδιαγραφές CEC 503 ή EN 61215 ή IEC 61215 ή ισοδύναμες, ενώ τα thin-film την προδιαγραφή IEC 61646 ή ισοδύναμες. Αντιστοίχως, οριαντιστροφείς πρέπει να πληρούν τις προδιαγραφές του προτύπου DIN EN 60529.

Μεταξύ των άλλων, οι προδιαγραφές αυτές προβλέπουν μια σειρά από τεστ που εγγυώνται την αντοχή και καλή λειτουργία των πλαισίων. Τα τεστ αυτά περιλαμβάνουν δοκιμές σε εξειδικευμένα εργαστήρια για αντοχή των πλαισίων σε ακραίες συνθήκες, υψηλές ή πολύχαμηλές θερμοκρασίες, υψηλή υγρασία, χαλαζόπτωση, πιέσεις, ελκυσμούς και ταλαντώσεις. Για παράδειγμα, το τεστ αντοχής σε χαλαζόπτωση περιλαμβάνει 'βομβαρδισμό' του πλαισίου με κομμάτια πάγου διαμέτρου 2,5 εκατοστών και με ταχύτητα 23 m/s υπό 11 διαφορετικές γωνίες πρόσκρουσης. Αν το πλαίσιο δεν περάσει τα τεστ, πολύ απλά το προϊόν αυτό δεν παίρνει πιστοποίηση και δεν πρόκειται να έχει εμπορικό μέλλον.

### **4.3 Καλώδιο**



Το καλώδιο είναι μια κατασκευή που σκοπό έχει την μεταφορά ηλεκτρικού ρεύματος ή μηχανικών δυνάμεων. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται δυο ή περισσότερα συρματα,συνηθως πλεγμένα το ένα γύρω από το άλλο. Στην ηλεκτρολογία, καλώδιο ονομάζεται ένας μόνιμος αγωγός που χρησιμοποιείται για την μεταφορά ηλεκτρικού φορτίου ενώ στην μηχανική ονομάζονται εύκαμπτα στοιχεία κ μπορούν να φέρουν φορτίο.

Τα καλώδια εμφανίστηκαν αμέσως μετά την ανακάλυψη του συνεχούς ηλεκτρικού ρεύματος.Μέχρι τότε δεν υπήρχε ανάγκη μεταφοράς του, παρά μόνο το ηλεκτρικό φορτίο που παραγόταν από χημικές ουσίες ή άλλες διαδικασίεςμεταφερόταν σε δοχεία Leden μέσω χάλκινων συρμάτων. Μετά την ανακάλυψή τους άρχισαν να διαδίδονται σιγά-σιγά σε ορισμένες βιομηχανικές και βιοτεχνικές μονάδες μαζί με περιορισμένες ηλεκτρικές ανακαλύψεις.Μετά από καιρό ανακαλύφθηκε ότι το ηλεκτρικό ρεύμα είναι ένας πολύ καλός φορέας ενέργειας και η κατασκευή και χρήση των καλωδίων συστηματοποιήθηκε. Άρχισαν να εμφανίζονται τα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειαςκαι δημιουργήθηκαν τα πρώτα εκτεταμένα δίκτυα καλωδίων για τη διανομή του παραγόμενου ρεύματος.

#### Κατηγορίες καλωδίων

- Καλώδια υψηλής τάσης: Για τη μεταφορά ρεύματος από τα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος στις εγκαταστάσεις.
- Καλώδια χαμηλής τάσης: Για τη διανομή του ρεύματος σε κτίρια.
- Καλώδια για εντοιχισμό: Για τη μεταφορά ρεύματος εντός των κτηρίων ως μόνιμη ηλεκτρολογική εγκατάσταση.
- Υπόγεια καλώδια: Για την υπόγεια μεταφορά ρεύματος.
- Υποθαλάσσια καλώδια.
- Καλώδια συσκευών: Μεταφέρουν ρεύμα από την πρίζα στη συσκευή.

Εκτός από ενέργεια τα καλώδια μεταφέρουν και οτιδήποτε άλλο μεταφέρεται μέσω του ρεύματος. Έτσι υπάρχουν και:

- Καλώδια τηλεφωνίας (PSTN)

- Καλώδια μεταφοράς ήχου
- Καλώδια δεδομένων (data) για τοπικά δίκτυα (LAN)
- Καλώδια δικτύου WAN (ISDN ή ADSL)
- Καλώδια ηλεκτρονικών συσκευών
- Καλώδια μεταφοράς σημάτων
- Οπτικές ίνες

Ο τύπος του καλωδίου που επιλέχτηκε για την σύνδεση των πάνελ με τις μπαταρίες είναι το τυπικό καλώδιο ηλεκτρονικών συσκευών. Πρόκειται για ένα καλώδιο εξωτερικής χρήσης, διαμέτρου 0.75mm, το οποίο έχει τα εξής χαρακτηριστικά είναι πολύκλωνο και εύκαμπτο.

#### 4.4 Μπαταρία (συσσωρευτής)



Ένα σπουδαίο συστατικό στοιχείο των φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι οι μπαταρίες που χρησιμοποιούνται. Ο ηλεκτρικός συσσωρευτής είναι η συσκευή η οποία αποθηκεύει, μετατρέπει και αποδεσμεύει την χημική ενέργεια με τη μορφή ηλεκτρισμού. Ο συσσωρευτής είναι χημική πηγή ρεύματος, ικανή να αποθηκεύσει ηλεκτρική ενέργεια (αφού τη μετατρέψει σε χημική) και όταν χρειαστεί, να την αποδώσει σε εξωτερικό κύκλωμα. Αποτελείται από δοχείο κατασκευασμένο από μονωτικό υλικό (εβονίτη, πλαστικό, γυαλί) με ηλεκτρολύτη (οξύ ή άλκαλι), στο οποίο βυθίζονται τα ηλεκτρόδια. Η σύνδεσή τους σε εξωτερικό κύκλωμα προκαλεί σε αυτό διέλευση ρεύματος (εκφόρτιση του ηλεκτρικού συσσωρευτή). Έτσι, στον ηλεκτρικό συσσωρευτή γίνονται χημικές διεργασίες, που έχουν σχέση με τη μετατροπή της χημικής ενέργειας σε ηλεκτρική.

Ο εκφορτισμένος ηλεκτρικός συσσωρευτής φορτίζεται όταν περάσει από αυτόν συνεχές ρεύμα από άλλη πηγή, ενώ ταυτόχρονα στον ηλεκτρικό

συσσωρευτή γίνονται αντίστροφες χημικές διεργασίες, με τις οποίες η ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται σε χημική.

#### 4.4.1 Δομή

Πιο συγκεκριμμένα η κύρια δομή ενός συσσωρευτή είναι η κυψελίδα. Η κυψελίδα είναι η βασική ηλεκτροχημική μονάδα της μπαταρίας, αποτελείται από μία θετική και μία αρνητική πλάκα που είναι βυθισμένες σε ένα διάλυμα ηλεκτρολύτη και περικλείονται σε ένα δοχείο. Τα κύρια συστατικά στοιχεία της κυψελίδας είναι τα παρακάτω:

**Ηλεκτρολύτης:** Ο ηλεκτρολύτης είναι το αγωγίμο μέσο που επιτρέπει την ροή ηλεκτρικού ρεύματος μέσω της ιοντικής ανταλλαγής επάνω στις πλάκες της κυψελίδας.

**Πλέγμα:** Σε μία μπαταρία μολύβδου, το πλέγμα συνήθως είναι ένα πλαίσιο από κράμα μολύβδου το οποίο υποστηρίζει το ενεργό υλικό πάνω στις πλάκες της κυψελίδας. Για αύξηση της μηχανικής αντοχής των πλακών χρησιμοποιούνται υλικά κράματος όπως το αντιμόνιο ή το ασβέστιο και έχουν χαρακτηριστική επίδραση στις επιδόσεις της μπαταρίας.

**Διαχωριστής:** Ο διαχωριστής είναι ένας πορώδης απομονωτικό μέσο μεταξύ των πλακών της μπαταρίας που εμποδίζει την αγωγή επαφή μεταξύ θετικού και αρνητικού ηλεκτροδίου.

**Πλάκες:** Οι πλάκες που συνίστανται από το πλέγμα και από το ενεργό υλικό, είναι το βασικό στοιχείο της μπαταρίας και συνήθως αναφέρονται ως ηλεκτρόδια. Γενικά υπάρχει ένα πλήθος αρνητικών και θετικών πλακών συνδεδεμένων παράλληλα μέσα σε μία κυψελίδα. Το πάχος τους και η σχέση των επιφανειών μεταξύ των αρνητικών και θετικών πλακών, έχουν καθοριστική επίδραση στα χαρακτηριστικά της μπαταρίας.

**Ενεργό Υλικό:** Το ενεργό υλικό είναι ένας συνδυασμός υλικών τα οποία από την θετική και την αρνητική πλάκα, είναι οι βασικοί συντελεστες της ηλεκτροχημικής αντίδρασης μέσα στην κυψελίδα. Η ποσότητα του ενεργού υλικού σε μία μπαταρία είναι ανάλογη της χωρητικότητας της.

#### 4.4.2 Κατηγορίες Μπαταριών

Η δυνατότητα αποθήκευσης της ενέργειας ανα πάσα στιγμή ή όχι είναι αυτή που χωρίζει τους συσσωρευτές στις δύο κυριότερες κατηγορίες. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν αυτοί που έχουν αποθηκευμένη χημική ενέργεια την οποία και μπορούν να την αποδώσουν ως ηλεκτρική, δεν μπορούν όμως να επαναφορτιστούν. Στην δεύτερη κατηγορία ανήκουν οι μπαταρίες που έχουν την δυνατότητα να επαναφορτίζονται και αυτή τους η ιδιότητα τους κάνει και πιο κατάλληλους για χρήση σε φωτοβολταϊκά συστήματα.

Τα υλικά του κράματος στο πλέγμα των πλακών παίζει επίσης σημαντικό ρόλο στην κατηγοριοποίηση των μπαταριών. Βάση αυτού του είδους την κατηγοριοποίηση έχουμε τις μπαταρίες μολύβδου, νικελίου, λιθίου καθώς επίσης και της υποκατηγορίες τους όπως είναι μολύβδου-αντιμονίου, μολύβδου ασβεστίου οι οποίοι χωρίζονται σε υγρού καταλύτη με ανοικτή ή με



σφραγισμένη βαλβίδα εξαέρωσης, οι υβριδικοί συσσωρευτές μολύβδου-αντιμονίου/ μολύβδου-ασβεστίου.

**-Μπαταρίες μολύβδου.** Ευρεία απήχηση έχουν οι ηλεκτρικοί συσσωρευτές μολύβδου - οξέος, στους οποίους σαν ηλεκτρολύτης χρησιμοποιείται διάλυμα θειικού οξέος με πυκνότητα 1,18- 1,29 gr/cm<sup>3</sup> και σαν ηλεκτρόδια το διοξειδίο του μολύβδου και ο σπογγώδης μολύβδος. Κατά την εκφόρτιση γίνεται χημική αντίδραση που έχει ως αποτέλεσμα η τάση και η πυκνότητα του ηλεκτρολύτη ελαττώνονται.

Υπάρχουν διαφόρων ειδών μπαταρίες, ανάλογα με το υλικό των ηλεκτροδίων τους Έχει όμως διαπιστωθεί ότι οικονομικότεροι για χρησιμοποίηση σε φ/β συστήματα είναι οι μπαταρίες μολύβδου. Τα ηλεκτρόδια τους είναι πλάκες από κράματα μολύβδου, βυθισμένες σε διάλυμα θειικού οξέος. Είναι δηλ. όμοιες με τις συνηθισμένες μπαταρίες αυτοκινήτων, αν και εκείνες κατασκευάζονται από φτηνότερο κράμα μολύβδου και αυτοεκφορτίζονται σε σχετικά γρήγορο ρυθμό.

Κάθε ζεύγος ηλεκτροδίων των συσσωρευτών μολύβδου δίνει τάση περίπου 2V. Για την πλήρη όμως φόρτιση κάθε ζεύγους ηλεκτροδίων χρειάζεται να γίνει τροφοδότηση με τάση περίπου 2.4V. Στη συνέχεια η τροφοδότηση του συσσωρευτή πρέπει να διακοπεί, διότι η υπερφόρτιση των ζευγών ηλεκτροδίων προκαλεί τη θέρμανση του διαλύματος του θειικού οξέος, την εξάτμιση του νερού του και τελικά την επιτάχυνση της φθοράς του συσσωρευτή. Επίσης προκαλεί την ηλεκτρόλυση του διαλύματος με έκλυση υδρογόνου και οξυγόνου. Αυτό, εκτός από την απώλεια του υγρού, δημιουργεί κινδύνους και για την ασφάλεια της εγκατάστασης. Αν ο χώρος που βρίσκεται ο συσσωρευτής δεν έχει καλό αερισμό, το υδρογόνο μπορεί να σχηματίσει εκρηκτικό μίγμα με τον αέρα, που με ένα τυχαίο σπινθήρα θα προκαλέσει ατύχημα.

Συνήθως οι συσσωρευτές περιέχουν πολλά ζεύγη ηλεκτροδίων στη σειρά και δίνουν ανάλογα αυξημένη τάση. Στην πράξη χρησιμοποιούνται συσσωρευτές με πολλές δεκάδες ζεύγη ηλεκτροδίων τη σειρά, ώστε να δίνουν αρκετά υψηλή τάση.

Σαν φορητοί ηλεκτρικοί συσσωρευτές, χρησιμοποιούνται συχνά οι αλκαλικοί συσσωρευτές, που έχουν μεγαλύτερη μηχανική αντοχή. Αυτοί δεν έχουν κατά τη λειτουργία επιζήμιες εξατμίσεις και είναι απλούστεροι στη χρησιμοποίησή τους από τους ηλεκτρικούς συσσωρευτές οξέος.

**-Μπαταρίες νικελίου,** στους οποίους σαν ηλεκτρολύτης χρησιμοποιείται διάλυμα καυστικού καλίου, σαν θετικό ηλεκτρόδιο οξειδία νικελίου σε μείγμα με γραφίτη και σαν αρνητικό ηλεκτρόδιο ρινίσματα σιδήρου ή καδμίου σε μείγμα με σπογγώδη σίδηρο. Οι μέσες τάσεις φόρτισης είναι αντίστοιχα: 1,74 V και 1,65 V. Τα πλεονεκτήματά τους είναι η μεγάλη ειδική ενέργεια και η ικανότητα να λειτουργούν σε ύψος (με χαμηλή θερμοκρασία και πίεση). Παρουσιάζουν πολύ χαμηλή εσωτερική αντίσταση και μπορούν έτσι να δίνουν μεγάλα ρεύματα χωρίς σημαντική εσωτερική πτώση τάσεως (και υπερθέρμανση). Φορτίζονται εύκολα. Έχουν μεγάλη μηχανική αντοχή και ανθίστανται κατ'αυτόν τον τρόπο στις δονήσεις, τους κραδασμούς και τις πτώσεις. Το μειονέκτημά τους είναι ότι έχουν κόστος 4-10 φορές μεγαλύτερο από τους ηλεκτρικούς συσσωρευτές μολύβδου-οξέος.

**-Η μπαταρία λιθίου-θείου** είναι μια επαναφορτιζόμενη μπαταρία, αξιολογούμενη για την υψηλή ενεργειακή πυκνότητά της. Με το χαμηλό ατομικό βάρος του λιθίου και το μέτριο ατομικό βάρος του θείου, οι μπαταρίες Li-S είναι σχετικά ελαφρές, σε σχέση με την πυκνότητα του νερού. Οι μπαταρίες λιθίου-θείου μπορεί να αντικαταστήσουν επιτυχώς τις μπαταρίες ιόντων λιθίου, λόγω της υψηλότερης ενεργειακής πυκνότητάς τους και λόγω του μικρότερου κόστους του θείου.

Για την χρήση συσσωρευτών σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα πιο κατάλληλοι είναι αυτοί που μπορούν να υποστούν βαθιά εκφόρτιση χωρίς να μειώνεται η χωρητικότητά τους και να λιγοστεύει η διάρκεια της ζωής τους. Ιδιαίτερα για αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα, όπου δεν υπάρχει εναλλακτική λύση παροχής ηλεκτρικής ενέργειας και όπου οι μεταβολές της ηλιοφάνειας μπορούν να είναι έντονες και μακρόχρονες, απαραίτητοι είναι οι συσσωρευτές που έχουν μεγάλη χωρητικότητα, μπορούν να υποστούν βαθιά εκφόρτιση και συχνά απαιτείται μια καλή σχέση κόστους και διάρκειας ζωής.

Κάθε μπαταρία έχει τα ακόλουθα κύρια χαρακτηριστικά που πρέπει να λαμβάνουμε υπόψη μας κατά την σύνδεση της σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα.

**-Αποθήκευση.** Ο καθορισμός του εμβαδού της επιφάνειας των φ/β συλλεκτών στηρίζεται στη μέση ηλεκτρική κατανάλωση του συστήματος και στη μέση ηλιακή ακτινοβολία που δέχονται οι συλλέκτες στην επιλεγμένη κρίσιμη περίοδο λειτουργίας του. Όμως οι μέσες τιμές είναι στατιστικά μεγέθη που μπορεί να αποκλίνουν σημαντικά από ενδεχόμενες πραγματικές συνθήκες. Επίσης, ένα αξιόπιστο σύστημα πρέπει να παρέχει επαρκή ηλεκτρική ενέργεια για την ικανοποίηση της ζήτησης και στα χρονικά διαστήματα που δεν υπάρχει αντίστοιχη ηλιακή ακτινοβολία (νυκτερινές ώρες, συννεφιασμένες μέρες, χρονικές αιχμές της κατανάλωσης).

Τα φ/β συστήματα που είναι συνδεδεμένα με κεντρικά ηλεκτρικά δίκτυα διανομής αντλούν από αυτά την απαιτούμενη συμπληρωματική ηλεκτρική ενέργεια. Επίσης, διοχετεύουν προς τα δίκτυα την ενδεχόμενη περίσσεια της παραγόμενης φωτοβολταϊκής ηλεκτρικής ενέργειας, όταν υπερβαίνει την κατανάλωση του συστήματος. Όμως, τα απομονωμένα αυτόνομα φ/β συστήματα δεν έχουν αυτή τη δυνατότητα της ενεργειακής ανταλλαγής. Επομένως, χρειάζεται να αποθηκεύουν μια ποσότητα από την περίσσεια της ηλεκτρικής τους παραγωγής, ώστε να χρησιμοποιηθεί όταν η ζήτηση είναι μεγαλύτερη από την παραγωγή της φ/β γεννήτριας. Ως προς την άλλη απαίτηση, δηλ. την απαλλαγή του συστήματος από την περίσσεια της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, πέρα από τη ζήτηση της κατανάλωσης και τη δυνατότητα της αποθήκευσης, αυτή αναγκαστικά αντιμετωπίζεται με τη διοχέτευση της στη γη ή σε ηλεκτρικές αντιστάσεις.

Η ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που πρέπει να προνοείται να αποθηκεύεται, εξαρτάται από τις τοπικές συνθήκες και απαιτήσεις, και κυρίως το μέγιστο πλήθος των πιθανών συνεχών ημερών συννεφιάς, τις αιχμές της κατανάλωσης και τον βαθμό αξιοπιστίας που θα πρέπει να παρουσιάζει το σύστημα, σε συνδυασμό με την ύπαρξη ή όχι βοηθητικών ενεργειακών πηγών.

Συνήθως από τα αυτόνομα φ/β συστήματα ζητείται να εξασφαλίσουν μια αυτοδυναμία 3 ως 10 ημερών περίπου.

Σε ειδικές περιπτώσεις, η φωτοβολταϊκή ενέργεια μπορεί, με νέα μετατροπή, να αποθηκευτεί σε μη ηλεκτρική μορφή. Π.χ να κινήσει ηλεκτρικές αντλίες που μεταφέρουν νερό σε υπερυψωμένες δεξαμενές, απ' όπου στη συνέχεια, παράγεται πάλι ηλεκτρική ενέργεια με τη βοήθεια μικρών υδροηλεκτρικών σταθμών. Επίσης μπορεί να ηλεκτρολύσει νερό και να παράγει υδρογόνο, το οποίο αποθηκεύεται σε αεριοφυλάκια και χρησιμοποιείται στη συνέχεια ως καύσιμο σε μικρούς θερμοηλεκτρικούς σταθμούς. Συνήθως όμως η αποθήκευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στα αυτόνομα φ/β συστήματα γίνεται σε ηλεκτρικούς συσσωρευτές.

- **Το φαινόμενο της μνήμης** εμφανίζεται κυρίως στις μπαταρίες Ni-Cd και λιγότερο στις Ni-MH(καθόλου στις μπαταρίες λιθίου). Όταν μία μπαταρία Ni-Cd επαναφορτισθεί χωρίς προηγουμένως να έχει εκφορτισθεί πλήρως, τότε μετά την φόρτιση δεν ανακτά την ονομαστική της χωρητικότητα, αλλά ένα ποσοστό της.

-**Η τάση** της μπαταρίας όταν είναι φορτισμένη εξαρτάται από το είδος του ηλεκτρολύτη που περιέχει και το είδος και τον αριθμό των πλακών. Οι μπαταρίες περιέχουν πολλά ζεύγη πλακών στην σειρά και δίνουν ανάλογα αυξημένη τάση.

-**Θερμοκρασία της λειτουργίας.** Η χωρητικότητα της μπαταρίας ελαττώνεται με την ελάττωση της μπαταρίας.

-**Ο χρόνος** ζωής μιας μπαταρίας εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως είναι ο αριθμός φορτίσεων και εκφορτίσεων, ο ρυθμός φόρτισης εκφόρτισης και οι ακραίες θερμοκρασίες λειτουργίας.

-**Χωρητικότητα** Το φορτίο που αποθηκεύει, δηλ. η χωρητικότητα του συσσωρευτή, μετράται σε αμπερώρια (Ah), που είναι σε ιδανικές συνθήκες, το γινόμενο της μέσης έντασης του ρεύματος  $I$ , που δίνει ο συσσωρευτής, ανεξάρτητα από την τάση του, επί το πλήθος των ωρών μέχρι να εκφορτιστεί ξεκινώντας από πλήρη φόρτιση. Προφανώς, πιο χρήσιμο μέγεθος είναι η ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που μπορεί να αποθηκευτεί σε ένα συσσωρευτή, η οποία όμως εξαρτάται από την τάση που δίνει ο συσσωρευτής.

Με τη χρήση, η χωρητικότητα των συσσωρευτών μειώνεται λόγω διάβρωσης των πλακών, σχηματισμού επικαθήσεων, κ.λ.π. Συνήθως ένας συσσωρευτής θεωρείται άχρηστος όταν η χωρητικότητά του πέσει κάτω από το 80% περίπου της αρχικής τιμής. Επίσης, δεν πρέπει να παραβλέπεται ότι οι φορτισμένοι συσσωρευτές αυτοεκφορτίζονται με ρυθμό 2 ως 5% της χωρητικότητας τους τον μήνα. Ο ρυθμός αυτοεκφόρτισης αυξάνει με την ηλικία του συσσωρευτή.

Η χωρητικότητα των συσσωρευτών εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ισχύ με την οποία γίνεται η εκφόρτιση τους, Δηλ. από την ένταση του ρεύματος που δίνουν προς την κατανάλωση. Με μικρούς ρυθμούς εκφόρτισης, η χωρητικότητά του συσσωρευτή αυξάνει σημαντικά. Επίσης, η χωρητικότητά αυξάνει με τη θερμοκρασία του συσσωρευτή. Συγχρόνως όμως, επιταχύνονται οι μηχανισμοί διάβρωσης και μειώνεται η διάρκεια ζωής του.

Εκτός από τη θερμοκρασία, η διάρκεια της χρήσιμης ζωής των συσσωρευτών εξαρτάται κυρίως από το πλήθος των διαδοχικών κύκλων φόρτισης – εκφόρτισης και από το βάθος κάθε εκφόρτισης. Ανάλογα με τον τύπο τους, οι συσσωρευτές μολύβδου αντέχουν συνήθως μέχρι 500 ως 1500 κύκλους φορτίσεων – εκφορτίσεων.

Στους φθηνότερους τύπους, το βάθος εκφόρτισης δεν επιτρέπεται να ξεπερνά το 10%. Δηλ. με την εκφόρτιση προσφέρεται μόνο το 10% της αποθηκευμένης ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ για το υπόλοιπο 90% δεν επιδιώκεται η ανάκτηση, ώστε να αποφευχθεί η πρόωρη καταστροφή του συσσωρευτή. Σε ειδικούς στεγανούς τύπους, μη ηλεκτρόδια από κράματα Pb – Ca, το βάθος εκφόρτισης μπορεί να φτάσει μέχρι 80%. Πάντως στις μικρότερες και λιγότερο απαιτητικές από τις φ/β εγκαταστάσεις, χρησιμοποιούνται συχνά κοινοί συσσωρευτές αυτοκινήτων με επιτρεπόμενο βάθος εκφόρτισης μέχρι 10 %.

Επομένως, σε ένα συσσωρευτή ονομαστικής χωρητικότητας  $C_N$ , η ενεργός αξιοποίηση χωρητικότητα είναι :

$$C = \beta \cdot C_N$$

και η μέγιστη ηλεκτρική ενέργεια που μπορεί να αποταμιευτεί και να ανακτηθεί, σε ιδανικές συνθήκες, σε κάθε κύκλο φόρτισης – εκφόρτισης είναι :

$$E = C \cdot V = \beta \cdot C_N \cdot V$$

όπου  $\beta$  είναι το βάθος εκφόρτισης του συσσωρευτή σε δεκαδική μορφή. Ο συντελεστής απόδοσης των συσσωρευτών  $\alpha$ , δηλ. ο λόγος της μέγιστης ποσότητας της ενέργειας που ανακτάται προς την ενέργεια που έχει απορροφηθεί από την φ/β γεννήτρια σε κάθε κύκλο φόρτισης – εκφόρτισης, είναι περίπου 85%. Επομένως, αν η ηλεκτρική ενέργεια που ζητείται να δίνει ο συσσωρευτής είναι  $E$ , η ενεργός χωρητικότητα του  $C$  θα πρέπει να αντιστοιχεί σε ενέργεια φόρτισης  $E_\phi$ , ίση με :

$$E_\phi = \frac{E}{\alpha}$$

Οπότε η ονομαστική του χωρητικότητα θα είναι :

$$C_v = \frac{E_\phi}{\beta \cdot V} = \frac{E}{\alpha \cdot \beta \cdot V}$$

Ως προς την παρεχόμενη ισχύ, προκύπτει ότι ένας συσσωρευτής απαιτείται να τροφοδοτεί την κατανάλωση με ισχύ  $P$  επί μ συνεχείς ημέρες, η ενεργός του χωρητικότητα θα πρέπει να είναι :

$$C = \frac{24\mu \cdot P}{a \cdot V}$$

**-Αυτοεκφόρτιση** είναι η διαδικασία κατά την οποία ο συσσωρευτής υφίσταται μείωση του ποσοστού του χωρίς να είναι συνδεδεμένος με κάποια κατανάλωση. Όλες οι μπαταρίες, ακόμα και όταν τις έχουμε αποθηκευμένες, χάνουν σιγά-σιγά το φορτίο τους. Το φαινόμενο είναι πιο έντονο, όταν και η θερμοκρασία του περιβάλλοντος είναι υψηλή. Τα αίτια είναι οι εσωτερικοί χημικοί μηχανισμοί ή άλλες απώλειες της μπαταρίας και σημαντικοί παράγοντες στην διαδικασία της αυτοεκφόρτισης είναι τα ενεργά υλικά και τα στοιχεία του κράματος του πλέγματος που επλέχθηκαν κατά τον σχεδιασμό του

συσσωρευτή. Λόγω λοιπόν αυτής της αυτοεκφόρτισης οι συσσωρευτές πρέπει να βρίσκονται σε συνθήκες συντηρητικής φόρτισης ακόμα και αν δεν υπάρχει κατανάλωση.

**-Φόρτιση** είναι η διαδικασία αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας με παροχή ηλεκτρικού ρεύματος προς τον συσσωρευτή. Οι μέθοδοι φόρτισης που εφαρμόζονται από τους ρυθμιστές φόρτισης στα φωτοβολταϊκά συστήματα διαφέρουν γενικά από αυτές που εφαρμόζουν οι κατασκευαστές για να καθορίσουν τις επιδόσεις της μπαταρίας. Οι προδιαγραφές δεν περιορίζουν κατά κανόνα το ρεύμα φόρτισης του συσσωρευτή εφόσον δεν γίνει υπέρβαση της τάσης εκλύσεων αερίων. Ωστόσο, η τάση εκλύσεως αερίων γίνεται μικρότερη καθώς το ρεύμα φόρτισης γίνεται μεγαλύτερο. Γενικά η έκλυση αερίων είναι αναπόφευκτη αφού συμβαίνει τόσο κατά τη διάρκεια της φόρτισης όσο και μετά την υπέρβαση της τάσης εκλύσεων αερίων. Για σωστή φόρτιση του συσσωρευτή ένα σωστό σημείο ισορροπίας πρέπει να αναζητείται μεταξύ της μέγιστης δυνατής φόρτισης και της τάσης εκλύσεων αερίων, αφού και οι δύο είναι παράγοντες που σχετίζονται με την διάρκεια ζωής του συσσωρευτή. Άλλος παράγοντας που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη για το επιδιωκόμενο SOC είναι η θερμοκρασία λειτουργίας του συσσωρευτή. Όσο αυξάνεται η θερμοκρασία αυξάνεται η χωρητικότητα του συσσωρευτή, μειώνεται όμως η έκλυση η τάση εκλύσεως αερίων. Έτσι το μέγιστο SOC που μπορεί να επιτευχθεί σε δεδομένη θερμοκρασία,κατά κάποιο τρόπο φρλασσεται από την τάση εκλύσεως αερίων.

**-Το βάθος εκφόρτισης** το οποίο είναι το ποσοστό στο οποίο μπορεί να φθάσει καθημερινά η μπαταρία, για να διατηρείται σε καλή κατάσταση και να μην ελλατωθεί ο κανονικός χρόνος ζωής της. Το επιτρεπόμενο βάθος εκφόρτισης είναι το μέγιστο ποσοστό της χωρητικότητας το οποίο μπορεί να αποδοθεί από την μπαταρία. Συνήθως καταδुकνείται από την τάση αποκοπής ή την τάση του βάθους εκφόρτισης καθώς επίσης και από τον ρυθμό εκφόρτισης.

**-Συντελεστής φόρτισης και απόδοσης ισχύος.** Τα αμπερώρια που είναι (Ah) απαραίτητα για την φόρτιση ενός συσσωρευτή και την αύξηση του SOC κατά ένα συγκεκριμένο ποσοστό είναι, κατά κανόνα , περισσότερα από το Ah που αποδίδει όταν εκφορτιστεί κατά τον ίδιο ποσοστό του SOC. Έτσι, ορίζεται ο συντελεστής φόρτισης, ως το κλάσμα της εισερχόμενης ποσότητας Ahπρος την εξερχόμενη ποσότητα Ah, δηλαδή ισχύει:

$$\text{Συντελεστής φόρτισης} = \frac{\text{εισερχόμενη ποσότητα Ah}}{\text{εξερχόμενη ποσότητα Ah}}$$

Αντίστοιχα, ο λόγος της ισχύος που δίνει ένας πλήρως φορτισμένος συντελεστής προς την ενέργεια που απαιτείται για να φορτιστεί πλήρως ονομάζεται απόδοση ισχύος. Δηλαδή ισχύει:

$$\text{Απόδοση ισχύος} = \frac{\text{εξερχόμενη ενέργεια (KW)}}{\text{εισερχόμενη ενέργεια (KW)}}$$

**-Έκλυση ατμών, δημιουργία κρυστάλλων και διάβρωση.** Η υπερβολική φόρτιση και το αυξημένο ρεύμα φόρτισης των συσσωρευτών οδηγεί σε έκλυση αερίων. Το φαινόμενο αφορά στον σχηματισμό αερίου οξυγόνου ( $O_2$ ) στις θετικές πλάκες και αερίου υδρογόνου ( $H_2$ ) στις αρνητικές. Γενικά, αυτό το εκρηκτικό αέριο μείγμα ελευθερώνεται μέσω των βαλβίδων εξαερισμού και οδηγεί στην απώλεια νερού. Σε συσσωρευτές δεσμευμένου ηλεκτρολύτη, ένας εσωτερικός μηχανισμός επιτρέπει τον επανασχηματισμό νερού από το αέριο μείγμα για την αποκατάσταση του διαλύματος του ηλεκτρολύτη. Ωστόσο, αν η πίεση των ατμών αυξηθεί ιδιαίτερα, αυτοί απελευθερώνονται στον αέρα μέσω των βαλβίδων ασφαλείας, χωρίς να υπάρχει δυνατότητα αναπλήρωσης του χαμένου νερού. Για τα φωτοβολταϊκά συστήματα που χρησιμοποιούν τέτοιους συσσωρευτές, είναι ανάγκη να γίνεται προσεκτική ρύθμιση στην επιλογή της τάσης πλήρους φόρτισης και στον ρυθμό φόρτισης των συσσωρευτών για να διατηρηθεί η διάρκεια ζωής τους.

Σε κάποιους συσσωρευτές συχνά επιδιώκεται η έκλυση ατμών. Πρόκειται για τους συσσωρευτές υγρού καταλύτη με ανοικτή βαλβίδα εξαερισμού και η αιτία έχει σχέση με τη δημιουργία βαρέως θεικού οξέως, το οποίο σχηματίζεται στις πλάκες και επικάθεται στο πάτο το δοχείου. Με την πάροδο του χρόνου ο ηλεκτρολύτης επικάθεται και δημιουργείται μεγαλύτερη συγκέντρωση στο κάτω μέρος των κυψελίδων, με αποτέλεσμα την ανομοιόμορφη λειτουργία και η σταδιακή διάβρωση του πλέγματος που οδηγεί στη συντόμευση της ζωής του συσσωρευτή. Η δημιουργία ατμών, σε τέτοιους συσσωρευτές, έχει αποτέλεσμα την ανάδευση του διαλύματος και αποτελεί μία μέθοδο συντήρησης. Κατά κανόνα, η έκλυση ατμών πρέπει να περιορίζεται ιδιαίτερα αν οι συσσωρευτές βρίσκονται κοντά σε χώρους εργασίας. Αν ο συσσωρευτής βρεθεί για παρατεταμένο χρονικό διάστημα σε κατάσταση μερικής φόρτισης κρυσταλλοί θεικού μολύβδου αναπτύσσονται επάνω στην επιφάνεια των θετικών πλακών. Οι κρυσταλλοί με την πάροδο του χρόνου αυξάνονται, μειώνοντας την ποσότητα του ενεργού υλικού που συμμετέχει στην αντίδραση και την ενεργή επιφάνεια των πλακών με αποτέλεσμα την μείωση της χωρητικότητας του συσσωρευτή. Αν οι κρυσταλλοί γίνουν πολύ μεγάλοι μπορούν να προκαλέσουν μη αναστρέψιμες μηχανικές βλαβές στο πλέγμα πλακών. Αυτό είναι συνηθισμένο πρόβλημα στα φωτοβολταϊκά συστήματα όπου οι συσσωρευτές, λόγω καιρικών συγκυριών, μπορούν να βρεθούν για μεγάλο χρονικό διάστημα σε κατάσταση μερικής φόρτισης και για τον λόγο αυτό απαιτείται εφαρμογή ρεύματος εξισορρόπησης για συντήρηση. Γενικότερα, το πλέγμα μπορεί να υποστεί διάβρωση για πολλούς λόγους όπως η οξειδωση και συχνά η αντοχή του είναι αυτή που υποδικνύει την διάρκεια ζωής του συσσωρευτή.

Για το project επιλέχθηκε ο τύπος μπαταρίας νικελίου καδμίου με κριτήριο την χωρητικότητα, τον όγκο, το βάρος, το κόστος και τελευταίο και πιο σημαντικό το φαινόμενο μνήμης το οποίο δεν υφίσταται σαυτόν τον τύπο μπαταρίας. Επίσης για την επίτευξη του στόχου χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος συγκόλλησης και κατασκευής PACK, αν και στην αγορά υπάρχουν έτοιμα PACK μπαταριών διαφόρων τάσεων και χωρητικότητας, για να υπάρχει η δυνατότητα επιλογής μάρκας, τάσης και χωρητικότητας της μπαταρίας. Στην περίπτωση αυτή ποντάρονται οι μπαταρίες σε ειδικά ελάσματα. Στις θήκες

μπαταριών χρησιμοποιούνται ρεύματα σχετικά μικρά και οι αντιστάσεις επαφής δεν παίζουν τόσο μεγάλο ρόλο.

Για την κατασκευή του PACK εφαρμόστηκαν τα παρακάτω βήματα:

- Χρησιμοποιήθηκε κολλητήρι μικρής ισχύος, το πολύ 30W.
- Καθαρίστηκαν και λειάνθηκαν ελαφρά τα σημεία που θα γίνει η συγκόλληση.
- Κάθε συγκόλληση διήρκησε περισσότερο απο 3-4 δευτερόλεπτο.
- Άμεση ψύξη της συγκόλλησης για να κρυώσει.
- Ο θετικός πόλος είναι πιο ευαίσθητος γιατί η μεταλλική επιφάνεια είναι πιο μικρή.

#### 4.4.3 Τεχνικές φόρτισης μπαταρίας .

Ένας φορτιστής έχει τρεις βασικές λειτουργίες :

1. Να διοχετεύει την ενέργεια από το μέσο στην μπαταρία (φόρτιση).
2. Να βελτιστοποιεί το ποσοστό φόρτισης (σταθεροποίηση).
3. Να ξέρει πότε για να σταματήσει (τερματισμός).

•Τερματισμός φόρτισης:

Μόλις φορτιστεί πλήρως μια μπαταρία, το ρεύμα φόρτισης πρέπει να αποκοπεί. Αν δεν γίνει αυτό το αποτέλεσμα είναι η παραγωγή θερμότητας και αερίων τα οποία καταστρέφουν τις μπαταρίες. Ένας καλός φορτιστής πρέπει να είναι σε θέση να ανιχνεύσει πότε η ανασύνθεση των ενεργών χημικών ουσιών είναι πλήρης και για να σταματήσει τη διαδικασία φόρτισης προτού να γίνει οποιαδήποτε ζημία ενώ διατηρεί τη θερμοκρασία κυττάρων μέσα σε ασφαλή όρια. Ανιχνεύοντας αυτό το σημείο και τερματίζοντας τη φόρτιση επιτυγχάνουμε αύξηση της ζωής της μπαταρίας. Στους περισσότερους φορτιστές το σημείο αυτό είναι ένα προκαθορισμένο ανώτατο όριο τάσης.

•Ασφαλής φόρτιση:

Εάν για οποιοδήποτε λόγο υπάρχει κίνδυνος υπερφόρτισης της μπαταρίας, όπως λάθος στον καθορισμό του ανώτατου όριο τάσης , αυτό θα συνοδευθεί από μια άνοδο στη θερμοκρασία. Ελαττώματα μέσα στην μπαταρία ή υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος μπορούν επίσης να οδηγήσουν μια μπαταρία πέρα από τα ασφαλή όρια θερμοκρασίας της. Οι υψηλές θερμοκρασίες καταστρέφουν τις μπαταρίες και ο έλεγχος της θερμοκρασίας κυττάρων είναι ένας καλός τρόπος ελέγχου της κατάστασης αυτών. Ο έλεγχος φόρτισης βάση της θερμοκρασίας της μπαταρίας, είναι ένας αλλός τρόπος ρύθμισης φόρτισης . Τέτοια προφύλαξη ασφάλειας είναι ιδιαίτερα σημαντική για μπαταρίες υψηλής ισχύος όπου οι συνέπειες αποτυχίας είναι σοβαρές και ακριβές.

•Χρόνος φόρτισης:

Φορτίζοντας γρήγορα μια μπαταρία, στέλνουμε ενέργεια στην μπαταρία με γρηγορότερο ρυθμό από το χρόνο που χρειάζεται για να γίνει η χημική

διαδικασία σ' αυτή , με καταστροφικά αποτελέσματα.Γι ' αυτό το λόγο είναι σημαντικός ο χρόνος φόρτισης της μπαταρίας. Ο χρόνος φόρτισης είναι ανάλογος της χωρητικότητας της μπαταρίας , του ρυθμού φόρτισης και των απωλειών φόρτισης. Σε ιδανικές συνθήκες χωρίς απώλειες φόρτισης , ο χρόνος πλήρους φορτισης μιας άδειας μπαταρίας είναι το πηλίκο της χωρητικότητας της (σε Αμπέρ) , προς το ρυθμό φόρτισης (ρεύμα φόρτισης σε Αμπέρ). Ο ιδανικός ρυθμός φόρτισης είναι το 10% της χωρητικότητας της μπαταρίας και ο μέγιστος το 20%. Έτσι αν π.χ. έχουμε μια μπαταρία χωρητικότητας 10Ah και τη φορτίζουμε με ρύθμο 10% δηλ 1A , χωρίς απώλειες , θα χρειαστούν 10 ώρες για πλήρη φόρτιση της αν αυτή είναι άδεια.

Μεθόδοι φόρτισης:

1. Σταθερής τάσης: είναι βασικά μια παροχή συνεχούς ρεύματος που δημιουργείται από ένα μετασχηματιστή υποβιβασμού και ένα ανορθωτή. Τέτοιους βρίσκουμε συχνά σε φορτιστές μπαταριών αυτοκινήτων (lead-acid), και φορτιστές μπαταριών lithium-ion όπου προστιθενται στοιχεία προστασίας για τις μπαταρίες και την ασφάλεια του χρήστη.

2. Σταθερού ρεύματος: οι φορτιστές αυτοί μεταβάλλουν την παρεχόμενη τάση για να διατηρήσουν σταθερό το ρεύμα που δίνουν, σβήνοντας όταν η τάση φτάσει στο επίπεδο μιας πλήρους φόρτισης. Αυτός ο τύπος χρησιμοποιείται συνήθως σε μπαταρίες νικελίου-καδμίου και νικελίου-μετάλλου.

3. Ελαττώμενου ρεύματος: η φόρτιση γίνεται από μια ανεξέλεγκτη σταθερή πηγή τάσης. Το ρεύμα μικραίνει καθώς η τάση κυττάρων αυξάνεται , ενώ υπάρχει σοβαρός κίνδυνος υπερφόρτωσης . Αυτό αντιμετωπίζεται με περιορισμό του ρυθμού και του χρόνου φορτισης. Τέτοιος φορτιστής είναι κατάλληλος μόνο για μπαταρίες τύπου SLA.

4. Παλμική φόρτιση: το ρεύμα παραδίδεται στη μπαταρία σε παλμούς. Ο ρυθμός φόρτισης (βασισμένο στο μέσο ρεύμα) μπορεί να ελεγχθεί καθορίζοντας το εύρος των παλμών. Κατά τη διάρκεια της φόρτισης, οι μικρές περιόδους ανάπαυσης σταθεροποιούν τις χημικές ενέργειες στην μπαταρία αφού εξισώνεται η αντίδραση σε όλο τον όγκο του ηλεκτροδίου πριν ξαναρχίσει η φόρτιση. Αυτό επιτρέπει στη χημική αντίδραση να συμβαδίσει με το ποσοστό απορρόφησης ηλεκτρικής ενέργειας. Επίσης αυτή η μέθοδος μπορεί να μειώσει τις ανεπιθύμητες χημικές αντιδράσεις στην επιφάνεια των ηλεκτροδίων όπως δημιουργία αερίων και κρυστάλλου.

5. Φόρτιση Burp ή αρνητική παλμική φόρτιση : χρησιμοποιείται από κοινού με τη παλμική φόρτιση και εφαρμόζει έναν πολύ σύντομο παλμό εκφόρτισης 2 έως 3 φορές το ρεύμα φόρτισης για 5 χιλιοστά του δευτερολέπτου, κατά τη διάρκεια της περιόδου ανάπαυσης για να αποπολώσει το κύτταρο. Αυτοί οι παλμοί αποσπών οποιεσδήποτε φυσαλίδες αερίου που έχουν δημιουργηθεί στα ηλεκτρόδια κατά τη φόρτιση.



6.Φόρτιση IUI : αρχικά η μπαταρία φορτίζεται με σταθερό ρυθμό έως ότου η τάση κυττάρων φτάσει σε μια προκαθορισμένη τιμή – συνήθως κοντά σε αυτή στην οποία δημιουργούνται αέρια. Τότε ο φορτιστής σταθεροποιεί τη τάση του και το ρεύμα που απορροφά η μπαταρία μειώνεται..Χρησιμοποιείται για γρήγορη φόρτιση ειδικών τύπων μπαταριών μολύβδου.

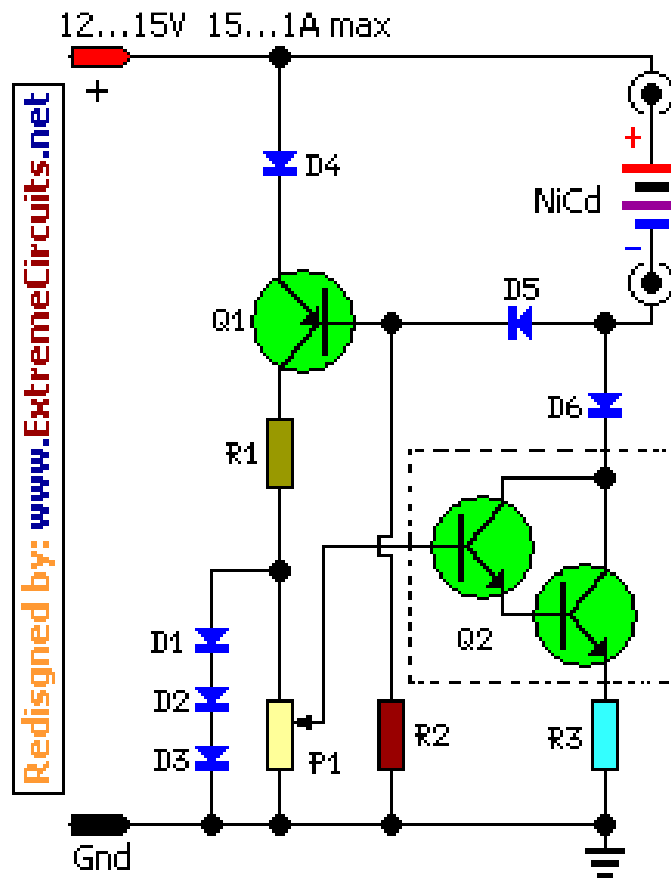
Σε επαναφορτιζόμενες μπαταρίες οι λειτουργίες Trickle charge είναι ο ρυθμός απαιτούμενης φόρτισης που αντισταθμίζει το ρυθμό εκφόρτισης της μπαταρίας και Float charge η κατάσταση στην οποία το φορτίο και η μπαταρία είναι συνδεδεμένα παράλληλα με τον φορτιστή και διατηρούν τη τάση στα άκρα της μπαταρίας μικρότερη από το ανώτατο όριο της μπαταρίας.

Αναφορές:  
[www.mpoweruk.com](http://www.mpoweruk.com)

#### **4.5 Φορτιστής**

Ο φορτιστής είναι η συσκευή η οποία εξασφαλίζει στο σύστημα την ομαλή,ασφαλή και αδιάλειπτη τροφοδοσία του συσσωρευτή.Είναι μία μικρή και φορητή μονάδα. Μπορεί να φορτίσει πολλαπλές μπαταρίες ταυτόχρονα δίχως να υπάρχει κανένα απολύτως πρόβλημα με την τροφοδοσία. Αυτός ο φόρτιστής μπαταρίας NiCd μπορεί να φορτίσει έως και 10 μπαταρίες NiCd συνδεδεμένες σε σειρά. Αυτός ο αριθμός μπορεί να αυξηθεί εάν η παροχή ηλεκτρικού ρεύματος αυξάνεται με 1.65V για κάθε συμπληρωματική μπαταρία. Αν το τρανζίστορ Q2 είναι τοποθετημένο σε κατάλληλη ψήκτρα, η τάση εισόδου μπορεί να αυξηθεί σε ένα μέγιστο των 25V. Αντίθετα με τους περισσότερους εμπορικούς NiCd φορτιστές που διατίθενται στην αγορά, αυτός ο φορτιστής έχει μία αντίστροφη προστασία πολικότητας. Ένα άλλο πλεονέκτημα είναι ότι δεν απαλάσσει την μπαταρία, αν ο φορτιστής έχει αποσυνδεθεί από την παροχή ρεύματος.

Συνήθως, οι μπαταρίες νικελίου καδμίου πρέπει να έχουν φορτιστεί σε 14 ώρες σε ένα ρεύμα φόρτισης ίσο με το ένα δέκατο τοις εκατό από την χωρητικότητα της μπαταρίας. Για παράδειγμα, ένα 500 mAh χρεώνεται με 50 mA για 14 ώρες. Αν το ρεύμα φόρτισης είναι υπερβολικά υψηλό αυτό θα βλάψει την μπαταρία. Το επίπεδο του ρεύματος φόρτισης ελέγχεται με πυκνωτή P1 μεταξύ 0 mA - 1000 mA. Το τρανζίστορ Q1 ανοίγει όταν η μπαταρία NiCd συνδέεται με την σωστή πολικότητα ή εάν οι ακροδέκτες εξόδου είναι άδειοι. . Το τρανζίστορ Q2 θα πρέπει να τοποθετηθεί σε μία ψήκτρα. Εάν δεν υπάρχει η δυνατότητα απόκτησης ενός ολοκληρωμένου κυκλώματος BD679 τότε αντικαθίστατο με ένα οποιοδήποτε NPN μέσης ισχύος τρανζίστορ Darlington με τις παραμέτρους παραγωγής σε 30V και 2 A. Με τη μείωση της αντίστασης R3 το μέγιστο ρεύμα εξόδου μπορεί να αυξηθεί έως 1A.



•Ρυθμός φόρτισης:

Η φόρτιση των μπαταριών μπορεί να γίνει με ποικίλους ρυθμούς ανάλογα με την απαίτηση. Χαρακτηριστικά παρουσιάζονται κατωτέρω οι εξής ρυθμοί:

1. Αργή : 14-16 ώρες με ρυθμό 0.1c (10%)
2. Γρήγορη : 3 έως 6 ώρες με ρυθμό 0.3c (30%)
3. Ταχεία : λιγότερο από 1 ώρα με ρυθμό 1.0c (100%)

Όπου ρεύμα φόρτισης = ρυθμός % X Ah(μπαταρίας)

•Τύποι φόρτιστών:

Οι φορτιστές συνήθως εκδηλώνουν μια μορφή διαχείρισης της τάσης για να ελεγχθεί η τάση φόρτισης που εφαρμόζεται στην μπαταρία. Η ποιότητα και απόδοση ενός φορτιστή είναι πάντοτε ανάλογη της τιμής του. Μερικά παραδείγματα ακολουθούν:

1. Διακοπτικός ρυθμιστής (switcher) : χρησιμοποιεί διαμόρφωση πλάτους παλμού για να ελέγξει την τάση. Έχει χαμηλή απαίτηση ισχύος και είναι αποδοτικότερος από τους γραμμικούς ρυθμιστές αλλά είναι πιο σύνθετος. Χρειάζεται ένα μεγάλο παθητικό φίλτρο για να εξομαλύνει τους παλμούς.

2.Ρυθμιστής σειράς (γραμμικός) : λιγότερο σύνθετος αλλά με περισσότερες απώλειες και παραγωγή θερμότητας. Όλο το ρεύμα περνά μέσω κάποιου ρυθμιστικού στοιχείου που πρέπει να είναι υψηλής ισχύος (μόσφαι, τρανζίστορ). Επειδή δεν υπάρχει καμία μετατροπή, παραδίδει συνεχές ρεύμα και δεν χρειάζεται φίλτρο εξόδου. Οι ρυθμιστές σειράς έχουν συνήθως καλύτερα χαρακτηριστικά ελέγχου και φόρτισης.

3.Ρυθμιστής εκτροπής : περισσότερο χρησιμοποιούνται σε φωτοβολταϊκά συστήματα δεδομένου ότι είναι σχετικά φτηνοί για να κατασκευαστούν και απλοί για να σχεδιαστούν. Το ρεύμα φόρτισης ελέγχεται από έναν διακόπτη ή τρανζίστορ που συνδέεται παράλληλα με το φωτοβολταϊκό πλαίσιο και την μπαταρία. Η υπερφόρτωση της μπαταρίας αποτρέπεται με την εκτροπή του Φ/β μέσω του τρανζίστορ όταν φθάσει η τάση σε ένα προκαθορισμένο όριο.

4.Ρυθμιστής Buck : λειτουργεί με ένα DC-DC μετατροπέα υποβιβασμού. Είναι υψηλής απόδοσης και έχει χαμηλές απώλειες θερμότητας. Δεν χρησιμοποιεί μετασχηματιστή, καταπονεί λίγο τα διακοπτικά του στοιχεία και έχει ένα μικρό φίλτρο εξόδου.

5.Φορτιστής παλμών : χρησιμοποιεί τρανζίστορ σειράς που μπορεί ανοιγοκλείσει. Όταν η τάση μπαταρίας είναι χαμηλή το τρανζίστορ μένει κλειστό και περνάει το ρεύμα της πηγής στη μπαταρία. Καθώς η τάση της μπαταρίας πλησιάζει την επιθυμητή τάση το τρανζίστορ ανοιγοκλείνει για να διατηρήσει την επιθυμητή τάση. Επειδή ενεργεί διακοπτικά παράγει λιγότερη θερμότητα και επειδή ενεργεί και γραμμικά το φίλτρο εξόδου μπορεί να είναι μικρότερο.

6. Επαγωγική φόρτιση : αναφέρεται στο σχέδιο του φορτιστή. Ουσιαστικά η πλευρά εισόδου του φορτιστή, το μέρος που συνδέεται με τη πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος, κατασκευάζεται από έναν μετασχηματιστή που είναι χωρισμένος σε δύο μέρη. Το πρωτεύον τύλιγμα του μετασχηματιστή στεγάζεται σε μια μονάδα που συνδέεται με τη πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος, ενώ το δευτερεύον τύλιγμα του μετασχηματιστή στεγάζεται στην συσκευή που περιέχει την μπαταρία, μαζί με τα υπόλοιπα ηλεκτρονικά στοιχεία. Αυτό επιτρέπει στην μπαταρία να φορτιστεί χωρίς κάποια σύνδεση με τη πηγή και χωρίς έκθεση οποιωνδήποτε επαφών που θα μπορούσαν να προκαλέσουν ηλεκτροπληξία στο χρήστη. Υπάρχουν δύο ειδών βολτόμετρα τα αναλογικά κινητού πηνίου και τα ψηφιακά. Υπάρχουν δύο ειδών βολτόμετρα τα αναλογικά κινητού πηνίου και τα ψηφιακά. Ειδικός τύπος είναι τα ηλεκτροστατικά βολτόμετρα για υψηλής τάσης. Σε κύκλωμα εναλλασσόμενου ρεύματος μέσης και υψηλής τάσεως τα βολτόμετρα συνδέονται μέσω μετασχηματιστή τάσεως.

Επιλέχθηκε ο συγκεκριμένος αυτοσχέδιος φορτιστής λόγω ότι μπορεί να εξασφαλίσει την ασφαλή λειτουργία και φόρτιση του PACK μπαταριών. Επίσης υπερτερεί από άποψη χώρου και κόστους εν συγκρίση με άλλους φορτιστές.

## 4.6 Βολτόμετρο



Το βολτόμετρο είναι ένα ηλεκτρικό όργανο που μετρά ηλεκτρική τάση μεταξύ δύο σημείων ενός κυκλώματος. Τοποθετείται πάντα παράλληλα σε ένα κύκλωμα λόγο ότι έχει μεγάλη εσωτερική αντίσταση σε σχέση με τα άλλα στοιχεία του κυκλώματος ώστε να μην επηρεάζουν τα χαρακτηριστικά του. Υπάρχουν δύο ειδών βολτόμετρα τα αναλογικά κινητού πηνίου και τα ψηφιακά. Ειδικός τύπος είναι τα ηλεκτροστατικά βολτόμετρα για υψηλές τάσης. Σε κύκλωμα εναλασσόμενου ρεύματος μέσης και υψηλής τάσεως τα βολτόμετρα συνδέονται μέσω μετασχηματιστή τάσεως. Όταν το βολτόμετρο χρησιμοποιείται για μετρήσεις στο συνεχές ρεύμα θα πρέπει να συνδέεται με την σωστή πολικότητα. Έτσι αποφεύγεται πιθανή βλάβη στο δείκτη του οργάνου. Στο εναλασσόμενο ρεύμα το βολτόμετρο μετρά την ενεργό ή ενδεικνύμενη τιμή της τάσης. Προφανώς η μέτρηση της στιγμιαίας τιμής της τάσης είναι αδύνατη. Συνεπώς η ενεργός τιμή είναι μία κατάλληλη ένδειξη για το πλάτος της τάσης.

## 4.7 Τελικό αποτέλεσμα

Το τελικό αποτέλεσμα του project είναι η κατασκευή ενός γιλέκου πλαισιωμένου από 28 φωτοβολταϊκά πάνελ, έναν φορτιστή συνδεδεμένο με ένα PACK το οποίο απαρτίζεται από 10 μπαταρίες και ένα βολτόμετρο το οποίο μετρά την τάση ρεύματος. Η σύνδεση όλων αυτών γίνεται με λεπτά τυπικά καλώδια ηλεκτρονικών συσκευών.



Μπροστά όψη



Πίσω όψη



Εσωτερική όψη

#### 4.8 Μετρήσεις

Αρχικά πέρνουμε μετρήσεις για να δούμε κάποια χαρακτηριστικά του Φ/Β. Εναποθέτουμε το Φ/Β σε ηλιακό φως μία ηλιόλουστη μέρα (ισχυρή ακτινοβολία) και μετρούμε τη τάση ανοικτοκύκλωσης και το ρεύμα βραχυκύκλωσης:

$$V_{co} = 14.02V$$

$$I_{sc} = 0.8A$$

Υπενθυμίζουμε ότι τα ονομαστικά μεγέθη είναι  $V_{co} = 16V$ ,  $7W$ .

- Μετρήσεις χωρίς φορτίο.

Συνδέουμε το Φ/Β και την μπαταρία στο σύστημα για να δούμε πως ανταποκρίνεται ο ρυθμιστής φόρτισης. Όλο το ρεύμα από το Φ/Β θα οδηγηθεί στη μπαταρία. Είχαμε ορίσει την επιθυμητή τάση πλήρους φόρτισης της μπαταρίας στα  $13.8V$  στην οποία ο ρυθμιστής θα εκτρέπει το ρεύμα από το Φ/Β στις αντιστάσεις ισχύος.

Πήραμε τις μετρήσεις:

Ωρα	V <sub>φβ</sub> (V)	V <sub>μπαταρίας</sub> (V)
06:00	7.02V	10.1V
09:00	13.04V	11.2V
12:00	14.01V	12.8V
15:00	14.01V	13.5V
18:00	13.85V	13.5V
21:00	10.40V	13.5V

Εδώ το ρεύμα εξόδου του Φ/Β είναι ίσο με το ρεύμα εισόδου στη μπαταρία ,δηλ:  $I_{φβ}(A) = I_{μπαταρίας}(A)$

Παρατηρούμε ότι το Φ/Β φόρτιζει σταθερά τη μπαταρία με ένα ικανοποιητικό ρεύμα φόρτισης που κυμένεται στα  $0.2A$ . Επίσης βλέπουμε ότι καθώς φορτίζεται η μπαταρία η τάση στα άκρα του Φ/Β ανεβαίνει έτσι το ρεύμα που δίνει μειώνεται ούτως ώστε να διατηρήσει σταθερή την ισχύ του.

Υπολογίζοντας τη μέση ισχύ εξόδου του Φ/Β :

$$P_{φβ} = V_o \times I_o \quad \text{βρίσκουμε :}$$

$$P_{φβ} = 11.2W$$

Και αντίστοιχα τη μέση ισχύ που απορροφά η μπαταρία :

$$P_{bat} = V_{bat} \times I_o \quad (I_o = I_{bat}) \quad \text{βρίσκουμε :}$$

$$P_{bat} = 28.8W$$

## 5. Επίλογος

### 5.1 Συμπεράσματα.

Από την πορεία της παρούσας εργασίας γίνεται φανερό ότι ο στόχος της μελέτης και κατασκευής ενός γιλέκου με φωτοβολταϊκά στοιχεία επιτεύχθηκε. Το γιλέκο είναι σε θέση να μπορεί να δέχεται ηλιακή ενέργεια μέσω των φωτοβολταϊκών πάνελ και να παράγει ηλεκτρική ενέργεια με τάση εξόδου 14V και ρεύμα εξόδου 0.8 A. Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια αποθηκεύεται σε ένα PACK 10 στοιχείων νικελίου-καδμίου με συνολική τάση 12V και χωρητικότητα 2,400mah. Ο χρόνος φόρτισης του συσσωρευτή είναι περίπου 3 ώρες.

### 5.2 Το παρόν και το μέλλον της φ/β τεχνολογίας.

Η κατασκευή των περισσότερων από τους αρκετά μεγάλους φ/β σταθμούς έχει γίνει με οικονομική ενίσχυση από τις κυβερνήσεις των αντίστοιχων χωρών, από διεθνείς οργανισμούς, ερευνητικά ιδρύματα ή βιομηχανίες, για κοινωνικούς λόγους ή για την απόκτηση εμπειρίας. Εξάλου είναι φανερό ότι για να συναγωνιστεί η φωτοβολταϊκή μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας, με οικονομικά κριτήρια τις συμβατικές πηγές ηλεκτρισμού σε μεγάλη κλίμακα (κίνηση αυτοκινήτων, τροφοδότηση βιομηχανιών και αστικών περιοχών, κ.λ.π.) θα πρέπει να προηγηθεί σημαντική παραπέρα μείωση του κόστους των ηλιακών στοιχείων, καθώς και των άλλων εξαρτημάτων των φ/β συστημάτων (συσσωρευτές αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, ρυθμιστές, μετατροπείς, κ.λ.π.). Θα πρέπει όμως επίσης να αλλάξει ριζικά η τεχνολογία κατασκευής των ηλιακών στοιχείων. Αυτό γίνεται φανερό με τον εξής συλλογισμό:

Το προϊόν των φ/β συστημάτων είναι ενέργεια. Επομένως ένα λογικό κριτήριο για την σκοπιμότητα επιλογής ενός φ/β συστήματος είναι ο σύντομος χρόνος ανταπόδοσης της ενέργειας που καταναλώθηκε για την κατασκευή του. Οι γνωστές όμως σήμερα τεχνολογικές μέθοδοι κατασκευής φωτοβολταϊκών ηλιακών στοιχείων είναι πολύ ενεργοβόρες. Δηλαδή υπολογίζεται ότι ένα φ/β σύστημα θα πρέπει να λειτουργεί συνεχώς επί 5 χρόνια περίπου τουλάχιστον, για να παραχθεί η ποσότητα της ενέργειας που καταναλώθηκε για τη μεταλλουργική παραγωγή του απαιτούμενου πυριτίου, τον καθαρισμό του και τη διαμόρφωση του σε ηλιακά στοιχεία. η ουσιαστικά παραγωγικά νεκρή αυτή χρονική διάρκεια της αποπληρωμής του ενεργειακού χρέους του συστήματος είναι καταρχήν πολύ μεγάλη για να δικαιολογηθεί σήμερα η γενική χρήση της φωτοβολταϊκής μετατροπής σε όλες τις ενεργειακές εφαρμογές. Έτσι και μέχρι την ανάπτυξη των νέων κατασκευαστικών τεχνολογιών και υλικών, η χρησιμοποίηση φ/β συστημάτων περιορίζεται συνήθως σε ειδικότερες εφαρμογές.

Όπως είναι φυσικό, το διεθνές ενδιαφέρον για την φωτοβολταϊκή μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας και την εγκατάσταση φ/β συστημάτων δεν διατηρείται στην ίδια ένταση με την πάροδο του χρόνου, αλλά αυξάνει παραπάνω ή υποχωρεί ανάλογα με τις παράλληλες εξελίξεις στη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας, στο κόστος των καυσίμων και στις προοπτικές ανάπτυξης των άλλων ανταγωνιστικών μεθόδων. Το ίδιο άλλωστε ισχύει και για τις άλλες

(θερμικές) μεθόδους εκμετάλλευσης της ηλιακής ακτινοβολίας, καθώς και για την γενικότερη αξιοποίηση των εναλλακτικών ενεργειακών πηγών. Η γενική εκτίμηση είναι ότι τα φ/β συστήματα θα καλύπτουν σε 10-20 χρόνια σε πολλές χώρες ένα σημαντικό ποσοστό των αναγκών σε ηλεκτρική ενέργεια, ενώ παράλληλα θα κυριαρχούν σε εξειδικευμένους τομείς, όπως οι διαστημικές εφαρμογές, η ηλεκτροδότηση νησιών και γεωγραφικά απομονωμένων εγκαταστάσεων, κ.λ.π.. Την επιτάχυνση ή την επιβράδυνση της εξέλιξης αυτής μπορούν να επηρεάσουν αποφασιστικά διάφοροι θετικοί ή αρνητικοί απρόβλεπτοι παράγοντες, όπως οι απότομες μεταβολές στο κόστος των καυσίμων (σαν τη μεγάλη πτώση της διεθνούς τιμής του πετρελαίου στις αρχές του 1986 ή την άνοδο του κατά τη διάρκεια του πολέμου στον Περσικό Κόλπο το 1991), τα πυρηνικά ατυχήματα, οι οικολογικές κινητοποιήσεις για την προστασία του περιβάλλοντος και οι κυβερνητικές επιλογές.

Τα φωτοβολταϊκα συνεπάγονται οφέλη για το περιβάλλον και την κοινωνία. Οφέλη για τον καταναλωτή για της αγορές ενέργειας και για την βιώσιμη ανάπτυξη.

Τα φωτοβολταϊκα είναι μία από τις πολλά υποσχόμενες τεχνολογίες της νέας εποχής που ανατέλλει στο χώρο της ενέργειας. Μιας νέας εποχής που θα χαρακτηρίζεται ολοένα και περισσότερο από τις μικρές αποκεντρωμένες εφαρμογές σε ένα περιβάλλον απελευθερωμένης αγοράς. Τα μικρά, ευέλικτα συστήματα που μπορούν να εφαρμοστούν σε επίπεδο κατοικίας ,εμπορικού κτιρίου ή μικρού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής , αναμένεται να κατακτήσουν ένα σημαντικό μερίδιο της ενεργειακής αγοράς στα χρόνια που έρχονται. Ένα επιπλέον κοινό αυτών των νέων τεχνολογιών είναι η φιλικότητα τους προς το περιβάλλον.

Η ηλιακή ενέργεια είναι καθαρή, ανεξάντλητη, ήπια και ανανεώσιμη. Η ηλιακή ακτινοβολία δεν ελέγχεται από κανέναν και αποτελεί ένα ανεξάντλητο εγχώριο ενεργειακό πόρο, που παρέχει ανεξαρτησία, προβλεψιμότητα και ασφάλεια στην ενεργειακή τροφοδοσία. Τα φωτοβολταϊκα, τα οποία μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρικό ρεύμα, θεωρούνται τα ιδανικά συστήματα ενεργειακής μετατροπής καθώς χρησιμοποιούν την πλέον διαθέσιμη πηγή ενέργειας στον πλανήτη και παράγουν ηλεκτρισμό, που αποτελεί την πιο χρήσιμη πηγή ενέργειας.

Τα φωτοβολταϊκα παρέχουν τον απόλυτο έλεγχο στον καταναλωτή και άμεση πρόσβαση στα στοιχεία που αφορούν την παραγόμενη και καταναλισκόμενη ενέργεια. Τον καθιστούν έτσι πιο προσεκτικό στον τρόπο που καταναλώνει την ενέργεια και συμβάλουν με αυτόν τον τρόπο στην ορθολογική χρήση κ εξοικονόμηση ενέργειας. Δεδομένου ότι η παραγωγή και κατανάλωση του ηλιακού ηλεκτρισμού γίνονται τοπικά, αποφεύγονται οι σημαντικές απώλειες της μεταφοράς και διανομής του ηλεκτρισμού και κατά αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται εξοικονόμηση ενέργειας της τάξης του 10% σε σχέση με την συμβατική παροχή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω του δικτύου.

Τα ηλιακά φωτοβολταϊκα συστήματα έχουν αθόρυβη λειτουργία, αξιοπιστία και μεγάλη διάρκεια ζωής, δυνατότητα επέκτασης ανάλογα με τις ανάγκες , δυνατότητα αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας και απαιτούν ελάχιστη συντήρηση.

Τα περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα είναι αδιαμφισβήτητα. Κάθε κιλοβατώρα που παράγεται από φωτοβολταϊκα, και άρα όχι από συμβατικά



καύσιμα, συνεπάγεται την αποφυγή έκλυσης ενός περίπου κιλού διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα( με βάση το σημερινό ενεργειακό μείγμα στην Ελλάδα και τις μέσες απώλειες του δικτύου. Ένα κιλοβάτ φωτοβολταϊκών αποτρέπει κάθε χρόνο την έκλυση 1,3 τόνων διοξειδίου του άνθρακα . Χρειάζονται 2 στρέμματα δάσους ή περίπου 100 δέντρα για να απορροφήσουν αθην την ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα. Για να παραχθεί η ίδια ηλεκτρική ενέργεια με πετρελαίο, απαιτούνται 2,2 βαρέλια πετρελαίου κάθε χρόνο. Από περιβαλλοντική άποψη, αποφεύγοντας 1.300 κιλά CO<sub>2</sub> ετησίως είναι σαν να κάνει ένα μέσο αυτοκίνητο 7.000 χιλιόμετρα λιγότερα κάθε χρόνο.

Επιπλέον, η υποκατάσταση ρυπογόνων καυσίμων από φωτοβολταϊκα συνεπάγεται λιγότερες εκπομπές άλλων επικίνδυνων ρύπων (όπως τα αιωρούμενα μικροσωματίδια, τα οξείδια του αζώτου, οι ενώσεις του θείου κ.λ.π). Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα πυροδοτούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου και αλλάζουν το κλίμα της Γης, ενώ η ατμοσφαιρική ρύπανση έχει σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία και το περιβάλλον.

Η βαθμιαία αύξηση των μικρών ηλεκτροπαραγωγών μπορεί να καλύψει αποτελεσματικά τη διαρκή αύξηση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία σε διαφορετική περίπτωση θα έπρεπε να καλυφθεί με μεγάλες επενδύσεις για σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής. Η παραγωγή ηλεκτρισμού από μικρούς παραγωγούς μπορεί να περιορίσει επίσης την ανάγκη επενδύσεων σε νέες γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Το κόστος μιας νέας γραμμής μεταφοράς είναι από υψηλό, αν λάβουμε υπόψη μας πέρα από τον τεχνολογικό εξοπλισμό και θέματα που σχετίζονται με την εξάντληση των φυσικών πόρων και τις αλλαγές στις χρήσεις γης.

## Βιβλιογραφία

- (1) Κ. Καγκαράκη, “Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία”, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα, 1992
- (2) DimonRoberts, “SolarElectricity, A practical guide to designing and installing small Photo voltaic Systems”, Prentice Hall Europe, 1991
- (3) Α. Μοσχάτος, “Ηλιακή Ενέργεια, Συνιστώσες της ηλιακής θερμικής διαδικασίας”, Έκδοση Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος, 1992
- (4) J. Kreider, C. Hoogendoom, F. Kreith, “Solar Design-Components, Systems. Economics”, Hemishere Publishing Corporation, 1989
- (5) F. Lasnier, T. GanAng, “Photovoltaic Engineering Technology”, Adam Hilger-IOP Publishing Ltd, 1990
- (6) B. S. Magal, “Solar Power Engineering”, Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, 1990
- (7) C. Tuck, “Modern Battery Technology”, Ellis Horwood Limited, 1991
- (8) Ευθ. Βαζαίος, “Εφαρμογές της Ηλιακής Ενέργειας-Υπολογισμός και Σχεδίαση Συστημάτων”, Δ’ Έκδοση, 1990
- (9) W. Marion, K. Urban, “User’s Manual for TMY2s (Typical Meteorological Years)”, Derived from the 1961-1990 National Solar Radiation Database, National Renewable Energy Laboratory, June 1995
- (10) Χ. Πίκουλας, “Μέθοδοι Υπολογισμού της Διάχυτης Ακτινοβολίας”, Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Κ.Α.Π.Ε.), Φεβρουάριος 1990
- (11) Χ. Πίκουλας, “Συγκέντρωση Δεδομένων Ηλιακής Ακτινοβολίας για την Ελλάδα”, Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Κ.Α.Π.Ε.), Ιούνιος 1989
- (12) M. Iqbal, “An Introduction to Solar Radiation”, Academic Press, 1983
- (13) The 2<sup>nd</sup> National Conference of Microcomputer Applications for Conservation and Renewable Energy, “NCMACRE II Proceedings”, October 1986
- (14) P. Baltas, M. Tortorelly, P. Russell, “Evaluation of power output for fixed and step tracking photovoltaic arrays”, Solar Energy, Vol. 37, 1986
- (15) M. Sidrach-de-Cardona, L. Lopez, “A general multivariate qualitative model for sizing stand-alone photovoltaic systems”, Solar Energy Materials & Solar Cells, Vol. 59, 1999

Γενικότερα στοιχεία ελήφθησαν από το Διαδίκτυο από τις ηλεκτρονικές διευθύνσεις:

- (16) <http://www.eren.doe.gov/millionroofs/whatispv.html> – “Million Solar Roofs-Photovoltaics”