

**Α.Τ.Ε.Ι. ΠΑΤΡΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΚΤΙΡΙΑΚΕΣ
ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ**

ΛΑΣΚΑΡΗΣ ΣΥΜΕΩΝ - ΜΑΥΡΟΜΜΑΤΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΚΑΛΟΓΗΡΟΥ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΠΑΤΡΑ 2006

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΜΟΡΦΕΣ ΤΩΝ ΑΠΕ	σελ.6
ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ PV- ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ	σελ.6

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΑΤΟΜΙΚΗ ΚΑΙ ΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΥΛΗΣ	σελ.14
ΗΛΙΑΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΥΡΙΤΙΟΥ	σελ.17
ΗΛΙΑΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΘΕΙΟΥΧΟΥ ΚΑΔΜΙΟΥ	σελ.27
ΗΛΙΑΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΡΣΕΝΙΚΟΥ ΓΑΛΛΙΟΥ	σελ.29
ΣΥΝΔΙΑΣΜΕΝΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ	σελ.31

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΤΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ	σελ.33
Η ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	σελ.35
Η ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΦΩΤΟΡΕΥΜΑΤΟΣ	σελ.37
ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΠΡΩΤΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ	σελ.39
Ο ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΠΛΗΡΩΣΗΣ	σελ.41
ΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ - ΔΕΥΤΕΡΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ	σελ.42
Η ΑΠΟΔΟΤΙΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ – ΣΕ ΣΤΑΘΕΡΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ	σελ.44
ΑΠΟΔΟΤΙΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ (ΜΕΤΑΒΑΛΛΟΜΕΝΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ)	σελ.46

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΗΜΙΑΓΩΓΩΝ ΓΙΑ ΗΛΙΑΚΕΣ
ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ σελ.48

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΝΕΑ ΕΠΑΝΑΣΤΑΤΙΚΗ ΠΗΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ σελ.50

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ σελ.55

ΤΑ ΒΑΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ Φ/Β σελ.59

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΑΥΤΟΝΟΜΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ σελ.59

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ σελ.61

ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΠΙΛΟΓΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΙΣ σελ.63

Η ΖΗΤΗΣΗ : ΟΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΙΣ σελ.65

Η ΠΡΟΣΦΟΡΑ :Η ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ σελ.64

ΤΟ ΖΗΤΟΥΜΕΝΟ: ΤΟ ΠΛΗΘΟΣ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΠΛΑΙΣΙΩΝ σελ.68

Η ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΣΥΣΤΟΙΧΕΙΩΝ σελ.70

Η ΑΝΑΓΚΗ ΓΙΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ σελ.71

ΟΙ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ ΜΟΛΥΒΔΟΥ σελ.72

Η ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ σελ.74

ΔΟΜΗ, ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΖΩΗΣ ΚΑΙ ΚΟΣΤΟΣ σελ.77

ΡΥΘΜΙΣΤΕΣ, ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ ΚΑΙ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΙΣ σελ.78

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΚΑΙ ΧΩΡΟΤΑΞΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ Φ/Β
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ σελ.80

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ σελ.83

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ σελ.86

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	σελ.87
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΥΒΡΙΔΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ	σελ.89
ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΡΝ-ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ	σελ.93
ΥΒΡΙΔΙΚΟ ΡΝ-ΣΥΣΤΗΜΑ ΓΙΑ ΚΑΛΥΨΗ ΤΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ ΕΝΟΣ ΞΕΝΟΔΟΧΕΙΟΥ	σελ.95
ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΒΟΗΘΗΤΙΚΗΣ ΠΗΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΕΝΟΣ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	σελ.99
ΡV-ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ: ΣΥΝΔΕΣΗ DC, AC	σελ.105
ΥΒΡΙΔΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΡV-ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ ΚΑΙ Σ.Κ. ΣΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΚΑΛΥΨΗΣ ΤΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ ΕΝΟΣ ΚΤΙΡΙΑΚΟΥ ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑΤΟΣ	σελ.106
ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ-ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΤΗΣ ΡΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ	σελ.107
ΓΕΝΙΚΕΣ ΕΚΤΙΜΗΣΕΙΣ	σελ.111

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στις μέρες μας , η εξάντληση των αποθεμάτων πετρελαίου μας οδηγεί σιγά-σιγά στην υιοθέτηση εναλλακτικών πηγών ενέργειας.

Σ'αυτην την εργασία θα ασχοληθούμε κυρίως με τα P_v –συστήματα. Μια μελέτη της ατομικής και κρυσταλλικής δομής της ύλης θα μα βοηθήσει να κατανοήσουμε πως με την ηλιακή ακτινοβολία μπορούμε να πάρουμε ηλεκτρική ενέργεια , ποια στοιχεία μας βοηθούν σε αυτό καθώς και πως συνδυάζονται αυτά τα στοιχεία μεταξύ τους . στην συνέχεια θα ασχοληθούμε με το φωτοβολταϊκο φαινόμενο πως απορροφάται η ακτινοβολία στα φωτοβολταϊκα στοιχεία , την δημιουργία του φωτορεύματος καθώς και τα φωτοβολταϊκα χαρακτηριστικά των φωτοβολταϊκων στοιχείων.

Τι είναι συντελεστής πλήρωσης; πως αποδίδουν τα φωτοβολταϊκα στοιχεία ; που εφαρμόζονται ; Είναι μερικά ερωτήματα στα οποία θα προσπαθήσουμε να απαντήσουμε.

Εκτενώς θα αναφερθούμε στα αυτόνομα φωτοβολταϊκα συστήματα όσο αφορά τον σχεδιασμό τους, τις βασικές επιλογές τους ,τη ζήτηση που θα έχουν στην αγορά, την προσφορά τους ,τον αριθμό των πλαισίων που θα πρέπει να τοποθετήσουμε για την καλύτερη απόδοση , την διάρκεια ζωής τους και το κόστος τους.

Επίσης στο κεφάλαιο υβριδικά συστήματα θα εξηγήσουμε πως μπορούμε να συνδυάσουμε ένα φωτοβολταϊκο πλαίσιο με μια άλλη πηγή ενέργειας .

Τέλος ,προτείνουμε κάποιες νέες προτάσεις για την εξέλιξη της P_v - τεχνολογίας και κάνουμε κάποιες γενικές εκτιμήσεις για το που θα οδηγηθούμε στο μέλλον με αυτές τις νέες τεχνολογίες.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Λόγοι ανάπτυξης και εξέλιξης εναλλακτικών πηγών ενέργειας

Ως Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) ορίζονται οι ενεργειακές πηγές (ο ήλιος, το νερό, ο άνεμος, η βιομάζα, κλπ.), οι οποίες υπάρχουν σε αφθονία στο φυσικό μας περιβάλλον. Είναι οι πρώτες μορφές ενέργειας που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος, σχεδόν αποκλειστικά, μέχρι τις αρχές του 20ου αιώνα, οπότε και στράφηκε στην εντατική χρήση του άνθρακα και των υδρογονανθράκων.

Το ενδιαφέρον για την ευρύτερη αξιοποίηση των ΑΠΕ, καθώς και για την ανάπτυξη αξιόπιστων και οικονομικά αποδοτικών τεχνολογιών που δεσμεύουν το δυναμικό τους παρουσιάσθηκε αρχικά μετά την πρώτη πετρελαϊκή χρήση του 1979 και παγιώθηκε την τελευταία δεκαετία, μετά τη συνειδητοποίηση των παγκόσμιων περιβαλλοντικών προβλημάτων. Τα εγγενή πλεονεκτήματα των ΑΠΕ και κυρίως η ουσιαστική συμβολή τους στην ενεργειακή απεξάρτηση της ανθρωπότητας από τους εξαντλήσιμους ενεργειακούς πόρους, επιτάσσουν αυτήν τη στροφή.

Για πολλές χώρες, οι ΑΠΕ αποτελούν μία σημαντική εγχώρια πηγή ενέργειας, με μεγάλες δυνατότητες ανάπτυξης σε τοπικό και εθνικό επίπεδο. Συνεισφέρουν σημαντικά στο ενεργειακό τους ισοζύγιο, συμβάλλοντας στη μείωση της εξάρτησης από το ακριβό και εισαγόμενο πετρέλαιο και στην ενίσχυση της ασφάλειας του ενεργειακού τους εφοδιασμού. Παράλληλα, συντελούν και στην προστασία του περιβάλλοντος, καθώς έχει πλέον διαπιστωθεί ότι ο ενεργειακός τομέας είναι ο πρωταρχικός υπεύθυνος για τη ρύπανση του περιβάλλοντος.

Πραγματικά, σχεδόν το 95% της ατμοσφαιρικής ρύπανσης οφείλεται στην παραγωγή, το μετασχηματισμό και τη χρήση των συμβατικών καυσίμων (άνθρακας και πετρέλαιο). Φαίνεται συνεπώς ότι ο μόνος δυνατός τρόπος για να μπορέσει η Ευρωπαϊκή Ένωση να ανταποκριθεί στο φιλόδοξο στόχο που έχει θέσει, για σημαντικό περιορισμό των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), είναι να επιταχύνει την ανάπτυξη των ΑΠΕ.

ΜΟΡΦΕΣ ΤΩΝ ΑΠΕ

Αιολική Ενέργεια: η κινητική ενέργεια που παράγεται από τη δύναμη του ανέμου και μετατρέπεται σε απολήψιμη μηχανική ενέργεια ή / και σε ηλεκτρική ενέργεια

Υδραυλική Ενέργεια: αξιοποιεί τις υδατοπτώσεις, με στόχο την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή και το μετασχηματισμό της σε απολήψιμη μηχανική ενέργεια

Βιομάζα: είναι αποτέλεσμα της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας, που μετασχηματίζει την ηλιακή ενέργεια με μία σειρά διεργασιών των φυτικών οργανισμών χερσαίας ή υδρόβιας προέλευσης

Ηλιακή Ενέργεια: αξιοποιείται μέσω τεχνολογιών που εκμεταλλεύονται και τη θερμότητα και τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα του ήλιου. Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας, διακρίνονται σε:

- **Ενεργητικά Ηλιακά Συστήματα:** μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε θερμότητα
- **Παθητικά Ηλιακά και Υβριδικά Συστήματα:** αφορούν κατάλληλες αρχιτεκτονικές λύσεις και χρήση κατάλληλων δομικών υλικών για τη μεγιστοποίηση της απ' ευθείας εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας για θέρμανση, κλιματισμό ή φωτισμό
- **Φωτοβολταϊκά Ηλιακά Συστήματα:** μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια άμεσα σε ηλεκτρική ενέργεια

Γεωθερμική Ενέργεια: η θερμική ενέργεια που προέρχεται από το εσωτερικό της γης και εμπεριέχεται σε φυσικούς ατμούς, σε επιφανειακά ή υπόγεια θερμά νερά και σε θερμά ξηρά πετρώματα

Αστικά Απορρίματα: η αξιοποίηση του ενεργειακού περιεχομένου τους

Παρουσίαση εφαρμογών pv- συστημάτων

Όταν το πρόγραμμα της φωτοβολταϊκής (Pv) τεχνολογίας ξεκίνησε οργανωμένα σε παγκόσμιο επίπεδο και κυρίως στις Η.Π.Α και την Ευρώπη,

πριν από 20 χρόνια, ουσιαστικά δεν υπήρχε αγορά για τις Pν-εφαρμογές παρά μόνον σε εξειδικευμένες περιπτώσεις και ιδίως στην διαστημική τεχνολογία, όπως δείχνει το σχήμα



Σχήμα III: Ο δορυφόρος Mir που καλύπτει τις ενεργειακές ανάγκες λειτουργίας των συσκευών του με PV πλαίσια.

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



Σχήμα IV: Συνδυασμός ανεμογεννήτριας και PV πλαισίων για κάλυψη των ηλεκτρικών φορτίων. Είναι ένα αυτόνομο υβριδικό σύστημα που το συναντάμε σε περιοχές ορεινές ή μακριά από το δίκτυο σε πλήθος από εφαρμογές, βλ. σχήμα 6.20.



Σχήμα V: Συνδυασμός PV-γεννήτριας-ανεμογεννήτριας σε ορεινή περιοχή μακριά του δικτύου για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών κατά περίπτωση.

Οι Pν-γεννήτριες χρησιμοποιούνται ακόμα και για τις ανάγκες συστημάτων επικοινωνίας, συστημάτων μετρήσεων μετεωρολογικών και άλλων φυσικών μεγεθών και φαινομένων, ηλεκτροφωτισμού περιοχής, στάθμευσης κτλ



Σχήμα VI: PV-γεννήτρια με PV στοιχεία τεχνολογίας λεπτού υμενίου. Τα στοιχεία είναι λεπτά, ελαφρά και ευλόγιστα και προσαρμόζονται εύκολα ακόμα και σε καμπύλες επιφάνειες όπως π.χ. πλοίαρια, οχήματα κλπ.

Ωστόσο, η απόδοσή τους υπολείπεται αυτής των κρυσταλλικού ή πολυ-κρυσταλλικού τύπου PV-στοιχείων, βλ. σχήματα I.II(γ) και I.II(δ).



Σχήμα VII: Εγκατάσταση PV πλαισίων σε στέγη για αυτοδύναμη κάλυψη των ενεργειακών αναγκών (ηλεκτρικά φορτία). Μία τέτοια κατοικία απαιτεί ημερησίως περίπου 5 kWh.



Σχήμα VIII: Εφαρμογές PV σε νέα κτίρια. Πρόσωση κτιρίου 42 m² καλυμμένη από PV-πλαίσια, από στοιχεία άμορφου (α)Si.



Σχήμα IX: Εγκατάσταση PV-γεννητριών στο εργοστάσιο της Ford Motor στο Cardiff της Ουαλίας. Ισχύς: 97 kW_p

- Ένας ακόμα παράγοντας που συνεισφέρει στην αύξηση της χρήσης της PV τεχνολογίας, είναι και αυτός της «πράσινης ενεργείας», με στόχο ένα

καθαρό περιβάλλον και με σύγχρονη μείωση των επιπτώσεων του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Τι καλούμε «**πράσινη** ενέργεια»; Με τον όρο αυτό θεωρούμε εκείνη την ενέργεια η οποία προέρχεται από πηγές οι οποίες ουσιαστικά δε ρυπαίνουν την ατμόσφαιρα με CO₂ και άλλα επιβλαβή καυσαέρια.

Βεβαίως υπάρχουν διαβαθμίσεις ως προς την εκπομπή ρυπαντών από τις διάφορες πηγές ηλεκτρικής ενέργειας π.χ. βαθιά πράσινη, ελαφρά πράσινη κ.α.

«**Βαθιά πράσινη**» ενέργεια αποδίδουν οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας: Αιολική, Ηλιακή, Υδροηλεκτρική, Βιοενέργεια, οι οποίες απορρίπτουν στο περιβάλλον ελάχιστο CO₂ ανά kWh

«**Ελαφρά πράσινη**» ενέργεια παράγεται από τα απορρίμματα-απόβλητα (μέσω πυρόλυσης κλπ), από την Συμπαραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας και από το φυσικό αέριο.

Αντίθετα η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από καύσεις υδρογονανθράκων εκλύει στο περιβάλλον το μέγιστο ποσό CO₂ και γι' αυτό ονομάζουμε τις πηγές αυτές, «**μαύρες** πηγές» ενέργειας.

Ο Πίνακας δίνει την διαφορά στην εκπομπή CO₂ σε gr/kWh για τις διάφορες πηγές ενέργειας.

Τυπικές τιμές έκλυσης CO₂ από διάφορες πηγές ηλεκτρικής ενέργειας

ΠΗΓΗΣ	Εκπομπή CO ₂ σε gr ανά kWh
Μικρά υδροηλεκτρικά	50 gr/kWh
Σύνθετη παραγωγή ενέργειας	300 gr/kWh
Μέσος όρος Μ.Βρετανίας	500 gr/kWh
Άνθρακας	1050 gr/kWh

Το ζήτημα της ρύπανσης του περιβάλλοντος από τα αέρια του θερμοκηπίου και οι επερχόμενες λόγω αυτού κλιματολογικές μεταβολές συζητήθηκαν το Δεκέμβριο του 1997 σε διεθνή συνάντηση που οργάνωσαν τα Ηνωμένα έθνη στο Κγτο της Ιαπωνίας.

Όμοια συνάντηση για τα ίδια ζητήματα είχε συγκληθεί στο Rio de Janeiro της Βραζιλίας το 1992. Το πρωτόκολλο της συνάντησης του Kyoto υπεγράφη από 171 χώρες και αναφέρεται στη νομική δέσμευση περιορισμού εκπομπών CO₂ και γενικά των αερίων θερμοκηπίου. Δεδομένα για το ζήτημα αυτό δείχνει ο πίνακας .

Κατά τη συνάντηση του Kyoto υποστηρίχθηκε ότι: η αειφόρος ανάπτυξη των κοινωνιών, αν αποδεχθούμε την πολιτική "**παραγωγής ενεργείας και τρόπου ζωής**", που ακολουθεί η σημερινή γενιά, δεν επιτρέπεται να γίνει εις βάρος των μελλοντικών γενεών.

Για όλα αυτά απαιτείται ο περιορισμός της εκπομπής αέριων ρυπαντών και κυρίως CO₂ όπως παρουσιάζεται στον πίνακα .

Πίνακας Ενδεικτικές μειώσεις των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου για διάφορες χώρες με σημείο αναφοράς το 1990, όπως αποφασίσθηκε βάσει του πρωτοκόλλου του Kyoto

Χώρα	Ιαπωνία	Η.Π.Α	Ελβετία-Ευρ. Ένωση	Ισλανδία	Αυστραλία
Μείωση (%) της εκπομπής των αερίων «θερμοκηπίου»	- 6%	- 7%	- 8%	+ 10%	+ 8%

Σε αναπτυσσόμενες χώρες (Ισλανδία-Αυστραλία) τέθηκε όριο αύξησης των εκπομπών αυτών. Γενικά προγραμματίζεται μια μέση μείωση της εκπομπής των αερίων «θερμοκηπίου» σε παγκόσμια κλίμακα κατά 5.2% μεταξύ των ετών 2008-2012 σε σχέση με τα επίπεδα εκπομπής του 1990.

Η συγκέντρωση των αερίων ρυπαντών κατά διάφορους περιόδους καθώς και άλλα χρήσιμα στοιχεία παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα.

Πίνακας : Αέριοι ρυπαντές των οποίων η συγκέντρωση(C) επηρεάζεται από ανθρώπινες δραστηριότητες: Διαχρονική εξέλιξη

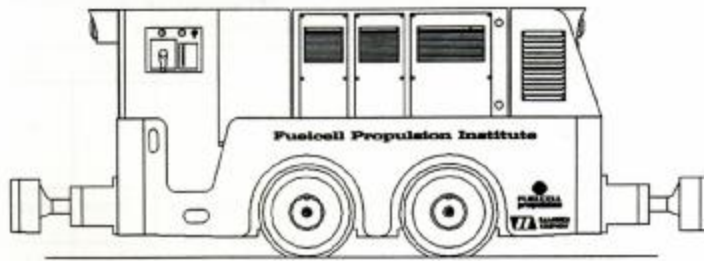
Αέριοι ρυπαντές	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CFC-11	HCFC	CF ₄
Συγκεντρώσεις πριν την βιομηχανική επανάσταση	-280 ppbv	-700 ppbv	-275	0	0	0
Συγκεντρώσεις το 1994	358 ppbv	1720 ppbv	312* ppbv	268* pptv	110 pptv	72* pptv
Ρυθμός μεταβολής της συγκέντρωσης	1.5 ppbv/yr 0.4%/yr	10 ppbv/yr 0.6%/yr	0.8 ppbv/yr 0.25%/yr	0 pptv/yr 0%/yr	5 ppbv/yr 5%/yr	1.2 pptv/yr 2%/yr
Ατμοσφαιρική ζώνη των ρυπαντών σε έτη	50-200	12	120	50	12	50000
<p>* Δεδομένα από το 1992 1 pptv=1 μέρος ανά τρισεκατομμύριο κατ'όγκον 1 ppbv=1 μέρος ανά δισεκατομμύριο κατ'όγκον 1 ppbv=1 μέρος ανά εκατομμύριο κατ'όγκον Ο ρυθμός αλλαγής των CO₂,CH₄ και N₂O είναι ο μέσος όρος για μια δεκαετία ξεκινώντας από το 1984.</p>						

Η πολιτική αυτή δέσμευση σε Παγκόσμιο επίπεδο για καθαρή “Πράσινη” ενέργεια δίνει ένα ταχύτερο βήμα στην ανάπτυξη του ρυθμού στην αγορά των ν αλλά και στην ανάπτυξη της τεχνολογίας τους.

Παρ’ όλον ότι το κόστος Παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τις Ρν-εγκαταστάσεις, σήμερα είναι υψηλότερο απ’ αυτό των συμβατικών, εν τούτοις μειούται συνεχώς ταχύτατα, όπως είδαμε στο σχήμα ΧΙ.

Βέβαια, δεν πρέπει να παραγνωρίζουμε ότι υπάρχουν και προκλήσεις υψηλής τεχνολογίας που οδηγούν απευθείας στην χρήση ν τεχνολογίας ή και στα Στοιχεία Καυσίμου, με ειδικές εφαρμογές σε αυτοκίνητα ή πλοία, αλλά και για εξειδικευμένες εφαρμογές.

Φέρνουμε ως παράδειγμα τον σχεδιασμό και την κατασκευή ενός συστήματος μεταφοράς μεταλλεύματος σε υπόγειες στοές ορυχείου, από το Ινστιτούτο «Fuelcell Propulsion» των Η.Π.Α.



Σχέδιο οχήματος που θα χρησιμοποιεί την καύση H_2 παραγόμενου από Στοιχεία Καυσίμου.

Το όχημα αυτό σχεδιάστηκε να ρυμουλκεί βαγονέτα με μέταλλευμα εντός στοών ορυχείου και η χρήση στοιχείου καυσίμου κρίνεται ασφαλής και καθαρή καθώς παράγει ως απόβλητο μόνον H_2O .

Μάλιστα προβλέφθηκε αυτό το σύστημα να κυλάει σε ράγες που έχουν κλίση $\sim 0.05\%$ με την βοήθεια της βαρύτητας, ενώ όταν είναι άδειο να κινείται ανηφορικά με την βοήθεια Στοιχείων Καυσίμου.

Υπολογίζεται ότι για ένα σιδηροδρομικό τέτοιο συρμό βάρους 4 τόνων απαιτείται μια ροπή 96 Nm που δημιουργείται από ρεύμα που παράγεται από 52 στοιχεία συσσωρευτών Pb-οξέος με τάση 2 Volts έκαστον. Συνολικά, προκύπτει ονομαστική τιμή 104 Volts και μέγιστη ισχύς 14 kw κατά την εκκίνηση.

Υπάρχουν επίσης περιπτώσεις εφαρμογής P_v στοιχείων σε:

-> αυτοκίνητα ή φορτηγά ψυγεία που σχεδιάστηκαν να χρησιμοποιούν ενέργεια από συστοιχία PV-πλαισίων ενσωματωμένων στην επιφάνεια τους ή, να χρησιμοποιούν Στοιχεία Καυσίμου που καίουν H_2 που παράγεται από ηλεκτρόλυση H_2O με την χρήση PV.

-> εφαρμογές για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε περιοχές απομακρυσμένες του δικτύου, π.χ. νησιά, ορεινές περιοχές, ή

-> ολοκληρωμένα ενεργειακά συστήματα, όπου το ζήτημα ενέργεια αντιμετωπίζεται με τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και εκεί τα PV-στοιχεία αποτελούν τμήμα του συστήματος παραγωγής (ηλεκτρικής) ενέργειας ή λειτουργούν υποβοηθητικά

Τέλος, τα PV στοιχεία, άρχισαν να ενσωματώνονται στα νέα κυρίως κτίρια, καθώς η νέα αντίληψη για καθαρό περιβάλλον-εξοικονόμηση ενέργειας αρχίζει να αποτελεί καθοριστικό παράγοντα σε κάθε πτυχή της ζωής μας

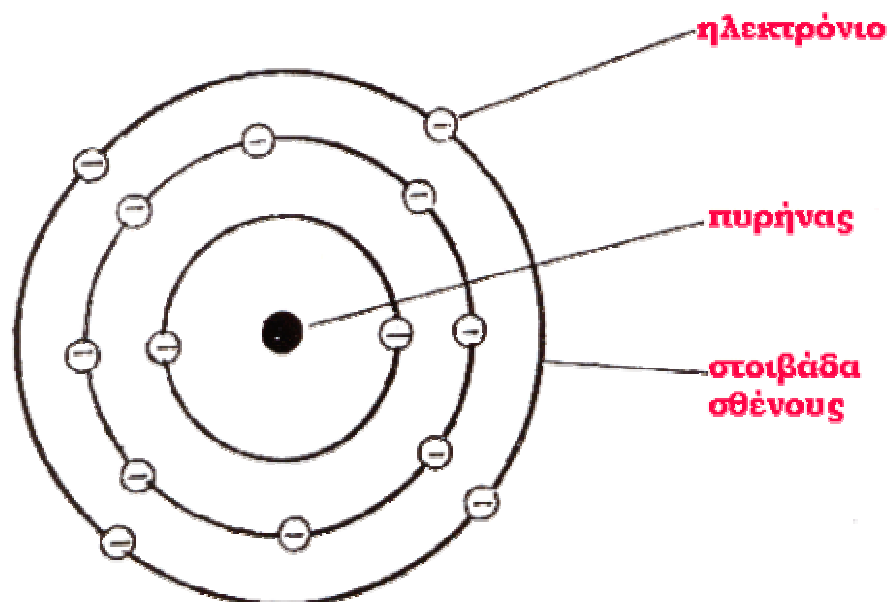
ΑΤΟΜΙΚΗ ΚΑΙ ΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΥΛΗΣ

Κάθε στοιχείο από αυτά που υπάρχουν στη φύση χαρακτηρίζεται από διαφορετική ατομική δομή. Για παράδειγμα το αλουμίνιο διαφέρει από το χαλκό γιατί η δομή του ατόμου του πρώτου στοιχείου είναι διαφορετική από αυτή του δεύτερου.

Ως προς τη δομή του, το άτομο μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελείται από ένα θετικά φορτισμένο πυρήνα, γύρω από τον οποίο περιφέρονται τα ηλεκτρόνια που είναι φορτισμένα αρνητικά (σχήμα 13).

Ο πυρήνας δεν είναι ένα απλό σωματίδιο, αποτελείται από τα θετικά πρωτόνια και τα ουδέτερα νετρόνια. Τα άτομα είναι ηλεκτρικώς ουδέτερα πράγμα που σημαίνει ότι ο αριθμός των πρωτονίων του πυρήνα είναι ίσος με τον αριθμό των ηλεκτρονίων.

Τα ηλεκτρόνια που περιφέρονται γύρω από τον πυρήνα βρίσκονται (διατάσσονται) σε στοιβάδες. Η εξωτερική στοιβάδα των ηλεκτρονίων ονομάζεται στοιβάδα σθένους (σχήμα 14) και είναι τα ηλεκτρόνια της στοιβάδας αυτής (ηλεκτρόνια σθένους) που επηρεάζουν την αγωγιμότητα του ηλεκτρικού ρεύματος. Αν λόγω κάποιου εξωτερικού αιτίου (π.χ θέρμανσης ή ακτινοβολίας), κάποια ηλεκτρόνια σθένους αποκτήσουν αρκετή ενέργεια για να ξεφύγουν από την έλξη του πυρήνα, μεταπηδούν στη στοιβάδα αγωγιμότητας που είναι στοιβάδα μεγαλύτερης ενέργειας. Τα ηλεκτρόνια αυτά κινούνται άτακτα μεταξύ των ατόμων και λέγονται ελεύθερα ηλεκτρόνια.



Σχ.14 Το άτομο του πυριτίου

Με κριτήριο την ηλεκτρική αγωγιμότητα τα στοιχεία χωρίζονται σε τρεις βασικές κατηγορίες.

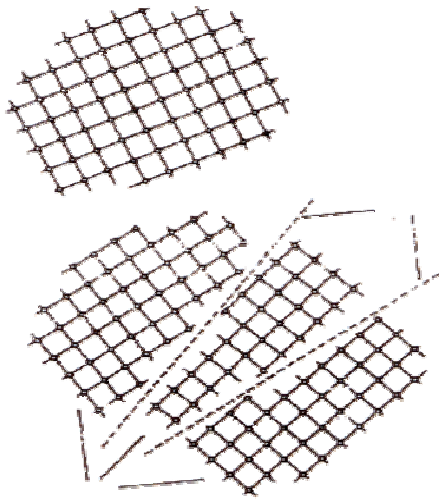
α) Καλοί αγωγοί. Τα στοιχεία που είναι καλοί αγωγοί έχουν άτομα με ένα ή δύο ηλεκτρόνια στη στοιβάδα σθένους τα οποία μπορούν να ελευθερωθούν στη στοιβάδα αγωγιμότητας και να κινούνται στο χώρο μεταξύ των ατόμων. Αυτά είναι τα ηλεκτρόνια (ελεύθερα ηλεκτρόνια) που συνεισφέρουν στο ηλεκτρικό ρεύμα που δημιουργείται στα μέταλλα.

β) Μονωτές. Τα στοιχεία που ανήκουν στην κατηγορία αυτή έχουν άτομα με 6 ή 7 ηλεκτρόνια στη στοιβάδα σθένους. Τα ηλεκτρόνια αυτά παραμένουν δέσμια στο άτομο και έτσι δεν μπορούν να συνεισφέρουν στο ηλεκτρικό ρεύμα.

γ) Ημιαγωγοί. Είναι στοιχεία που βρίσκονται από πλευράς ηλεκτρικής αγωγιμότητας μεταξύ καλών αγωγών και μονωτών. Τα άτομά τους έχουν 3, 4 ή 5 ηλεκτρόνια στην στοιβάδα σθένους και για αυτό μπορούν να συνεισφέρουν κατά μικρά μεταβλητά ποσά στο ηλεκτρικό ρεύμα ανάλογα με τα αίτια που το προκαλούν.

Οι ημιαγωγοί είναι τα υλικά που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή ηλεκτρονικών υπολογιστών, των φωτοανιχνευτών και στα υπό μελέτη φωτοβολταϊκά στοιχεία.

Σε όλα τα στερεά τα άτομα έχουν καθορισμένες θέσεις και ταλαντεύονται λίγο ανάλογα με την ενέργεια που τους έχει δοθεί. Για αυτό, τα στερεά έχουν καθορισμένο σχήμα το οποίο πολύ δύσκολα μπορεί να μεταβληθεί. Ο τρόπος με



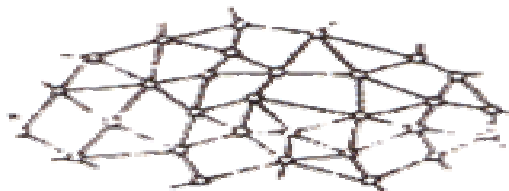
Σχ.15 Κρυσταλλική και πολυκρυσταλλική δομή στο πυρίτιο

σχήματος όπως για παράδειγμα είναι το κρυσταλλικό πυρίτιο.

Στη πολυκρυσταλλική δομή υπάρχουν πολλοί μικροί κρύσταλλοι προσανατολισμένοι κατά διαφορετικές διευθύνσεις όπως για παράδειγμα είναι τα μέταλλα και το πολυκρυσταλλικό πυρίτιο (σχήμα 15).

β) Άμορφα στερεά

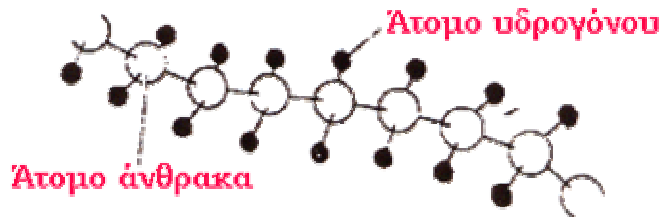
Στα στερεά αυτά δεν υπάρχει κανονική εσωτερική δομή και παρομοιάζονται με υγρά που έχουν πολύ μεγάλη εσωτερική τριβή ώστε να μη κινούνται σχεδόν καθόλου όπως για παράδειγμα το γυαλί και το άμορφο πυρίτιο (σχήμα 16).



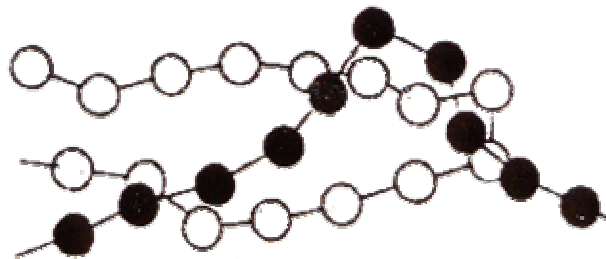
Σχ.16 Θέσεις ατόμων στο άμορφο πυρίτιο

γ) Πολυμερή στερεά

Στα στερεά αυτά τα μόρια σχηματίζουν μεγάλες αλυσίδες και κάθε μια περιέχει πολύ μεγάλο αριθμό ατόμων που μπορεί να φθάσουν και στα 10.000. Παράδειγμα τέτοιων μορίων είναι το πολυαιθυλένιο (σχήμα 17) και το λάστιχο (σχήμα 18). Οι αλυσίδες των μορίων συγκρατούνται μεταξύ τους με διάφορους τρόπους και ανάλογα με τη σύνδεση τους έχουν και διαφορετική αντοχή.



Σχ.17 Μόριο πολυαιθυλενίου



Σχ.18 Στο λάστιχο τα άτομα του άνθρακα σχηματίζουν μεγάλες αλυσίδες που μπλέκονται

2)ΗΛΙΑΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΥΡΙΤΙΟΥ

Η επιλογή και η συμπεριφορά του πυριτίου.

Το πυρίτιο είναι ένας ημιαγωγός με άμεσο ενεργειακό διάκενο 1,1eV. Αν και οι δύο αυτές ιδιότητες (έμμεσο και σχετικά μικρή τιμή διακένου) δεν είναι ιδεώδεις για τη φωτοβολταϊκή μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας, το πυρίτιο είναι ο ημιαγωγός που κυριάρχησε από την αρχή μέχρι και σήμερα, σαν υλικό κατασκευής των ηλιακών στοιχείων. Η αιτία είναι ίσως ότι το πυρίτιο έχει ήδη ένα πλούσιο παρελθόν 3-4 δεκαετιών σαν το κύριο υλικό των διατάξεων των ημιαγωγών της ηλεκτρονικής. Επομένως οι ιδιότητές του είναι καλά μελετημένες και το υλικό κυκλοφορεί στην αγορά σε αρκετά μεγάλες ποσότητες, με ικανοποιητική χημική

καθαρότητα και τελειότητα κρυσταλλικής δομής, με τη χρησιμοποίηση τεχνολογικών μεθόδων δοκιμασμένων με επιτυχία.

Επίσης, τα ηλιακά στοιχεία πυριτίου έχουν λειτουργήσει με απολύτως ικανοποιητική αξιοπιστία σε ακραίες συνθήκες, τόσο σε διαστημικές όσο και σε επίγειες. π.χ. σε διαστημόπλοια σε τροχιά προς τον πλανήτη Δία με ένταση ακτινοβολίας μόλις 50 W/m² και θερμοκρασία -120 οC, ή σε άλλα διαστημόπλοια σε τροχιά προς τον Ερμή και την Αφροδίτη με ένταση ακτινοβολίας 2,5 KW/M² και θερμοκρασίας 140 οC, ή σε συστήματα συγκεντρωμένου φωτός, στην επιφάνεια της γης, ισχύος εκατοντάδων ήλιων. Επίσης, σε πλαίσια τοποθετημένα σε κορυφές βουνών εκτεθειμένα σε χιονοθύελλες και ταχύτητες ανέμου πάνω από 100 Km/h, στο έντονο διαβρωτικό περιβάλλον της θαλάσσιας ατμόσφαιρας, σε περιοχές με μεγάλες θερμοκρασιακές μεταβολές κλπ. Ενδεικτικό της επιτυχίας των ηλιακών στοιχείων πυριτίου είναι ο εντυπωσιακός ρυθμός της αύξησης της παραγωγής τους. Πριν από είκοσι χρόνια, η ετήσια παραγωγή των ηλιακών φωτοβολταϊκών στοιχείων πυριτίου δεν ξεπερνούσε, σε συνολική ισχύ αιχμής, τα λίγα KWp, και προορίζονταν αποκλειστικά για τηλεπικοινωνιακούς, μετεωρολογικούς και ερευνητικούς δορυφόρους. Σήμερα η ετήσια παραγωγή τους έχει φτάσει τα 10 MWp (αύξηση περίπου 1000 φορές), από τα οποία τα μόλις τα 150 KWp προορίζονται για δορυφορικές ή άλλες διαστημικές εφαρμογές, ενώ το υπόλοιπο χρησιμοποιείται σε επίγειες φωτοβολταϊκές διατάξεις.

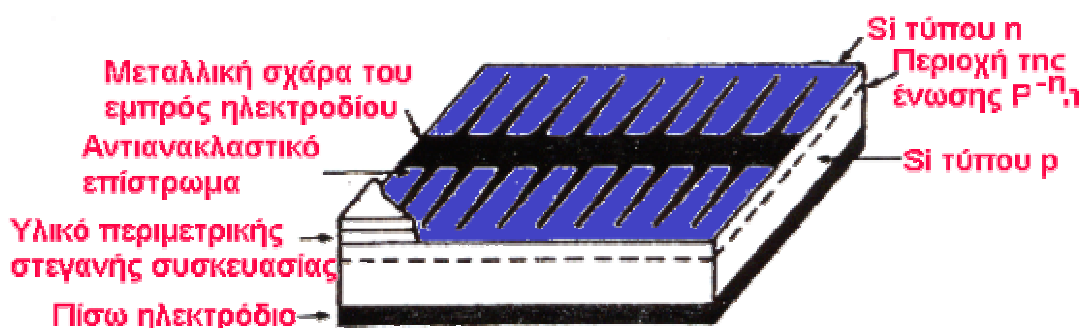
Σύμφωνα με ένα θεωρητικό υπολογισμό, η απόδοση των ηλιακών στοιχείων πυριτίου μπορεί να φθάσει μέχρι 23,92% για συνθήκες AM1. ο υπολογισμός έχει γίνει για ηλιακό στοιχείο πάχους 100μm με εμπρός τμήμα τύπου ή πάχους 0,2μm και ζώνη εξάντλησης πάχους 0,15 μm. Το μήκος διάχυσης των φορέων μειονότητας θεωρήθηκε 150 μm και ο μέσος χρόνος ζωής τους 20 μs , περίπου. Ένα τέτοιο στοιχείο θα έδινε ανοιχτοκυκλωμένη τάση VDC= 0,7 V και πυκνότητα βραχυκυκλωμένου φωτορεύματος IΦ = 40 mA/cm², περίπου.

Πειραματικά η μεγαλύτερη απόδοση ηλιακού στοιχείου πυριτίου σε συνθήκες AM1 μετρήθηκε εργαστηριακά 19%, με απώλειες ανάκλασης 3% και συντελεστή πλήρωσης 0,77.Στις πρακτικές εφαρμογές τα ηλιακά στοιχεία μονοκρυσταλλικού ή πολυκρυσταλλικού πυριτίου μεγάλης επιφάνειας έχουν απόδοση περίπου 10-12% ή λίγο μεγαλύτερη.

Η παρασκευή του ηλιακού στοιχείου

Για να έχει το πυρίτιο, αλλά και κάθε άλλος κρυσταλλικός ημιαγωγός, ικανοποιητικές ιδιότητες για φωτοβολταϊκές και γενικότερα για ηλεκτρονικές εφαρμογές (π.χ. μεγάλη κινητικότητα, μεγάλο μήκος διάχυσης και μεγάλο χρόνο ζωής των φορέων – κυρίως των φορέων μειονότητας - πριν από την επανασύνδεσή τους) πρέπει να είναι πολύ μεγάλης καθαρότητας και το κρυσταλλικό τους πλέγμα να μην έχει αταξίες δομής. Η πρώτη φάση του καθαρισμού του πυριτίου γίνεται με την ανάτηξη και στη συνέχεια με την μετατροπή του "μεταλλουργικού" πυριτίου σε αέριο τριχλωροσιλάνιο (SiHCl_3) που αποχωρίζεται από τις διάφορες προσμίξεις με κλασματική απόσταξη. Το "μεταλλουργικό" πυρίτιο έχει καθαρότητα περίπου 99.6% που είναι πολύ καλή για τις συνηθισμένες τεχνικές χρήσεις, αλλά εντελώς ανεπαρκής για ηλεκτρονικές εφαρμογές.

Στη συνέχεια, το τριχλωροσιλάνιο ανάγεται με υδρογόνο και συμπυκνώνεται πυρίτιο ποιότητας "ημιαγωγού" ή "ηλεκτρονικής", που τήκεται και ανακρυσταλλώνεται με ακόμη μεγαλύτερη καθαρότητα, π.χ. της τάξης του 99.999999%, σε κυλινδρική μονοκρυσταλλική μορφή, διαμέτρου περίπου 10cm. Από τον κύλινδρο κόβονται δίσκοι, πάχους περίπου 0.5mm, οι οποίοι λειαίνονται με επιμέλεια για την απομάκρυνση των ελαττωμάτων της κοπής και στη συνέχεια διαμορφώνονται σε διόδους p - n με επίταξη, διάχυση ή εμφύτευση προσμίξεων. Το τελικό στάδιο είναι η συγκόλληση των ηλεκτροδίων στην εμπρός και πίσω όψη του δίσκου, η αλληλοσύνδεση των έτοιμων πια στοιχείων, η κάλυψη της εμπρός επιφάνειας τους με ένα αντανάκλαστικό επίστρωμα για τη μείωση της ανάκλασης του φωτός και η στεγανή συσκευασία σε πλαίσια (σχήμα 19).



Σχ19 Σχηματική απεικόνιση της τομής ενός συσκευασμένου ηλιακού Φ/β στοιχείου. Το παράδειγμα αφορά σε στοιχείο πυριτίου τύπου n/p

Το ηλεκτρόδιο της εμπρός όψης του ηλιακού στοιχείου αποτελείται από ένα αραιό μεταλλικό δικτυωτό πλέγμα, σε σχήμα σχάρας, ώστε να αφήνει ελεύθερο το μεγαλύτερο μέρος της επιφάνειας για να δέχεται το φως. Το πλέγμα είναι συνήθως από κράματα αργύρου και καλύπτει περίπου το 15% της επιφάνειας του στοιχείου. Το ηλεκτρόδιο του πίσω τμήματος του δίσκου, όπου δεν υπάρχει πρόβλημα κάλυψης, αφού δεν δέχεται ακτινοβολία, αποτελείται συνήθως από ένα λεπτό φύλο αλουμινίου, σε όλο το πλάτος του στοιχείου.

Κανονικά, περίπου το 30% της ηλιακής ακτινοβολίας, πέφτει σε μία επιφάνεια πυριτίου, ανακλάται πάλι προς το περιβάλλον. Για να μειωθεί η μεγάλη αυτή απώλεια, επικαλύπτονται τα ηλιακά στοιχεία με ένα στρώμα από κατάλληλα αντανάκλαστικά υλικά (π.χ. SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 , Ta_2O_5 , Si_3N_4) που περιορίζουν την ανάκλαση περίπου στο 5%.

Η επίδραση της υγρασίας του περιβάλλοντος μπορεί να προκαλέσει πρόωρη φθορά στα ηλιακά στοιχεία, και κυρίως στις ηλεκτρικές τους συνδέσεις. Γι' αυτό, τα συναρμολογημένα στοιχεία καλύπτονται συνήθως με ένα λεπτό γυαλί, που επικολλάται πάνω τους με τη βοήθεια ενός διαφανούς πλαστικού φύλλου, στεγανοποιούνται με μια περιμετρική ελαστική ταινία και το σύνολο συγκρατείται ισχυρά και μόνιμα με τη βοήθεια μιας άλλης περιμετρικής ταινίας, μεταλλικής, συνήθως από αλουμίνιο.

Η δαπάνη για τα πρόσθετα αυτά υλικά και εργασίες, πέρα από το κόστος παραγωγής των ηλιακών στοιχείων, είναι μια σημαντική επιβάρυνση για τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Σύμφωνα με μια εκτίμηση, το κόστος του εξοπλισμού μιας βιομηχανικής εγκατάστασης για την παραγωγή και τον έλεγχο πλαισίων με ηλιακά στοιχεία πυριτίου με ετήσια δυναμικότητα ισχύος αιχμής 150 KWp, που φαίνεται ότι αποτελεί το μικρότερο οικονομικό μέγεθος βιομηχανικής μονάδας υπολογίζεται σε \$ 185.000. Η εγκατάσταση αυτή θα απασχολεί 20 εργαζόμενους και η ετήσια δαπάνη για προμήθεια των έτοιμων ηλιακών στοιχείων από άλλον κατασκευαστή θα είναι \$ 700.000 περίπου. Επίσης, θα απαιτούνται περίπου άλλα \$ 120.000 ετησίως για την προμήθεια των υλικών συναρμολόγησης των πλαισίων.

Η τεχνολογία που περιγράφηκε παραπάνω ήταν μέχρι πρόσφατα (1992) η μοναδική βιομηχανική, μέθοδος κατασκευής ηλιακών φωτοβολταϊκών στοιχείων, και εξακολουθεί να εφαρμόζεται από πολλούς κατασκευαστές. Είναι μια διαδικασία πολύ ενεργοβόρα και δαπανηρή, με αποτέλεσμα το κόστος του δίσκου να φτάνει περίπου τα \$ 350 ανά m^2 , και το πλήρες ηλιακό πλαίσιο τα \$ 1.000 ανά m^2 . Τα

τελευταία όμως 2-3 χρόνια άρχισε να αναπτύσσεται παραγωγικά η κατασκευή ηλιακών στοιχείων από φθηνότερα υλικά και με απλούστερες μεθόδους, που αναμένεται ότι θα οδηγήσει σε σημαντική μείωση του κόστους.

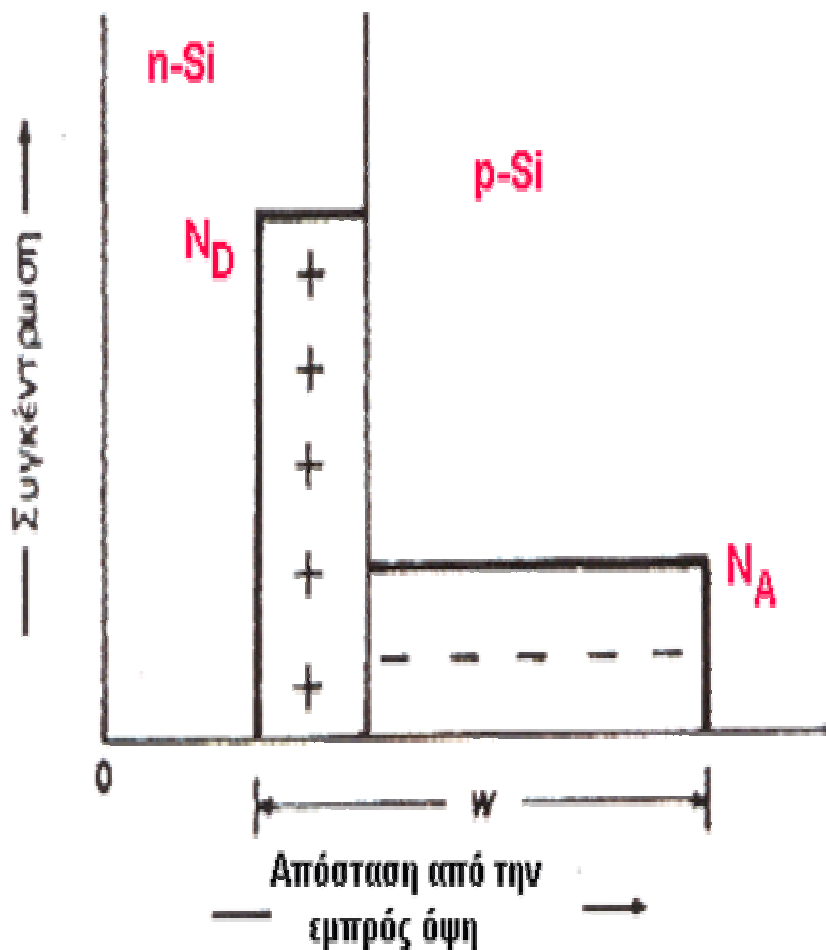
Το πρώτο βήμα προήλθε από τη διαπίστωση ότι, σε αντίθεση προς άλλες ηλεκτρονικές εφαρμογές, για την κατασκευή καλών ηλιακών στοιχείων δεν απαιτείται να είναι το πυρίτιο μονοκρυσταλλικό. Ικανοποιητικές αποδόσεις δίνουν και τα ηλιακά στοιχεία από πολυκρυσταλλικό πυρίτιο, με την προϋπόθεση ότι το μέγεθος των κόκκων του θα είναι αρκετά μεγάλο, της τάξης του 1mm, ώστε να εκτείνονται σε ολόκληρο το πάχος του δίσκου.

Η διαμόρφωση της διόδου

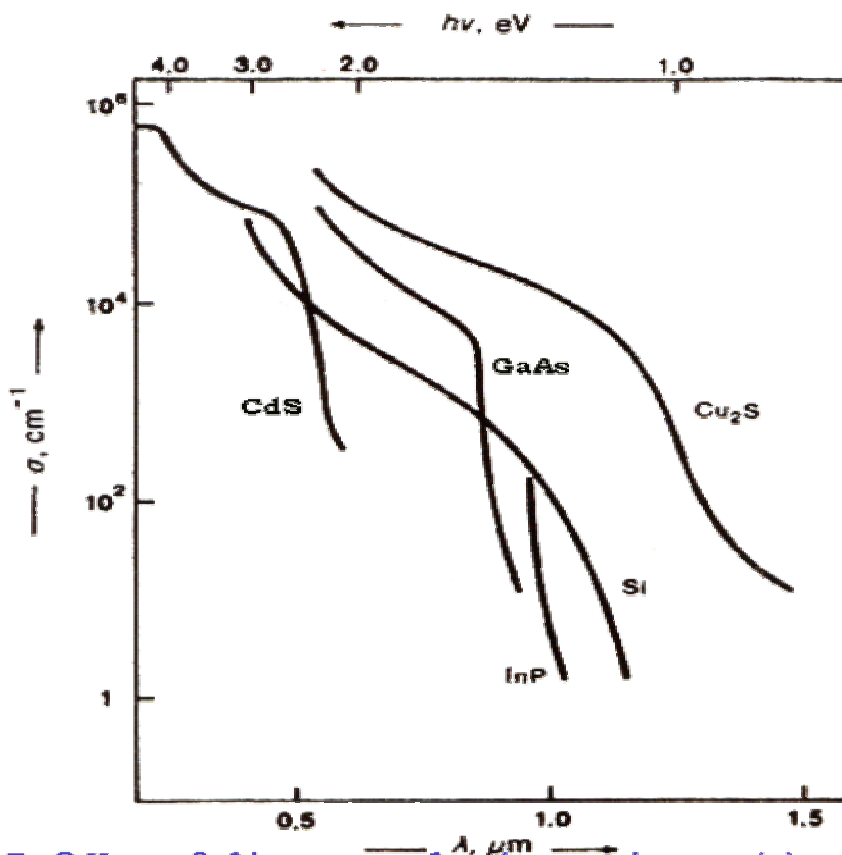
Συνήθως, η διόδος των ηλιακών στοιχείων πυριτίου διαμορφώνεται με τέτοιο τρόπο, ώστε η εμπρός τους όψη να είναι τύπου n με προσμίξεις ατόμων φωσφόρου, και το πίσω τμήμα να είναι τύπου p με προσμίξεις ατόμων βορίου. Κατασκευάζονται όμως επίσης στοιχεία με αντίθετη ένωση, δηλαδή εμπρός τύπου p και πίσω τύπου n, κυρίως για διαστημικές εφαρμογές, διότι έχουν μεγαλύτερη αντοχή στις ισχυρές ακτινοβολίες.

Στο διάγραμμα του σχήματος 2 είδαμε ότι, για τους περισσότερους ημιαγωγούς, ο συντελεστής απορρόφησης έχει μία περίπου σταθερή (και μεγάλη) τιμή για όλα τα φωτόνια που απορροφούν, ενώ για το πυρίτιο αυξάνει αργά με τη μείωση του μήκους κύματος των φωτονίων. Έτσι, όταν ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο πυριτίου δέχεται πολυχρωματική ακτινοβολία, όπως είναι το ηλιακό φως, το μέρος της εκείνο που έχει μικρό σχετικά μήκος κύματος, απορροφάται ολόκληρο σε μικρή απόσταση από την επιφάνεια. Αν π.χ. το εμπρός τμήμα του στοιχείου είναι τύπου n, υπάρχει μεγάλη πιθανότητα οι οπές που δημιουργούνται από το φως να συναντήσουν αμέσως ελεύθερα ηλεκτρόνια (τα οποία αφθονούν στο τμήμα του τύπου n ως φορείς πλειονότητας) και να επανασυνδεθούν, πριν προλάβουν να διαχυθούν προς τη ζώνη εξάντλησης της διόδου. Για αυτό, το εμπρός τμήμα των ηλιακών στοιχείων πυριτίου κατασκευάζεται σε πολύ λεπτό πάχος (της τάξης του μm) ώστε οι περισσότεροι φορείς, που δημιουργούνται με την απορρόφηση της ακτινοβολίας, να έχουν την ευκαιρία να πλησιάσουν προς τη ζώνη εξάντλησης και να εκτραπούν υπό την επίδραση του πεδίου της. Έτσι, καθώς οι οπές οδηγούνται προς τμήμα τύπου p και τα ελεύθερα ηλεκτρόνια προς το τμήμα τύπου n, όπου και οι μν και οι δε είναι φορείς πλειονότητας, η πιθανότητα να μην συναντήσουν

αντίθετους φορείς και να μην επανασυνδεθούν (και επομένως να μπορέσουν να συμβάλλουν στην εκδήλωση του φωτοβολταϊκού φαινομένου) είναι μεγάλη. Όσο καθαρότερος είναι ένας ημιαγωγός, τόσο μεγαλύτερο μήκος διάχυσης έχουν οι φορείς του και τόσο μεγαλύτερη πιθανότητα έχουν, ως φορείς μειονότητας, να φτάσουν στη ζώνη εξάντλησης της διόδου.



Σχ.20 Τα φορτία των διεγερμένων προσμίξεων στην ένωση p-n ενός ηλιακού Φ/β στοιχείου πυριτίου τύπου n +/ p. Με w συμβολίζεται το πάχος της ζώνης εξάντλησης της διόδου.



Σχ.2 Η μεταβολή του συντελεστή απορρόφησης (α) σε συνάρτηση με το μήκος κύματος (λ) ή την ενέργεια των φωτονίων ($h\nu$) της ακτινοβολίας, για τους κυριότερους ημιαγωγούς των φωτοβολταϊκών διατάξεων.

Παράλληλα, για την αύξηση της παραπάνω πιθανότητας, επιδιώκεται να αποκτήσει μεγάλο πάχος η ζώνη εξάντλησης της διόδου, που πετυχαίνεται με τη διαμόρφωση του εμπρός τμήματος σε τύπου n^+ (δηλαδή με μεγάλη συγκέντρωση δοτών) ενώ στο τμήμα p η συγκέντρωση αποδεκτών είναι σχετικά μικρή (Σχήμα 20). Συνηθισμένες τιμές για τα ηλιακά στοιχεία του εμπορίου είναι $ND=5 \times 10^{16}$ ανά cm^3 και $NA=10^{16}$ ανά cm^3 περίπου. Όπως δείχνεται στο σχήμα, το μεγαλύτερο μέρος της ζώνης εξάντλησης της διόδου εκτείνεται προς το τμήμα τύπου p .

Ανταγωνιστικά μεγέθη

Ο επιτυχημένος σχεδιασμός ενός ηλιακού φωτοβολταϊκού στοιχείου προϋποθέτει τη μελέτη και επιλογή των βέλτιστων μεγεθών για πολλές παραμέτρους που επιδρούν ανταγωνιστικά στην επίδοση του. π.χ. όπως αναφέρθηκε παραπάνω, το πάχος του εμπρός τμήματος του στοιχείου πρέπει να είναι πολύ λεπτό, δηλαδή να μην ξεπερνά το μήκος διάχυσης των φορέων

μειονότητας ώστε έχουν μεγάλη πιθανότητα να φτάσουν στην περιοχή της ζώνης εξάντλησης της διόδου. Αυτό, σε ένα στοιχείο n^+ / p (δηλαδή με εμπρός τμήμα τύπου n^+ και πίσω τμήμα τύπου p) βοηθά στην διάσωση των οπών που δημιουργήσε το φως στο εμπρός τμήμα του, δεν ισχύει όμως το ίδιο και για τους φορείς μειονότητας του πίσω τμήματος. Συγκεκριμένα, όσα φωτόνια απορροφούνται βαθύτερα στο τμήμα p του στοιχείου, δημιουργούν επίσης ζεύγη ελεύθερων ηλεκτρονίων και οπών, με φορείς μειονότητας τώρα τα ελεύθερα ηλεκτρόνια. Πάλι, όμως η ζώνη εξάντλησης δεν πρέπει, κατά μέσο όρο, να απέχει από την περιοχή αυτή περισσότερο από το μήκος διάχυσης των ελεύθερων ηλεκτρονίων. Επομένως, η απόσταση της ζώνης εξάντλησης από την εμπρός όψη του στοιχείου καθορίζεται από το βέλτιστο συνδυασμό των τιμών του μήκους διάχυσης των φορέων και του συντελεστή απορρόφησης του ημιαγωγού.

Επίσης, για να παράγεται μεγάλη ανοιχτοκυκλώμενη τάση V_{oc} (που συνεπάγεται μεγάλη απόδοση) πρέπει το ενσωματωμένο ηλεκτροστατικό πεδίο στη ένωση $p-n$ του στοιχείου να είναι ισχυρό.

Δηλαδή πρέπει να υπάρχει σχετικά μεγάλη συγκέντρωση προσμίξεων αποδεκτών στο τμήμα τύπου p και δοτών στο τμήμα n . Οι μεγάλες, όμως συγκεντρώσεις προσμίξεων μειώνουν τον χρόνο ζωής των φορέων μειονότητας και προκαλούν πρόωρες επανασυνδέσεις, μειώνοντας έτσι την ένταση το φωτορεύματος, με άμεση πάλι (και ανάλογη) δυσμενή επίδραση στην απόδοση του στοιχείου.

Μια σχετικά πρόσφατη επινόηση, που έδωσε πολύ καλά αποτελέσματα για την παρεμπόδιση των πολλών επανασυνδέσεων των φορέων, είναι η ανάπτυξη ενός κατάλληλου πεδίου στο πίσω τμήμα του στοιχείου, γνωστού με την ονομασία BSF (Back Surface Field, πεδίο της πίσω επιφάνειας). Συγκεκριμένα σε ένα στοιχείο π.χ. n^+ / p , δημιουργείται στην ακραία ζώνη του τμήματος τύπου p που εφάπτεται με το πίσω ηλεκτρόδιο, μια στενή περιοχή τύπου p^+ , με αυξημένη συγκέντρωση αποδεκτών. Έτσι, τα ελεύθερα ηλεκτρόνια (φορείς μειονότητας) που δημιουργήσε η ακτινοβολία στο τμήμα του τύπου p , εμποδίζονται με την παρεμβολή της περιοχής p^+ να διαχυθούν προς το πίσω ηλεκτρόδιο και να επανασυνδεθούν.

Αντίθετα, εκτρέπονται πάλι προς τα εμπρός, προς τη ζώνη εξάντλησης της διόδου. Στα ηλιακά στοιχεία πυριτίου BSF, που μπορούν να είναι τύπου $n^+ / p / p^+$ ή τύπου $p^+ / n / n^+$, η πίσω περιοχή της αυξημένης συγκέντρωσης προσμίξεων είναι

πολύ λεπτή. π.χ. σε ένα στοιχείο n+ /p/p+ ,συνολικού πάχους 250 μm, το πάχος της περιοχής τύπου p+ (με 1018 αποδέκτες ανά cm³) δεν ξεπερνά το 0,5 μm.

Ένα άλλο προφανές αντικείμενο συμβιβαστικής επιλογής στον σχεδιασμό των ηλιακών στοιχείων είναι οι διαστάσεις της μεταλλικής σχάρας που αποτελεί το εμπρός ηλεκτρόδιο. Ένα σχετικά μεγάλο πλάτος και μια πυκνή διάταξη των γραμμών του πλέγματος της σχάρας είναι καταρχήν πλεονεκτικό διότι συνεπάγεται μικρή μόνο αντίσταση για τη συλλογή των φορέων του ρεύματος, δηλαδή μικρή R_s , και επομένως μικρή απώλεια από την ηλεκτρική ισχύ που παράγει το στοιχείο. Συγχρόνως, όμως, αυτό απαιτεί σχετικά μεγάλη κάλυψη της εμπρός όψης του στοιχείου από το αδιαφανές μεταλλικό υλικό του ηλεκτροδίου, που σημαίνει μείωση της ωφέλιμης επιφάνειας υποδοχής της ακτινοβολίας και αντίστοιχη μείωση της απόδοσης του στοιχείου. Συνήθως επιλέγεται, με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή, ένα αρκετά πολύπλοκο σχήμα για το εμπρός ηλεκτρόδιο, με κεντρικούς αγωγούς και πλευρικά δάκτυλα, ώστε συμβιβάζονται ικανοποιητικά οι δύο παραπάνω ανταγωνιστικές

επιπτώσεις. Όπως δείχθηκε στο σχήμα 12, το πλάτος των πλευρικών δακτύλων αυξάνει συνεχώς, στη διαδρομή τους από την περίμετρο προς τον κεντρικό αγωγό του εμπρός ηλεκτροδίου, καθώς συλλέγονται οι φορείς και αυξάνει η ένταση του ρεύματος. Με τον τρόπο αυτό, μειώνεται η αντίσταση των δακτύλων παράλληλα με την αύξηση του ρεύματος και επομένως δεν μεγαλώνουν οι απώλειες της ηλεκτρικής ισχύος ($P=I^2R$) που παράγει το ηλιακό στοιχείο. Άλλοι κατασκευαστές διαμορφώνουν διαφορετικά το εμπρός ηλεκτρόδιο του ηλιακού στοιχείου, με τον σκοπό πάντα να ελαχιστοποιήσουν τις απώλειες της ηλεκτρικής ισχύος. π.χ. έχουν κατασκευαστεί πλέγματα κυκλικής, ορθογωνικής ή ακτινωτή μορφή.

Στην περίπτωση πλέγματος με μ ισοκατανεμημένους αγωγούς, η τιμή της αντίστασης στην όψη του στοιχείου δίνεται αρκετά ικανοποιητικά από τη σχέση:

$$R_s = R's / 8\mu^2$$

όπου $R's$ είναι εδώ η αντίσταση φύλλου του ημιαγωγού, από τον οποίο είναι κατασκευασμένο το στοιχείο. Π.χ.σε ένα συνηθισμένο ηλιακό φωτοβολταϊκό στοιχείο πυριτίου τύπου n+/p, με αντίσταση φύλλου $R_s = 50 \Omega$ και με πλέγμα ηλεκτροδίου από 6 αγωγούς, η αντίσταση σειράς στην εμπρός όψη του είναι περίπου :

$$R_s = 50/8 \times 6^2 = 0,72 \Omega$$

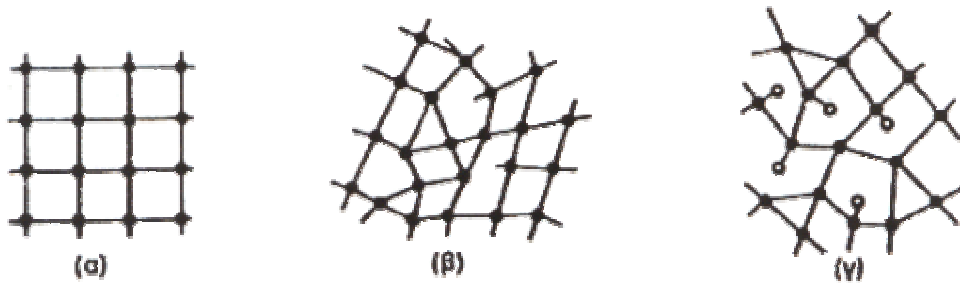
Άμορφο πυρίτιο

Είδαμε παραπάνω ότι για να έχει ικανοποιητική συμπεριφορά ως υλικό κατασκευής φωτοβολταϊκών στοιχείων, το πυρίτιο πρέπει να είναι μονοκρυσταλλικό ή έστω πολυκρυσταλλικό αλλά να αποτελείται από κόκκους μεγάλου μεγέθους. Είναι επομένως

καταρχήν παράδοξο ότι το άμορφο πυρίτιο, δηλαδή ένα υλικό με μεγάλη αταξία στη δομή του ώστε να μην υπάρχουν διακριτά όρια κόκκων, θα μπορούσε να ήταν κατάλληλο για την κατασκευή ηλιακών στοιχείων.

Όπως, όμως, διαπιστώθηκε, το άμορφο πυρίτιο (συμβολίζεται συνήθως α-Si) είναι ένας ημιαγωγός που διαφέρει ουσιαστικά από το κρυσταλλικό πυρίτιο. Π.χ. το ενεργειακό διάκενο δεν έχει σταθερή τιμή αλλά κυμαίνεται, ανάλογα με τον τρόπο της παρασκευής του, από 1,2 μέχρι 1,6eV περίπου, σε σύγκριση με 1,1eV του κρυσταλλικού πυριτίου. Το μεγάλο πλεονέκτημα του α-Si για φωτοβολταϊκές εφαρμογές σε ηλιακά στοιχεία είναι ότι ο συντελεστής απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας ξεπερνά το 10^4cm^{-1} , είναι δηλαδή πολύ μεγαλύτερος από του κρυσταλλικού πυριτίου. Όστε, ως προς την ιδιότητα αυτή, το α-Si συμπεριφέρεται σχεδόν σαν ημιαγωγός άμεσου ενεργειακού διακένου και αρκεί ένα λεπτό στρώμα, πάχους λίγων μm, για την κατασκευή ηλιακών στοιχείων.

Το α-Si παρασκευάζεται με σχετικά ανέξοδες μεθόδους, σε σύγκριση με το κρυσταλλικό Si, π.χ. με συμπύκνωση των προϊόντων θερμικής διάσπασης αέριων πυριτιούχων ενώσεων. Η άμορφη όμως κατασκευή του, έχει σαν αποτέλεσμα πολλοί από τους χημικούς δεσμούς στο α-Si να είναι ατελείς ή στρεβλωμένοι, που συνεπάγεται μειονεκτικές ηλεκτρικές ιδιότητες για το υλικό. Π.χ. οι φορείς του α-Si έχουν μικρή κινητικότητα και μικρό μήκος διάχυσης.



Σχ.21 Σχηματική απεικόνιση (α) του κρυσταλλικού πυριτίου (β) του άμορφου πυριτίου με ατελείς και στρεβλωμένους δεσμούς (γ) του υδρογονούχου άμορφου πυριτίου με συμπληρωμένους και χαλαρωμένους τους δεσμούς του. Οι μαύροι κύκλοι δείχνουν τις θέσεις των ατόμων Si και οι άσπροι τις θέσεις των ατόμων H.

Πολύ σημαντική βελτίωση των ηλεκτρικών ιδιοτήτων του a-Si γίνεται με την προσθήκη ατόμων υδρογόνου, που αποτελούν τέρματα για τους ατελείς δεσμούς και χαλαρώνουν τον ιστό του σώματος (σχήμα 21). Το υδρογονούχο a-Si περιέχει συνήθως 10-40% υδρογόνο, σε ατομική αναλογία και με τη γενική έννοια, ένα άμορφο κράμα πυριτίου και υδρογόνου. Συμβολίζεται ως a-Si:H. Ανάλογα, και ίσως καλύτερα αποτελέσματα, έχει η προσθήκη ατόμων φθορίου αντί για άτομα υδρογόνου.

Η εμπορική παραγωγή ηλιακών στοιχείων από a-Si:H έχει ήδη αρχίσει από το 1983, κυρίως στην Ιαπωνία, σε μορφή διόδων Σότκυ με απόθεση του πυριτίου πάνω σε λεπτά φύλλα ανοξειδωτού χάλυβα. Η απόδοσή τους είναι περίπου 5%, αλλά πιστεύεται ότι με τις κατάλληλες βελτιώσεις η απόδοση των ηλιακών στοιχείων άμορφου πυριτίου θα φθάσει μελλοντικά το 15%. Παράλληλα, από αρκετό καιρό εξετάζεται ερευνητικά η δυνατότητα κατασκευής φθηνών ηλιακών στοιχείων κρυσταλλικού ή άμορφου πυριτίου με διάφορες νέες τεχνολογίες, όπως ο σχηματισμός του πυριτίου σε μορφή μεμβράνης που επιπλέει η τραβιέται κατευθείαν από το τήγμα, η απόθεση πάνω σε κεραμικά υποστρώματα ή σε γραφίτη κ.λ.π

3. ΗΛΙΑΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΘΕΙΟΥΧΟΥ ΚΑΔΜΙΟΥ

Το θειούχο κάδμιο (CdS) είναι ένας ημιαγωγός με άμεσο και σχετικά μεγάλο διάκενο ($E_g = 2,45 \text{ eV}$), που έχει χρησιμοποιηθεί με επιτυχία σε πολλές οπτοηλεκτρονικές εφαρμογές, όπως για την κατασκευή φωτοκυττάρων, ενισχυτών

φωτός, φωσφοριτών ανιχνευτών ακτινοβολίας κ.λ.π Το CdS συμπεριφέρεται συνήθως σαν ημιαγωγός τύπου n. Δηλαδή οι φορείς πλειονότητας είναι τα ελεύθερα ηλεκτρόνια, χωρίς να απαιτείται η προσθήκη ξένων ατόμων-δοτών.

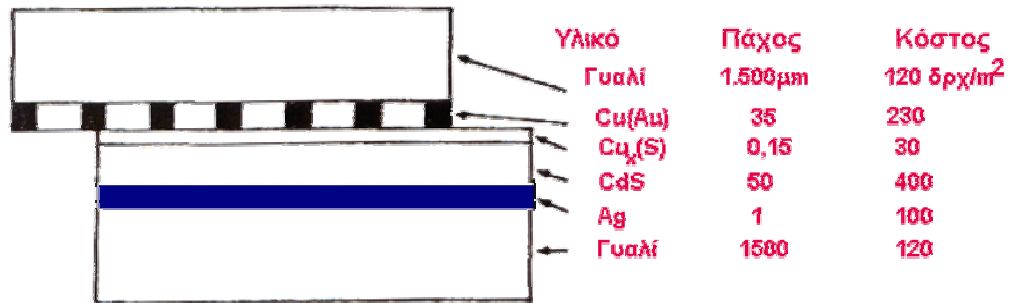
Παλαιότερα, είχε θεωρηθεί ότι η λειτουργία των φωτοβολταϊκών στοιχείων από CdS, με εμπρός ηλεκτρόδιο από αποκλειστικά στο CdS, για αυτό επικράτησε η ονομασία του ως θειούχου καδμίου. Σήμερα, είναι γνωστό ότι οφείλεται στην ετεροένωση μεταξύ του στρώματος θειούχου χαλκού, που σχηματίζεται με την επίδραση του CdS στον Cu (χαλκός), από τον οποίο, όπως είπαμε, είναι κατασκευασμένο το εμπρός ηλεκτρόδιο. Η σύσταση του στρώματος αυτού αποδίδεται συνήθως με τον χημικό τύπο Cu_2S , αλλά σωστότερο είναι να γράφεται Cu_xS , όπου το x κυμαίνεται από 1,96 μέχρι 1,99. Το Cu_xS είναι επίσης ημιαγωγός, με έμμεσο ενεργειακό διάκενο 1,2 eV και έχει χαρακτήρα τύπου p. Δηλαδή οι φορείς πλειονότητας είναι οι οπές χωρίς την προσθήκη προσμίξεων.

Το ενεργειακό διάκενο του Cu_xS είναι αρκετά ευνοϊκό για την απορρόφηση των φωτονίων της ηλιακής ακτινοβολίας. Έχει όμως πολύ μικρό μήκος διάχυσης των φορέων μειονότητας, περίπου 50 nm και επομένως το πάχος του στρώματος του πρέπει να είναι αντίστοιχα μικρό π.χ. να μην ξεπερνά τα 150nm (δηλαδή 0,15 μm).

Εξάλλου, όπως αναφέρθηκε το ενεργειακό διάκενο του CdS είναι σχετικά μεγάλο και έτσι στο στρώμα του η απορρόφηση είναι μικρή.

Το αποτέλεσμα είναι, ότι η πυκνότητα του παραγόμενου φωτορεύματος στα ηλιακά στοιχεία Cu_xS/CdS , δηλαδή τα amperes του ρεύματος ανά μονάδα επιφανείας του στοιχείου, είναι μικρή, η μισή περίπου σε σύγκριση με τα ηλιακά στοιχεία πυριτίου.

Οι παραγόμενες σήμερα ποσότητες ηλιακών στοιχείων Cu_xS /CdS είναι ακόμη μικρές, αλλά πιστεύεται, ότι υπάρχουν σημαντικές μελλοντικές προοπτικές, διότι μπορούν να κατασκευασθούν από σχετικά φθηνά υλικά και με απλές μεθόδους.



Σχ.22 Διαστάσεις και κόστος των συστατικών ενός ηλιακού Φ/β στοιχείου Cu_xS/CdS. Η σχάρα του εμπρός ηλεκτροδίου είναι από επιχάλκωμένο χρυσό. Το πίσω ηλεκτρόδιο είναι από άργυρο. Το εμπρός γυαλί και ηλεκτρόδιο δείχνονται μετατοπισμένα για να γίνει εμφανέστερη η δομή του στοιχείου.

Το σχήμα 22 δείχνει μια τέτοια διάταξη με κόστος υλικών περίπου 1.000 δρχ. ανά m², πού είναι πραγματικά ασήμαντο σε σύγκριση με τα ηλιακά στοιχεία κρυσταλλικού πυριτίου.

Τα ηλιακά στοιχεία Cu_xS /CdS έχουν αρκετά ικανοποιητική απόδοση, περίπου 10%, αλλά υπάρχουν κάποιες επιφυλάξεις για τη σταθερότητα τους, ιδίως στην επίδραση της εργασίας. Δεν πιστεύεται δηλαδή ότι εξασφαλίζουν την πολύ μεγάλη διάρκεια ζωής (πάνω από 20 χρόνια) πού αναμένεται για τα ηλιακά στοιχεία πυριτίου.

4. ΗΛΙΑΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΡΣΕΝΙΚΟΥ ΓΑΛΛΙΟΥ

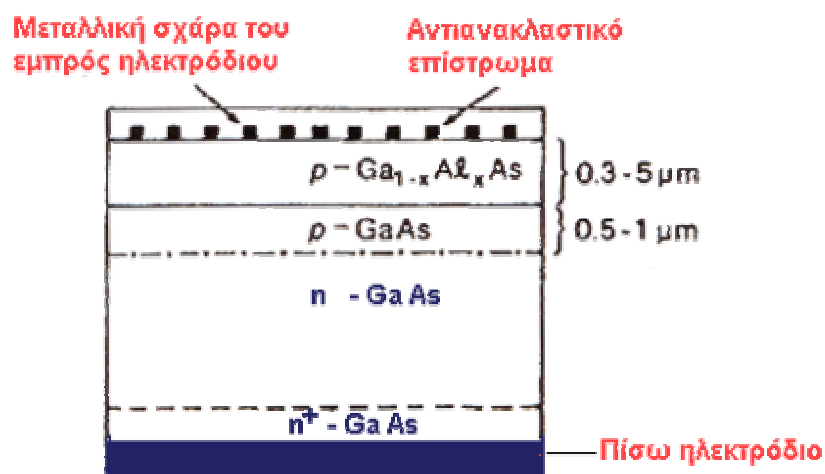
Το ασηνικούχο γάλλιο (GaAs) είναι ένας ημιαγωγός με ενεργειακό διάκενο 1,43 eV. Όπως δείχτηκε στο σχήμα 12, η τιμή αυτή είναι στη βέλτιστη περιοχή για την φωτοβολταϊκή μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας, με θεωρητική απόδοση περίπου 25%.

Επιπλέον, το ενεργειακό διάκενο είναι άμεσο. Επομένως το GaAs συνδυάζει καταρχήν ιδανικά τις προϋποθέσεις για να χρησιμοποιηθεί ως υλικό κατασκευής ηλιακών φωτοβολταϊκών στοιχείων. Η ερευνητική προσπάθεια που έχει αναπτυχθεί την τελευταία δεκαετία είναι έντονη και πιστεύεται ότι σύντομα το ασηνικούχο γάλλιο θα βρει σημαντικές εφαρμογές, κυρίως στα ηλιακά στοιχεία συγκεντρωμένης ακτινοβολίας, αν και το κόστος του είναι μεγαλύτερο από το πυρίτιο, περίπου πενταπλάσιο. Στα συγκεντρωμένα όμως φωτοβολταϊκά συστήματα, η παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος ανά μονάδα επιφανείας ηλιακού στοιχείου είναι αρκετά μεγάλη,

αφού δέχονται αυξημένη πυκνότητα ακτινοβολίας και επομένως δεν έχει πολύ μεγάλη σημασία το κόστος του ηλιακού στοιχείου.

Το σχετικά μεγάλο ενεργειακό διάκενο του GaAs έχει σαν αποτέλεσμα την καλή του συμπεριφορά στις κάπως υψηλές θερμοκρασίες. Αυτό είναι μια ιδιότητα με ιδιαίτερη επίσης σπουδαιότητα για τα συγκεντρωτικά συστήματα όπου τα ηλιακά στοιχεία συχνά υπερθερμαίνονται από την ισχυρή ακτινοβολία που δέχονται. Συγκεκριμένα, η απόδοση των ηλιακών στοιχείων GaAs πέφτει στο μισό, σε σύγκριση με την απόδοσή τους στη συνηθισμένη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, όταν θερμανθούν στους 200 οC . Η αντίστοιχη μείωση στα ηλιακά στοιχεία Si παρατηρείται ήδη στους 120 οC, ενώ για τα περισσότερα ευαίσθητα στοιχεία Cds στους 80 οC.

Τις μεγαλύτερες αποδόσεις, από τα ηλιακά στοιχεία GaAs, έχουν δώσει τα στοιχεία ετεροενώσεων με τα ημιαγώγιμα κράματα του συστήματος $Ga_{1-x}Al_xAs$ όπου το x παίρνει τιμές από 0 μέχρι 1 (σχήμα 23) .



Σχ23 Σχηματική απεικόνιση ενός ηλιακού Φ/β στοιχείου $Ga_{1-x}Al_xAs/GaAs$. Χαρακτηρίζεται συνήθως ως στοιχείο ετεροένωσης , στην πραγματικότητα όμως πρόκειται για ομοένωση $p-GaAs/n-GaAs$, αφού και τα δύο τμήματα της ένωσης είναι από GaAs, με ετεροδομή $Ga_{1-x}Al_xAs/GaAs$ στο τμήμα p.

Σε πειραματικά φωτοβολταϊκά στοιχεία της μορφής αυτής μετρήθηκαν αποδόσεις περίπου 24% που είναι πολύ κοντά στο θεωρητικό τους μέγιστο (26-27%).

Εκτός από το GaAs, εξετάζονται και άλλες ημιαγώγιμες χημικές ενώσεις του τύπου III-V, δηλαδή χημικές ενώσεις τρισθενών και πεντασθενών ατόμων, ως υποψήφια υλικά κατασκευής ηλιακών στοιχείων. Πολύ ενδιαφέρον από την άποψη αυτή είναι το φωσφορούχο ίνδιο (InP). Έχει άμεσο ενεργειακό διάκενο 1,35 eV

,δηλαδή, όπως και στο GaAs, υπάρχει μικρή μόνον απόκλιση ως προς τη βέλτιστη τιμή του ενεργειακού διακένου. Η απόκλιση όμως αυτή δεν έχει μεγάλη σημασία για επίγειες φωτοβολταϊκές εφαρμογές, διότι έτσι και αλλιώς στην ενδιάμεση περιοχή (γύρω από το 0,91-0,92 μm) το σύνολο σχεδόν των φωτονίων της ηλιακής ακτινοβολίας απορροφάται από την ατμοσφαιρική υγρασία και δεν φθάνει μέχρι την επιφάνεια του στοιχείου.

Επίσης, το InP έχει πολύ καλή προσαρμογή διαστάσεων στο κρυσταλλικό πλέγμα με το CdS και πιστεύεται ότι μπορεί να υποκαταστήσει με επιτυχία τον θειούχο χαλκό στο στοιχείο ετεροένωσης Cu_xS/CdS. Ερευνητικά, έχουν ήδη κατασκευαστεί ηλιακά στοιχεία ετεροένωσης InP/CdS, μονοκρυσταλλικής δομής, με απόδοση 15% σε συνθήκες AM1, ενώ όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η απόδοση των στοιχείων CuS/CdS φτάνει μέχρι μόνον 10% περίπου.

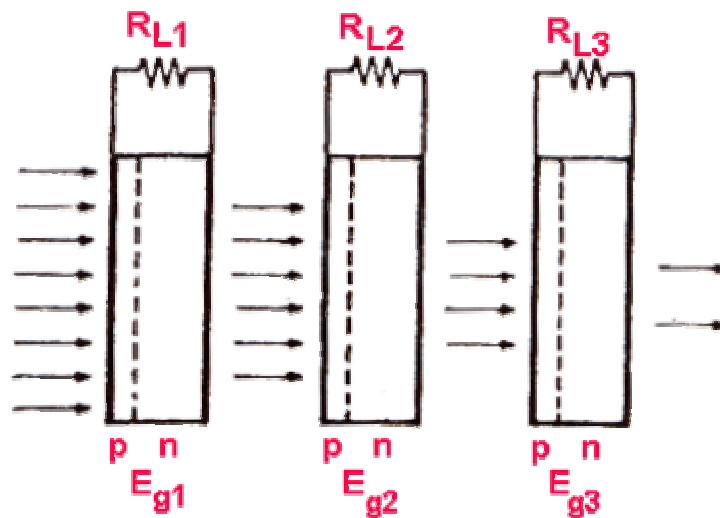
5. ΣΥΝΔΙΑΣΜΕΝΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Όπως αναφέρθηκε από την αρχή, ένα βασικό μειονέκτημα της ηλιακής ακτινοβολίας, ως ενεργειακής πηγής, είναι η μικρή πυκνότητα της ισχύος της, που έχει σαν αποτέλεσμα να απαιτούνται μεγάλες επιφάνειες από δαπανηρά ηλιακά στοιχεία για την παραγωγή μιας αξιόλογης ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας. Μία μέθοδος για την μερική αντιμετώπιση του προβλήματος με αναπόφευκτη όμως αύξηση της πολυπλοκότητας της φωτοβολταϊκής διάταξης, είναι π.χ. η τοποθέτηση των ηλιακών στοιχείων σε κινητά πλαίσια που περιστρέφονται και παρακολουθούν συνεχώς την πορεία του ήλιου ώστε να δέχονται κάθετα (και επομένως στην πυκνότερη μορφή της), τη δέσμη της ηλιακής ακτινοβολίας. Ριζικότερη λύση είναι η συγκέντρωση της ηλιακής ακτινοβολίας με φακούς ή κάτοπτρα, και η εστίασή της πάνω στα ηλιακά στοιχεία. Στην περίπτωση αυτή, ιδίως εάν η συγκέντρωση είναι αρκετά μεγάλη, π.χ. περισσότερο από 10 ήλιους, μπορεί να απαιτείται τεχνητή ψύξη των ηλιακών στοιχείων, διότι όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η αύξηση της θερμοκρασίας τους συνεπάγεται ανάλογη μείωση της απόδοσής τους.

Πάντως, υπάρχει δυνατότητα να χρησιμοποιείται η απαγόμενη θερμότητα π.χ. για θέρμανση νερού ή χώρων ή σε βιομηχανικές εφαρμογές, και έτσι να γίνεται πληρέστερη εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας. Υπολογίζεται ότι με αυτόν τον τρόπο είναι δυνατή η παράλληλη μετατροπή του 10% της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια και του άλλου 40% σε χρήσιμη θερμική ενέργεια.

Μια άλλη πρόταση, Ισπανικής επιμόρφωσης, είναι η υποδοχή της ακτινοβολίας και στις δύο όψεις του ηλιακού στοιχείου, έχοντας διαμορφώσει και τα δύο ηλεκτρόδια σε σχήμα σχάρας. Η εμπρός όψη του στοιχείου αντικρίζει κατευθείαν τον ήλιο, ενώ η πίσω όψη του δέχεται το φως που ανακλάται σε κάτοπτρο ή συνηθέστερα που δέχεται σε μια λευκή επιφάνεια κάτω από τη διάταξη. Σε άλλα ηλιακά στοιχεία κρυσταλλικού πυριτίου δύο όψεων τύπου n+/p/p+ ή p+/n/n+ μετρήθηκε ότι η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς είναι περίπου , 50% μεγαλύτερη, σε σύγκριση με όμοια στοιχεία μιας όψης. Σε ένα φωτοβολταϊκό σταθμό κοντά στη Μανδρίτη λειτουργεί με επιτυχία από το 1985 μια διάταξη στοιχείων δύο όψεων συνολικής ισχύος 40 KWp.

Είδαμε παραπάνω ότι η μέγιστη θεωρητική απόδοση ενός στοιχείου, κατασκευασμένου από ημιαγωγό με το βέλτιστο ενεργειακό διάκενο, δεν μπορεί να ξεπεράσει το 25% περίπου, ένα όριο που επιβάλλεται αναγκαστικά από την αντιστοιχία ανάμεσα στην ενέργεια των φωτονίων της ηλιακής ακτινοβολίας και στο ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού. Ο βαθμός φωτοβολταϊκής αξιοποίησης όμως, της ηλιακής ακτινοβολίας μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά με τη συνδυασμένη χρησιμοποίηση ηλιακών στοιχείων διαφορετικών ενεργειακών διακένων. Ο ένας τρόπος είναι να αναλύεται η ηλιακή ακτινοβολία με την βοήθεια πρισμάτων ή φίλτρων και στην συνέχεια οι χωριστές φασματικές δέσμες να κατευθύνονται σε διαφορετικά φωτοβολταϊκά στοιχεία κατασκευασμένα από ημιαγωγούς με το κατάλληλο ενεργειακό διάκενο για την κάθε δέσμη. Σε μία πειραματική διάταξη, η συγκεντρωμένη ακτινοβολία 165 ήλιων αναλύθηκε σε δύο δέσμες με ενέργειες φωτονίων κάτω και πάνω από 1,7eV, που κατευθύνθηκαν αντίστοιχα σε ένα στοιχείο πυριτίου ($E_g=1,1\text{eV}$) και σε ένα στοιχείο ετεροένωσης AlAs/GaAs ($E_g=1,7\text{eV}$). Η θεωρητική απόδοση της διάταξης υπολογίστηκε 31% και μετρήθηκε πειραματικά 28,5%. Από το ποσοστό αυτό, το 11% οφείλεται στο στοιχείο Si και το υπόλοιπο 17,4% στο στοιχείο της ετεροένωσης.



Σχ.24.Συνδισμένη διάταξη 3 ηλιακών φωτοβολταϊκών στοιχείων, κατασκευασμένων από ημιαγωγούς διαφορετικού ενεργειακού διακένου ($E_{g1} > E_{g2} > E_{g3}$), με διαδοχική διέλευση και βαθμιαία απορρόφηση της ακτινοβολίας.

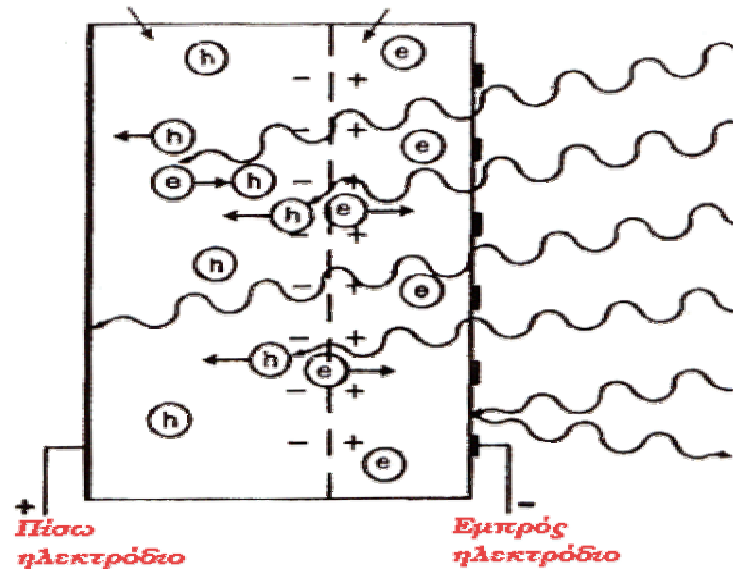
Ο άλλος τρόπος είναι η τοποθέτηση πολλών φωτοβολταϊκών στοιχείων στη σειρά, το ένα πίσω από το άλλο, με βαθμιαία μειούμενο ενεργειακό διάκενο (σχήμα 24) Τα σχετικά μικρής ενέργειας φωτόνια, που διέρχονται άθικτα από το ένα στοιχείο, απορροφούνται στα επόμενα στοιχεία, περιορίζοντας τη θερμική μετατροπή στο ελάχιστο. π.χ με τη χρησιμοποίηση τριών στοιχείων, ενεργειακού διακένου 1,75 eV , 1,1 eV και 0,7 eV, υπολογίζεται ότι η απόδοση της διάταξης θα φθάνει το 35% σε συνθήκες AM0. Με πολυπλοκότερη διάταξη, π.χ. με τη χρησιμοποίηση 24 διαδοχικών στοιχείων με ενεργειακά διακένα από 0,8 eV μέχρι 3,2 eV, ανά 0,1 eV, η απόδοση μετατροπής συγκεντρωμένης ακτινοβολίας 1000 ήλιων φτάνει θεωρητικά το 65%. Οι συνδυασμένες αυτές φωτοβολταϊκές διατάξεις, που εκμεταλλεύονται ολόκληρο σχεδόν το χρωματικό φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας, ονομάζονται χαρακτηριστικά «στοιχεία ουράνιου τόξου».

ΤΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ

Είναι γνωστό ότι τα ηλιακά στοιχεία είναι δίοδοι ημιαγωγού με τη μορφή ενός δίσκου, (δηλαδή η ένωση p-n εκτείνεται σε όλο το πλάτος του δίσκου), που δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία. Κάθε φωτόνιο της ακτινοβολίας με ενέργεια ίση ή μεγαλύτερη από το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού, έχει τη δυνατότητα να απορροφηθεί σε ένα χημικό δεσμό και να ελευθερώσει ένα ηλεκτρόνιο.

Δημιουργείται έτσι, όσο διαρκεί η ακτινοβολήση, μία περίσσεια από ζεύγη φορέων (ελεύθερα ηλεκτρόνια και οπές), πέρα από τις συγκεντρώσεις που αντιστοιχούν στις συνθήκες ισορροπίας.

Οι φορείς αυτοί, καθώς κυκλοφορούν στο στερεό (και εφόσον δεν επανασυνδεθούν με φορείς αντιθέτου πρόσημου), μπορεί να βρεθούν στην περιοχή της ένωσης p-n οπότε θα δεχθούν την επίδραση του ενσωματωμένου ηλεκτροστατικού πεδίου (σχήμα 1).



ΣΧ. 1 Ο μηχανισμός της εκδήλωσης του Φ/β φαινομένου σε ένα ηλιακό στοιχείο . Τα φωτόνια της ακτινοβολίας , που πέφτει το στοιχείο στην εμπρός του όψη , τύπου n στο παράδειγμα του σχήματος , παράγουν ζεύγη φορέων (ελεύθερα ηλεκτρόνια και οπές) . Ένα μέρος από τους φορείς αυτούς διαχωρίζεται με την επίδραση του ενσωματωμένου πεδίου της διόδου και εναρτέται προς τα εμπρός (τα ελεύθερα ηλεκτρόνια , e-) ή προς τα πίσω (οι οπές ,h+), δημιουργώντας μια διαφορά δυναμικού ανάμεσα στις δύο όψεις του στοιχείου . Οι υπόλοιποι φορείς επανασυνδέονται και εξαφανίζονται . Επίσης ένα μέρος της ακτινοβολίας ανακλάται στην επιφάνεια του στοιχείου , ενώ ένα άλλο μέρος της διέρχεται από το στοιχείο χωρίς να απορροφηθεί , μέχρι να συναντήσει το πίσω ηλεκτρόδιο.

Έτσι, τα ελεύθερα ηλεκτρόνια εκτρέπονται προς το τμήμα τύπου n και οι οπές εκτρέπονται προς το τμήμα τύπου p , με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί μια διαφορά δυναμικού ανάμεσα στους ακροδέκτες των δύο τμημάτων της διόδου. Δηλαδή, η διάταξη αποτελεί μία πηγή ηλεκτρικού ρεύματος που διατηρείται όσο διαρκεί η πρόσπτωση του ηλιακού φωτός πάνω στην επιφάνεια του στοιχείου.

Η εκδήλωση της διαφοράς δυναμικού ανάμεσα στις δύο όψεις του φωτιζόμενου δίσκου, η οποία αντιστοιχεί σε ορθή πόλωση της διόδου, ονομάζεται φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Η αποδοτική λειτουργία των ηλιακών φωτοβολταϊκών στοιχείων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στηρίζεται στην πρακτική εκμετάλλευση του παραπάνω φαινομένου. Εκτός από τις προσμίξεις των

τμημάτων p και n μιας ομοένωσης, δηλαδή υλικού από τον ίδιο βασικά ημιαγωγό, το ενσωματωμένο ηλεκτροστατικό πεδίο, που είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την πραγματοποίηση ενός ηλιακού στοιχείου, αλλά και κάθε φωτοβολταϊκής διάταξης, μπορεί να προέρχεται επίσης και από διόδους άλλων. π.χ. από διόδους Σότκυ που σχηματίζονται όταν έρθουν σε επαφή ένας ημιαγωγός με ένα μέταλλο.

2. Η ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Στα φωτοβολταϊκά στοιχεία δεν είναι δυνατή η μετατροπή σε ηλεκτρική ενέργεια του συνόλου της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχονται στην επιφάνειά 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 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 με το μέρος εκείνο της ενέργειάς τους που ισούται με το ενεργειακό διάκενο συμβάλλει, όπως είδαμε, στην εκδήλωση του φωτοβολταϊκού φαινομένου. Το υπόλοιπο μεταφέρεται, σαν κινητική ενέργεια, στο ηλεκτρόνιο που ελευθερώθηκε από τον δεσμό, και τελικά μετατρέπεται επίσης σε θερμότητα. Όπως θα αναλυθεί όμως παρακάτω, η αύξηση της θερμοκρασίας των φωτοβολταϊκών στοιχείων επιδρά αρνητικά στην απόδοσή τους.

Η ενέργεια ενός φωτονίου E συνδέεται με τη συχνότητα της ακτινοβολίας ν και με το μήκος κύματος λ με τις σχέσεις :

$$E=h\nu=hc/\lambda$$

όπου h είναι η σταθερά δράσης του plank ($h=6,3 \times 10^{-34}$ JS) και c είναι η ταχύτητα του φωτός ($c = 3 \cdot 10^8$ m/s). Επομένως, αν το ενεργειακό διάκενο είναι σε μονάδες ηλεκτρονιοβόλτ (eV) και το μήκος κύματος σε μικρόμετρα (μm), τότε το μέγιστο χρησιμοποιήσιμο μήκος κύματος ακτινοβολίας σε ένα ημιαγωγό, ενεργειακού διακένου E_g , θα είναι :

$$\lambda_g=1,238/E_g$$

θεωρώντας τώρα ότι στην επιφάνεια ενός ημιαγωγού διεισδύει μια, μονοχρωματική δέσμη ακτινοβολίας από όμοια φωτόνια ενέργειας $h\nu$, που έχει ροή (η ένταση) ίση με H μονάδες ισχύος ανά μονάδα επιφανείας. Η ροή των φωτονίων (Φ), δηλαδή το πλήθος των φωτονίων ανά μονάδα επιφανείας και χρόνου, θα είναι :

$$\Phi = H/h\nu = H\lambda/hc$$

Βλέπουμε όπως άλλωστε είναι αυτονόητο ότι, για σταθερή ένταση H η ροή Φ είναι αντίστροφα ανάλογα με την ενέργεια των φωτονίων ή, που είναι το ίδιο, αυξάνει γραμμικά με το λ .

Ας συμβολίσουμε, στη συνέχεια με Φ_0 την αρχική τιμή της ροής των φωτονίων στην επιφάνεια ενός ημιαγωγού, με χ την απόσταση που διανύει η ακτινοβολία μέσα στον ημιαγωγό, αρχίζοντας από την επιφάνειά του, και με $\Phi(\chi)$ την τιμή της ροής των φωτονίων (δηλαδή το πλήθος των φωτονίων που δεν έχουν ακόμα απορροφηθεί) στο βάθος αυτό. Η ευκολία με την οποία πραγματοποιείτε η απορρόφηση των φωτονίων, που είναι μια πολύ σημαντική ιδιότητα για τη χρησιμοποίηση του ημιαγωγού ως υλικού κατασκευής ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου, θα δίνεται από το ρυθμό της μεταβολής της Φ με την αύξηση της απόστασης που διανύει η ακτινοβολία. Ο ρυθμός αυτός έχει αρνητική τιμή, αφού η Φ μειώνεται με την αύξηση του χ , και είναι προφανώς ανάλογος με τη συγκεκριμένη τιμή της Φ στο βάθος χ , δηλαδή με τη $\Phi(\chi)$. Θα ισχύει επομένως η σχέση :

$$d\Phi/d\chi = -\alpha\Phi(\chi)$$

και η σταθερά της αναλογίας α , που δίνεται σε αντίστροφες μονάδες μήκους, ονομάζεται συντελεστής απορρόφησης της υπόψη ακτινοβολίας.

Δοθέντος ότι για $\chi=0$ η $\Phi(\chi)$ παίρνει την τιμή Φ_0 , η λύση της παραπάνω διαφορικής εξίσωσης είναι :

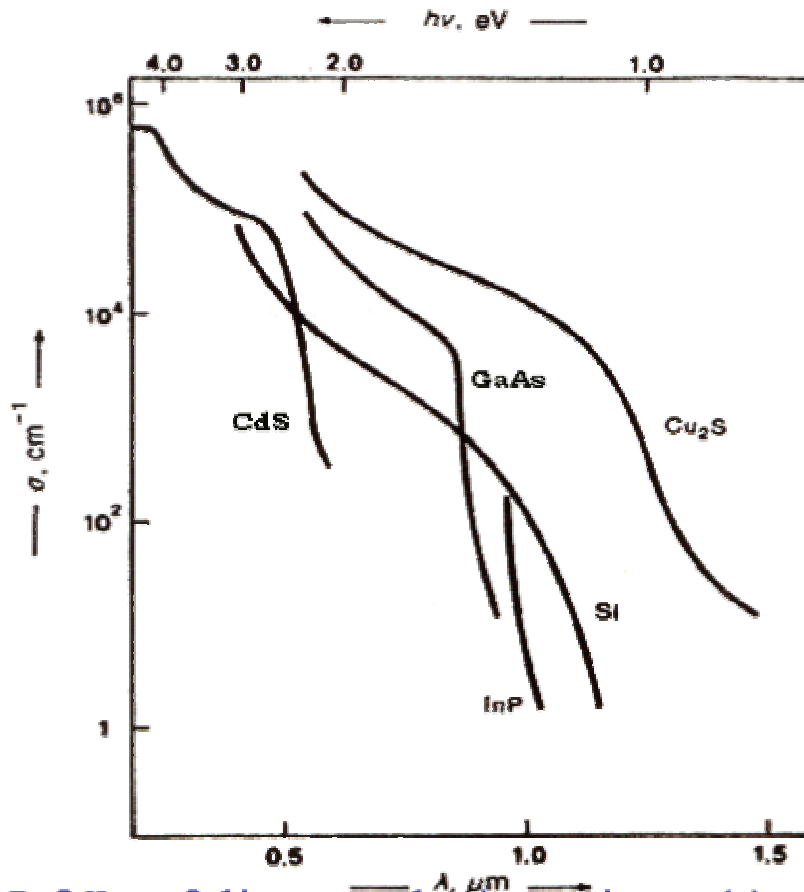
$$\Phi(\chi) = \Phi_0 \exp(-\alpha\chi)$$

που ονομάζεται νόμος του BEER (Μπερ).

Στη συνέχεια βρίσκουμε εύκολα ότι :

$$-d\Phi/d\chi = \alpha\Phi_0 \exp(-\alpha\chi)$$

δηλαδή ότι ο ρυθμός της απορρόφησης των φωτονίων, επομένως και της δημιουργίας των φορέων από την ακτινοβολία που δέχεται ο ημιαγωγός, είναι μεγαλύτερος κοντά στην επιφάνειά του και εξασθενίζει με την απόσταση από αυτή.



Σκ.2 Η μεταβολή του συντελεστή απορρόφησης (α) σε συνάρτηση με το μήκος κύματος (λ) ή την ενέργεια των φωτονίων ($h\nu$) της ακτινοβολίας, για τους κυριότερους ημιαγωγούς των φωτοβολταϊκών διατάξεων.

Όπως δείχνεται και στο σχήμα 2 η τιμή του συντελεστή απορρόφησης μεταβάλλεται σε συνάρτηση με το μήκος κύματος της ακτινοβολίας. Συγκεκριμένα, μηδενίζεται όταν το λ υπερβαίνει το λ_g του ημιαγωγού, αφού για αυτά τα μήκη κύματος δεν πραγματοποιείται καμιά απορρόφηση φωτονίων. Αντίθετα, παίρνει μεγάλες τιμές προς την πλευρά των μικρών μηκών κύματος που σημαίνει ότι η απορρόφηση πρακτικά όλων των αντίστοιχων φωτονίων γίνεται πολύ κοντά στην επιφάνεια του ημιαγωγού.

3. Η ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΦΩΤΟΡΕΥΜΑΤΟΣ

Όταν ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο δέχεται μια κατάλληλη ακτινοβολία, διεγείρεται παράγοντας ηλεκτρικό ρεύμα, το φωτόρευμα I_{ph} , που η τιμή του θα είναι ανάλογη προς τα φωτόνια που απορροφά το στοιχείο. π.χ. ας υποθέσουμε ότι έχουν εξασφαλιστεί οι δύο βασικές προϋποθέσεις για ένα καλό φωτοβολταϊκό στοιχείο, δηλαδή 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 τον οποίο είναι κατασκευασμένο το στοιχείο, να είναι αρκετά μεγάλο. Τότε, για την πυκνότητα του φωτορεύματος, ισχύει ικανοποιητικά η σχέση :

$$I_{\Phi} = eg(L_n + L_p)$$

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.

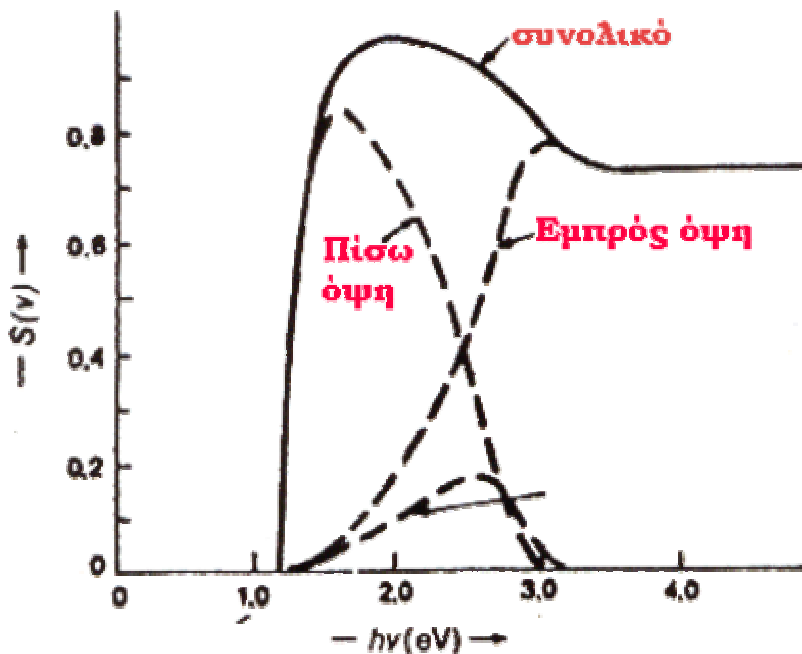
Ένα χρήσιμο μέγεθος για τον υπολογισμό του φωτορεύματος είναι η φασματική απόκριση S (ή απόδοση συλλογής ή κβαντική απόδοση), που ορίζεται ως το πλήθος των φορέων που συλλέγονται στα ηλεκτρόδια του φωτοβολταϊκού στοιχείου, σε σχέση με τη φωτονική ροή Φ , δηλαδή με το πλήθος των φωτονίων της ακτινοβολίας που δέχεται το στοιχείο ανά μονάδα επιφάνειας και χρόνου. Για ακτινοβολία μήκους κύματος λ , η φασματική απόκριση $S(\lambda)$ θα είναι :

$$S(\lambda) = I_{\Phi}(\lambda) / e\Phi(\lambda)$$

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

$$I_{\Phi} = e \int_{\lambda_0}^{\lambda_g} S(\lambda) \Phi(\lambda) d\lambda$$

Η τιμή της φασματικής απόκρισης, και συνεπώς του φωτορεύματος ενός φωτοβολταϊκού 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 κλπ. Στο σχήμα 3 δείχνεται η μεταβολή της φασματικής απόκρισης ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου του εμπορίου σε συνάρτηση με την ενέργεια των φωτονίων της ακτινοβολίας που δέχεται.



Σχ.3 Η μεταβολή της φασματικής απόκρισης $S(\nu)$ σε συνάρτηση με την ενέργεια των φωτονίων της ακτινοβολίας, στις τρεις περιοχές ενός φωτοβολταϊκού ηλιακού στοιχείου πυριτίου: εμπρός όψη τύπου n, ζώνη εξάντλησης και πίσω όψη τύπου p.

Όταν το ποσοστό της επιφάνεια του στοιχείου δεν είναι αμελητέο γράφεται:

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

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

4. ΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

ΠΡΩΤΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

Για να προχωρήσουμε σε μια πρώτη εκτίμηση των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών και της λειτουργίας ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου, μπορούμε να το θεωρήσουμε ότι αποτελεί μια πηγή ρεύματος που ελέγχεται από μία δίοδο, και ότι περιγράφεται από το πολύ απλοποιημένο διάγραμμα του σχήματος 4.

Σε συνθήκες ανοικτού κυκλώματος, θα αποκατασταθεί μια ισορροπία όταν η τάση, που θα αναπτυχθεί ανάμεσα στις δύο όψεις του στοιχείου, θα προκαλεί ένα

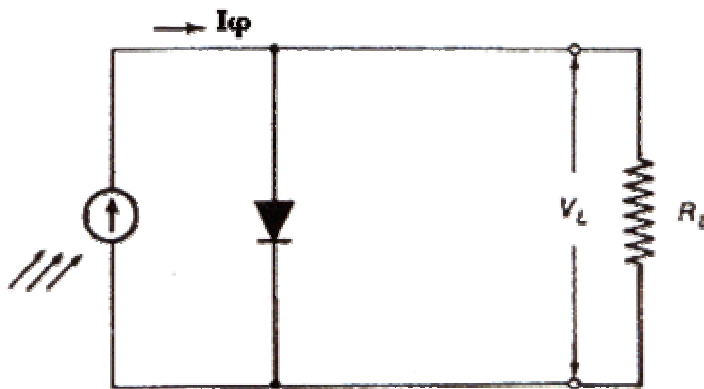
αντίθετο ρεύμα που θα αντισταθμίζει το φωτόρευμα. Δηλαδή, σύμφωνα με αυτά που αναφέρθηκαν παραπάνω, θα ισχύει η σχέση :

$$I_{\Phi} = I_0 [\exp(eV/\gamma kT) - 1]$$

από την οποία βρίσκουμε ότι, η τιμή ανοιχτοκυκλωμένης τάσης του στοιχείου V_{oc} (από την αγγλική έκφραση open –circuit Voltage) θα είναι :

$$V_{oc} = (\gamma kT/e) \ln[(I_{\Phi}/I_0) - 1]$$

Κατά τη λειτουργία των φωτοβολταϊκών στοιχείων, η τιμή του I_{Φ} είναι πολύ μεγαλύτερη από το I_0 και επομένως η παραπάνω σχέση μπορεί να απλοποιηθεί στη :



Σκ.4 Απλοποιημένο ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου

$$V_{oc} = [(\gamma kT/e) \ln I_{\Phi}/I_0]$$

που δείχνει τη λογαριθμική μεταβολή της τάσης ανοιχτού κυκλώματος σε συνάρτηση με το φωτόρευμα, δηλαδή με την ένταση της ακτινοβολίας που δέχεται το φωτοβολταϊκό στοιχείο. Από τις σχέσεις για το I_0 που αναφέρθηκαν μπορούμε να βρούμε την εξάρτηση της V_{oc} από τις διάφορες ιδιότητες του ημιαγωγού, όπως το ενεργειακό διάκενο E_g , η ενδογενής συγκέντρωση των φορέων n_i , οι συγκεντρώσεις των προσμίξεων N_A και N_D κλπ.

Στην άλλη ακραία περίπτωση, δηλαδή σε συνθήκες βραχυκύκλωσης ανάμεσα στις δύο όψεις του στοιχείου το ρεύμα I_{sc} (short-circuit current) θα ισούται με το παραγόμενο φωτόρευμα :

$$I_{sc} = I_{\Phi}$$

Όταν όμως το κύκλωμα του φωτοβολταϊκού στοιχείου κλείσει διαμέσου μιας εξωτερικής αντίστασης R_L (από την αγγλική έκφραση Load resistance), το ρεύμα θα πάρει μια μικρότερη τιμή I_L που βρίσκεται με την λύση της εξίσωσης :

$$I = I_{\Phi} - I_0 [\exp(eI R_L / \gamma k T) - 1]$$

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. Στις συνθήκες αυτές, θα αντιστοιχεί μια βέλτιστη τάση V_m , που δίνεται από την λύση της εξίσωσης :

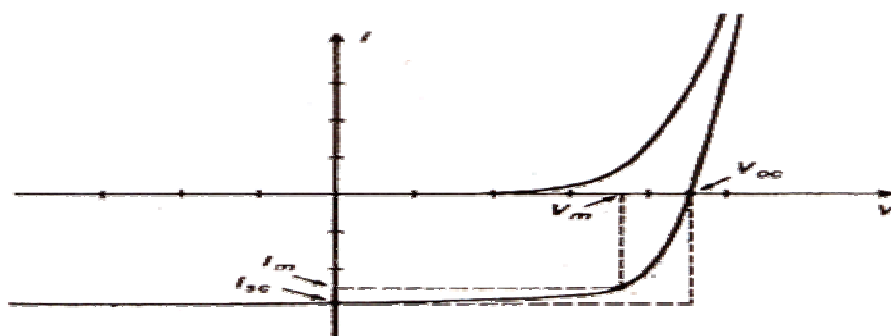
$$(I_{\Phi}/I_0) + 1 = [1 + (eV_m/\gamma k T)] \exp(eV_m/\gamma k T)$$

5. Ο ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΠΛΗΡΩΣΗΣ

Ο λόγος της μέγιστης ηλεκτρικής ισχύος $p_m = I_m V_m$ προς το γινόμενο της βραχυκυκλωμένης έντασης και της ανοικτωκυκλωμένης τάσης $I_{sc} V_{oc}$ ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου, ονομάζεται συντελεστής πλήρωσης FF (από την αγγλική έκφραση fill factor). Δηλαδή :

$$FF = I_m V_m / I_{sc} V_{oc}$$

Στο διάγραμμα του σχήματος 5, ο FF δίνεται από το λόγο του εμβαδού του μέγιστου ορθογώνιου που μπορεί να εγγραφεί στη χαρακτηριστική καμπύλη I-V του στοιχείου, σε συνθήκες ακτινοβολίας, προς το εμβαδόν που ορίζεται από τις τιμές I_{sc} και V_{oc} .



Σκ.5 Η χαρακτηριστική καμπύλη έντασης (I) - τάσης (V) ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου στο σκοτάδι και στο φως . Διακρίνονται τα δύο ορθογώνια που ο λόγος των εμβαδών τους καθορίζει την τιμή του συντελεστή πλήρωσης . Στο διάγραμμα , δεν δείχνεται το ανάστροφο ρεύμα κόρου , λόγω της ασήμαντα μικρής τιμής του , σε σύγκριση με το φωτορεύμα του στοιχείου.

Οι τρεις παραπάνω παράμετροι, δηλαδή ο FF, I_{sc} , και η V_{oc} είναι τα κυριότερα μεγέθη για την αξιολόγηση της συμπεριφοράς και της λειτουργίας των φωτοβολταϊκών στοιχείων και καθορίζουν την απόδοσή τους. Επιστρέφοντας στον

συντελεστή απόδοσης στοιχείων (η) μπορούμε τώρα να τον ορίσουμε με τη σχέση :

$$\eta = P_m / H A = I_m V_m / H A = F F I_{sc} V_{oc} / H A$$

όπου H είναι η ένταση της ακτινοβολίας που δέχεται η επιφάνεια του Φ/β στοιχείου, εμβαδού A . Όπως βλέπουμε, για την πραγματοποίηση αυξημένων αποδόσεων, επιδιώκεται οι τιμές των FF , I_{sc} και V_{oc} να είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερες.

Προφανώς θα ισχύει και η σχέση :

$$\eta = \Phi(E_g) V_m / \Phi E_m$$

όπου $\Phi(E_g)$ είναι η ροή των φωτονίων με ενέργεια μεγαλύτερη από το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού, Φ είναι η συνολική φωτονική ροή στην ακτινοβολία που δέχεται το φωτοβολταϊκό στοιχείο, και E_m είναι η μέση ενέργεια των φωτονίων της ακτινοβολίας.

Στην ηλιακή ακτινοβολία, περίπου τα $2/3$ των φωτονίων έχουν ενέργεια μεγαλύτερη από το ενεργειακό διάκενο του πυριτίου ($1,1\text{eV}$). Επίσης, η V_m των φωτοβολταϊκών στοιχείων πυριτίου είναι περίπου ίση με το $1/3$ της E_m της ηλιακής ακτινοβολίας. Επομένως βρίσκουμε πρόχειρα ότι η θεωρητική απόδοση των ηλιακών φωτοβολταϊκών στοιχείων πυριτίου είναι περίπου .

$$\eta = 2/3 \cdot 1/3 = 22\%$$

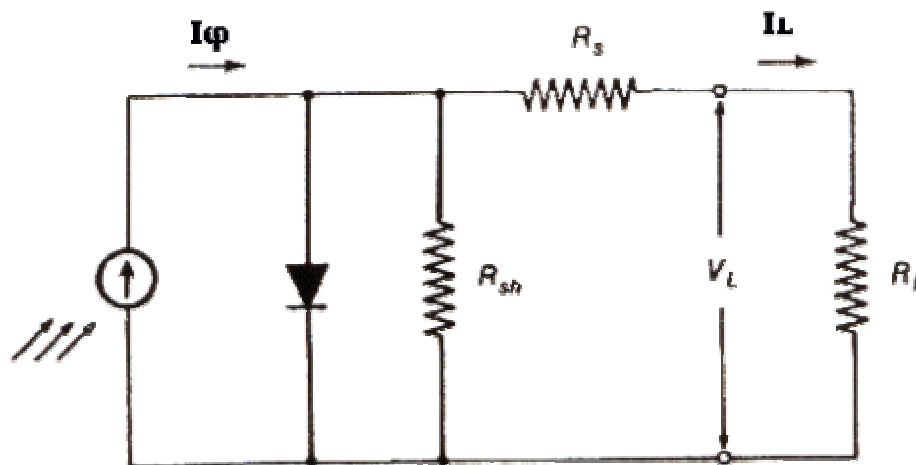
ο συντελεστής απόδοσης ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου δεν είναι σταθερός αλλά επηρεάζεται σημαντικά από τη σύσταση της ακτινοβολίας. Δηλαδή, μια δέσμη ακτινοβολίας θα προκαλέσει σε ένα στοιχείο την παραγωγή λιγότερης ηλεκτρικής ενέργειας, σε σύγκριση με μια άλλη ίσης ισχύος αλλά πλουσιότερη σε φωτόνια με ευνοϊκότερη ενέργεια για τον ημιαγωγό, από τον οποίο είναι κατασκευασμένο το στοιχείο.

6. ΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ - ΔΕΥΤΕΡΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

Το ισοδύναμο κύκλωμα του σχήματος 4 περιγράφει ιδανικές συνθήκες, που δεν υπάρχουν στα πραγματικά φωτοβολταϊκά στοιχεία.

Μια σωστότερη προσέγγιση αποτελεί το ισοδύναμο κύκλωμα του σχήματος 6 διότι περιέχει και τις αναπόφευκτες αντιστάσεις R_s (από την αγγλική έκφραση series resistance) που παρεμβάλλονται στην κίνηση των φορέων μέσα στον

ημιαγωγό (κυρίως στο εμπρός επιφανειακό στρώμα του) και στις επαφές με τα ηλεκτρόδια. Ακόμα, επειδή η αντίσταση διαμέσου της διόδου δεν έχει άπειρη τιμή, αφού λόγω επίσης αναπόφευκτων κατασκευαστικών ελαττωμάτων γίνονται διαρροές ρεύματος, το ισοδύναμο κύκλωμα περιέχει και την παράλληλη αντίσταση R_{sh} (από την αγγλική έκφραση shunt resistance). Συνήθως, στα φωτοβολταϊκά στοιχεία του εμπορίου η R_s είναι μικρότερη από 5Ω και η R_{sh} είναι μεγαλύτερη από 500Ω .

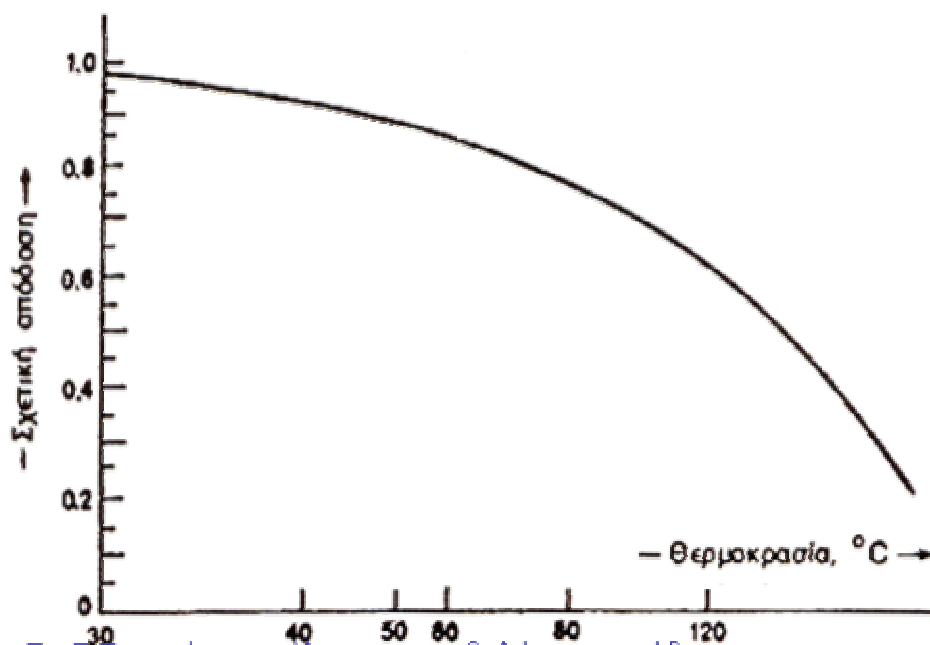


Σκ.6 Το ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου, περιλαμβάνει τις αντιστάσεις R_s , καθώς και τις παράλληλες αντιστάσεις R_{sh}

Πάντως επηρεάζουν αισθητά την τάση V_L και του ρεύματος I_L που διαρρέει το φορτίο του κυκλώματος R_L , με αποτέλεσμα την αντίστοιχη μείωση της απόδοσης του στοιχείου. στην περίπτωση αυτή ισχύει η σχέση :

$$I_L[1+(R_s/R_{sh})]=I_{\Phi}-I_0\{\exp[e(V_L-I_LR_s)/\gamma kT]-1\}-V_L/R_{sh}$$

Εκτός από τις αντιστάσεις R_s και R_{sh} , ένας άλλος παράγοντας που επιδρά αρνητικά στην απόδοση των φωτοβολταϊκών στοιχείων είναι η θερμοκρασία τους. Συγκεκριμένα, με την αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί αντίστοιχη αύξηση της ενδογενούς συγκέντρωση των φορέων του ημιαγωγού, με αποτέλεσμα να πραγματοποιούνται περισσότερες επανασυνδέσεις φορέων. Έτσι, εκδηλώνεται ισχυρό ρεύμα διαρροής διαμέσου της διόδου, που συνεπάγεται μείωση της V_{oc} και του FF. Παράλληλα μειώνεται και η απόδοση του φωτοβολταϊκού στοιχείου (Σχήμα 7).



Σκ.7 Τυπική καμπύλη της μεταβολής της απόδοσης των φωτοβολταϊκών στοιχείων πυριτίου σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία τους. Η κλίμακα του άξονα των τεταγμένων δίνει το ποσοστό της απόδοσης του στοιχείου σε σχέση με την απόδοση του στη συμβατική θερμοκρασία 20 C. Η κλίμακα της θερμοκρασίας στον άξονα των τεταγμένων είναι λογαριθμική

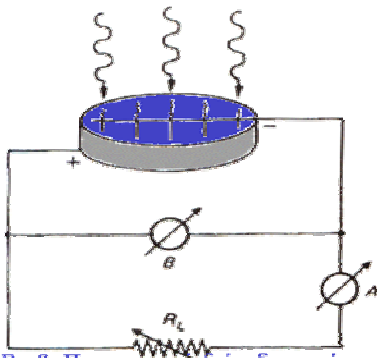
Αν ο συντελεστής απόδοσης ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου με μια συμβατική θερμοκρασία (π.χ. 20°C) είναι (η), η τιμή του σε μια διαφορετική θερμοκρασία (θ) θα είναι :

$$\eta_{\theta} = \eta_{20} \cdot \theta^{-\sigma}$$

όπου σ είναι ένας αδιάστατος συντελεστής της θερμοκρασίας διόρθωσης της απόδοσης. Στη συμβατική θερμοκρασία, ο σ είναι ίσος με τη μονάδα, και μειώνεται κατά περίπου 0,005 ανά βαθμό αύξησης θερμοκρασίας, για τα συνηθισμένα φωτοβολταϊκά ηλιακά στοιχεία πυριτίου του εμπορίου.

7. Η ΑΠΟΔΟΤΙΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ – ΣΕ ΣΤΑΘΕΡΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Ως πηγή ηλεκτρικής ενέργειας, το φωτοβολταϊκό στοιχείο έχει μια αρκετά ασυνήθιστη συμπεριφορά. Δηλαδή, σε αντίθεση με τις περισσότερες κοινές ηλεκτρικές πηγές (συσσωρευτές, ξηρά στοιχεία, ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη, μεγάλα δίκτυα διανομής), οι οποίες διατηρούν περίπου σταθερή τάση στην περιοχή της κανονικής τους λειτουργίας, η τάση των φωτοβολταϊκών στοιχείων μεταβάλλεται

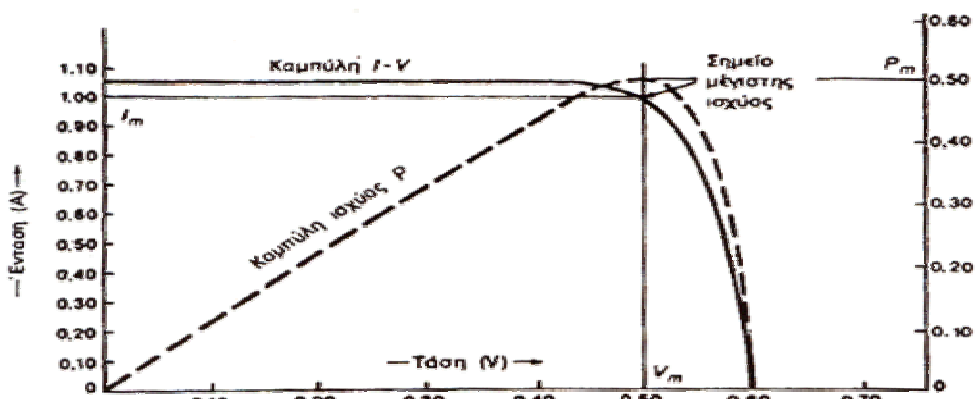


Σκ.8. Πειραματική διάταξη με ένα βολτόμετρο (B), ένα αμπερόμετρο (A) και μια μεταβλητή αντίσταση (R_L) για τη μελέτη της ηλεκτρικής συμπεριφοράς ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου

ριζικά (και μη γραμμικά) σε συνάρτηση με την ένταση του ρεύματος που δίνουν στο κύκλωμα, έστω και αν η ακτινοβολία που δέχονται παραμένει σταθερή.

Για την καλύτερη κατανόηση της λειτουργίας του φωτοβολταϊκού στοιχείου, ας εξετάσουμε την συμπεριφορά του όταν οι πόλοι του συνδεθούν με ένα κύκλωμα που περιέχει μεταβλητή αντίσταση (σχήμα 8). Είδαμε παραπάνω ότι όταν η τιμή της αντίστασης είναι μηδέν, δηλαδή στην βραχυκυκλωμένη κατάσταση, η ένταση του ρεύματος παίρνει τη μέγιστη τιμή I_{sc} , ενώ η τάση θα μηδενιστεί. Αντίθετα, όταν η τιμή της αντίστασης τείνει στο άπειρο, δηλαδή στην ανοικτοκυκλωμένη κατάσταση, μηδενίζεται η ένταση του ρεύματος αλλά η τάση παίρνει την μέγιστη τιμή V_{oc} . Επομένως, στη βραχυκυκλωμένη και ανοικτοκυκλωμένη κατάσταση, η ηλεκτρική ισχύς που παράγει το στοιχείο ($P=IV$) είναι μηδέν, αφού αντίστοιχα είναι μηδενική η τάση, στην πρώτη περίπτωση, και η ένταση του ρεύματος στη δεύτερη.

Για σταθερές συνθήκες ακτινοβολίας αλλά μεταβαλλόμενες τιμές της αντίστασης του κυκλώματος, ανάμεσα στις παραπάνω ακραίες καταστάσεις, η τάση και η ένταση του ρεύματος παίρνουν ενδιάμεσες τιμές, όπως δείχνεται στο σχήμα 9. Παράλληλα, μεταβάλλεται ομαλά και η ισχύς που παράγει το στοιχείο, με μέγιστη P_m σε ένα ορισμένο ζεύγος τιμών τάσης V_m και έντασης I_m . Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, το ζεύγος αυτό καθορίζει, σε σχέση με το ζεύγος τιμών V_{oc} και I_{sc} , το συντελεστή απόδοσης του στοιχείου (η).

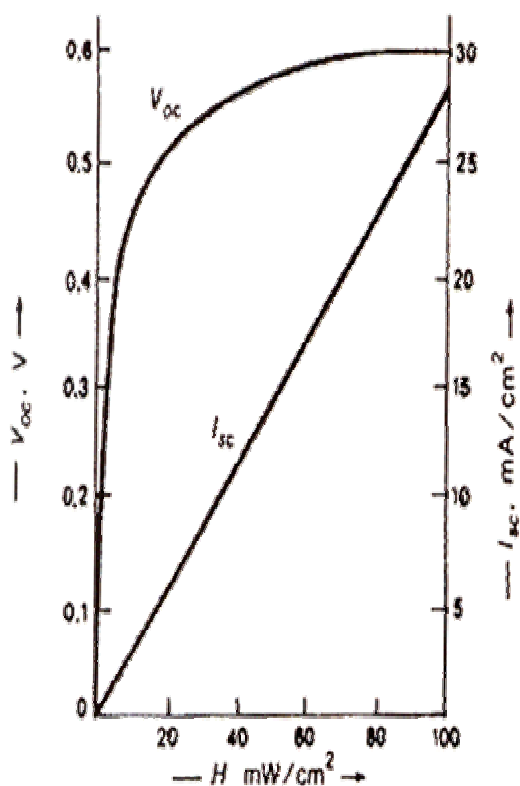


Σκ.9 . Η συνεχής καμπύλη δείχνει ένα παράδειγμα της μεταβολής της τάσης (V) σε συνάρτηση με την ένταση του ρεύματος (I) που παράγει ένα Φ/Β στοιχείο πυριτίου, σε συνθήκες σταθερής ακτινοβολίας και θερμοκρασίας και για μεταβαλλόμενη αντίσταση του κυκλώματος από μηδέν (όπου $V=0$) μέχρι άπειρο (όπου $I=0$). Η ασυνεχής καμπύλη δείχνει την αντίστοιχη μεταβολή της ηλεκτρικής ισχύος που παράγει το Φ/β στοιχείο (η κλίμακα της ισχύος είναι στο δεξιό άξονα του διαγράμματος). V_m και I_m είναι η τάση και η ένταση που αντιστοιχούν στη μέγιστη παραγόμενη ισχύ P_m .

Επομένως, από πρακτική άποψη, είναι πολύ σημαντικό η αντίσταση του κυκλώματος που τροφοδοτείται από ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο να έχει κατάλληλη τιμή ώστε στις συγκεκριμένες συνθήκες ακτινοβολίας να παράγεται από το στοιχείο η μεγαλύτερη δυνατή ηλεκτρική ισχύς.

8. ΑΠΟΔΟΤΙΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ (ΜΕΤΑΒΑΛΛΟΜΕΝΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ)

Τα παραπάνω αφορούν σε συνθήκες σταθερής ισχύος της ακτινοβολίας που δέχεται το φωτοβολταϊκό στοιχείο και σταθερής θερμοκρασίας του. Βλέπουμε όμως το σχήμα 10, ότι η μεταβολή της πυκνότητας της ισχύος της ακτινοβολίας



Σχ.10. Η μεταβολή της ανοιχτοκυκλωμένης τάσης (V_{oc}) και της βραχυκυκλωμένης έντασης του ρεύματος (I_{sc}) ενός Φ/β στοιχείου πυριτίου σε συνάρτηση με την ισχύ της ακτινοβολίας (H) που δέχεται ανά μονάδα της επιφάνειάς του.

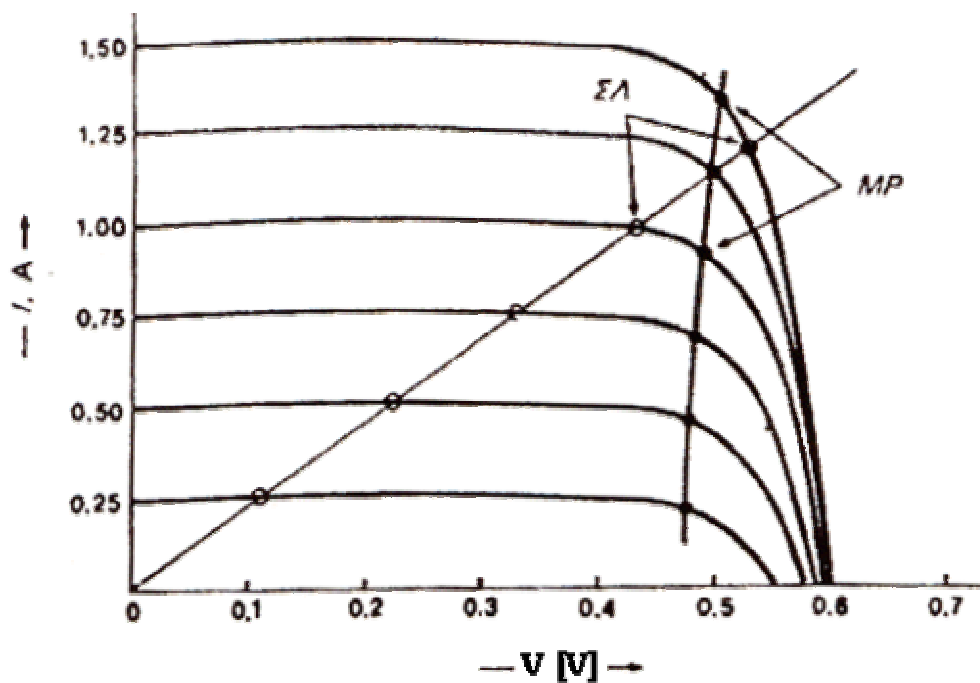
συνεπάγεται αντίστοιχη μεταβολή της ανοιχτοκυκλωμένης τάσης και της βραχυκυκλωμένης έντασης του ρεύματος από το μηδέν (για το σκοτάδι) μέχρι τις μέγιστες τιμές τους, για τη μέγιστη ένταση της ακτινοβολίας. Επίσης, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, με την αύξηση της θερμοκρασίας παρατηρείται αισθητή μείωση ανοιχτοκυκλωμένης τάσης των φωτοβολταϊκών στοιχείων. Αντιλαμβανόμαστε λοιπόν ότι θα δημιουργείται πρόβλημα για τη διατήρηση της βελτιστοποίησης της παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος από ένα ηλιακό φωτοβολταϊκό στοιχείο κατά τη διάρκεια

της ημέρας και των εποχών του έτους.

Στο σχήμα 11. βλέπουμε ότι για διαφορετικές πυκνότητες της ακτινοβολίας, σχηματίζεται μια οικογένεια μετατοπισμένων καμπυλών έντασης - τάσης. Είναι φανερό ότι π.χ. για την ακτινοβολία που δίνει $I_{sc} = 1,25$ A έχουμε περίπου $I_m = 1,1$ A και $V_m = 0,5$ V και επομένως η κατάλληλη αντίσταση του κυκλώματος για να παράγεται η μέγιστη ηλεκτρική ισχύς από το φωτοβολταϊκό

στοιχείο του παραδείγματος είναι $R_L = V_m / I_m = 0,5 / 1,1 = 0,455 \Omega$. Η αντίσταση όμως αυτή βλέπουμε ότι είναι εντελώς ακατάλληλη για όλες τις άλλες συνθήκες ακτινοβολίας, αφού η ευθεία με κλίση $0,455 \Omega$ τέμνει τις αντίστοιχες καμπύλες I-V σε σημείο διαφορετικό από το σημείο της μέγιστης ισχύος.

Πάντως, σε κάθε περίπτωση, λόγω της πολύ μικρής τιμής του ανάστροφου ρεύματος κόρου I_0 , η ένταση του ρεύματος που παρέχει στο κύκλωμα το φωτοβολταϊκό στοιχείο είναι πρακτικά είναι πρακτικά ανάλογη προς την ποσότητα της ακτινοβολίας που δέχεται, δηλαδή προς το γινόμενο της έντασης (της πυκνότητας της ισχύος) της ακτινοβολίας επί το εμβαδόν της επιφάνειας του. Επίσης, από τις διάφορες καμπύλες I-V βλέπουμε ότι, με τη μεταβολή της αντίστασης του κυκλώματος, η ένταση του ρεύματος παραμένει περίπου σταθερή για το μεγαλύτερο τμήμα του διαγράμματος, ενώ μεταβάλλεται ουσιαστικά η τάση. Δηλαδή, το φωτοβολταϊκό στοιχείο συμπεριφέρεται, σε μεγάλο βαθμό, σαν πηγή περίπου σταθερού ρεύματος, με την προϋπόθεση ότι παραμένει σταθερή η πυκνότητα της ακτινοβολίας.



Σκ.11. Η μετατόπιση των σημείων λειτουργίας (ΣΛ) ενός Φ/β στοιχείου πυριτίου και η απομάκρυνση του από τα αντίστοιχα σημεία της μέγιστης ισχύος (MP) της καμπύλης έντασης (I) -τάσης (V) για διαφορετικές συνθήκες ακτινοβολίας αλλά για σταθερή τιμή της αντίστασης του κυκλώματος.

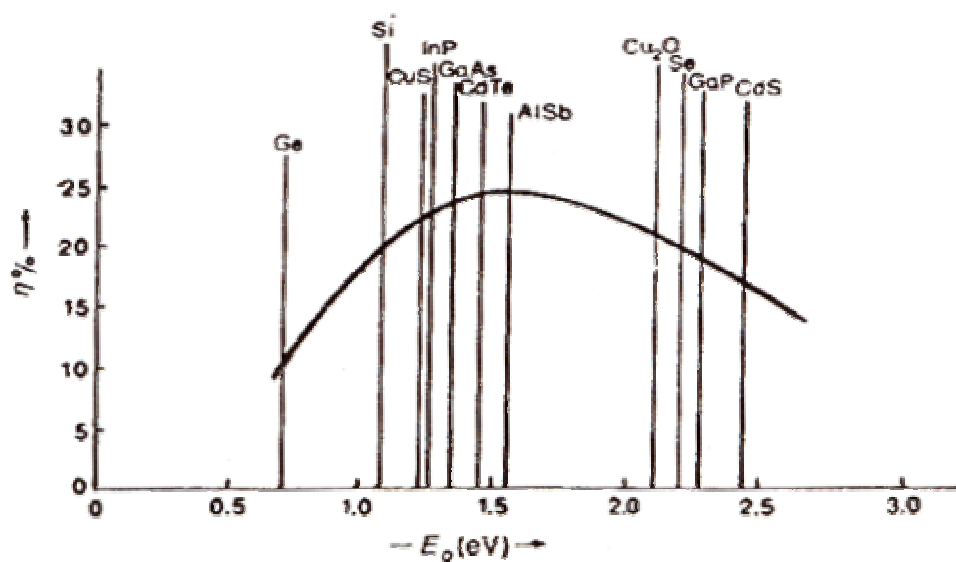
Το τελικό συμπέρασμα είναι ότι η λειτουργία ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου και η ποσότητα της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας εξαρτώνται από 3

μεταβλητούς παράγοντες . α) την ένταση της ακτινοβολίας, β) τη θερμοκρασία του στοιχείου, γ) και την αντίσταση του κυκλώματος. Προφανώς, στο σχεδιασμό και τη λειτουργία των φωτοβολταϊκών συστημάτων επιδιώκεται οι παράγοντες αυτοί να παίρνουν ευνοϊκές τιμές, ώστε να παράγεται η μεγαλύτερη δυνατή ηλεκτρική ισχύς, όσο επιτρέπει ο συντελεστής απόδοσης των στοιχείων.

9. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΗΜΙΑΓΩΓΩΝ ΓΙΑ ΗΛΙΑΚΕΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ένας ημιαγωγός μπορεί να απορροφήσει μόνο τα φωτόνια που έχουν ενέργεια μεγαλύτερη από το ενεργειακό του διάκενο. Και μάλιστα, από τα φωτόνια αυτά αξιοποιείται φωτοβολταϊκά το μέρος μόνο της ενέργειας τους που ισούται με το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού, ενώ η υπόλοιπη ενέργεια μετατρέπεται σε συνήθως ανεπιθύμητη θερμότητα.

Επομένως, η τιμή του ενεργειακού διακένου των ημιαγωγών είναι ένα από τα κυριότερα κριτήρια που καθορίζουν την καταλληλότητα τους, για να χρησιμοποιηθούν ως υλικά κατασκευής φωτοβολταϊκών στοιχείων. Στο σχήμα 12 βλέπουμε λοιπόν ότι οι μεγαλύτερες θεωρητικές αποδόσεις μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολίας (περίπου 25%) μπορούν να πραγματοποιηθούν σε φωτοβολταϊκά στοιχεία από ημιαγωγούς με ενεργειακό διάκενο περίπου 1,5eV.



Σχ. 12. Η θεωρητική απόδοση (η) των ηλιακών Φ/β στοιχείων σε συνάρτηση με το ενεργειακό διάκενο (E_g) του ημιαγωγού από τον οποίο είναι κατασκευασμένα . Άλλοι θεωρητικοί υπολογισμοί δίνουν ελαφρά διαφορετικές τιμές για την απόδοση των ίδιων στοιχείων.

Ένα άλλο πολύ σημαντικό κριτήριο είναι το είδος του ενεργειακού διακένου του ημιαγωγού, δηλαδή αν είναι άμεσο ή έμμεσο. Τα φωτόνια απορροφούνται ευκολότερα στους ημιαγωγούς άμεσου ενεργειακού διακένου και έτσι το φωτοβολταϊκό στοιχείο δεν χρειάζεται να έχει μεγάλο πάχος με αποτέλεσμα να μπορεί να γίνει μεγάλη εξοικονόμηση υλικού.

π.χ. στο αρσενικούχο γάλλιο (GaAs), που είναι ημιαγωγός άμεσου ενεργειακού διακένου, για να απορροφηθεί το 80% των φωτονίων της ηλιακής ακτινοβολίας που έχουν ενέργεια μεγαλύτερη από το ενεργειακό του διάκενο (1,43 eV), αρκεί στρώμα πάχους 1μm. Αυτό άλλωστε δείχθηκε και στο σχήμα 23, όπου είναι φανερό ότι ο συντελεστής απορρόφησης στο GaAs, για τα φωτόνια που μας ενδιαφέρουν, είναι περίπου 10 ή περισσότερες φορές μεγαλύτερες από του Si.

Άλλα σημαντικά κριτήρια για την αξιολόγηση των ημιαγωγών, αλλά και των υπολοίπων υλικών κατασκευής των ηλιακών στοιχείων, είναι το κόστος της παραγωγής τους, η σταθερότητά τους στην επίδραση των εξωτερικών συνθηκών και κυρίως της υγρασίας και της θερμότητας, η τοξικότητα των διαφόρων συστατικών το ειδικό βάρος κ.λ.π.

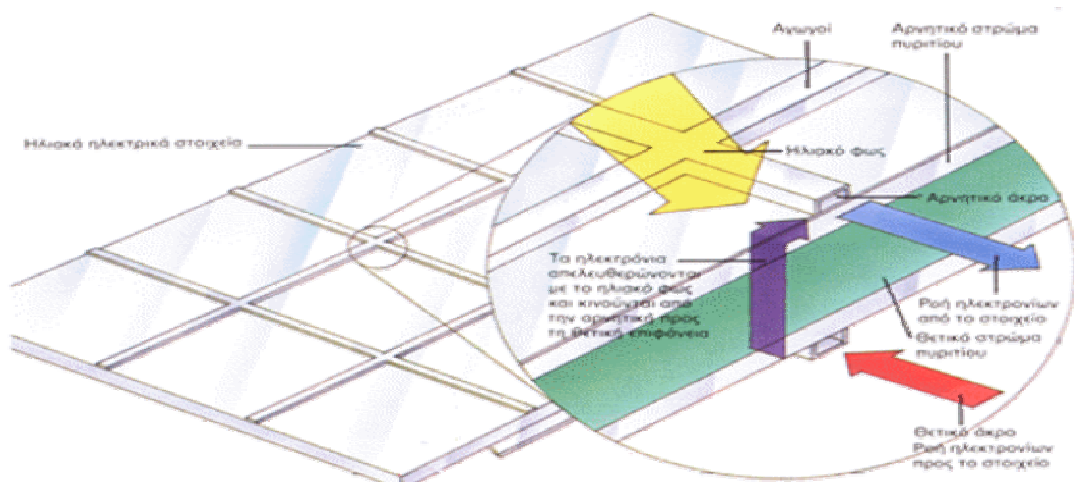
Από τα πολλά ημιαγωγικά υλικά που έχουν ως τώρα μελετηθεί για ηλιακή φωτοβολταϊκή μετατροπή, μεγάλη εφαρμογή έχει βρει μόνο το πυρίτιο, αν και άλλοι ημιαγωγοί έχουν δώσει καλύτερες αποδόσεις (πίνακας 5). Πολύ σημαντικές προοπτικές για σύντομη ανάπτυξη έχουν επίσης το θειούχο κάδμιο (CdS) λόγω χαμηλού κόστους, και το αρσενικούχο γάλλιο (GaAs) λόγω μεγάλης απόδοσης.

ΥΛΙΚΟ	ΤΥΠΟΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ	Μέγιστη απόδ. σε ακτινοβ. AM1
n-Ga _{0,3} Al GaAs	Ομοένωση – ετεροδομή	24%
GaAs	Ομοένωση	22%
n-AlAs/p-GaAs	Ετεροένωση	18,5
Si (μονοκρυσταλλικό)	Ομοένωση	18%
Si (πολυκρυσταλλικό)	Ομοένωση	16%
Au/Si ₃ N ₄ /p-Si	Σότκυ	10%
p-CuxS/n-CdS	Ετεροένωση	10%

Πάντως η ερευνητική αναζήτηση συνεχίζεται έντονη με στόχο την ανακάλυψη και άλλων υλικών , ίσως οργανικής σύστασης, που ενδεχομένως να συνδυάζουν χαμηλό κόστος, εύκολη εφαρμογή και αξιόλογη απόδοση.

ΝΕΑ ΕΠΑΝΑΣΤΑΤΙΚΗ ΠΗΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Με την εξέλιξη της τεχνολογίας μεγάλα ποσά ηλιακής ενέργειας μπορούν να μετατραπούν σε ηλεκτρική με την χρησιμοποίηση κατασκευών που αποτελούνται από φωτοβολταϊκά στοιχεία .



Όταν το ηλιακό φως προσπέσει στα φωτοβολταϊκά στοιχεία ελευθερώνει ηλεκτρικά φορτία στο εσωτερικό τους τα οποία με την ενέργεια που παίρνουν κινούνται ελεύθερα και μπορούν να περάσουν από έναν καταναλωτή όπως είναι μια λάμπα ή ένας κινητήρας και να τον θέσουν σε λειτουργία .

Τα πρώτα φωτοβολταϊκά στοιχεία αναπτύχθηκαν από τη δεκαετία του πενήντα για να τροφοδοτήσουν τους διαστημικούς δορυφόρους με την απαραίτητη ηλεκτρική ενέργεια που χρειάζονταν για την λειτουργία των συσκευών τους .

Από τότε μέχρι σήμερα τα φωτοβολταϊκά στοιχεία βρήκαν πολλές επίγειες εφαρμογές σε διάφορους τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας για δύο βασικούς λόγους . Ο ένας είναι η ευκολία με την οποία παράγουν την ηλεκτρική ενέργεια και ο άλλος τα διάφορα δισεπίλυτα προβλήματα που παρουσιάζει ο κλασικός τρόπος παραγωγής και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας .

Πραγματικά ο μεγάλος κεντρικός ηλεκτροπαραγωγικός σταθμός που παράγει τεράστια ποσά ηλεκτρικής ενέργειας με την καύση πετρελαίου, άνθρακα ή ακόμη και με τη διάσπαση ουρανίου και τα διανέμει με ένα εκτεταμένο ηλεκτρικό δίκτυο σε όλη τη χώρα, αντιμετωπίζει πολλά ερωτηματικά και κριτικές . Ένα σοβαρό επιχείρημα κατά της κατασκευής τέτοιων μεγάλων σταθμών είναι οι καταστροφικές διακοπές παροχής ρεύματος που συμβαίνουν τακτικά και καλύπτουν συνήθως μεγάλες περιοχές προκαλώντας αναστάτωση και πολλά προβλήματα με σοβαρά οικονομικά επακόλουθα. Όλες αυτές οι διακοπές μπορούν να προέλθουν από βλάβη, κακή λειτουργία κάποιου συστήματος του σταθμού ή ακόμη και από δολιοφθορές ή θεομηνίες.

Άλλο επιχείρημα κατά της κατασκευής θερμοηλεκτρικών σταθμών είναι η πλήρης εξάρτηση της λειτουργίας τους από τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται. Κάθε καύσιμο έχει τα δικά του προβλήματα που με τη σειρά τους γίνονται και προβλήματα του σταθμού.

Σχετικά με το κάρβουνο, η ίδια η εξαγωγή του από το εσωτερικό της γης είναι επικίνδυνη. Το μεγάλο όμως πρόβλημα που προκαλεί είναι η ρύπανση του περιβάλλοντος . Κατά την καύση του τα οξειδία του θειαφιού που περιέχεται στο κάρβουνο προκαλούν την όξινη βροχή που θεωρείται η αιτία καταστροφής της βλάστησης και των δασών ακόμη και σε μεγάλη απόσταση από το σταθμό. Επί

πλέον το διοξειδίο του άνθρακα που εκλύεται προκαλεί γενική υποβάθμιση του περιβάλλοντος με την ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Για να αποφευχθούν τα καταστροφικά αυτά φαινόμενα απαιτείται τεράστια οικονομική δαπάνη κατά την κατασκευή του σταθμού για να αποκτήσει τη δυνατότητα να δεσμεύει όλα αυτά τα ανεπιθύμητα ελκυσόμενα αέρια .

Όσο αφορά το πετρέλαιο, αυτό παρουσιάζει εκτός των άλλων, το πρόβλημα ότι η προμήθεια του από τις διάφορες χώρες εξαρτάται σε πολύ μεγάλο βαθμό από τις πολιτικές διαμάχες . Αυτό φάνηκε καθαρά από όσα συνέβησαν το φθινόπωρο του 1973 καθώς και την κρίση στην περιοχή του Περσικού κόλπου που άρχισε το καλοκαίρι του 1990.

Σχετικά με την ενέργεια που ελευθερώνεται με τη διάσπαση των πυρήνων ουρανίου, η εξάρτηση από αυτή είναι πολύ δύσκολη λόγω του είδους της πρώτης ύλης. Είναι όμως και εξαιρετικά επικίνδυνα αν κρίνει κανείς από το ατύχημα που έγινε στον πυρηνικό σταθμό του Three Mile Island στην Πενσυλβανία, το ατύχημα του Τσέρνομπιλ και τα τόσα άλλα γνωστά άγνωστα ατυχήματα που συνέβησαν στα διάφορα πυρηνικά εργοστάσια .

Άλλο μειονέκτημα του μεγάλου κεντρικού σταθμού είναι το τεράστιο οικονομικό κόστος που συνεπάγεται η κατασκευή του.

Τεράστια ποσά πρέπει να δαπανηθούν και μάλιστα ο προϋπολογισμός της δαπάνης πρέπει να γίνει πολλά χρόνια πριν την τελική κατασκευή του σταθμού. Το χειρότερο όμως είναι ότι το ποσό που υπολογίζεται είναι συνήθως πολύ μικρότερο συγκριτικά με το ποσό που τελικά χρειάζεται να ξοδευτεί για την πλήρη και σωστή αποπεράτωση του σταθμού, κατά τρόπο που να μην προκαλεί ρύπανση του περιβάλλοντος.

Για όλους αυτούς τους λόγους χρειάζεται μια διαφορετική αντιμετώπιση του ενεργειακού προβλήματος με τη χρησιμοποίηση νέων τεχνολογιών. Πραγματικά η λύση μπορεί να δοθεί με τη κατασκευή πολλών μικρών ηλεκτροπαραγωγών σταθμών σε περιοχές που γειτονεύουν με το ηλεκτρικό δίκτυο διανομής. Οι σταθμοί αυτοί μπορούν να λειτουργήσουν με εκείνες τις εναλλακτικές πηγές ενέργειας που υπάρχουν σε μεγάλο βαθμό στη χώρα .

Για την Ελλάδα και την Κύπρο η ηλιακή ενέργεια παρέχει απεριόριστες δυνατότητες. Ο εναλλακτικός τρόπος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με τη μέθοδο των φωτοβολταϊκών στοιχείων μπορεί να δώσει μεγάλα ποσά ηλεκτρικής ενέργειας. Τα ποσά αυτά είναι αρκετά για να αντικαταστήσουν εκείνα που δίνει

ένας θερμοηλεκτρικός σταθμός καθιστώντας τον αχρείαστο ή περιορίζοντας κατά πολύ την λειτουργία του. Αυτό μπορεί να γίνει με την κατασκευή διαφόρων μικρών ηλεκτροπαραγωγών σταθμών ή ακόμη και τη σύγχρονη εγκατάσταση ανεξάρτητων αυτοτελών Φ/β συστημάτων σε διάφορες κτιριακές εγκαταστάσεις και οικιακές μονάδες .

Ένα τέτοιο Φ/β σύστημα αποτελείται βασικά από τα Φ/β στοιχεία, τη συσκευή μετατροπής της τάσης που δίδουν τα Φ/β στοιχεία, και την συσκευή αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας για να υπάρχει δυνατότητα συνεχούς κατανάλωσης .

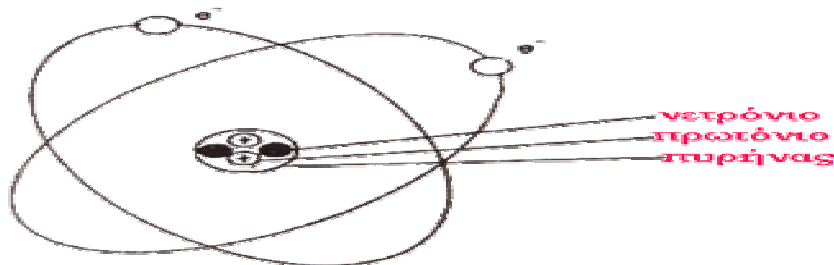
Τα Φ/β στοιχεία κατασκευάζονται από διάφορα υλικά όπως είναι το δεύτερο στη σειρά διαδεδομένο στοιχείο Πυρίτιο, το στοιχείο Γερμάνιο, οι χημικές ενώσεις Αρσενιούχο Γάλλιο, Φωσφορούχο Γάλλιο, Φωσφορούχο , Ίνδιο και πολλά άλλα υλικά. Σε αυτά ενσωματώνονται τεχνητά, ίχνη διαφόρων άλλων στοιχείων (προσμίξεις) και έτσι αποκτούν την ιδιότητα να εμφανίζουν τάση στα άκρα τους όταν φωτίζονται. Η τάση αυτή που στην περίπτωση του Φ/β στοιχείου είναι της τάξης των 0,5 Volts, μπορεί να τροφοδοτήσει με ηλεκτρικό ρεύμα ένα καταναλωτή.

Επειδή οι διάφοροι καταναλωτές είναι να λειτουργούν με ορισμένη συνεχή ή εναλλασσόμενη τάση, είναι ανάγκη η συνεχής τάση των Φ/β στοιχείων να μετατραπεί στην κατάλληλη τάση λειτουργίας των καταναλωτών .

Το Φ/β σύστημα θα πρέπει να παρέχει επαρκή ηλεκτρική ενέργεια και στις περιόδους που δεν υπάρχει ηλιοφάνεια (νυκτερινές ώρες, συννεφιασμένες μέρες). Αυτό επιτυγχάνεται με τη συσκευή αποθήκευσης που αποτελείται από συσσωρευτές (μπαταρίες) πολύ καλής κατασκευής, ικανούς να αποθηκεύσουν το περίσσειμα της παραγόμενης από τα Φ/β στοιχεία ηλεκτρικής ενέργειας για να χρησιμοποιηθεί όταν η ζήτηση είναι μεγαλύτερη από την παραγωγή .

Ένα Φ/β σύστημα μπορεί να είναι μικρό ώστε να ανάψει μόνο μια λάμπα ή να τροφοδοτήσει με ρεύμα την εγκατάσταση ενός σπιτιού ή συγκροτήματος κτιρίων. Είναι δυνατό όμως το σύστημα να είναι πιο μεγάλο ώστε να τροφοδοτεί ένα χωριό ή μια κοινότητα .

Τα Φ/β συστήματα μπορούν να λειτουργήσουν με δύο τρόπους. Με τον πρώτο τρόπο, το σύστημα λειτουργεί σαν ανεξάρτητο και αυτοτελές και τροφοδοτεί με ρεύμα που παράγει το οικοδόμημα ή σύμπλεγμα κτιρίων για το οποίο κατασκευάστηκε. Στην περίπτωση αυτή είναι απαραίτητη και η συσκευή αποθήκευσης των περισσευμάτων της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.



Σχ13 Το άτομο αποτελείται από τον πυρήνα και τα ηλεκτρόνια που περιφέρονται γύρω από αυτόν

Με το δεύτερο τρόπο το σύστημα όπως είναι συνδεδεμένο με ένα σπίτι ή το συγκρότημα κτιρίων, συνδέεται συγχρόνως και με το κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο διανομής. Με τον τρόπο αυτό, όταν το σύστημα παράγει περισσεύματα ηλεκτρικής ενέργειας αυτά διοχετεύονται σε άλλα κτιριακά συγκροτήματα που είναι συνδεδεμένα με το δίκτυο. Στην περίπτωση αυτή που το σύστημα δεν παράγει την απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια που χρειάζεται το συγκρότημα των κτιρίων, συμπληρώνει με ενέργεια που αντλεί από το δίκτυο.

Ένα μεγάλο Φ/β σύστημα μπορεί να κατασκευαστεί σε κάποια περιοχή κοντά στο δίκτυο και να συνδεθεί μόνο με αυτό, ώστε με την ηλεκτρική ενέργεια που παράγει να το ενισχύει και έμμεσα να τροφοδοτεί κτιριακά συγκροτήματα. Είναι φανερό ότι ένα τέτοιο σύστημα αποτελεί στην ουσία ένα μικρό σταθμό ηλεκτροπαραγωγής που λειτουργεί με ηλιακή ενέργεια.

Πολλοί τέτοιοι σταθμοί είναι δυνατόν να κατασκευαστούν σε άγονες υπαίθριες περιοχές κατά μήκος του δικτύου και να συνδεθούν με αυτό. Έτσι, με τη συνολική ενέργεια που θα παράγουν, θα μπορούν να αντικαταστήσουν ένα μεγάλο θερμοηλεκτρικό σταθμό πετρελαίου ή κάρβουνου.

Οι ηλιακοί σταθμοί Φ/β στοιχείων έχουν πολλά πλεονεκτήματα έναντι των συμβατικών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Αυτά έχουν αποδειχθεί στην πράξη με την πείρα που αποκτήθηκε από την λειτουργία των σταθμών που κατασκευάστηκαν μέχρι σήμερα.

Το σπουδαιότερο πλεονέκτημά τους είναι ότι δεν προκαλούν ρύπανση στο περιβάλλον και δεν δημιουργούν απόβλητα. Επίσης δεν έχουν κινητά μέρη ώστε να προκαλούνται φθορές από την τριβή απώλειες ενέργειας σε θερμότητα αλλά και θόρυβο. Η λειτουργία τους είναι σίγουρη και συνεχής διότι είναι βασισμένη στην τεχνολογία της στερεάς κατάστασης της ύλης που έχει οδηγήσει στην κατασκευή πολλών άλλων ηλεκτρονικών συσκευών.

Δεν χρειάζονται τη συνεχή επιδιόρθωση και φροντίδα όπως γίνεται στους άλλους σταθμούς και έτσι τα έξοδα λειτουργίας είναι μηδαμινά διότι χρησιμοποιούν σαν καύσιμο την αιώνια και χωρίς κόστος ηλιακή ακτινοβολία. με τα νέα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή τους τα τελευταία χρόνια, η διάρκεια ζωής των Φ/β σταθμών είναι πρακτικά απεριόριστη (γύρω στα 30 χρόνια).

Ο χρόνος που χρειάζεται να κατασκευαστεί ένας τέτοιος σταθμός είναι μόνο μερικοί μήνες και όχι μερικά χρόνια που απαιτούνται για την ανέγερση ενός θερμοηλεκτρικού σταθμού.

Γενικά η τεχνολογία της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Φ/β στοιχεία είναι βασισμένη σε συμπεράσματα που έχουν εξαχθεί μελετώντας τη φύση του φωτός και τη δομή της ύλης.

Εφαρμογές

Τα φωτοβολταϊκά κύτταρα, τα φωτοβολταϊκά πλαίσια και οι μεγάλης κλίμακας φωτοβολταϊκοί σταθμοί παραγωγής έχουν γίνει τμήμα της καθημερινής μας ενεργειακής πραγματικότητας. Η άμεση παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την ηλιακή ακτινοβολία είναι εξαιρετικά διαδεδομένη σε πολλούς τομείς. Οι φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις χαρακτηρίζονται από την σταθερότητα τους , την έλλειψη κινουμένων μερών , την αυτονομία τους και τον μεγάλο χρόνο ζωής τους, καθώς και από τον αποκεντρικό χαρακτήρα που διαθέτουν. Δεν παράγουν κανενός είδους θόρυβο και είναι φιλικά προς το περιβάλλον. Ο μόνος περιορισμός που τίθεται είναι το υψηλό τους κόστος αγοράς , καθώς η συντήρησή τους είναι σχεδόν ανύπαρκτη.

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΔΙΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Στα διασυνδεδεμένα με το δίκτυο φωτοβολταϊκά συστήματα, η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά, τροφοδοτεί τα ηλεκτρικά φορτία και η περίσσεια ηλεκτρικής ενέργειας εφ' όσον υπάρχει διαβιβάζεται και πωλείται στο δίκτυο. Στις περιπτώσεις όμως που η ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά δεν επαρκεί για να καλύψει τα φορτία τότε το δίκτυο παρέχει τη συμπληρωματική ενέργεια. Έτσι στα διασυνδεδεμένα συστήματα υπάρχουν δύο μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας. Ο ένας μετράει την ενέργεια που δίνεται στο δίκτυο και ο άλλος την ενέργεια που παρέχει το

δίκτυο. Επίσης στη περίπτωση των διασυνδεδεμένων συστημάτων δεν απαιτείται χρήση συσσωρευτών, γεγονός που ελαττώνει το αρχικό κόστος της εγκατάστασης καθώς και το κόστος συντήρησης





Οι παραπάνω φωτογραφίες είναι από το φ/β πάρκο της ΡΟΚΑΣ ΑΙΟΛΙΚΗ ΑΒΕΕ στο Νομό Λασιθίου , ισχύος 171.6 kWp

ΑΥΤΟΝΟΜΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ



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



ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

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



Τα βασικά χαρακτηριστικά των Φ/β συστημάτων , που τα διακρίνουν από τις άλλες μορφές ΑΠΕ είναι:

Απευθείας παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας , ακόμη και σε πολύ μικρή κλίμακα , π.χ σε επίπεδο μερικών δεκάδων Watt ή και mWatt

Είναι εύχρηστα . Σε μικρά συστήματα μπορούν να εγκατασταθούν από τους ίδιους τους χρήστες .

Μπορούν να εγκατασταθούν μέσα στις πόλεις και δεν προσβάλλουν αισθητικά το περιβάλλον

Μπορούν να συνδυαστούν με άλλες πηγές ενέργειας (υβριδικά συστήματα)

Μπορούν να επεκταθούν ανά πάσα στιγμή για να αντιμετωπίσουν τις αυξημένες ανάγκες των χρηστών .

Έχουν αθόρυβη λειτουργία και μηδενικές εκπομπές ρύπων

Οι απαιτήσεις συντήρησης είναι σχεδόν μηδενικές

Έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής και αξιοπιστία

Υψηλό κόστος επένδυσης.

Η ενεργειακή ανεξαρτησία του χρήστη , όπου και να βρίσκεται αυτός είναι το μεγαλύτερο πλεονέκτημα των Φ/β συστημάτων.

Το κόστος των Φ/β πλαισίων είναι σήμερα το μεγαλύτερο μειονέκτημα των Φ/β συστημάτων. Όμως πρέπει να τονιστεί ότι υπάρχουν σήμερα αρκετοί χρήστες για τους οποίους το Φ/β σύστημα είναι η πλέον ενδεδειγμένη οικονομική λύση .

Πρέπει να τονιστεί ότι η Φ/β τεχνολογία , όπως άλλωστε και οι περισσότερες τεχνολογίες Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, παρουσιάζει ιδιαιτερότητες που κάνουν δύσκολη τη σύγκριση της με τις συμβατικές τεχνολογίες π.χ :

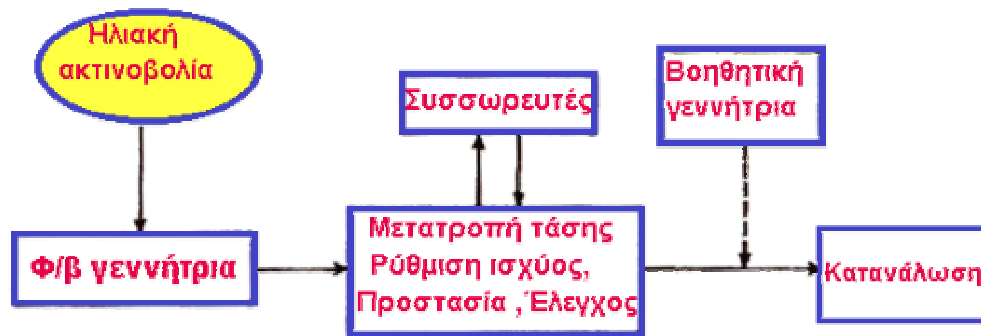
Δεν υπάρχει σαφής τρόπος αποτίμησης του περιβαλλοντικού κόστους των συμβατικών τεχνολογιών. Το κόστος της ενέργειας από Φ/β συστήματα εξαρτάται πάρα πολύ από το κόστος του χρήματος

ΑΥΤΟΝΟΜΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

1. Η ΣΥΓΚΡΟΤΗΣΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Η συνηθέστερη, αλλά και ίσως η πληρέστερη, εφαρμογή της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας είναι η κατασκευή αυτόνομων φωτοβολταϊκών Φ/Β συστημάτων Δηλαδή εγκαταστάσεων που λειτουργούν αυτοδύναμα για την τροφοδότηση

καθορισμένων καταναλώσεων, χωρίς να συνδέονται με μεγάλα κεντρικά δίκτυα διανομής, από τα οποία θα μπορούσαν να αντλούν συμπληρωματική ενέργεια ή να στέλνουν την ενδεχόμενη περίσσεια της παραγόμενης φωτοβολταϊκής ηλεκτρικής ενέργειας.



Σχ.1 Παράδειγμα γενικού διαγράμματος ενός αυτόνομου Φ/β συστήματος

Το βασικό συστατικό ενός αυτόνομου Φ/β συστήματος, όπως άλλωστε κάθε Φ/β εγκατάσταση, είναι η Φ/β γεννήτρια, στους ηλιακούς συλλέκτες της οποίας γίνεται η μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια. Συνήθως, όπως δείχνει το (σχήμα 1), 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 ενέργεια, ώστε να χρησιμοποιηθεί όταν η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι ανεπαρκής ή ανύπαρκτη, διατάξεις για 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 πετρελαίου για την αντιμετώπιση έκτακτων περιστάσεων (συντήρηση ή βλάβη του συστήματος, τροφοδότηση πρόσθετων φορτίων κλπ).

Ο συμπληρωματικός εξοπλισμός των Φ/β συστημάτων πέρα από τη Φ/β γεννήτρια, ονομάζεται συνήθως B.O.S, από τα αρχικά της αγγλικής έκφρασης Balance of the system (υπόλοιπα του συστήματος). Στον πίνακα 7 δείχνεται πως περίπου συμβάλλουν τα διάφορα μέρη που συγκροτούν ένα αυτόνομο Φ/β σύστημα, στη συνολική διαμόρφωση του κόστους του. Δεν αναγράφονται οι δαπάνες για την αγορά και τη διαμόρφωση της απαιτούμενης εδαφικής έκτασης και για την οικοδόμηση του κτιρίου τοποθέτησης των συσσωρευτών κλπ, καθώς και τα

διάφορα μεταφορικά, εργατικά και χρηματοοικονομικά έξοδα, διότι κυμαίνονται πολύ ανάλογα με την περίπτωση. Επίσης, δεν αναφέρεται η δαπάνη για την εκτέλεση της μελέτη. Σύμφωνα με τους κανονισμούς που ισχύουν η αμοιβή για την προμελέτη, με τον προκαταρτικό σχεδιασμό και την εκτίμηση του κόστους της εγκατάστασης, είναι περίπου το 1,75% μέχρι 2,5% της συνολικής δαπάνης, ανάλογα και με το τελικό ύψος της. Ένα πρόσθετο ποσοστό περίπου 2,4% προβλέπεται για την αμοιβή της πλήρους μελέτης και του ελέγχου των προσφορών για την κατασκευή του έργου.

Πίνακας 7. Παράδειγμα της διαμόρφωσης του κόστους ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος.

Παράγοντας κόστους	Συμβολή στο συνολικό κόστος
Φ/β πλαίσια ή πάνελα για τη Φ/β γεννήτρια	65%
Στηρίγματα των Φ/β συλλεκτών και ηλεκτρικές καλωδιώσεις των Φ/β στοιχείων.	5%
Συσσωρευτές αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας.	15%
Διατάξεις ρυθμίσεων τάσης και ισχύος , μετατροπής τάσης , προστασίας ελέγχου κ.λ.π	12%
Βοηθητική γεννήτρια	3%

2. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Η μελέτη και σχεδιασμός ενός αυτόνομου Φ/β συστήματος στοχεύει στο βέλτιστο συσχετισμό των προβλέψεων για τα μεγέθη της ηλεκτρικής ζήτησης από το σύστημα και της ηλιακής ακτινοβολίας που θα δέχονται οι συλλέκτες του. Δηλαδή, επιδιώκεται η αποφυγή των υπερβολικών δαπανών που θα συνεπάγονταν ο υπερσχεδιασμός του συστήματος π.χ. με συλλέκτες και συσσωρευτές μεγαλύτερου μεγέθους από τα απολύτως απαραίτητα.

Για τον προκαταρτικό σχεδιασμό ενός αυτόνομου Φ/β συστήματος απαιτείται και συνήθως επαρκεί, η ύπαρξη μιας καλής εκτίμησης της ζήτησης που

πρέπει να ικανοποιήσει (π.χ. η μέση ημερήσια ηλεκτρική κατανάλωση τους διάφορους μήνες του έτους, κ.τ.λ) και μιας αξιόπιστης πληροφόρησης σχετικά με την ένταση και την διακύμανση της ηλιακής ακτινοβολίας στην περιοχή (π.χ. η μέση ημερήσια ένταση της ακτινοβολίας ανα μονάδα επιφανείας τα διαστήματα συνεχούς συννεφιάς κ.τ.λ.). Ένα παράδειγμα οδηγός του προκαταρκτικού σχεδιασμού δίνεται στον πίνακα 8.

Πίνακας 8. Παράδειγμα υποδείγματος των διαδοχικών βημάτων για τον προκαταρκτικό σχεδιασμό ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος

1. Επιλογή της κρίσιμης χρονικής περιόδου για την αξιόπιστη λειτουργία του συστήματος
2. Εκτίμηση της μέσης ηλεκτρικής κατανάλωσης που ζητείται να ικανοποιεί το σύστημα
3. Υπολογισμός της μέσης διαθέσιμης ηλιακής ενέργειας στην υπόψη τοποθεσία , στην επιλεγμένη χρονική περίοδο και για την βέλτιστη κλίση των συλλεκτών
4. Υπολογισμός της απαιτούμενης συνολικής επιφάνειας ή της συνολικής ισχύος αιχμής των Φ/β συλλεκτών και εύρεση του αντίστοιχου πλήθους και της κατάλληλης συνδεσμολογίας των τυποποιημένων Φ/β πλαισίων ή πανέλων.
5. Καθορισμός των επιθυμητών ημερών αυτοδυναμίας του συστήματος και εύρεση της αντίστοιχης χωρητικότητας των συσσωρευτών αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας για την αντιμετώπιση της ζήτησης στο διάστημα των πιθανών ημερών συνεχούς συννεφιάς.
6. Υπόδειξη των διαφόρων αναγκαίων διατάξεων ρύθμισης και ελέγχου, και της ισχύος της βοηθητικής ενεργειακής πηγής

Για την πλήρη όμως οικονομικοτεχνική μελέτη, με λεπτομερειακό σχεδιασμό του συστήματος και συγκριτική αξιολόγηση με άλλες εναλλακτικές ενεργειακές πηγές (δηλαδή, αντί για την εγκατάσταση Φ/β γεννήτριας , την επιλογή ενός ηλεκτροπαραγωγού , ζεύγους ή μίας ανεμογεννήτριας ή την τοποθέτηση εναέριας ή υποβρύχιας γραμμής μεταφοράς για την σύνδεση με το κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο της χώρας κ.τ.λ.), χρειάζονται πολλά άλλα τεχνικά και οικονομικά δεδομένα. π.χ. η

εκτίμηση για ενδεχόμενες μελλοντικές επεκτάσεις της εγκατάστασης η απαιτούμενη αξιοπιστία του συστήματος, ο λεπτομερής υπολογισμός των ηλεκτρικών απωλειών, το κόστος των Φ/β πλαισίων και πάνελ και οι δαπάνες για την κατασκευή των στηριγμάτων τους στο έδαφος ή πάνω στη στέγη ενός σπιτιού οι δαπάνες διαμόρφωσης του χώρου και προστασίας των συλλεκτών από ανέμους, χαλάζι, κεραυνούς, ή και βανδαλισμούς. Επίσης, τα τεχνικά χαρακτηριστικά το μέγεθος και το κόστος των άλλων συστατικών του συστήματος (συσσωρευτές, διατάξεις ρύθμισης ,προστασίας και ελέγχου, βοηθητική γεννήτρια) και ο καθορισμός των απαιτούμενων ανταλλακτικών. Για τη συγκριτική αξιολόγηση χρειάζεται το κόστος και η αξιοπιστία των εναλλακτικών λύσεων, οι δαπάνες συντήρησης των εγκαταστάσεων, το κόστος προμήθειας και μεταφοράς πετρελαίου κ.τ.λ.

Εμείς εδώ, θα ασχοληθούμε κυρίως με τον προκαταρκτικό σχεδιασμό των αυτόνομων Φ/β συστημάτων, που μας εισάγει στον προβληματισμό και τη μελέτη των Φ/β εγκαταστάσεων και δίνει μια καλή εικόνα των δυνατοτήτων τους.

3. ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΠΙΛΟΓΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΙΣ

Στο σχεδιασμό ενός αυτόνομου Φ/β συστήματος πρέπει να έχουν γίνει από πριν ορισμένες βασικές επιλογές, όπως αν η Φ/β γεννήτρια και οι συσσωρευτές θα πρέπει να καλύπτουν πλήρως τις αιχμές της ζήτησης ισχύος αν θα υπάρχει ιεράρχηση στην ικανοποίηση των καταναλώσεων, αν το ρεύμα που παρέχει το σύστημα θα είναι συνεχές ή εναλλασσόμενο και σε ποια τάση κλπ. Κυρίως, θα πρέπει να έχει καθοριστεί η εποχή του έτους, στη ζήτηση της οποίας να ανταποκρίνεται αξιόπιστα το σύστημα. Δηλαδή, στο εμβαδόν της επιφάνειας των ηλιακών συλλεκτών και στα μεγέθη των άλλων συστατικών του συστήματος (κυρίως στη χωρητικότητα των συσσωρευτών) δίνονται τέτοιες τιμές, ώστε σε συνδυασμό με την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας στη συγκεκριμένη εποχή, να καλύπτονται ικανοποιητικά οι αντίστοιχες ηλεκτρικές καταναλώσεις. Οι αιτίες για αξιόπιστη συμπεριφορά του συστήματος μπορούν να έχουν φυσική προέλευση, όπως π.χ. το υπερβολικό πλήθος διαδοχικών συνεφιασμένων ημερών και η προβολή της Φ/β γεννήτριας από κεραυνό, ή να οφείλονται σε κακό σχεδιασμό, που μπορεί να στηρίχτηκε σε εσφαλμένα μετεωρολογικά δεδομένα, κακή εκτίμηση της ηλεκτρικής κατανάλωσης κλπ.

Στην περίπτωση, που το σύστημα σχεδιάζεται για να λειτουργεί ολόκληρη τη διάρκεια του έτους, τα μεγέθη των συλλεκτών και των άλλων συστατικών και

διατάξεων προσαρμόζονται στις συνθήκες του μήνα με την μικρότερη ηλιακή ακτινοβολία (Δεκέμβριος ή Ιανουάριος) και ακολουθεί διερεύνηση για τον έλεγχο της επάρκειας τους στους υπόλοιπους μήνες του έτους. π.χ. αν πρόκειται να τροφοδοτηθεί μια κατοικία, θα πρέπει να εξεταστεί αν η αυξημένη φωτοβολταϊκή ηλεκτρική παραγωγή το καλοκαίρι, λόγω της ισχυρότερης ηλιακής ακτινοβολίας, καλύπτει την ενδεχομένως αυξημένη κατανάλωση, λόγω της συχνότερης λειτουργίας του ηλεκτρικού ψυγείου ή της πρόσθετης λειτουργίας ενός κλιματιστικού μηχανήματος.

Η εγκατάσταση των αυτόνομων Φ/β συστημάτων γίνεται συνήθως σε απομονωμένες περιοχές, που δεν υπάρχει ιδιαίτερα ειδικευμένο τεχνικό προσωπικό για να τα λειτουργήσει και να τα συντηρήσει, ούτε εύκολη πρόσβαση σε οργανωμένα επισκευαστικά κέντρα με αποθέματα ανταλλακτικών, εξειδικευμένα μηχανουργεία κλπ, για την αντιμετώπιση ενδεχομένων βλαβών. Επομένως, στο σχεδιασμό πρέπει να έχει ληφθεί μέριμνα ώστε η λειτουργία των συστημάτων να είναι απλή ή εντελώς αυτοματοποιημένη και επίσης να έχουν εξασφαλιστεί τουλάχιστον οι παρακάτω προϋποθέσεις για την ελαχιστοποίηση του χρόνου μέχρι την επισκευή μιας βλάβης και την αποκατάσταση της καλής λειτουργίας του συστήματος.

1 Εύκολος εντοπισμός της αιτίας της ελαττωματικής λειτουργίας και του σημείου που έχει εκδηλωθεί η βλάβη.

2 . Εύκολη και ασφαλή πρόσβαση στις θέσεις που πρέπει να γίνει επέμβαση για την επισκευή.

3 . Τα ανταλλακτικά να είναι σε σχετικά μικρές distάνσεις και βάρη (π.χ. μέχρι 40 kg), ώστε να μπορούν να μεταφερθούν και να τοποθετηθούν από ένα άνθρωπο, χωρίς άλλα τεχνικά μέσα.

4 . Τα διάφορα εξαρτήματα να είναι τυποποιημένων μεγεθών, ώστε να βρίσκονται εύκολα στην αγορά.

4. Η ζήτηση : ΟΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΙΣ



Όπως αναφέρθηκε ο σχεδιασμός ξεκινά με την εκτίμηση των ηλεκτρικών καταναλώσεων του συστήματος. Ένα αυτόνομο Φ/β σύστημα μπορεί να τροφοδοτεί μία μόνο κατανάλωση ή περισσότερες.

Παράδειγμα της πρώτης περίπτωσης είναι ένας φάρος ή ένας τηλεπικοινωνιακός αναμεταδότης. Της δεύτερης περίπτωσης μια κατοικία ή ένας ολόκληρος οικισμός.

Ύστερα από προσεκτική έρευνα, απαριθμούνται οι διάφορες ενδεχόμενες χρήσεις ηλεκτρικής ενέργειας και καταγράφονται όλες οι ηλεκτρικές συσκευές, η ισχύς τους και ο πιθανός χρόνος της λειτουργίας τους στη διάρκεια ενός 24ώρου (πίνακας 9). Επίσης, συχνά είναι χρήσιμο να καταγράφεται η πιθανότητα της ταυτόχρονης λειτουργίας περισσότερων συσκευών, ώστε να υπολογιστεί η μέγιστη ισχύς στη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας. Σε ορισμένες περιπτώσεις είναι σκόπιμο να γίνεται προγραμματισμένη κατανομή και ιεράρχηση της ζήτησης από τις διάφορες συσκευές, για την αποφυγή υπερβολικών αιχμών.



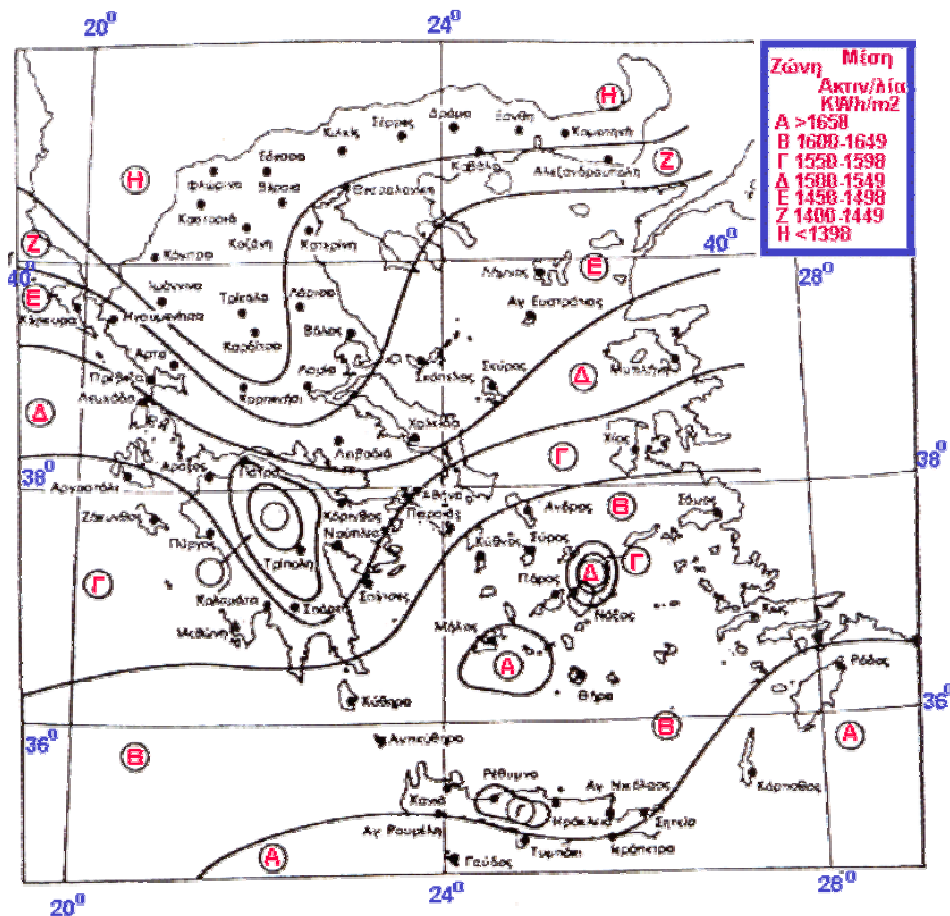
ΣΠΙΤΙ ΜΕ ΗΛΙΑΚΕΣ ΚΥΨΕΛΙΔΕΣ ΣΤΗ ΣΚΕΠΗ

Πάντως, η πείρα έχει δείξει ότι είναι παράλογη χρησιμοποίηση Φ/β γεννητριών για την τροφοδότηση ηλεκτρικών συσκευών με μεγάλη θερμική κατανάλωση. Έτσι αποφεύγεται π.χ. το μαγείρεμα με ηλεκτρικές κουζίνες, η θέρμανση χώρου με ηλεκτρικά καλοριφέρ ή αερόθερμα, η θέρμανση νερού με ηλεκτρικούς θερμοσίφωνες κλπ. Για τις ανάγκες αυτές είναι σκόπιμο να χρησιμοποιούνται άλλες συσκευές, όπως κουζίνες και θερμάστρες υγραερίου ή πετρελαίου, ηλιακοί θερμοσίφωνες κλπ.

Πίνακας 9. Παράδειγμα των ημερήσιων ηλεκτρικών καταναλώσεων σε μια κατοικία με μια οικογένεια.

Συσκευή	Ισχύς	Ώρες λειτουργ.	Ηλεκτρική κατανάλ.
Φώτα	1,0KW	3,0h	3,0 KWh
Ψυγείο	0,3KW	9,0h	2,7 KWh
Τηλεόραση	0,2KW	4,0h	0,8 KWh
Ηλεκτρική σκούπα	0,6 KW	0,5h	0,3 KWh
Στεγνωτήρας μαλλιών			0,2KWh
Φρυγανιέρα	0,4 KW	0,5h	0,3 KWh
Πλυντήριο ρούχ.	1,5KW	0,2h	0,7KWh
Σύνολο	3.5KW	0,2 h	8,0 KWh
	7,5KW		

5. Η Προσφορά :Η ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ



Σχ.2. Κατανομή της μέσης συνολικής ετήσιας έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας ,σε οριζόντιο επίπεδο, στις διάφορες περιοχές της Ελλάδας . Όπως δείχνεται στο ένθετο πίνακα η ζώνη A δέχεται πάνω απο 1650 Kwh/m 2 η ζώνη B απο 1600 μέχρι 1649 KWh/m2 κ.λ.π

Στη συνέχεια, βρίσκουμε σε πίνακες, χάρτες ή διαγράμματα, τη μέση ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας ανά μονάδα επιφανεΐας (οριζόντιας ή σε διάφορες κλίσεις), στη συγκεκριμένη τοποθεσία και στην επιλεγμένη χρονική περίοδο. Για παράδειγμα, στον χάρτη του (σχήματος 2) δίνονται οι μέσες τιμές της ετήσιας έντασης της ακτινοβολίας για διάφορες περιοχές της Ελλάδας.

Αν δεν υπάρχουν τιμές για την τοποθεσία ή τη χρονική περίοδο που μας ενδιαφέρει, καταφεύγουμε αναγκαστικά σε προσεγγιστικό υπολογισμό με τη βοήθεια των τιμών της ηλιακής ακτινοβολίας σε γειτονικές ή όμοιες τοποθεσίες. Στην Ελλάδα η κλίση των συλλεκτών βσ είναι συνήθως περίπου 45ο. Όταν

ενδιαφέρει περισσότερο η Φ/β παραγωγή των θερινών μηνών, επιλέγεται μικρότερη κλίση, μέχρι περίπου 20°. Αντίθετα, για τις χειμερινές εφαρμογές, η βέλτιστη κλίση των συλλεκτών μπορεί να φτάσει μέχρι περίπου 60°, αλλά το κέρδος σε σύγκριση με την κλίση 45° είναι μικρό.

6. Το ζητούμενο: ΤΟ ΠΛΗΘΟΣ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΠΛΑΙΣΙΩΝ

Τώρα μπορούμε να προχωρήσουμε στον υπολογισμό του πιο καίριου μεγέθους, που αναζητάμε για τον σχεδιασμό ενός Φ/β συστήματος. Δηλαδή το απαιτούμενο πλήθος των Φ/β πλαισίων ή πάνελ.

Η πρώτη σκέψη θα ήταν να βρούμε το συνολικό εμβαδόν των ηλιακών στοιχείων που θα μας δώσουν τη ζητούμενη ηλεκτρική ενέργεια. Είναι φανερό ότι η ηλεκτρική ενέργεια E που παράγει ένα πλήθος Φ/β στοιχείων με συντελεστή απόδοσης η και συνολική επιφάνεια A m² όταν δεχτεί μία πυκνότητα ηλιακής ακτινοβολίας Π , KW/m², είναι:

$$E = \Pi \times A \times \eta \text{ (KWh)}$$

και επομένως όταν τα άλλα μεγέθη είναι γνωστά ή έχουν εκτιμηθεί μπορούμε να βρούμε την απαιτούμενη συνολική επιφάνεια των Φ/β στοιχείων:

$$A = E / (\Pi \times \eta) \text{ (m}^2\text{)}$$

Για παράδειγμα, ας θεωρήσουμε ότι οι τιμές του πίνακα 9 αφορούν στη μέση ημερήσια χειμερινή ηλεκτρική κατανάλωση μια αστικής κατοικίας στη Ρόδο. Για την περίπτωση συλλέκτη από Φ/β στοιχεία πυριτίου του εμπορίου με μέσο συντελεστή απόδοσης 12%, τοποθετημένα στη Ρόδο με κλίση 45°, όπου τον Ιανουάριο αντιστοιχεί μέση ημερήσια κατανάλωση των 8KWh είναι:

$$A = 8 \text{ (KWh/d)} / \{3,32 \text{ (KWh/m}^2\text{d)} \times 0,12\} = 20,08$$

Για μεγαλύτερη ακρίβεια, θα μπορούσαμε να είχαμε κάνει τη θερμοκρασιακή διόρθωση της απόδοσης. Στη Ρόδο, το Ιανουάριο, η μέση θερμοκρασία του αέρα στη διάρκεια της ημέρας είναι 12,6°C, που αντιστοιχεί σε μέση θερμοκρασία ηλιακών στοιχείων περίπου $12,6 + 30 = 42,6$ °C

Επομένως η τιμή του συντελεστή θερμοκρασιακής διόρθωσης είναι :

$$\sigma_{\theta} = 1,00 - (42,6 - 20) \times 0,005 = 0,89$$

και, υποθέτοντας ότι η ρύπανση είναι ασήμαντη ($\sigma_{\rho} = 100$), βρίσκουμε αντίστοιχη επιφάνεια :

$$A = 8 / (3,32 \times 0,12 \times 0,89) = 22,56 \text{ m}^2$$

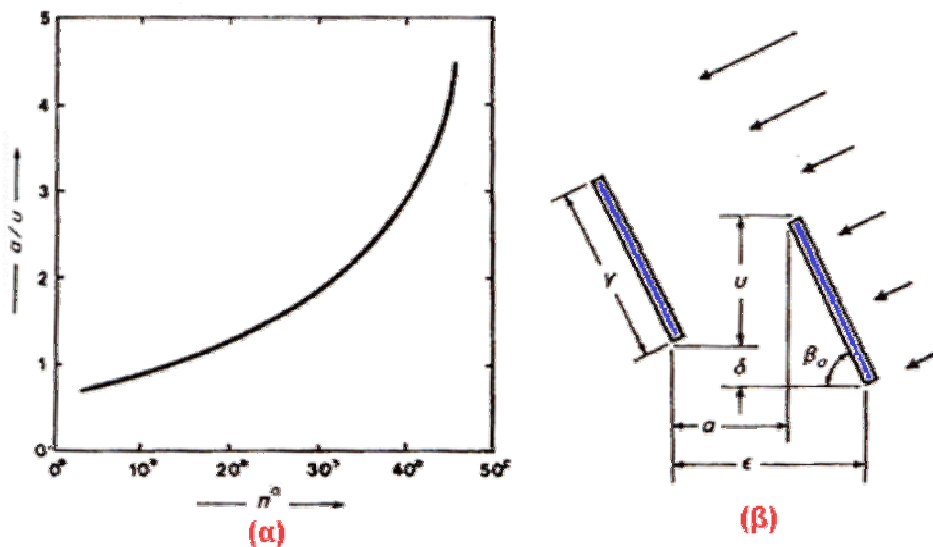
Τα αποτελέσματα όμως αυτά είναι , ουσιαστικά ,χωρίς πρακτική αξία διότι όταν αναζητήσουμε στη βιομηχανία ή στο εμπόριο τα απαιτούμενα Φ/β πλαίσια για τη συστοιχία της εγκατάστασης μας, βλέπουμε ότι συνήθως οι κατασκευαστές τους δεν επιθυμούν ή δεν ενδιαφέρονται να ανακοινώσουν αναλυτικά τον μέσο συντελεστή απόδοσης και τη συνολική επιφάνεια των ηλιακών στοιχείων του κάθε Φ/β πλαισίου, ούτε το συντελεστή, κάλυψής του. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, τις περισσότερες φορές τα μόνα χαρακτηριστικά που δίνονται είναι η επιφάνεια (S) και η απόδοση (ηη) του Φ/β πλαισίου ή η ισχύς αιχμής (Ρα).

Έτσι, στην πρώτη περίπτωση εφαρμόζουμε τη σχέση που μας υπολογίζει την Ε και παίρνοντας σαν παράδειγμα το διαθέσιμου Φ/Β πλαισίου με S=37m², ηη =10,76%, Ρα=40Wp , βρίσκουμε την ιδανικά απαιτούμενη ολική επιφάνεια των Φ/Β πλαισίων :

$$S_{ολ} = E / (\Pi \times \eta_{\pi} \times s_{\theta} \times s_{\rho}) = 8 / (3,32 \times 0,1076 \times 0,89 \times 1,00) \Rightarrow S_{ολ} = 25,16 \text{m}^2$$

Εδώ μπορούμε να κάνουμε μια διασταύρωση των αποτελεσμάτων. Αν οι παραπάνω τιμές είναι συμβιβαστές, θα πρέπει να καταλήγουν σε συντελεστή κάλυψης του Φ/β πλαισίου που να επιβεβαιώνεται από όσα αναφέρονται στο (σχήμα 3) πράγματι βρίσκουμε :

$$s_k = A / S_{ολ} = 22,56 / 25,16 = 0,9$$



Σχ.3 α) Η καμπύλη του λόγου της ελεύθερης απόστασης a ανάμεσα στις γειτονικές σειρές των ηλιακών συλλεκτών μιας φωτοβολταϊκής συστοιχίας προς την επικάλυψη του ύψους του U σε συνάρτηση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου π^{α} , ώστε να μην εμποδίζεται ουσιαστικά η πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας. β) Η έννοια των μηκών a, γ, δ και ϵ και της γωνίας κλίσης β_{α} για τη διάταξη των ηλιακών συλλεκτών στις φωτοβολταϊκές συστοιχίες. Το διάγραμμα είναι εμπειρικό και προέρχεται από την έκδοση Stand-alone PV systems της εταιρείας Morgan (1980)

που συμφωνεί ικανοποιητικά με την αναμενόμενη τιμή για πυκνή τοποθέτηση κυκλικών ηλιακών στοιχείων, τη διάταξη των Φ/β πλαισίων του παραδείγματος μας.

Υποθέτοντας στη συνέχεια ότι οι πρόσθετες ηλεκτρικές απώλειες στο σύστημα (συσσωρευτές, μετατροπείς ισχύος κλπ) είναι περίπου το 30% της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, δηλαδή ότι ο συντελεστής απόδοσης του συστήματος από την έξοδο της Φ/β γεννήτριας μέχρι την έξοδο προς την κατανάλωση είναι $\alpha=0.7$, βρίσκουμε ότι τελικά απαιτούμενη επιφάνεια Φ/β πλαισίων είναι :

$$S_{ολ} = S_{ολ}/\alpha = 25,16 / 0,7 = 35,94 \text{ m}^2$$

Το Φ/β πλαίσιο του παραδείγματος μας έχει εμβαδόν επιφάνειας ,0.37 m². Επομένως θα χρειαστούμε :

$$35,94 / 0,37 = 98 \text{ Φ/Β πλαίσια}$$

Στη δεύτερη περίπτωση όταν γνωρίζουμε την ισχύ αιχμής του Φ/Β πλαισίου στο παράδειγμα $P_a=40 \text{ Wp}$ εφαρμόζουμε την σχέση για την E η οποία στηρίζεται στην γνώση της ισχύς αιχμής και βρίσκουμε ότι, υπολογίζοντας και τις πρόσθετες ηλεκτρικές απώλειες με $\alpha=0.7$ χρειαζόμαστε συνολική ισχύ αιχμής ίση με:

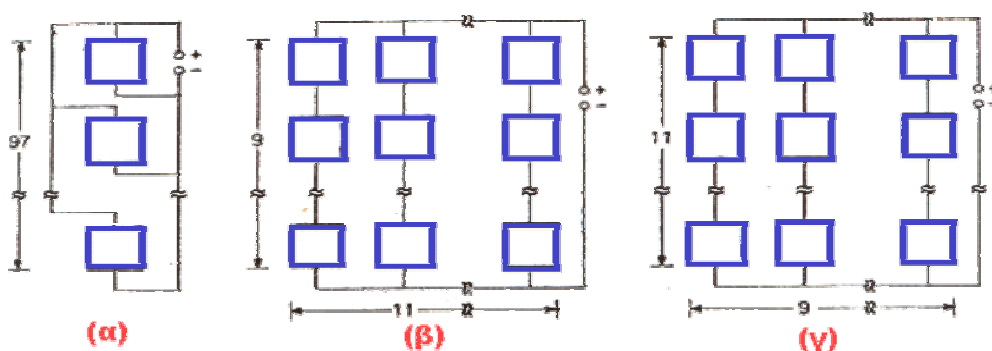
$$P_a = P_a/\alpha = 8 / (3,32 \times 0,89 \times 1,00 \times 0,7) = 3,87 \text{ KWp} = 3870\text{Wp}$$

που αντιστοιχεί σε :

$$3870/40= 97 \text{ Φ/Β πλαίσια}$$

δηλαδή περίπου καταλήγουμε πάλι σε 98 πλαίσια.

7. Η ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΣΥΣΤΟΙΧΕΙΩΝ



Σχ. 4 Διαφορετικές συνδεσμολογίες των Φ/β πλαισίων για την παραγωγή συνεχούς ηλεκτρικής τάσης (α) 17V (β) 153 V (γ) 187 V .

Τα Φ/β πλαίσια του παραδείγματος μας δίνουν τάση περίπου 17V τάση .Αν θέλουμε να φορτίζουμε συνηθισμένους συσσωρευτές των 12V, τότε τα φ/β πλαίσια θα συνδεθούν παράλληλα ώστε η Φ/β συστοιχία να δίνει επίσης τάση περίπου 17V, που είναι αρκετά κατάλληλη για την φόρτιση συσσωρευτών ονομαστικής τάσης 12V.

Έχουμε όμως τη δυνατότητα, με κατάλληλη διάταξη και σύνδεση, να παράγουμε υψηλότερη τάση για τη φόρτιση συσσωρευτών ή για την τροφοδότηση της κατανάλωσης. π.χ. προσθέτουμε ένα ακόμα Φ/β πλαίσιο στη συστοιχία, ώστε το σύνολο του να φτάσει τα 99 και τα μοιράζουμε σε 33 παράλληλους κλάδους με 3 πλαίσια στη σειρά σε κάθε κλάδο. Τότε, η συστοιχία θα δίνει τάση περίπου $3 \times 17 = 51V$.

Επίσης μπορούμε να σχηματίσουμε 9 παράλληλους κλάδους με 11 πλαίσια $9 \times 17 = 153 V$, ή να σχηματίσουμε 9 παράλληλους κλάδους με 11 πλαίσια στη σειρά σε κάθε κλάδο και να πάρουμε τάση περίπου $11 \times 17 = 187 V$ (σχήμα 4). Ακόμα π.χ. μπορούμε με μικρή δαπάνη να αυξήσουμε τα Φ/β πλαίσια σε 100, που είναι ένας περισσότερο εύχρηστος αριθμός για κατανομή σε ομάδες , ώστε να έχουμε μια μεγαλύτερη δυνατότητα επιλογής για την παραγόμενη τάση.

8. Η ΑΝΑΓΚΗ ΓΙΑ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ

Όπως είδαμε παραπάνω, ο καθαρισμός 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 (π.χ. ένα θερινό ή χειμερινό μήνα, μια εποχή του έτους ή και ολόκληρο το έτος). Όμως οι μέσες τιμές είναι στατιστικά μεγέθη που μπορεί να αποκλίνουν σημαντικά από ενδεχόμενες πραγματικές συνθήκες. Επίσης, ένα αξιόπιστο σύστημα πρέπει να παρέχει επαρκεί ηλεκτρική ενέργεια για την ικανοποίηση της ζήτησης και στα χρονικά διαστήματα που δεν υπάρχει αντίστοιχη ηλιακή ακτινοβολία. Προφανώς, εννοούμε κυρίως τις νυχτερινές ώρες, τις συννεφιασμένες ημέρες και τις 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, διοχετεύονται 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 ενεργειακής ανταλλαγής. Επομένως χρειάζεται να αποθηκεύσουν 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, δηλαδή την απαλλαγή του συστήματος από την περίσσεια της παραγόμενης φωτοβολταϊκής ηλεκτρικής ενέργειας, πέρα από τη ζήτηση της κατανάλωσης και τη δυνατότητα 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 το 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 εξασφαλίζουν μια αυτοδυναμία τουλάχιστον 3 ως 10 ημερών περίπου.

Σε ειδικές περιπτώσεις, η φωτοβολταϊκή ενέργεια μπορεί με νέα μετατροπή, να αποθηκευθεί σε μια ηλεκτρική μορφή. π.χ. να κινήσει ηλεκτρικές αντλίες που μεταφέρουν νερό σε υπερυψωμένες δεξαμενές, από όπου στη συνέχεια, με την πτώση του νερού παράγεται ηλεκτρική ενέργεια με την βοήθεια μικρών υδροηλεκτρικών σταθμών.

Επίσης, 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.

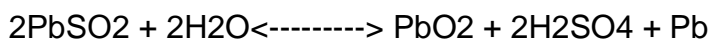
9. ΟΙ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ ΜΟΛΥΒΔΟΥ

Υπάρχουν διάφορων τύπων ηλεκτρικοί συσσωρευτές (μπαταρίες), ανάλογα με το υλικό των ηλεκτροδίων τους. π.χ. συσσωρευτές νικελίου-καδμίου ή αργύρου-ψευδαργύρου. Έχει όμως διαπιστωθεί ότι οικονομικότεροι για τη χρησιμοποίηση σε Φ/β

συστήματα είναι οι συσσωρευτές Pb-Sb ή Pb-Ca, βυθισμένες σε διάλυμα θειικού οξέος. Είναι δηλαδή όμοιοι με τους συνηθισμένους συσσωρευτές των αυτοκινήτων, αν και εκείνοι κατασκευάζονται σε σχετικά γρήγορο ρυθμό.

Υπενθυμίζεται ότι η λειτουργία των συσσωρευτών μολύβδου στηρίζεται σε μία αντιστρεπτή διαδικασία που περιγράφεται από την αμφίδρομη αντίδραση .

ΦΟΡΤΙΣΗ



Συγκεκριμένα οι συσσωρευτές αποτελούνται από κυψελίδες, δηλαδή ζεύγη μονωμένων μεταξύ τους πλακών βυθισμένων στο ίδιο διάλυμα θειικού οξέος. Οι πλάκες του αφόρτιστου συσσωρευτή καλύπτονται από θειικό μολύβδου (PbSO_4). Κατά το στάδιο της φόρτισης διασπάται ο θειικός μολύβδος και σχηματίζεται οξειδίο του μολύβδου (PbO_2) στις πλάκες των θετικών ηλεκτροδίων και μεταλλικός Pb στις πλάκες των αρνητικών. Αντίστροφα κατά την εκφόρτιση του συσσωρευτή και την τροφοδότηση των ηλεκτρικών καταναλώσεων, ο Pb οξειδώνεται στις πλάκες των αρνητικών ηλεκτροδίων προς ιόντα Pb^{2+} και δίνει ηλεκτρόνια στο εξωτερικό κύκλωμα :



ενώ στις πλάκες των θετικών ηλεκτροδίων ο Pb^{4+} ανάγεται προς Pb^{2+} παίρνοντας ηλεκτρόνια από το εξωτερικό κύκλωμα :



Τα προϊόντα των δύο αντιδράσεων δηλαδή τα ιόντα Pb^{2+} , ενώνονται με θετικά ιόντα (SO_4^{2-}) από το διάλυμα και ξανασχηματίζουν τον θειικό μολύβδο πάνω στις πλάκες των κυψελίδων. Έτσι, καταναλώνεται θειικό οξύ και αραιώνεται το διάλυμα στις κυψελίδες με τη φόρτιση όμως που επακολουθεί τα θετικά ιόντα επιστρέφουν στο διάλυμα όπως δείχνει η αμφίδρομη αντίδραση και η περιεκτικότητά του αποκαθίσταται στην κανονική τιμή.

Κάθε φορτισμένη κυψελίδα των συσσωρευτών μολύβδου, δηλαδή κάθε ζεύγος ηλεκτροδίων δίνει τάση περίπου 2,0 V. Για την πλήρη, όμως φόρτιση κάθε κυψελίδας χρειάζεται να γίνει τροφοδότηση με τάση περίπου 2,4 V. Στη συνέχεια η τροφοδότηση του συσσωρευτή πρέπει να διακοπεί διότι η υπερφόρτιση των κυψελίδων 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 προξενήσει ατύχημα.

Συνήθως οι συσσωρευτές περιέχουν πολλές κυψελίδες στη σειρά και δίνουν ανάλογα αυξημένη τάση. Π.χ. ένας συσσωρευτής μολύβδου με 6 κυψελίδες δίνει τάση περίπου 12 V και για την φόρτιση του χρειάζεται τάση $6 \times 2,4$ V και επί πλέον 0,75 V για την πτώση τάσης στην προστατευτική δίοδο που υπάρχει συνήθως μεταξύ συσσωρευτή και Φ/β γεννήτριας, ώστε να μη διοχετεύεται ρεύμα από τον συσσωρευτή προς τα ηλιακά στοιχεία. Δηλαδή απαιτείται συνολική τάση φόρτισης 15,15 V. Πάντως συχνά στα Φ/β συστήματα χρησιμοποιούνται συσσωρευτές με πολλές δεκάδες κυψελίδες στη σειρά ώστε να δίνουν αρκετά υψηλή τάση. Π.χ. συνηθισμένη είναι οι συσσωρευτές με 100 ως 150 κυψελίδες, που δίνουν τάση συνεχούς ρεύματος 200 ως 300 V.

10. Η ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ



Το φορτίο που αποθηκεύετε, δηλαδή η χωρητικότητα ενός συσσωρευτή μετράται συνήθως 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 αποθηκευθεί σε ένα συσσωρευτή η οποία όμως εξαρτάται από την τάση που δίνει ο συσσωρευτής. Έτσι ένας συσσωρευτής χωρητικότητας π.χ. $C=100$ Ah, που δίνει μέση τάση π.χ. $V=12$ volt, έχει ονομαστική ικανότητα αποθήκευσης ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας ίσης με :

$$100 \text{ Ah} \times 12\text{V} = 1200 \text{ Wh} = 1,2\text{KWh}$$

Με τη χρήση η χωρητικότητα των συσσωρευτών μειώνεται λόγω διάβρωσης των πλακών σχηματισμού επικαθήσεως κλπ. 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% έως 5% της χωρητικότητάς τους τον μήνα. Ο ρυθμός της αυτοεκφόρτισης αυξάνει με την ηλικία του συσσωρευτή.

Η χωρητικότητα των συσσωρευτών εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ισχύ ($P=V \cdot I$) με την οποία γίνεται η εκφόρτιση τους δηλαδή από το παράδειγμα του σχήματος 45 ένας συσσωρευτής ονομαστικής χωρητικότητας 100 Ah θα εξαντληθεί σε 10 ώρες αν η ένταση του ρεύματος εκφόρτισης είναι 10 A ενώ αν η ένταση είναι π.χ. 18 A ο ίδιος συσσωρευτής θα εξαντληθεί σε 5 ώρες και η χωρητικότητά του θα πέσει στα 90 Ah. Αντίθετα με μικρότερους ρυθμούς εκφόρτισης, βλέπουμε ότι η χωρητικότητα του συσσωρευτή αυξάνει σημαντικά.

Επίσης η χωρητικότητα αυξάνει με την θερμοκρασία του συσσωρευτή. Συγχρόνως όμως επιταχύνονται οι μηχανισμοί διάβρωσης και μειώνεται η διάρκεια της 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 φτηνότερους τύπους το βάθος εκφόρτισης δεν επιτρέπεται να ξεπερνά το 10%. Δηλαδή 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 με 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%.

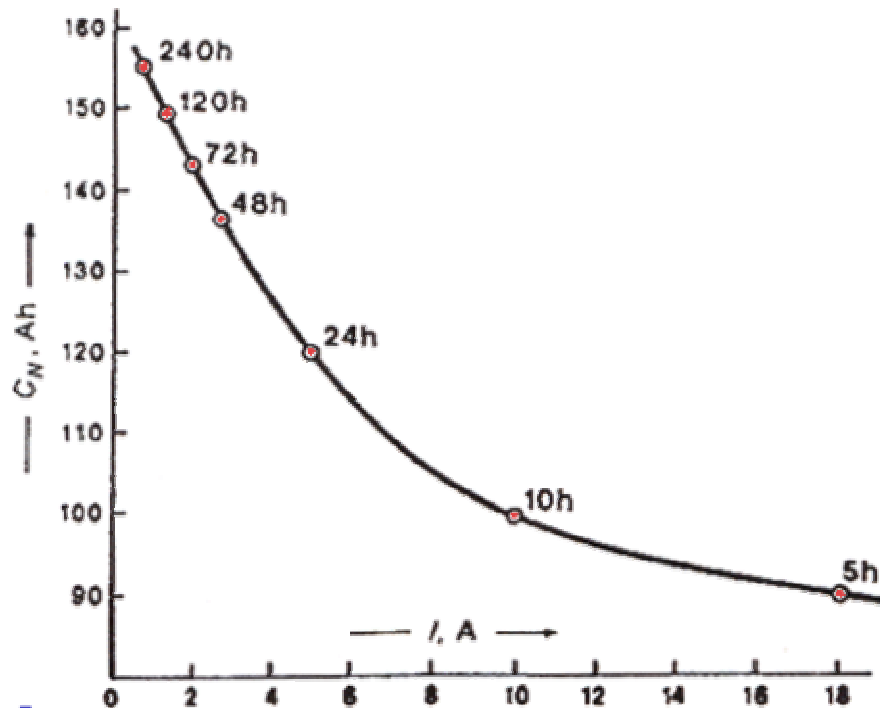
Επομένως, ένας συσσωρευτής ονομαστικής χωρητικότητας CN, η ενεργός αξιοποιήσιμη χωρητικότητα C είναι :

$$C = \beta \times CN$$

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

$$E = C \times V = \beta \times CN \times V$$

όπου β είναι το βάθος εκφόρτισης του συσσωρευτή σε δεκαδική μορφή.



Σχ. 5. Η εξάρτηση της χωρητικότητας C_N ενός συσσωρευτή μολύβδου του εμπορίου, από την ένταση του ρεύματος εκφόρτισης I . Ο συσσωρευτής του παραδείγματος έχει ονομαστική χωρητικότητα 100 Ah για ένταση ρεύματος 10 A και εξάντληση σε 10 ώρες, που παίρνεται συνήθως ως συμβατικό χρονικό διάστημα εκφόρτισης των συσσωρευτών για τον χαρακτηρισμό της χωρητικότητας τους

Για παράδειγμα, αν ο συσσωρευτής του διαγράμματος του (σχήματος 5) έχει βάθος εκφόρτισης 60% και τάση 12 V, βρίσκουμε ότι για χρόνο εκφόρτισης π.χ. 24 ωρών (που αντιστοιχεί ονομαστική χωρητικότητα 120 Ah), θα είναι :

$$E = \beta \times C_N \times V = 0,6 \times 120 \times 12 = 864 \text{ Wh}$$

Ο συντελεστής απόδοσης των συσσωρευτών μολύβδου (α), δηλαδή 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 ζητάμε να δίνει ο συσσωρευτής είναι E , η ενεργός χωρητικότητα του C θα πρέπει να αντιστοιχεί σε ενέργεια φόρτισης $E\Phi$ ίση με :

$$E\Phi = E / \alpha$$

και σύμφωνα με την προηγούμενη σχέση που δίνει την μέγιστη ενέργεια που μπορεί να αποταμιευθεί και να ανακτηθεί η ονομαστική του χωρητικότητα να είναι :

$$CN = E\Phi / \beta \times V = E / \alpha \times \beta \times V$$

Δηλαδή για ανάκτηση ενέργειας 864Wh, στο παραπάνω παράδειγμα η ονομαστική χωρητικότητα του συσσωρευτή δεν αρκεί στις πρακτικές συνθήκες, να είναι 120Ah , αλλά πρέπει να γίνει :

$$CN = 864 / 0,85 \times 0,6 \times 12 = 141,2 \text{ Ah}$$

Ως προς την παρεχόμενη ισχύ βρίσκουμε εύκολα ότι αν ένας συσσωρευτής απαιτείται να τροφοδοτεί την κατανάλωση με μέση ισχύ P επί μ συνεχείς μέρες η ενεργός χωρητικότητα θα πρέπει να είναι :

$$C = 24\mu \times P / \alpha \times V$$

11. ΔΟΜΗ, ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΖΩΗΣ ΚΑΙ ΚΟΣΤΟΣ

Στις σχετικά μεγάλες Φ/β εγκαταστάσεις διατάξεις αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας χρειάζεται να έχουν αρκετά σημαντική χωρητικότητα και σχηματίζονται από ομάδες μεγάλου πλήθους συσσωρευτών. Δηλαδή η δομή τους είναι σπονδυλωτή αφού οι ομάδες αυτές αποτελούνται συνήθως από ανεξάρτητους συσσωρευτές. Έτσι η συνολική χωρητικότητα της διάταξης μπορεί αργότερα να προσαρμοστεί εύκολα στις μεταβαλλόμενες συνθήκες με την πάροδο του χρόνου και την ενδεχόμενη εξέλιξη της κατανάλωσης, αυξάνοντας ή μειώνοντας το πλήθος των συσσωρευτών. Όπως είδαμε από σπονδυλωτή επίσης συγκρότηση χαρακτηρίζονται και οι Φ/β γεννήτριες με αντίστοιχη ελαστικότητα προσαρμογής στις μεταβαλλόμενες ανάγκες αυξάνοντας ή μειώνοντας το πλήθος των Φ/β πλαισίων. Με τον τρόπο αυτό μπορεί επίσης να γίνει εύκολα η διόρθωση σφαλμάτων σχεδιασμού που θα οφείλονται σε λανθασμένες εκτιμήσεις της ηλεκτρικής κατανάλωσης ή της ηλιακής ακτινοβολίας.

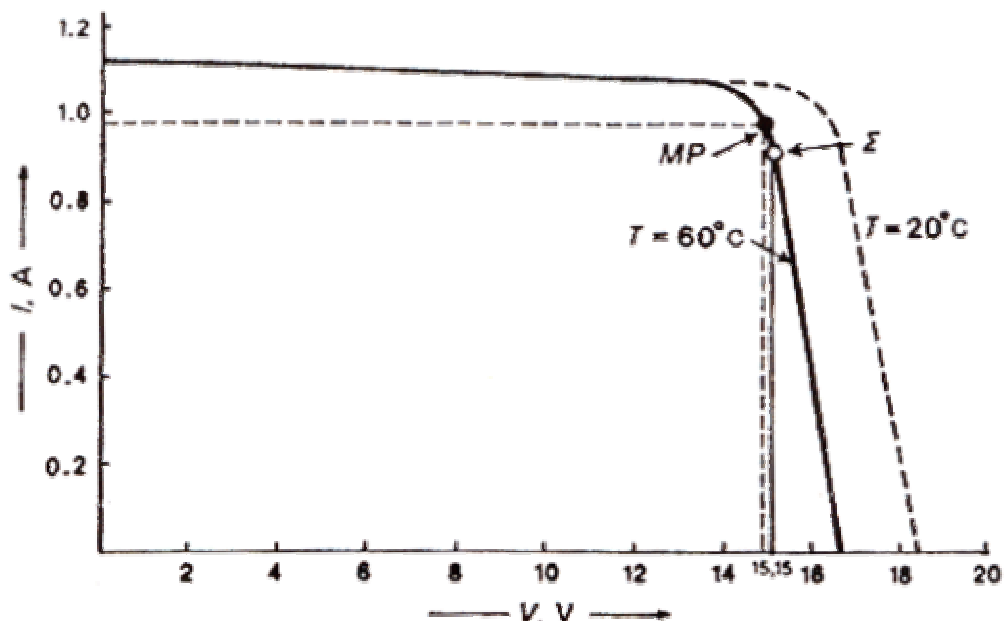
Όπως αναφέρθηκε παραπάνω οι συσσωρευτές μολύβδου δεν ξεπερνούν συνήθως τους 500 ως 1500 κύκλους φόρτισης - εκφόρτισης.

Βλέπουμε λοιπόν ότι αν υποθέσουμε ότι καθημερινά γίνεται ένας τουλάχιστον κύκλος φόρτισης - εκφόρτισης για την αντιμετώπιση των νυκτερινών καταναλώσεων ενός Φ/β συστήματος θα πρέπει να γίνεται αντικατάσταση των συσσωρευτών αρκετά συχνά περίπου κάθε δύο ως πέντε χρόνια. 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. Ανάλογα με τον τύπο τους, η χωρητικότητα ενέργειας

των συσσωρευτών μολύβδου είναι περίπου 20 Wh ανά Kgr και το κόστος τους είναι περίπου 20.000 δρχ ανά Kwh χωρητικότητας. Για αυτό άλλωστε 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.

12. ΡΥΘΜΙΣΤΕΣ, ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ ΚΑΙ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΙΣ

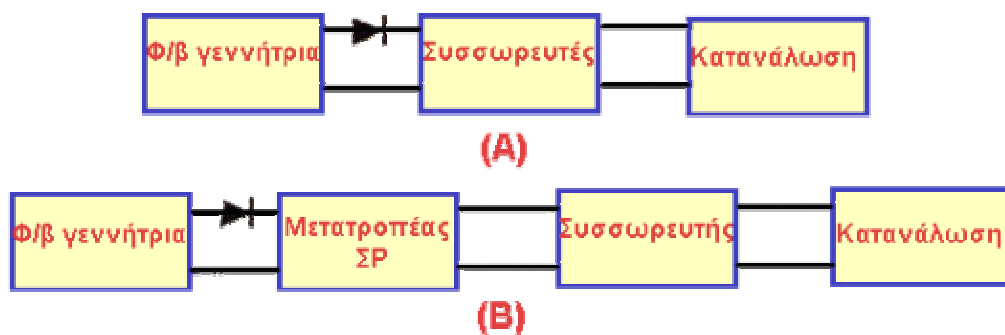


Σχ. 6 Παράδειγμα της καμπύλης τάσης (V) - έντασης (I) ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου του εμπορίου στη θερμοκρασία 60 °C (συνεχής γραμμή) και στη συμβατική θερμοκρασία 20 °C (ασυνεχούς γραμμή) και επιλογή του κατάλληλου σημείου της Σ για τη φόρτιση κοινών συσσωρευτών 12V που είναι όμως διαφορετικό από το σημείο της μέγιστης ισχύος MP.

Η καλή λειτουργία και αυξημένη απόδοση των Φ/β συστημάτων υποβοηθείται συχνά με την χρησιμοποίηση ειδικών διατάξεων, συνήθως ηλεκτρονικών ισχύος, που επεξεργάζονται την ηλεκτρική ενέργεια που παράγει η Φ/β γεννήτρια. π.χ. στο (σχήμα 6) δείχνεται η χαρακτηριστική καμπύλη τάσης - έντασης ενός Φ/β πλαισίου του εμπορίου όταν τα ηλιακά στοιχεία του έχουν θερμοκρασία 60oC (δηλαδή η θερμοκρασία περιβάλλοντος περίπου 30 oC). Για την φόρτιση συσσωρευτών 12 V, στους οποίους όπως είδαμε η κατάλληλη τάση

φόρτιση είναι 15,15 V , μπορεί να χρησιμοποιηθεί, παράλληλα ή στη σειρά με το Φ/β πλαίσιο, ένας ρυθμιστής τάσης που διατηρεί την τάση εξόδου του Φ/β πλαισίου στην επιθυμητή τιμή .

Επίσης, 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 παραλαμβάνει την τάση που δίνει η Φ/β γεννήτριας που είναι αναγκαστικά ασταθής λόγω των διακυμάνσεων της ηλιακής ακτινοβολίας την μετατρέπει στην ευνοϊκή τάση για την φόρτιση των συσσωρευτών και την σταθεροποιεί ώστε να εξασφαλίζονται οι βέλτιστες συνθήκες φόρτισης (σχήμα 7).



Σχ.7 Απλοποιημένα διαγράμματα ενός Φ/β συστήματος (A) χωρίς ρυθμιστή τάσης (B) 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.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, όταν οι συσσωρευτές του συστήματος φορτιστούν πλήρως, η περίσσεια του ηλεκτρικού ρεύματος που παράγεται στη Φ/β γεννήτρια διοχετεύεται από τον ρυθμιστή προς κατάλληλες αντιστάσεις ή προς τη γη, και έτσι προστατεύονται οι συσσωρευτές από τους κινδύνους της υπερφόρτισης.

Εκτός από τον 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 , δηλαδή διατάξεις παρακολούθησης του σημείου της μέγιστης ισχύος).Ο προορισμός τους είναι να επιδιώκουν τη 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 τον μετατροπέα τάσης, η τάση εξόδου της Φ/β γεννήτριας μετατρέπεται στην απαιτούμενη για τη φόρτιση των συσσωρευτών του συστήματος. Πάντως, το κόστος των διατάξεων αυτών είναι σημαντικό, και έτσι, συνήθως παραλείπονται στα σχετικά μικρής ισχύος Φ/β 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 η λειτουργία των παραπάνω διατάξεων συνοδεύεται με συχνά αξιόλογες απώλειες. π.χ. ο συντελεστής απόδοσης των διαφόρων ηλεκτρονικών ισχύος που αναφέραμε είναι συνήθως περίπου 90 - 50%, εφόσον λειτουργούν κοντά στην ονομαστική τους ισχύ, αλλά γίνεται πολύ μικρότερος όταν η ισχύ είναι μειωμένη.

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΚΑΙ ΧΩΡΟΤΑΞΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Τα κύρια πλεονεκτήματα των Φ/Β συστημάτων είναι:

- μηδενική ρύπανση της ατμόσφαιρας και του εδάφους
- αθόρυβη λειτουργία
- αξιοπιστία και μεγάλη διάρκεια ζωής
- απεξάρτηση από την τροφοδοσία καυσίμων για τις απομακρυσμένες περιοχές
- αποφυγή δυσμενών συνεπειών από πιθανές απότομες αυξήσεις των τιμών των καυσίμων

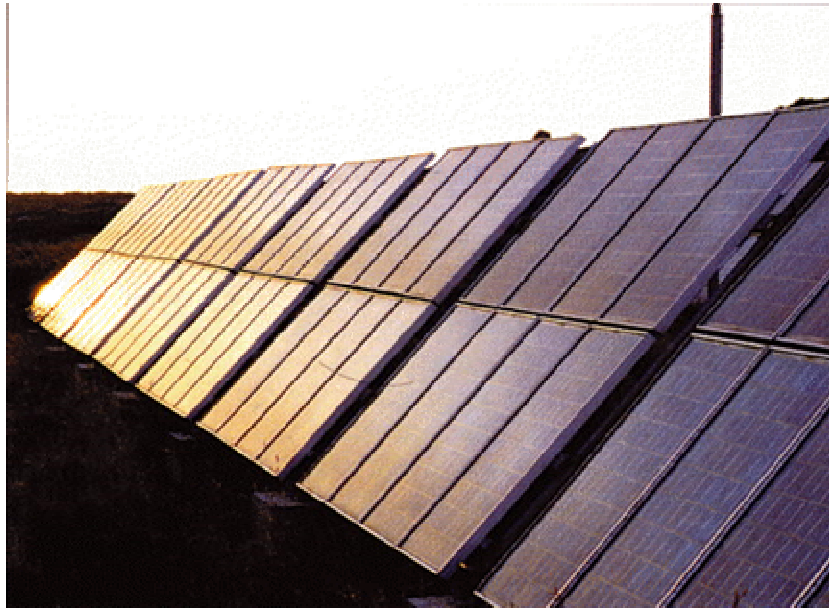


- δυνατότητα επέκτασης του σταθμού ενέργειας σύμφωνα με τις ανάγκες των κατοίκων
- ελάχιστη συντήρηση

Η ενέργεια που χρησιμοποιείται για την παραγωγή Φ/Β πλαισίων κρυσταλλικού πυριτίου, σε μικρή κλίμακα, με την τεχνολογία του 1990, είναι 235 KWh/m². οι εκπομπές CO₂ υπολογίζονται σε 45 τόνους ανά GWh παραγόμενης ενέργειας από Φ/Β, ενώ για το ίδιο ποσό ενέργειας ο τελειότερος και αποδοτικότερος σταθμός που καίει άνθρακα, εκπέμπει 1000 τόνους CO₂.

Τις περισσότερες φορές τα Φ/Β συστήματα τοποθετούνται σε απομακρυσμένες περιοχές, όπου υπάρχει άφθονη γη. Ακόμη και στην περίπτωση της τοποθέτησής τους σε οροφές, αξιοποιείται η διαθέσιμη επιφάνεια. Όσον αφορά στην αισθητική των εγκαταστάσεων, για τα συστήματα που βρίσκονται εκτός οικισμών υπάρχει η δυνατότητα απόκρυψης με φυσικά μέσα, ενώ έχει υπάρξει πρόοδος και στην αισθητική των συστημάτων που τοποθετούνται σε κτίρια.

Δεν υπάρχουν οικολογικές επιπτώσεις στο περιβάλλον κατά τη λειτουργία των Φ/Β συστημάτων. Έχουν μηδενικές εκπομπές ρύπων και δεν προκαλούν ηχορύπανση.



Φωτοβολταϊκός Σταθμός στους Αρκούς

Ο σταθμός έχει εγκαταστημένη ισχύ αιχμής 27 KW , ανήκει στη ΔΕΗ και τροφοδοτεί το τοπικό δίκτυο το οποίο διαθέτει και μια ηλεκτρογεννήτρια ντίζελ. Η νήσος Αρκοί βρίσκεται κοντά στην Πάτμο και έχει επιφάνεια περίπου 7 km². Ο πληθυσμός του νησιού κυμαίνεται μεταξύ 40 κατοίκων το χειμώνα και 100 το καλοκαίρι. Οι κάτοικοι ζουν σε δυο χωριά με απόσταση 1,2 χλμ. μεταξύ τους. Ο φωτοβολταϊκός σταθμός μαζί με τα δυο κτίρια, που στεγάζουν τις μπαταρίες, τα ηλεκτρονικά διαχείρισης ισχύος και την ηλεκτρογεννήτρια ντίζελ, καλύπτουν επιφάνεια 4000 τ.μ. Τα Φ/Β πλαίσια καλύπτουν επιφάνεια 320 τ.μ. περίπου.

Ο Σταθμός αποτελείται από :

το φωτοβολταϊκό πεδίο 27 KWp

το σύστημα διαχείρισης της ισχύος , με το ρυθμιστή φόρτισης και το μετατροπέα συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο

το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας σε μπαταρίες (300 KWh)

το σύστημα συλλογής δεδομένων , το οποίο δεν έχει ενεργό ρόλο λειτουργία του σταθμού, αλλά συλλέγει μετρήσεις των κλιματολογικών χαρακτηριστικών της

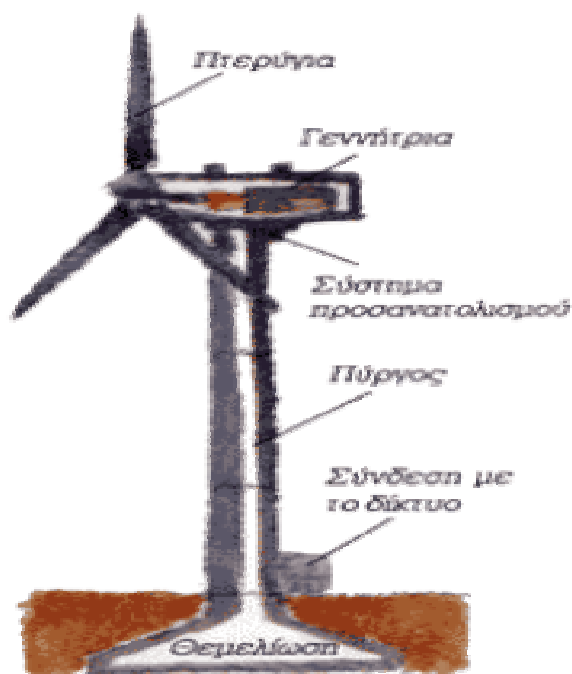
περιοχής, την ενεργειακή απόδοση του σταθμού και το φορτίο. Με αυτά τα στοιχεία μπορεί να εξετασθεί και να αξιολογηθεί η λειτουργία του σταθμού.

Το Φ/Β σύστημα τέθηκε σε λειτουργία τον Απρίλιο του 1988 και επί τέσσερα χρόνια έγινε συλλογή δεδομένων για την αξιολόγησή του. Από την επεξεργασία των δεδομένων της περιόδου 1989-1991 , προκύπτει ότι ο σταθμός παράγαγε 10 με 12 MWh το χρόνο. Ο σταθμός συνεχίζει ακόμη να λειτουργεί και να ηλεκτροδοτεί τους Αρκούς. Οι κάτοικοι του νησιού χρησιμοποιούν ηλεκτρικές συσκευές χαμηλής κατανάλωσης, π.χ. έγχρωμη τηλεόραση 35 Watt, ή ασπρόμαυρη 25 Watt, ψυγεία των 30 Watt και για το φωτισμό λάμπες φθορισμού των 18 Watt. Επίσης, για να αποφεύγεται η χρήση ηλεκτρικών συσκευών μεγάλης ισχύος και για να υπάρχει διαθέσιμη ενέργεια για όλους τους κατοίκους, σύμφωνα με τις δυνατότητες παραγωγής του σταθμού , οι ασφάλειες στους πίνακες των χρηστών περιορίστηκαν στα 4 A (220 Volt). Το μέσο κόστος της ηλεκτρικής KWh από ντίζελ σε απομακρυσμένα νησιά, για τη ΔΕΗ, κυμαίνεται μεταξύ 100 και 1000 δρχ., το δε κόστος της ενέργειας από φωτοβολταϊκά εκτιμάται, από υπολογισμούς του ΚΑΠΕ, ότι για αυτόνομα συστήματα εναλλασσόμενου ρεύματος κυμαίνεται γύρω στις 150 με 220 δρχ./KWh(επιπεδοποιημένο κόστος ηλεκτρισμού) . Λαμβάνοντας υπόψη τα πλεονεκτήματα των φωτοβολταϊκών συστημάτων η προτίμησή τους , έναντι των συμβατικών συστημάτων, σε αυτές τις περιπτώσεις, είναι προφανής, όταν ο χρήστης πληρώνει την πραγματική τιμή της παραγόμενης ενέργειας .

ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Η αιολική ενέργεια δημιουργείται έμμεσα από την ηλιακή ακτινοβολία, γιατί η ανομοιόμορφη θέρμανση της επιφάνειας της γης προκαλεί τη μετακίνηση μεγάλων μαζών αέρα από τη μια περιοχή στην άλλη, δημιουργώντας έτσι τους ανέμους. Είναι μια ήπια μορφή ενέργειας, φιλική προς το περιβάλλον, πρακτικά ανεξάντλητη.

Αυτή η ενέργεια, η αιολική (ο Αίολος ήταν ο “διαχειριστής” των ανέμων, κατά τους αρχαίους Έλληνες), αξιοποιείται στις μέρες μας ολοένα και περισσότερο, σε περιοχές όπου συχνά φυσούν ισχυροί άνεμοι.



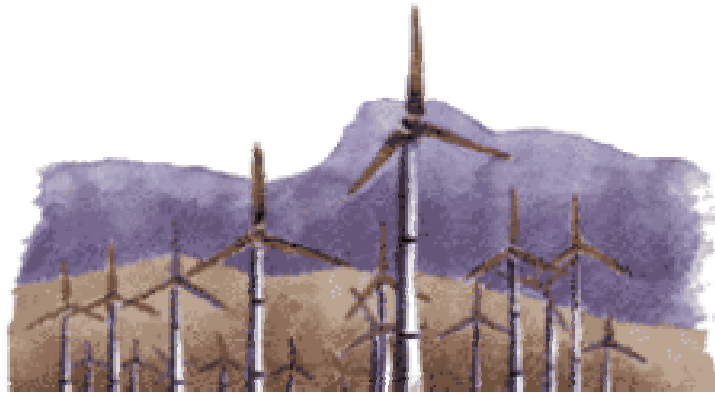
Για την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας χρησιμοποιούμε σήμερα τις ανεμογεννήτριες, με τις οποίες μετατρέπεται η κινητική ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική.

Το πρώτο πράγμα που προσέχουμε σε μια ανεμογεννήτρια είναι τα πτερύγιά της, που περιστρέφονται όταν φυσάει. Η κίνηση αυτή των πτερυγίων μεταδίδεται σε έναν άξονα περιστροφής, ο οποίος χάρη σε ένα σύστημα προσανατολισμού, βρίσκεται πάντα παράλληλα προς την κατεύθυνση του ανέμου.

Η κινητική ενέργεια του άξονα περιστροφής μετατρέπεται από μία γεννήτρια σε ηλεκτρική ενέργεια. Όλο αυτό το σύστημα είναι τοποθετημένο πάνω σ' ένα ψηλό πύργο.

Η σπουδαιότερη εφαρμογή των ανεμογεννητριών είναι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία μπορεί στη συνέχεια, να διοχετεύεται στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας της χώρας.

Οι ανεμογεννήτριες χρησιμοποιούνται, φυσικά, και για την κάλυψη ή τη συμπλήρωση των ενεργειακών αναγκών απομακρυσμένων εξοχικών κατοικιών, βιομηχανικών μονάδων, ιστιοφόρων πλοίων κ.λπ.. Στις περιπτώσεις αυτές, για να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα της άπνοιας ή οι αυξημένες ανάγκες σε ενέργεια κάποιες ώρες της ημέρας, η ενέργεια αποθηκεύεται σε ηλεκτρικούς συσσωρευτές (μπαταρίες) και χρησιμοποιείται όταν χρειάζεται.



Είναι επίσης δυνατό, παράλληλα με τις ανεμογεννήτριες, να γίνεται χρήση νηζελογεννητριών, που λειτουργούν όταν οι ανάγκες το απαιτούν.

Πολλές ανεμογεννήτριες μαζί, συστοιχίες ανεμογεννητριών όπως τις λέμε, σχηματίζουν τα λεγόμενα αιολικά πάρκα, που επιτρέπουν τη μαζική εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας και τη διοχέτευση του συνόλου της παραγόμενης ενέργειας στο ηλεκτρικό σύστημα. αναλογιστείτε ότι είναι δυνατό μερικές χιλιάδες ανεμογεννήτριες να παράγουν την ενέργεια που δίνει η καύση μερικών εκατομμυρίων βαρελιών πετρελαίου ή η λειτουργία ενός μικρού πυρηνικού εργοστασίου. Η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας με συστηματικό τρόπο άρχισε παγκοσμίως στις αρχές της δεκαετίας του '80 και αυξήθηκε πολύ τα τελευταία χρόνια.

Η χώρα μας, με μεγάλη παράδοση στην εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας, προσφέρεται ιδιαίτερα για την αξιοποίηση αυτής της ανανεώσιμης και καθαρής πηγής αφού διαθέτει ισχυρούς ανέμους, βουνοκορφές και απομονωμένα νησιά.

Μεμονωμένες ανεμογεννήτριες και αιολικά πάρκα λειτουργούν ήδη σε αρκετές περιοχές, με τάση να αυξηθούν τα επόμενα χρόνια. Η αιολική ενέργεια και ανεξάντλητη (αφού ο καλός μας ήλιος θα φροντίζει πάντα να υπάρχουν θερμοκρασιακές διαφορές μεταξύ των διάφορων περιοχών της γης, ώστε να προκαλούνται οι άνεμοι), δηλαδή ανανεώσιμη, αλλά και καθαρή, “φιλική” προς το περιβάλλον (αφού η μετατροπή της σε ηλεκτρική δεν το επιβαρύνει) .



Τεχνολογία ανεμογεννητριών

Σήμερα η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας γίνεται σχεδόν αποκλειστικά με μηχανές που μετατρέπουν την ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική και ονομάζονται ανεμογεννήτριες.

Κατατάσσονται σε δύο βασικές κατηγορίες:

- τις ανεμογεννήτριες με οριζόντιο άξονα, όπου ο δρομέας είναι τύπου έλικας και ο άξονας μπορεί να περιστρέφεται συνεχώς παράλληλα προς τον άνεμο και
- τις ανεμογεννήτριες με κατακόρυφο άξονα που παραμένει σταθερό



Στην παγκόσμια αγορά έχουν επικρατήσει οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα σε ποσοστό 90 %. Η ισχύς τους μπορεί να ξεπερνά τα 500 Kw και μπορούν να συνδεθούν κατευθείαν στο ηλεκτρικό δίκτυο της χώρας. Έτσι μια συστοιχία

πολλών ανεμογεννητριών, που ονομάζεται αιολικό πάρκο, μπορεί να λειτουργήσει σαν μια μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας



ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Τα υβριδικά συστήματα εκμεταλλεύονται ταυτόχρονα την ηλιακή & την αιολική ενέργεια. Διαθέτουν φωτοβολταϊκό συλλέκτη και ανεμογεννήτρια ώστε να παράγουν ρεύμα από τον ήλιο και από τον άνεμο.

Σχεδιάστηκαν για να προσφέρουν αξιόπιστη και καθαρή ηλεκτρική ενέργεια για χρήση σε οικισμούς, κατοικίες, τηλεπικοινωνίες, βιομηχανικές εφαρμογές κ.α.

Λειτουργούν τελείως αυτόνομα ή συνεργάζονται με άλλες πηγές ενέργειας όπως γεννήτριες ή το δίκτυο της ΔΕΗ.

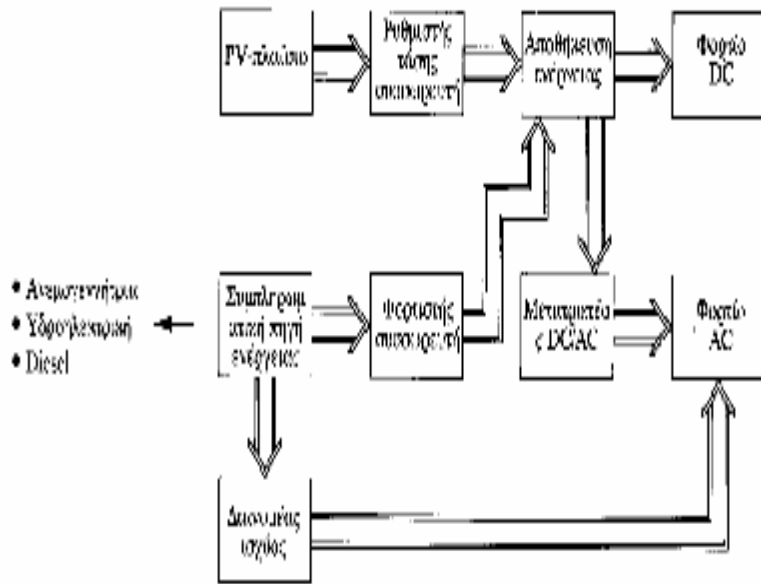
Το υβριδικά συστήματα μετατρέπουν το χώρο σας σε μία μικρή μονάδα παραγωγής ρεύματος. Παράγουν ΔΩΡΕΑΝ σταθεροποιημένο ρεύμα 12-24VDC & 230VAC όλο το 24ωρο για όλες τις ηλεκτρικές-ηλεκτρονικές σας συσκευές χωρίς επιπλέον αλλαγές στην ηλεκτρολογική εγκατάσταση.

Ευελιξία – Επεκτασιμότητα

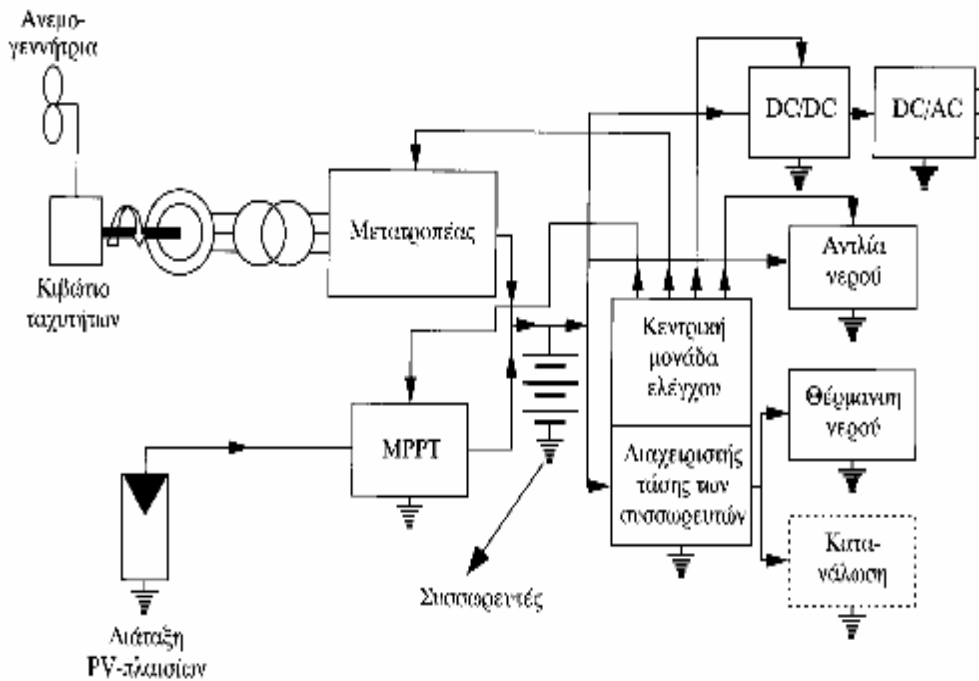
Τα υβριδικά συστήματα είναι ολοκληρωμένα. Αναβαθμίζονται εύκολα προσθέτοντας επιπλέον φωτοβολταϊκούς συλλέκτες ή ανεμογεννήτριες για αύξηση της παραγωγής ενέργειας.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΥΒΡΙΔΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

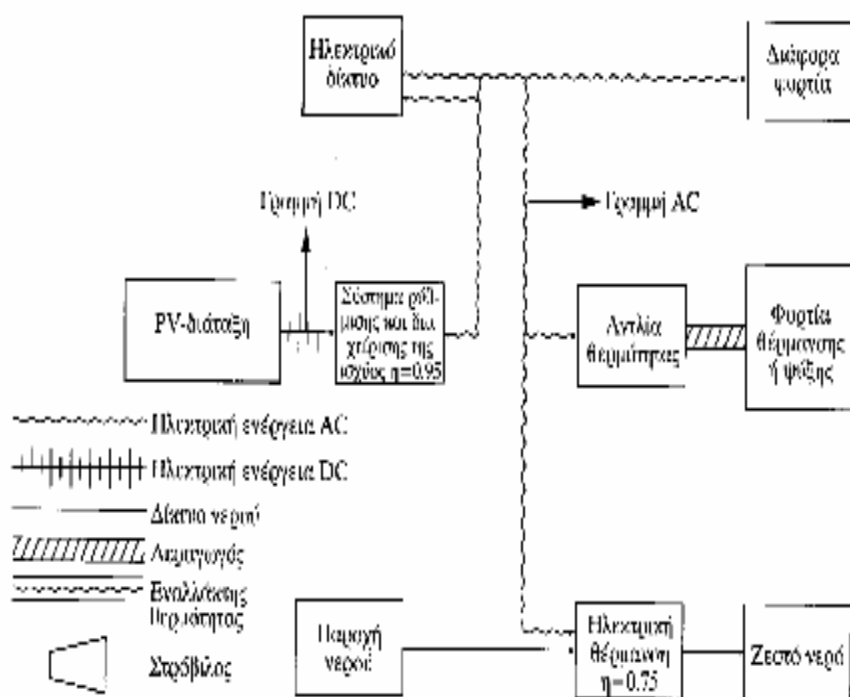


Διάγραμμα υβριδικού συστήματος PV-γεννήτριας συνδεδεμένης με άλλη συμπληρωματική πηγή ενέργειας.

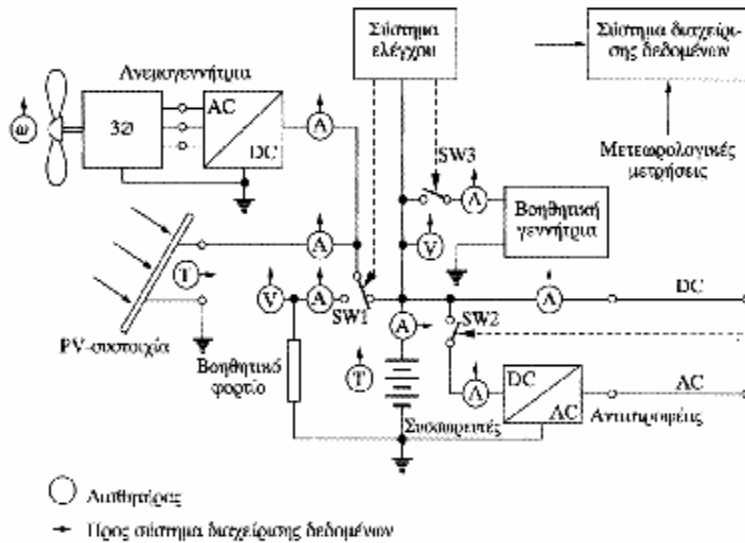


Υβριδικό ενεργειακό σύστημα ανεμογεννήτριας και PV-γεννήτριας με τα κύρια στοιχεία της εγκατάστασης στην οποία υπάρχει και μονάδα αποθήκευσης της ενέργειας σε συσσωρευτές

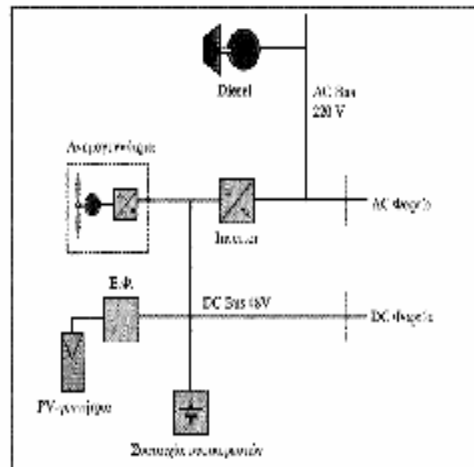
Το υβριδικό αυτό Pν-συγκρότημα δεν χρησιμοποιεί ηλιακούς συλλέκτες για την Παραγωγή ζεστού νερού, αλλά την ίδια την Pν-γεννήτρια. Επίσης χρησιμοποιεί αντλία θερμότητας για θέρμανση και κλιματισμό.



Τα παρακάτω σχήματα δείχνουν τις αρχές διασύνδεσης ενός υβριδικού Pν συστήματος, όπου η Pν-γεννήτρια διασυνδέεται ενεργειακά με συμπληρωματική ενεργειακή πηγή π.χ. δίκτυο ή ανεμογεννήτρια κλπ.

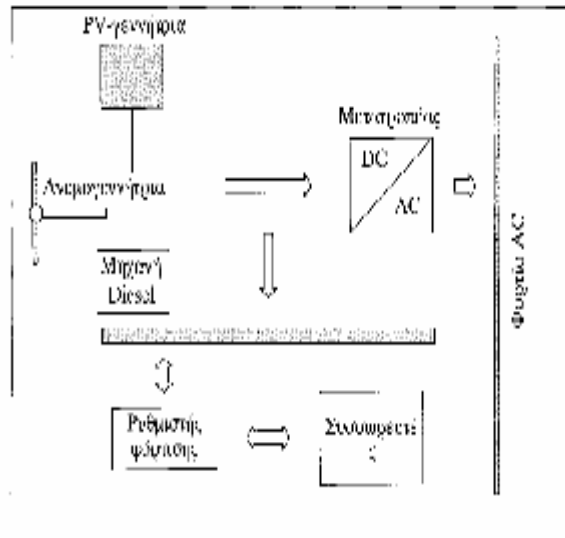


Σχήμα : Εγκατάσταση υβριδικού συστήματος που αποτελείται από φωτοβολταϊκά πλαίσια και ανεμογεννήτρια για την παραγωγή ενέργειας, την αποθήκευσή της και χρησιμοποίησή της για την κάλυψη των ηλεκτρικών οικιακών αναγκών ενός αγροκτήματος στη Βόρειο Ιταλία.

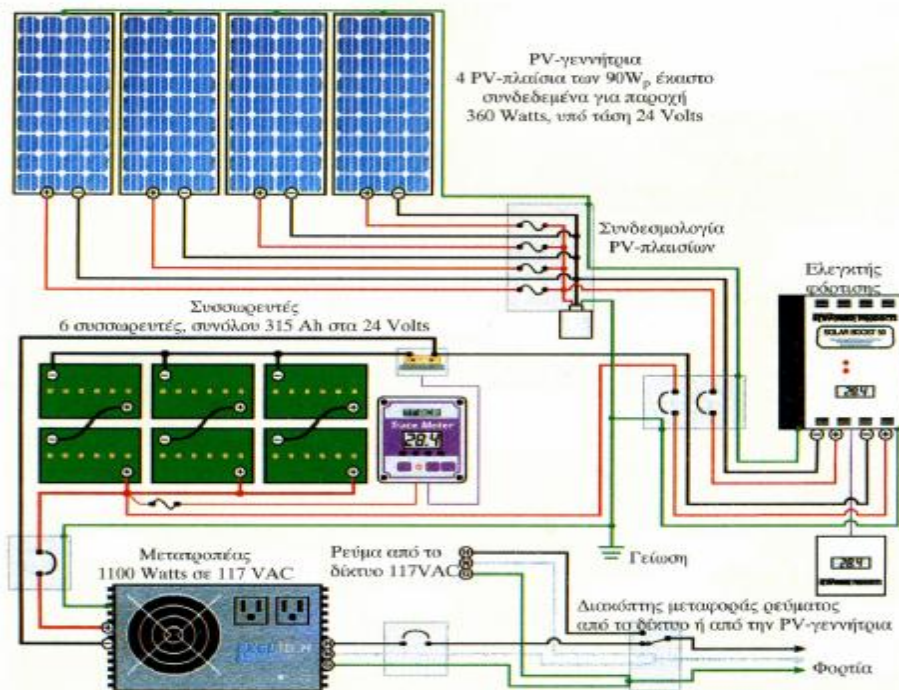


Σχήμα Υβριδικό σύστημα που αποτελείται από φωτοβολταϊκά πλαίσια και ανεμογεννήτρια για κάλυψη φορτίων ενός μικρού κτηρίου. Το σύστημα περιλαμβάνει μια ανεμογεννήτρια ισχύος $3kW_p$ σε ταχύτητα ανέμου $12m/sec$. PV-πίνακια ισχύος $72 Watt$ έκαστον, συνολικής ισχύος αιχμής $2.59 kW_p$ εγκατεστημένα στην οροφή. Κάλυψη επιφάνειας $5 \times 5 m$. Γεννήτρια Diesel υδρόψυκτη, 3 κυλίνδρων $6000 VA$, $1800 rpm$. Σύστημα Συμπακτωρείων Pb-οξέος $530 Ah$. $V_s = 48 Volt$.

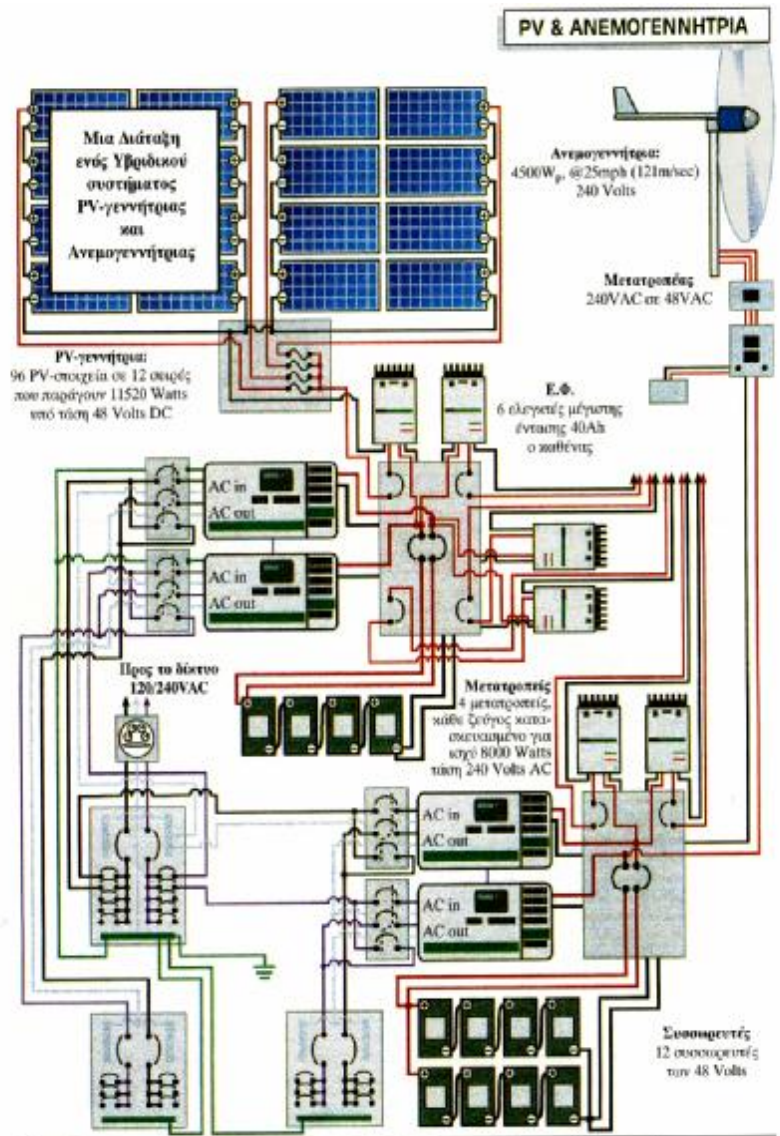
Το σύστημα αυτό είναι ένα αυτόνομο σύστημα που αποτελείται από την Pν-συστοιχία που συνδέεται και με άλλες Πηγές ηλεκτρικής ενέργειας π.χ. γεννήτρια πετρελαίου ή ανεμογεννήτρια.



Σχήμα : Υβριδικό PV-σύστημα



Σχήμα . PV-γεννήτρια συνδεδεμένη με το δίκτυο (Υβριδικός τύπος), για κάλυψη των φορτίων μιας κατοικίας



Σχηματικό διάγραμμα υβριδικού συστήματος PV-γεννήτριας και ανεμογεννήτριας. Συνδέσεις PV-πλαίσια: 4-άδες PV-πλαίσια εν σειρά και αυτές εν παραλλήλω.

Εφαρμοσμένη διαστασιολόγηση Pn-γεννήτριας και συστήματος αποθήκευσης

Με βάση την μεθοδολογία που έχει ακολουθηθεί μέχρι τώρα, θα παρουσιασθεί στην συνέχεια το σύνολο των σχέσεων βάσει των οποίων προσδιορίζεται η εγκατεστημένη ισχύς μιας Pn-γεννήτριας και η χωρητικότητα του συστήματος αποθήκευσης.

Τα βήματα που πρέπει ειδικότερα να ακολουθηθούν στην ανάλυση και σχεδίαση ενός υβριδικού φωτοβολταϊκού συστήματος (Pv-γεννήτρια, Συσσωρευτές, γεννήτρια diesel) είναι τα ακόλουθα:

Βήμα 1

Προσδιορισμός της χωρητικότητας των συσσωρευτών για να καλύψουν φορτία για μια προκαθορισμένη χρονική περίοδο d , ενεργειακής αυτοδυναμίας του Pv-συστήματος όταν δεν έχουμε μεγάλη ηλιοφάνεια ή κατά νυχτερινές ώρες.

Βήμα 2ο

Προσδιορισμός του αριθμού DOD (Depth Of Discharge), Βάθος Εκφόρτισης, για το σύστημα των συσσωρευτών υπό φυσιολογικές συνθήκες εποχιακών διακυμάνσεων της ηλιακής ακτινοβολίας.

Προσοχή: Μεγάλη τιμή του DOD ελαττώνει τον χρόνο ζωής των συσσωρευτών, ενώ μια μικρή τιμή του DOD αυξάνει την επιφάνεια ή τον αριθμό των Pv-πλαισίων, αλλά κυρίως των συσσωρευτών και κατά συνέπεια το κόστος.

Βήμα 3ο

Προσδιορισμός του μεγέθους της Pv-συστοιχίας (P_{pv} Ισχύς αιχμής).

Η ένταση και η τάση προσδιορίζονται με ανεξάρτητα βήματα κατά το στάδιο αυτό της ανάλυσης.

Η τάση της Pv-γεννήτριας θα πρέπει να είναι αρκούντως υψηλή για την ελάττωση των απωλειών, ωστόσο όχι καταστρεπτική για τους συσσωρευτές.

Άλλωστε για τούτο χρησιμοποιείται ο Ε.Φ., για να επιτρέπει στους συσσωρευτές να φορτίζονται με μεγάλη απόδοση αυτήν επιτρεπτή τάση καθ' όλην την διάρκεια του έτους.

Κατά την επιλογή της τάσεως θα πρέπει να λάβουμε υπ' όψιν την επίδραση της θερμοκρασίας στην τιμή του V_m , και στην ισχύ αιχμής %, π.χ. αύξηση της θερμοκρασίας του Pv-πλαισίου ελαττώνει την V_m και την συγκεκριμένα αύξηση κατά 1°C ελαττώνει την P κατά 0.4%.

Σημειώνεται ακόμα ότι εκτός της έντασης της ακτινοβολίας L_T , και της Θερμοκρασίας, T_C , η τάση και ένταση του ρεύματος της Pv-γεννήτριας εξαρτάται από τις προδιαγραφές των Pv-πλαισίων, αλλά και από την μεταξύ τους σύνδεση.

Το ρεύμα από τη Pv-γεννήτρια επιλέγεται να έχει ικανή τιμή ώστε να διασφαλίζει

α. την αποτελεσματική φόρτιση των συσσωρευτών, χωρίς να υπερβαίνει την ταχύτητα φόρτισης που ο κατασκευαστής προδιαγράφει αλλά και

β. την κάλυψη των φορτίων απ'ευθείας μέσω των συσσωρευτών σύμφωνα με τις προδιαγραφές τους

Μάλιστα για την εκφόρτιση, ο σχεδιασμός Θα πρέπει να είναι τέτοιος ώστε η κάλυψη των φορτίων να γίνεται ικανοποιητικά και όχι κάτω του DOD, κατά τις άσχημες καιρικές συνθήκες, όταν επικρατεί χαμηλή ηλιοφάνεια.

Υβριδικό Pn-σύστημα για κάλυψη των ενεργειακών αναγκών ενός ξενοδοχείου.

Ένα τέτοιο πρόβλημα μελέτης υβριδικού Pn-συστημάτος, είναι αυτό του ξενοδοχειακού συγκροτήματος στην Ελούντα της Κρήτης.

Το ξενοδοχείο αυτό αποτελείται από 12 οικίσκους και ένα εστιατόριο.

Η ενέργεια που Παρέχει το Pn-σύστημα το οποίο μελετήθηκε, εγκαταστάθηκε και λειτουργεί ήδη, καλύπτει:

α. τον εσωτερικό και εξωτερικό φωτισμό,

β. ψυγεία (επαγγελματικά και οικιακά),

γ. μία αντλία νερού και

δ. διάφορες μικρό-ηλεκτρικές συσκευές

Η ημερήσια ηλεκτρική κατανάλωση για το καλοκαίρι υπολογίσθηκε σε 40.3kwh, όπως δίδει ο Πίνακας

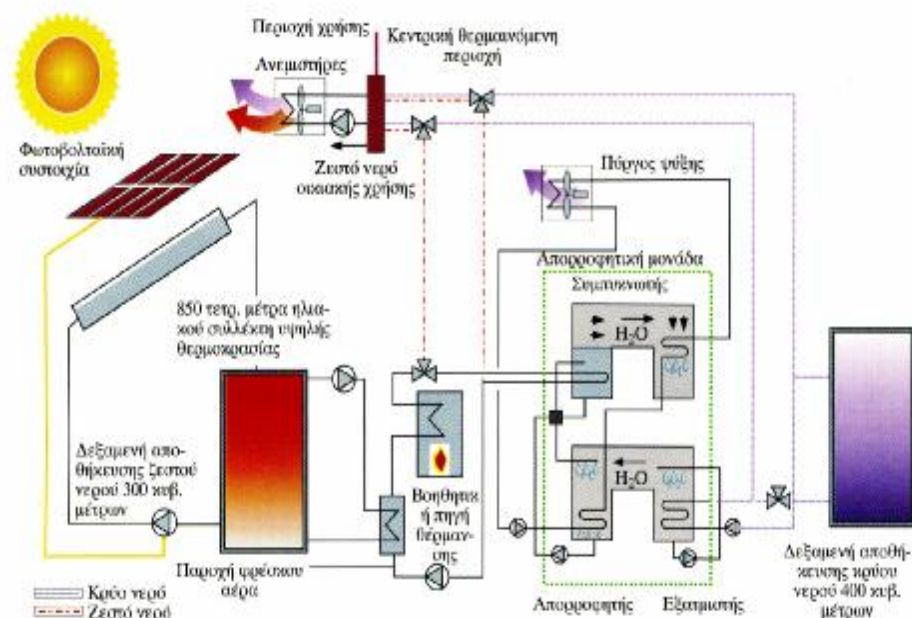
Πίνακας : Εξοπλισμός και καταναλώσεις σε ξενοδοχειακή μονάδα.

Ηλεκτρικός Εξοπλισμός	Ονομ. Ισχύς (W)	Αριθμός	Λειτουργία (ώρες/ημέρα)	Κατανάλωση (Wh)
Εσωτ. Φωτισμός	30	110	1	3300
Εξωτ. Φωτισμός	25	30	6	4500
Ψυγεία δεματίων	100	11	6	6600
Επαγ/κό Ψυγείο	400	3	11	13200
Επαγ/κό Καταψύκτης	300	1	11	3300
Φούρνος μικροκυμάτων	1200	1	1	1200
Πιεστική αντλία	750	1	2	1500
Βιολογικός καθαρισμός	400	1	2	800
Εντομοπαγίδες	20	15	5	1500
Λοιπός ηλεκτρικός εξοπλισμός	200	22	1	4400
Συνολικό Ημερήσιο Ηλεκτρικό Φορτίο:				40300Wh

Πρέπει, να σημειωθεί ότι ο σχεδιασμός του ξενοδοχείου ακολούθησε την αρχή της βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής και ότι η παροχή ζεστού νερού επιτεύχθηκε μέσω ηλιακών συλλεκτών.

Τούτο αποτελεί μια ολοκληρωμένη εφαρμογή ενός συστήματος εξοικονόμησης ενέργειας μέσω της Τεχνολογίας των Α.Π.Ε. : Pν-τεχνολογία και θερμική ηλιακή τεχνολογία, σχήμα

Θεωρείται χρήσιμο να περιγράψει μια ολοκληρωμένη τέτοια σχεδίαση που να καλύπτει ηλεκτρικά φορτία καθώς και φορτία κλιματισμού.



Οι ηλιακοί συλλέκτες απορροφούν ηλιακή ενέργεια και ζεσταίνουν το νερό το οποίο με την βοήθεια ενός κυκλοφορητή αν βρίσκεται στην σωστή θερμοκρασία οδηγείται προς τον χώρο που θέλουμε να Θερμάνουμε.

Αν το νερό δεν βρίσκεται στην επιθυμητή θερμοκρασία οδηγείται σε ένα συμβατικό λέβητα ή αντλία Θερμότητας όπου Θερμαίνεται έως την επιθυμητή Θερμοκρασία και κατόπιν οδηγείται στο χώρο που θέλουμε να Θερμάνουμε.

Κατά την ψύξη το ζεστό νερό οδηγείται στον συμπυκνωτή όπου συμπυκνώνεται και περνά στον εξατμιστή. Ο εξατμιστής συνδέεται με μια δεξαμενή κρύου νερού. Στον εξατμιστή έχουμε ψύξη του αέρα και οδήγησή του στον χώρο που θέλουμε να ψύξουμε. Με την βοήθεια των ανεμιστήρων που υπάρχουν στο εξωτερικό μέρος του κτιρίου αποβάλλεται ένα ποσό θερμότητας προς το περιβάλλον.

Τόσο ο κυκλοφορητής όσο και οι ανεμιστήρες λειτουργούν με την βοήθεια ηλεκτρικής ενέργειας η οποία παράγεται από φωτοβολταϊκή γεννήτρια, όπως δείχνει το σχήμα.

Το σύστημα της φωτογραφίας αυτής επιτρέπει μια μείωση στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας περίπου κατά 50% και μια μείωση στην εκπομπή του (CO₂) της τάξεως του 60%.

Ειδικότερα:

1. το P_v-σύστημα αποτελείται από 112 μονοκρυσταλικά P_v-πλαίσια, με Ονομαστική ισχύ 57W το κάθε ένα.

2. Η ολική ονομαστική ισχύς ισούται με 112 P_v-πλαίσια 57 W_P/πλαίσιο= 6.4kw

3. Τα P_v-πλαίσια για λόγους βέλτιστης απόδοσης κατά το καλοκαίρι, τοποθετήθηκαν με κλίση 30° ως προς το οριζόντιο.

4. Το P_v-σύστημα όπως δείχνει το σχήμα περιλαμβάνει:

α. Τον ελεγκτή/ρυθμιστή (regulator) φόρτισης των συσσωρευτών,

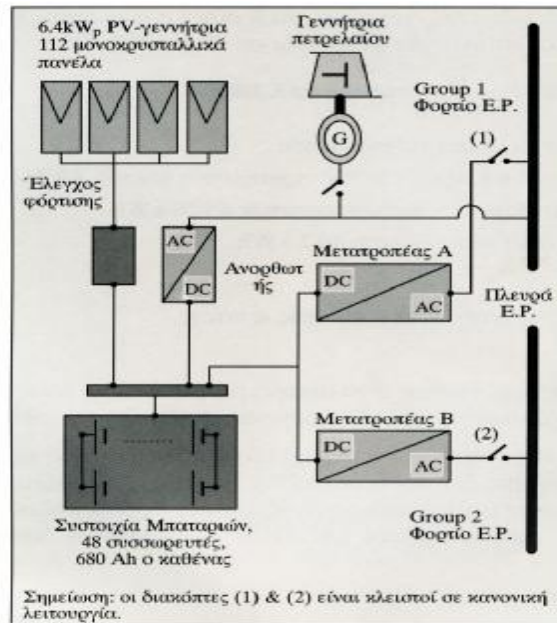
β. Το σύστημα των συσσωρευτών αποτελούμενο από: 48 στοιχεία Pb-οξέος: 2 σειρές συσσωρευτών εν παραλλήλω, με 24 στοιχεία εν σειρά, σε κάθε σειρά.

Η χωρητικότητα κάθε στοιχείου είναι 680 Ah και η ονομαστική τάση του κάθε στοιχείου 2V.

γ. Τους μετατροπείς ισχύος (DC/AC): Ο σχεδιασμός επέβαλε την εγκατάσταση δύο μονοφασικών μετατροπέων με ισχύ εκάστου 5 και 6KVA αντίστοιχα.

Ο μετατροπέας έχει τάση εξόδου 220V και τάση εισόδου 48 volt: που καλύπτεται από τα 24, εν σειρά, στοιχεία συσσωρευτών, ήτοι:

24 στοιχεία *2v/στοιχείο=48v



Σχήμα : Υβριδικό PV-σύστημα ξενοδοχειακού συγκροτήματος στην Ελούντα της Κρήτης.

Σημείωση:

Ο χωρισμός του κλάδου του εναλλασσόμενου σε δύο μέρη, όπως φαίνεται στο σχήμα , συνιστάται ώστε εάν ένας μετατροπέας τεθεί εκτός λειτουργίας, ο δεύτερος να μπορεί να καλύψει τα ηλεκτρικά φορτία.

Παρατήρηση:

1. Το σύστημα των συσσωρευτών και οι μετατροπείς ισχύος, είναι τοποθετημένοι σε υπόγειο χώρο με κατάλληλες συνθήκες Θερμοκρασίας και υγρασίας για την λειτουργία τους.
2. Από τα δεδομένα παρατηρούμε ότι η συνολική χωρητικότητα των στοιχείων των συσσωρευτών ανέρχεται σε 65.28kwh, δηλ:

$$48 \text{ στοιχεία} \times 2 \frac{\text{V}}{\text{στοιχείο}} \times 680 \text{Ah} = 65.28 \text{kWh}$$

Εν κατακλείδι, διαπιστώνουμε ότι:

- α. Η ονομαστική ισχύς του P_v-συστήματος είναι 6.4 kw.
- β. Η χωρητικότητα των συσσωρευτών 65.28 kwh
- γ. Η ημερήσια κατανάλωση 40.3 kwh

Ο συσχετισμός των περιπτώσεων α και γ γίνεται αντιληπτός με βάση όσα αναφέρονται περί Ισοδύναμου Αριθμού Ωρών Ηλιοφάνειας (psh) .

Σε περίπτωση ενεργειακής αιχμής στο φορτίο ή όταν υπάρχει συννεφιά και το P_v-σύστημα δεν είναι δυνατόν να καλύψει το φορτίο, τότε τίθεται σε λειτουργία

ένα ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος που φορτίζει τους συσσωρευτές μέσω ενός ανορθωτή (AC/DC), όπως εύκολα διακρίνουμε στο παραπάνω σχήμα.

Διαστασιολόγηση της βοηθητικής πηγής ενέργειας ενός υβριδικού συστήματος

Ας θεωρήσουμε μια υβριδική P_v-διάταξη όπως αυτή του σχήματος 5.6, όπου μια γεννήτρια π.χ. DIESEL χρησιμοποιείται για την φόρτιση των συσσωρευτών όταν αυτό επιβάλλεται.

Είναι προφανές ότι ο ρυθμός φόρτισης, δηλ. το I_{ch}, Θα γίνεται με ταχύτητα το πολύ C/10.

Για να επιτευχθεί μάλιστα ένας υψηλός βαθμός απόδοσης μιας diesel-γεννήτρια Θα πρέπει αυτή με το ρεύμα αυτό, I_{ch}, να λειτουργεί στο 80-90% της ονομαστικής τιμής της ισχύος της.

Επομένως, απαιτούνται τα ακόλουθα βήματα για την διαστασιολόγηση της γεννήτριας

Βήμα 1ο

Προσδιορισμός του C/10, από την χωρητικότητα του συστήματος αποθήκευσης της ενέργειας.

Προσοχή: πέραν των διορθώσεων που πρέπει να υπεισέλθουν στην χωρητικότητα, είναι πολύ σημαντικό να προσδιορισθεί η διαθέσιμη χωρητικότητα λόγω της μεταβολής της Θερμοκρασίας π.χ. η διαθέσιμη χωρητικότητα είναι μικρότερη τους χειμερινούς μήνες σε σχέση με τους θερινούς.

Βήμα 2ο

Το σύστημα των συσσωρευτών πρέπει να δώσει ισχύ P στην έξοδο του ώστε να καλύψει τα φορτία.

Ωστόσο, η φόρτιση του έχει απόδοση περί τα 80%, ήτοι έχουμε απώλειες 20%, η ισχύς φόρτισης μέσω της γεννήτριας DIESEL Θα ισούται με:

$$I \cdot v \cdot 1.2$$

Βήμα 3ο

Ωστόσο, επειδή η γεννήτρια diesel έχει απόδοση περί τα 80-90%, όπως είπαμε προηγουμένως, για τούτο η ισχύς εξόδου της θα πρέπει να είναι:

$$P_{od} = 1359.4w : 0.9 = 1510.5w$$

Βήμα 4ο

Εάν η σχεδίαση του P_v-συστήματος μαζί με την βοηθητική Πηγή ακολουθεί την φιλοσοφία που Θέλει την γεννήτρια diesel να καλύπτει και μέρος των φορτίων

καθ' ον χρόνο φορτίζει τους συσσωρευτές, ή να φορτίσει τους συσσωρευτές ταχύτερα, θα πρέπει να προτιμήσουμε μια κατά τι μεγαλύτερη ισχύ για την γεννήτρια.

Παρατήρηση:

Σε μια πλήρη διαστασιολόγηση πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψιν τόσο η απόδοση της φόρτισης/εκφόρτισης των συσσωρευτών, όσο και οι απώλειες στα καλώδια, ζήτημα το οποίο θα αναλύσουμε στην συνέχεια.

Απώλεια ισχύος στις καλωδιώσεις και επίδραση στην διαστασιολόγηση της P_v-γεννήτριας

Για το προσδιορισμό των απωλειών είναι ανάγκη να γνωρίζουμε:

α) τις αποστάσεις μεταξύ των κομβικών σημείων της P_v-διάταξης

β) την ένταση του ρεύματος. Παραδείγματος χάριν η ένταση ρεύματος από τους συσσωρευτές στον αντιστροφέα AC/DC, είναι ίση με την ισχύ εξόδου του αντιστροφέα διαιρούμενη δια της τάσης v , μεταφοράς της ισχύος (24 ή 48 volts κ.λπ.) και δια της απόδοσης του αντιστροφέα.

γ) την αντίσταση των καλωδίων, ($\Omega/\text{kft}=\Omega$ ανά 1000ft).

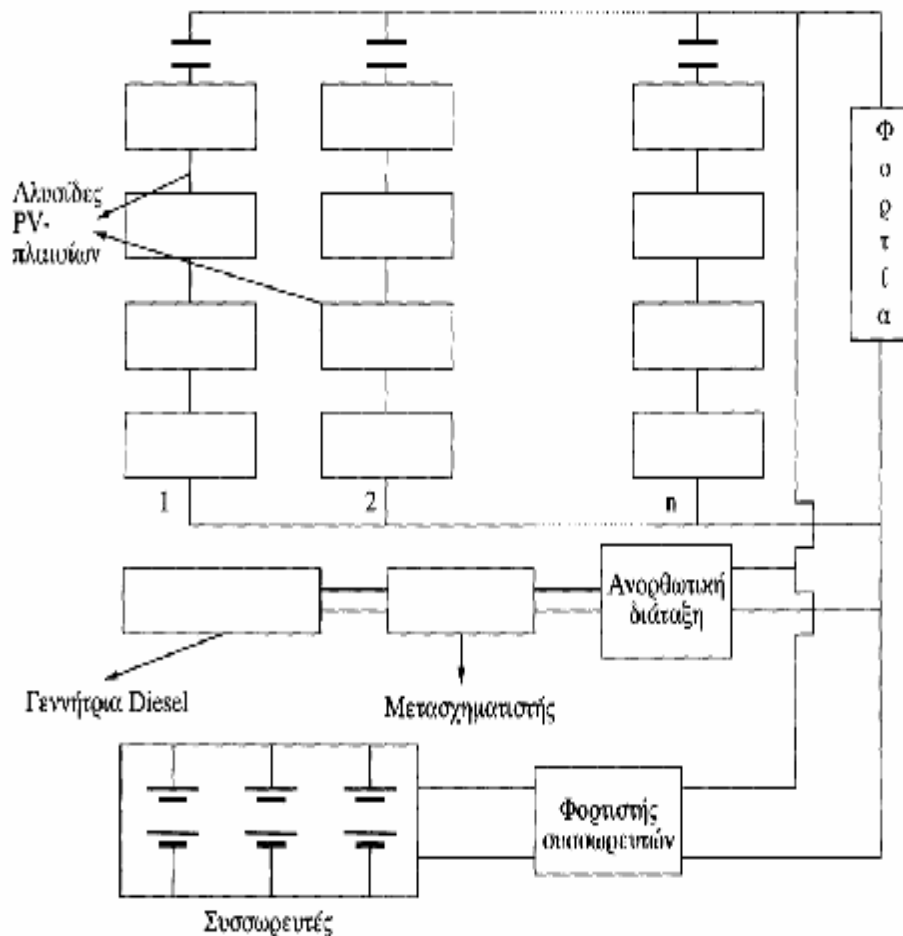
Μελέτη περίπτωσης P_v-συστήματος ως μέρους ενός υβριδικού, συνδεδεμένου με συσσωρευτές για λειτουργία σε μεταβαλλόμενα φορτία (RL) και διάφορες εντάσεις ηλιακής ακτινοβολίας.

Τα Υβριδικά Ενεργειακά Συστήματα (Υ.Ε.Σ) με Ανανεώσιμες Πηγές, Ενέργειας (Α.Π.Ε), αποτελούν μια σημαντική πηγή ηλεκτρικής ενέργειας για απομακρυσμένες κοινότητες, χωριά ή για εφαρμογές μακράν του ηλεκτρικού δικτύου. πχ. σχολεία, κλινικές, αγροκτήματα, τουριστικά κέντρα, νησίδες, χώροι αναψυχής κλπ.

Συνήθως, συνδυάζεται η ηλιακή με την αιολική ενέργεια, διασυνδεόμενες με σύστημα αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας για μια συνεχή, αδιάκοπτη και αξιόπιστη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας.

Τα σχήματα δείχνουν περιπτώσεις εφαρμογής της αντίληψης των Υ.Ε.Σ.

Το σχήμα δείχνει παραστατικά τον συνδυασμό P_v- γεννήτριας και ανεμογεννήτριας για την λειτουργία ενός συστήματος δυο ψυκτικών θαλάμων.



Ένα σχετικά μεγάλο εργοστάσιο ενέργειας με Pn-τεχνολογία υβριδικού τύπου, όπως δείχνει και το κατωτέρω σχήμα έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

Pn-ισχύς: 350kwp.

DIESEL γεννήτρια: 1MW, 4 μονάδεςX 250KW.

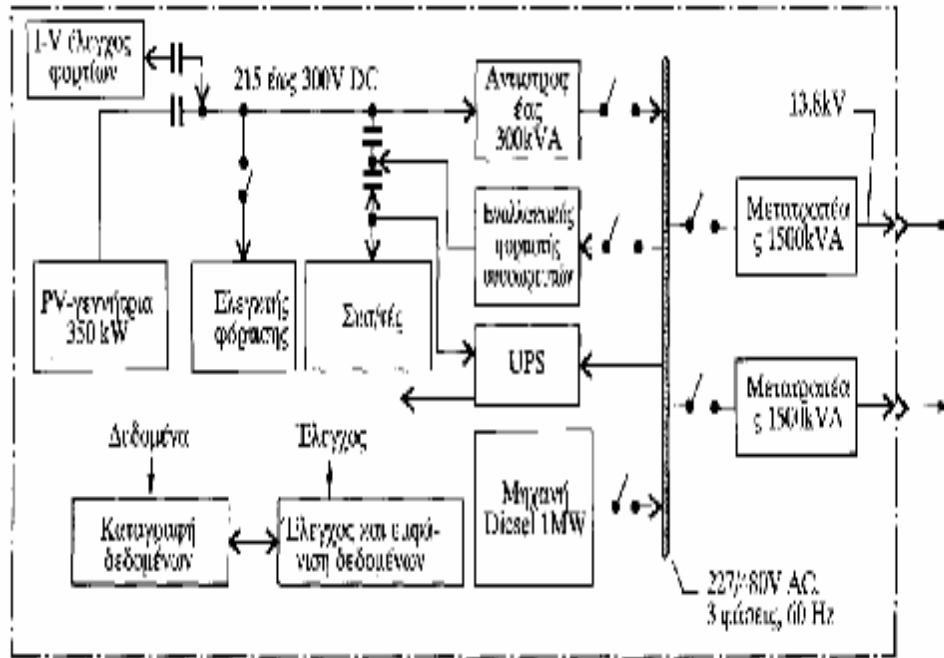
Συσσωρευτές: 1.6 MWh, Pb-οξέος.

DC/AC: 300KVA, 480V, AC, 3 φάσεις.

Μετασχηματιστής (2) 1500 KVA σε τάση δικτύου 13.8 KV.

Η Pn-γεννήτρια χρησιμοποιεί συγκεντρωτικούς φακούς FRESNEL από Ακρυλικό με λόγο συγκέντρωσης, C=40.

Το Pn-συγκρότημα παραγωγής ενέργειας παρουσιάζεται στο σχήμα και αποτελείται από:



Σχήμα : Σχηματικό διάγραμμα υβριδικού συστήματος εγκατεστημένο στην Σ. Αραβία.

1ον Βοηθητικό φορτιστή συσσωρευτών:

60KW, 600V, DC, 200A.OFF line
χρήση, όταν γίνεται συντήρηση του
συστήματος.

2ον Συσσωρευτές:

4 συσσωρευτές Pb-οξέος, με 120
στοιχεία σε σειρά. Σύνολο 1.6 Mwh
ή 1700Ah

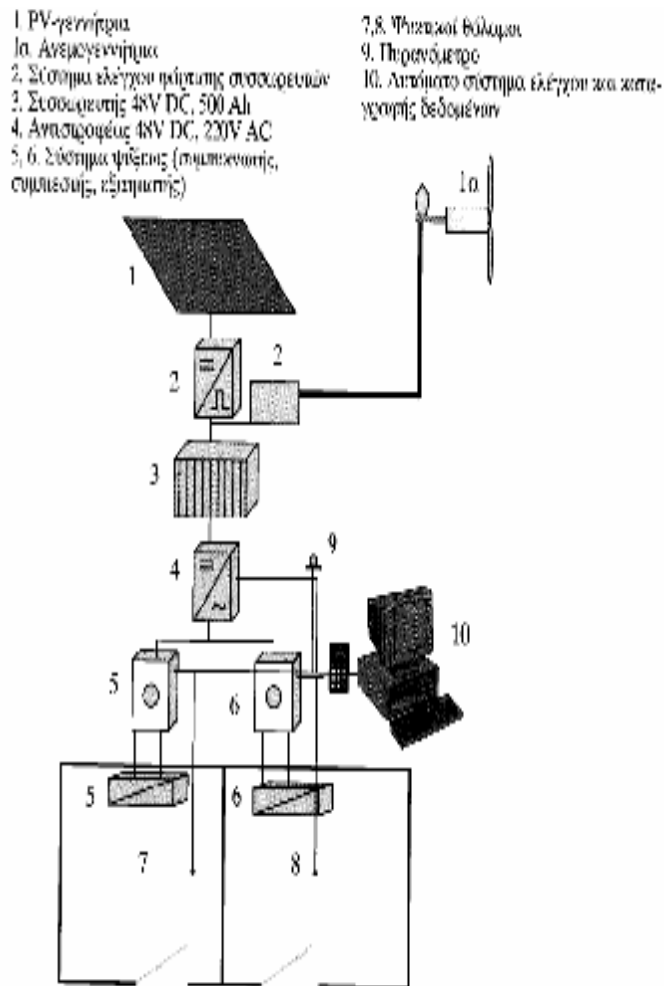
3ον Pn-σύστημα:.

160 Pn-συστοιχίες με συγκεντρωτικό σύστημα
συνολικά 5120 φακούς FRESVEL 1.2.1m*2.7 m.

64 παράλληλες σειρές των 640 Pn στοιχείων εν σειρά, ήτοι: $64 \cdot 640 = 40.960$
Pn-στοιχεία. Αυτά είναι κυκλικού τύπου (CZ) Pn-στοιχεία si με διάμετρο 5.7cm.

4ον Σύστημα παρακολούθησης του ηλίου με δύο άξονες περιστροφής.

Μια άλλη περίπτωση υβριδικού συστήματος Ρν-Αιολικής Ενέργειας που χρησιμοποιείται για να παρέχει ισχύ στη λειτουργία ψυκτικών θαλάμων περιγράφεται στο σχήμα.



Σχήμα : Το σχήμα αυτό δείχνει ένα υβριδικό σύστημα από PV-γεννήτρια και ανεμογεννήτρια, με σύστημα αποθήκευσης για παροχή φορτίων σε δύο ψυκτικούς θαλάμους. Το σύστημα είναι προϊόν της Ελληνο-Γερμανικής συνεργασίας των ΤΕΙ Πάτρας και F.H. Aachen (1995)

Παρατήρηση: Σε όλες αυτές τις περιπτώσεις η περίσσεια της παραγόμενης ηλιακής ενέργειας αποθηκεύεται υπό μορφή φορτίου (Q:Ah) σε συσσωρευτές, ώστε το σύστημα να λειτουργεί και τις ώρες όταν δεν υπάρχει ηλιοφάνεια ή επαρκής διαθέσιμη ενέργεια, (αιολική, ηλιακή).

Η πλήρης μελέτη των φορτίων και η απόφαση για το χρονικό διάστημα κατά το οποίο το σύστημα θα είναι ενεργειακά αυτοδύναμο, μας δίνει το μέγεθος της Ρν-γεννήτριας και ανεμογεννήτριας

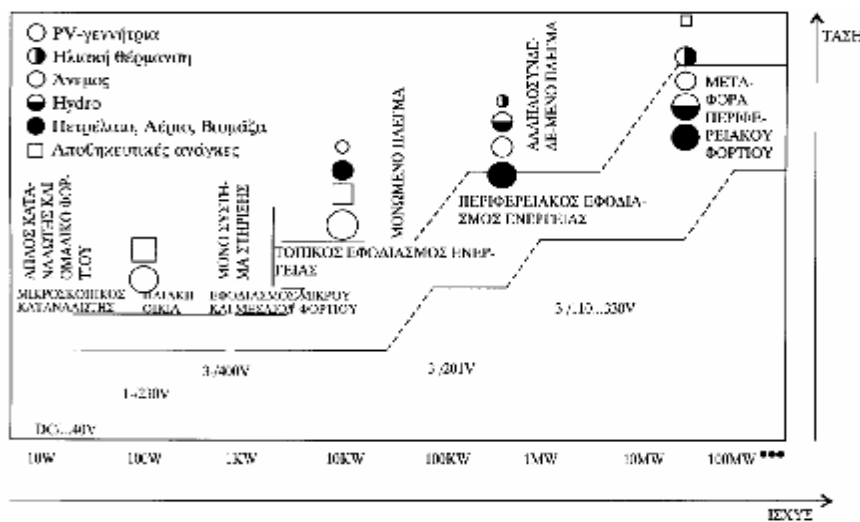
**Συνδυασμοί Pn- συστημάτων υβριδικών με άλλες πηγές ενέργειας:
Εφαρμογή ενός υβριδικού συστήματος: Pn-γεννήτριας και ανεμογεννήτριας,
συνδεδεμένου με μια συστοιχία συσσωρευτών**

Τα υβριδικά Pn-συστήματα αυτού του είδους όπως βλέπουμε στα παρακάτω σχήματα είναι εξαιρετικά ελκυστικά και ανταγωνιστικά για περιοχές μακράν του δικτύου.

Μπορούμε μάλιστα να υποθέσουμε ότι το υβριδικό συγκρότημα στην περίπτωση αυτή θα πρέπει να υποστηρίζεται και από μια ηλεκτρογεννήτρια diesel, όπως στο σχήμα.

Ταξινόμηση υβριδικών των ενεργειακών συστημάτων συστήματα με παροχή ισχύος της τάξεως από 100W-100MW

. Τα συνήθη επίπεδα παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος, ταξινομημένα ως προς τα μικρά και μεσαία φορτία με τοπικό, περιφερειακό και εθνικό χαρακτήρα παραγωγής, συναρτήσει της τάσεως (V) και της τάξεως μεγέθους της ισχύος τους, δίνονται στο διάγραμμα του σχήματος που ακολουθεί.



Σχήμα : Κατάταξη της τεχνολογίας παροχής ισχύος από Α.Π.Ε για διάφορες κατηγορίες και εφαρμογές με παραμέτρους την αποδιδόμενη Ισχύ και την Τάση.

Η εφαρμοζόμενη διεθνής πολιτική στα Pn-συστήματα και τις εφαρμογές για:

- αύξηση της αξιοπιστίας στην παροχή ηλεκτρικής ισχύος, μέσω συνδυασμού με διάφορες συμβατικές γεννήτριες,
- μείωση του ύψους επένδυσης για τα πολύ μεγάλα Pn-συγκροτήματα, πολύ μεγάλης χωρητικότητας συσσωρευτές,

- επιβάλλει την κατασκευή υβριδικών συστημάτων για συνεχή κάλυψη των φορτίων αρκετών kwh ή και περισσότερο.

Στις περιπτώσεις αυτές μια Pν-γεννήτρια συνδυάζεται, υβριδικά, με μια γεννήτρια diesel, ή με μια ανεμογεννήτρια ή με μια υδρο-ηλεκτρική εγκατάσταση και αλληλουποστηρίζονται στην κάλυψη των ηλεκτρικών φορτίων.

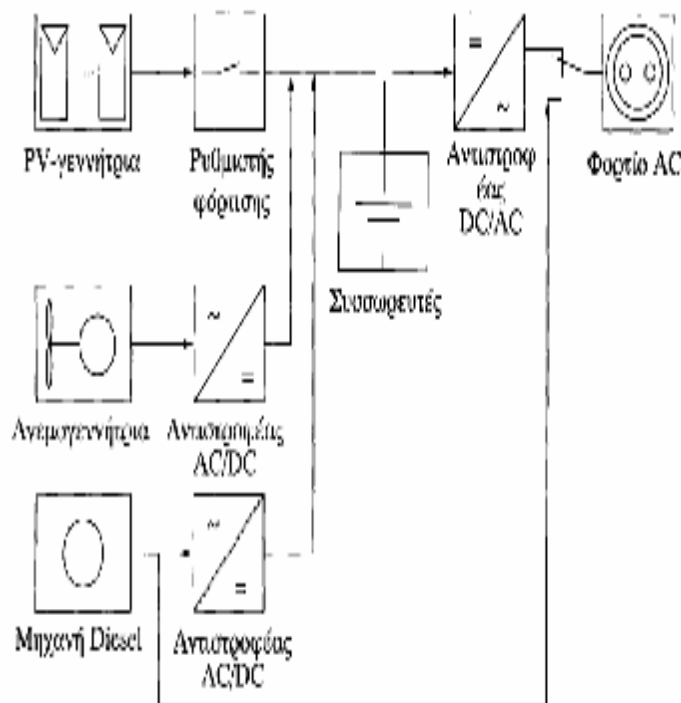
Τα συστήματα αυτά παρουσιάζονται υπό μορφή γενικού διαγράμματος στα σχήματα που ακολουθούν.

Η ισχύς μεταφέρεται στα φορτία υπό μορφή 3-φασικού ρεύματος, μέσω ενός αντιστροφέα DC/AC, στη συνήθη συχνότητα και πλάτος (κύματος).

Pν-υβριδικά συστήματα: Σύνδεση DC, AC

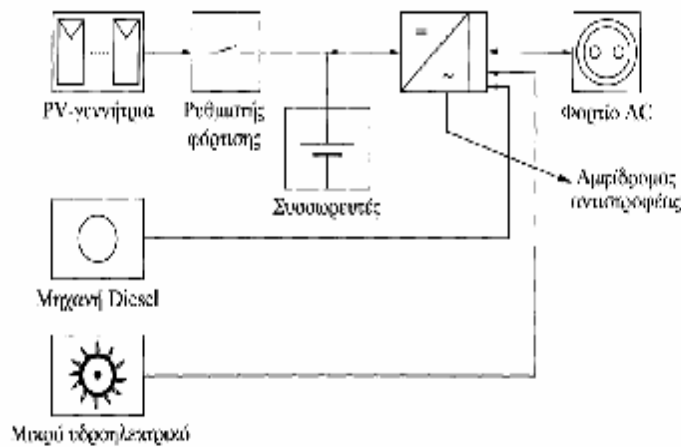
Η πλειοψηφία των χαμηλής ισχύος υβριδικών συστημάτων με Pν-γεννήτρια εμπίπτει στις δύο ακόλουθες κατηγορίες:

1^η. Υβριδικά συστήματα σύνδεσης-DC:



Σχήμα : Υβριδικό ενεργειακό σύστημα αποτελούμενο από Pν-γεννήτρια, ανεμογεννήτρια, γεννήτρια Diesel συνδεδεμένες μεταξύ τους υπο τάση DC. Χρήση αντιστροφ. AC/DC.

2^η. Υβριδικά συστήματα σύνδεσης-AC:



Σχήμα : Υβριδικό PV-σύστημα αποτελούμενο από PV-γεννήτρια, μικρό υδροηλεκτρικό και συμβατική γεννήτρια. Η σύνδεση μεταξύ τους είναι κατά AC μέσω ενός αμφίδρομου αντιστροφέα DC/AC.

Στο πρώτο σύστημα, η Pν-γεννήτρια, η ανεμογεννήτρια, και η γεννήτρια DIESEL δίνουν το φορτίο τους στον συσσωρευτή, αφού Προηγουμένως περάσει από έναν αντιστροφέα, AC/DC.

Το σύστημα αυτό είναι περισσότερο πολύπλοκο και δαπανηρότερο από το επόμενο.

Στο δεύτερο σύστημα η Pν-γεννήτρια συνδυάζεται με μια γεννήτρια diesel ή ένα υδροηλεκτρικό στρόβιλο, που τροφοδοτούν την έξοδο ενός αντιστροφέα DC/AC διπλής-κατεύθυνσης.

Υβριδικό σύστημα Pν-γεννήτριας και Σ.Κ. σε εφαρμογή κάλυψης των φορτίων ενός κτιριακού συγκροτήματος

Μια εξελιγμένη Τεχνική που χρησιμοποιεί την Pν-τεχνολογία, τα την ηλεκτρόλυση και λοιπές συμβατικές τεχνολογίες είναι αυτή που εφαρμόζεται στο πρόγραμμα RHOEBUS και βάσει του οποίου καλύπτονται οι ανάγκες Των φορτίων της βιβλιοθήκης του ερευνητικού κέντρου Julich της Γερμανίας, σχήμα.



Σχήμα Κεντρικό κτίριο βιβλιοθήκης του Ερευνητικού κέντρου Jülich στη Γερμανία. Διακρίνονται στην οροφή τα PV-πλαίσια που απαρτίζουν την PV-γεννήτρια. Φαίνεται το σύστημα των PV-συστοιχιών που μαζί με τα Σ.Κ. και την εποχιακή αποθήκευση του H₂ καλύπτουν τις ενεργειακές ανάγκες του κτιρίου.

Το σχήμα δίδει σχηματικά την προσφορά ενέργειας, τις καταναλώσεις και την αποθήκευση ενέργειας μέσω του παραγόμενου H₂ το οποίο όταν παραστεί ανάγκη-χαμηλή ηλιοφάνεια, λειτουργεί ως καύσιμο στα Σ.Κ. και συνεισφέρει στην κάλυψη των φορτίων.

Προοπτικές-εξέλιξης της ρν τεχνολογίας

Φωτοβολταϊκά στοιχεία Πυριτίου-si:

Το συνηθέστερο και φθηνότερο μέχρι σήμερα υλικό κατασκευής των *n* στοιχείων είναι το πυρίτιο-si, σε μορφή μονοκρυσταλλική, πολυκρυσταλλική ή άμορφη. Η διαδικασία κατασκευής των *n* στοιχείων ανάλογα με τον τύπο τους γίνεται πολύπλοκη με τελικό αποτέλεσμα το υψηλό κόστος παραγωγής τους.

Το κρυσταλλικό πυρίτιο αποτελείται από μεγάλους κρυστάλλους με ομοιόμορφο γαλάζιο ή 'μπλε' χρώμα.

Σήμερα τα *n* στοιχεία από κρυσταλλικό si κρατούν το 90% της αγοράς. Όπως θα δούμε στη συνέχεια η τεχνολογική έρευνα στα *n* έχει βελτιώσει την απόδοσή τους, η οποία φτάνει το 24.7%, για το (κρυσταλλικό) si, σε εργαστηριακές συνθήκες.

Ήδη στις Η.Π.Α, Ιαπωνία και Ευρώπη προωθείται μια εντατική έρευνα που στοχεύει στη βελτίωση της τεχνολογίας των P*n*-στοιχείων με αποτέλεσμα την μαζική παραγωγή ρ*n* στοιχείων λεπτού υμένα (thin film), ευλύγιστων και μεγάλου μήκους καθώς και νέου τύπου ρ*n* στοιχείων π.χ. τριπλής επαφής που συντίθενται από GaInp/GaAs/Ge.

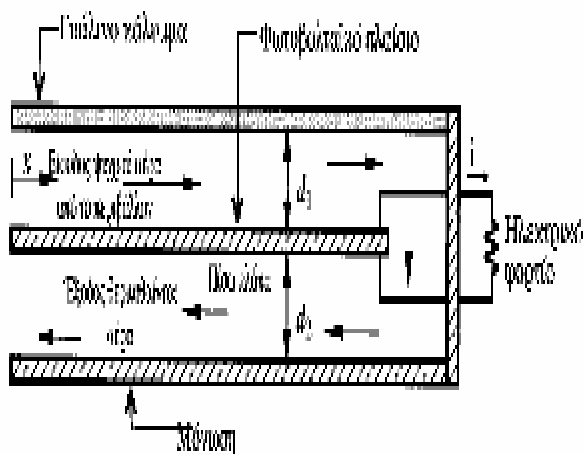
Τα ρην στοιχεία συνδυαζόμενα με φθηνά συγκεντρωτικά συστήματα ηλιακής ακτινοβολίας π.χ. φακοί FRESNEL, φτάνουν σε απόδοση περίπου 33% υπό ελεγχόμενες εργαστηριακές συνθήκες.

Ο Παράγων, C, συγκέντρωσης της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει επί των ρην αυτών πλαισίων φτάνει περίπου το 50.



Σχήμα . Αρχή λειτουργίας συγκεντρωτικών φακών Fresnel με τους οποίους αυξάνεται η επί των PV-πλαισίων προσπίπτουσα ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας.

Τελευταία επιχειρείται ένας συνδυασμός η και θερμικών συστημάτων που παράγουν συγχρόνως Ηλεκτρική και Θερμική Ενέργεια. Την αρχή αυτή της συνδυασμένης παραγωγής ενέργειας δείχνει το επόμενο σχήμα



Τέτοια συστήματα ελαττώνουν σημαντικά το κόστος της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας καθώς:

1. Μειώνεται η θερμοκρασία του ρην Πλαισίου με την απαγωγή της θερμότητας από την επιφάνεια του, με συνέπεια την αύξηση της απόδοσης του.

2. Εκμεταλλευόμαστε τη θερμότητα που παράγεται κατά τη ρν- διεργασία και επομένως αυξάνουμε την παραγόμενη συνολική ενέργεια από το ίδιο το σύστημα.

3. Απαιτείται μικρότερη συνολική επιφάνεια για παραγωγή συγκεκριμένου ποσού ενέργειας και κάλυψης του φορτίου σε σχέση με τα απλά ανεξάρτητα συστήματα, γεγονός που μειώνει το κόστος εγκατάστασης, λόγω της αύξησης της απόδοσής τους.

Μάλιστα, για την αύξηση της απόδοσης των n συστημάτων αλλά και για την κάλυψη των θερμικών φορτίων, επειδή κατά την φωτοβολταϊκή μετατροπή μόνο το 44% της δύναται να μετατραπεί σε ηλεκτρική ενέργεια, (μέγιστο όριο απόδοσής τους), ενώ το υπόλοιπο μετατρέπεται σε θερμότητα, χρησιμοποιούνται υβριδικά συστήματα βάσει της νέας φιλοσοφίας της Συμπαραγωγής, όπως δείχνει το σχήμα.

Για το λόγο αυτό σημαντικά προγράμματα ανάπτυξης της Ρν-τεχνολογίας προωθούνται.

Επί παραδείγματι οι ερευνητικοί στόχοι του 5-ετούς προγράμματος ρν τεχνολογίας (2000-2004) στις Η.Π.Α εστιάζονται στα εξής σημεία:

1. 2000: Προγράμματα εφαρμογής ρν τεχνολογίας με στόχο τον διπλασιασμό της απόδοσής τους σε σύγκριση με τις τιμές του 1999.

2. 2001: Διερεύνηση, βελτίωση και δοκιμές των συστημάτων συγκέντρωσης της ηλιακής ακτινοβολίας που θα χρησιμοποιούνται σε ρν εγκαταστάσεις.

3. 2002: Επίτευξη λειτουργίας n στοιχείων τριπλής επαφής με απόδοση 38% χρησιμοποιώντας συστήματα εστίασης του ηλιακού φωτός επί αυτών.

4. 2003: Επίτευξη λειτουργίας μονολιθικών ρν στοιχείων συνδεδεμένων εν σειρά, πολυκρυσταλλικού τύπου, τεχνολογίας λεπτού υμένα (thin film).

5. 2004: Επίτευξη λειτουργίας ρν στοιχείων 4-πλής επαφής για εμπορικές εφαρμογές. ρν τεχνολογία λεπτού υμένα.

Τα Ρν-πλαίσια χρησιμοποιούνται όχι μόνο για συμπαραγωγή αλλά και για τριπαραγωγή καθώς και για κλιματισμό. Ο κλιματισμός επιτυγχάνεται είτε μέσω της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, είτε

μέσω του ζεστού αέρα που είναι δυνατόν να εξοικονομηθεί. Για το συνδυασμό αυτό χρησιμοποιούνται συστήματα ψύξης με συμπαραγωγή .

Η έρευνα επί των πολυεπαφικών ρν στοιχείων συνεισφέρει επίσης και στην βελτίωση της ρν τεχνολογίας στοιχείων από άμορφο α - si ή ρν στοιχείων Cd-Te καθώς και ρν στοιχείων λεπτού υμένα από c - si .

Με την ανάπτυξη της τεχνολογίας πολυκρυσταλλικών pn στοιχείων διπλής και τριπλής επαφής, προβλέπεται ότι θα διπλασιαστεί η απόδοση των n στοιχείων τεχνολογίας λεπτού υμένα, με όλες τις οικονομικές και ενεργειακές θετικές επιπτώσεις. Αυτά τα n στοιχεία υπόσχονται πολλά στην ελάττωση του κόστους της παραγόμενης ενέργειας.

Βέβαια, η έρευνα για βελτίωση των pn στοιχείων από α-si συνεχίζεται με στόχο την αύξηση της απόδοσης και εξάλειψη των μειονεκτημάτων τους, καθώς αποτελούν σήμερα την εμπορικότερη αναπτυσσόμενη μορφή. Η απόδοση των n στοιχείων από α-si έχει ξεπεράσει σήμερα, σε μετρήσεις συνθηκών εργαστηρίου, το 12%.

Η έρευνα για τα υλικά cd-Te εντείνεται καθώς υπόσχονται πολλά για τα πολυκρυσταλλικού τύπου n αφού ήδη η απόδοση των Pn στοιχείων σε συνθήκες εργαστηρίου από τα μέχρι σήμερα δεδομένα, έχει φτάσει το 15.8%.

Ο Πίνακας δίνει τιμές της απόδοσης διαφόρων τύπων Pn-στοιχείων

Πίνακας : Χαρακτηριστικές τιμές απόδοσης PV-στοιχείων από διάφορους ημιαγωγούς και τεχνικές κατασκευής

Υλικά PV στοιχείων	Θεωρητική βέλτιστη απόδοση (%)	Πραγματική απόδοση (%)
Μονοκρυσταλλικό Πυρίτιο	24	15
Πολυκρυσταλλικό Πυρίτιο	18	12
Άμορφο Πυρίτιο	12	5
Μεμβράνες GaAs	23	-
Μεμβράνες CuO	20	-
Μεμβράνες Cd-Te	24	-

Γενικές εκτιμήσεις

Η Τεχνολογία των ν στοιχείων φαίνεται να αποτελεί ένα σημαντικό μέρος της βιομηχανίας του 21ου αιώνα. Στις Η.Π.Α. υπολογίζεται ότι μέχρι το έτος 2020 θα έχουν πωληθεί Pν πλαίσια ισχύος 7x10 Watts με περισσότερο από 3 δις Watts για τον οικιακό τομέα. Κατά το έτος 2020 προβλέπεται να έχουν εγκατασταθεί συνολικά 7GWp από τα οποία τα 3GWp στον οικιακό Τομέα.

Τέλος προβλέπεται μια σημαντική μείωση στο κόστος παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας, με βάση όσα παρουσιάστηκαν προηγουμένως. Για παράδειγμα προβλέπεται κόστος περίπου 3\$ ανά WATT (AC) μέχρι το 2010, ενώ μέχρι το 2020 η παράδοση ηλεκτρικής ενέργειας από ν γεννήτρια στον κοινό χρήστη προβλέπεται να φτάσει τα 1.5\$ ανά Watt(AC).