

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ**



**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΑΡΙΘΜΟΣ 1182**

ΜΕΛΕΤΗ – ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ(ΕΣ):

ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΣ ΓΑΡΔΙΚΗΣ

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ(ΕΣ):

κ. ΣΧΟΙΝΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΠΑΤΡΑ ΙΟΥΝΙΟΣ 2012

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στις μέρες μας γίνεται όλο και πιο επιτακτική η ανάγκη αξιοποίησης εναλλακτικών – ανανεώσιμων μορφών ενέργειας. Η συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση, σε συνδυασμό με τη μείωση των αποθεμάτων συμβατικών καυσίμων, και οι δυσμενείς επιπτώσεις από την εκτεταμένη χρήση τους, επιπτώσεις που γίνονται ολοένα και πιο εμφανείς τα τελευταία χρόνια, έχουν στρέψει το ενδιαφέρον στην εκμετάλλευση των ανανεώσιμων πηγών. Μία από αυτές τις πηγές είναι και η ηλιακή ενέργεια η οποία μπορεί να μετατραπεί σε ηλεκτρική μέσω των φωτοβολταϊκών (Φ/Β) στοιχείων.

Η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών είναι μια νέα σχετικά τεχνολογία που εμφανίστηκε στη δεκαετία του 1960, κυρίως ως τμήμα διαστημικών εφαρμογών, και η οποία έκτοτε εξελίσσεται συνεχώς. Στις μέρες μας, πραγματοποιείται σημαντική έρευνα στον τομέα αυτό με στόχο κυρίως την καλύτερη αξιοποίηση της παρεχόμενης από τον ήλιο ενέργειας και κατά τη συνέπεια την αύξηση της απόδοσης των φωτοβολταϊκών συστημάτων.

Η χώρα μας, πρέπει να σημειωθεί εδώ, διαθέτει τα χαρακτηριστικά εκείνα που ευνοούν την αξιοποίηση της τεχνολογίας αυτής με κυριότερο το σημαντικό ηλιακό δυναμικό που παρουσιάζει.

Η εργασία αποτελείται από τα κεφάλαια τα οποία παρουσιάζουν το βασικό θεωρητικό πλαίσιο λειτουργίας και το κεφάλαιο της εφαρμογής. Τέλος εξάγονται τα απαραίτητα συμπεράσματα.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα τελευταία χρόνια η χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας απασχολεί ολοένα και περισσότερο το πλατύ κοινό, την επιστημονική κοινότητα και άλλους αρμόδιους φορείς. Οι αιτίες για την «συζήτηση» αυτή είναι πολλές, μερικές από τις οποίες είναι το κόστος της συμβατικά παραγόμενης ενέργειας και η μόλυνση του περιβάλλοντος. Η Φ/Β ενέργεια, σαν μια μορφή ανανεώσιμης πηγής αποτελεί και αυτή πεδίο συζήτησης αλλά και έρευνας και εφαρμογής. Η παρούσα εργασία διαπραγματεύεται τις βασικές αρχές των υποσυστημάτων που απαρτίζουν ένα αυτόνομο Φ/Β σύστημα και παρουσιάζει την μελέτη και κατασκευή ενός τέτοιου συστήματος.

Τέτοια συστήματα αποτελούνται από Φ/Β πλαίσια, συσσωρευτές και ηλεκτρονικές διατάξεις. Τα πλαίσια είναι αυτά που συλλέγουν την ηλιακή ακτινοβολία και μέσω ενός μηχανισμού, που λέγεται φωτοβολταϊκό φαινόμενο, την μετατρέπουν σε ηλεκτρική ενέργεια. Οι συσσωρευτές αποθηκεύουν την ηλεκτρική ενέργεια, την οποία εκμεταλλευόμαστε όταν η ζήτηση είναι μεγαλύτερη από την παραγωγή. Οι ηλεκτρονικές διατάξεις, δηλαδή ο μετατροπέας τάσης και ο ελεγκτής φόρτισης ευθύνονται για τη μετατροπή της συνεχούς ισχύος σε εναλλασσόμενη, καθώς επίσης και για την ομαλή λειτουργία του συστήματος.

Τέλος προβαίνει σε τεχνικο-οικονομική μελέτη ούτως ώστε να δείξει το μακροπρόθεσμο κέρδος του συστήματος αυτού, όπως επίσης προβαίνει και σε κάποιες χρήσιμες προτάσεις εφαρμογής για την ελαχιστοποίηση των καταναλώσεων της οικίας .

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	1
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	2
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	3
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο	8
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	8
1.1 Η ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΚΑΙ Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	8
1.2 ΟΙ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΗΜΕΡΑ	9
1.2.1 Το άνθρακας	9
1.2.2 Το πετρέλαιο.....	9
1.2.3 Η πυρηνική ενέργεια.....	10
1.3 ΟΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (ΑΠΕ).....	11
1.3.1 Υδατόπτωση	11
1.3.2 Ενέργεια κυμάτων, παλιρροϊκών κινήσεων και θαλάσσιων ρευμάτων	12
1.3.3 Βιομάζα.....	13
1.3.4 Γεωθερμική ενέργεια.....	13
1.3.5 Αιολική ενέργεια.....	13
1.3.6 Ηλιακή ενέργεια	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο	17
2. ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ	17
2.1 ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ.....	17
2.2 ΗΛΙΑΚΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ	18
2.3 ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΕ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ ΕΠΙΠΕΔΟ.....	19
2.3.1 Ηλιακή ακτινοβολία \bar{H} σε οριζόντιο επίπεδο	20
2.3.2 Συντελεστής μετατροπής της ακτινοβολίας από το οριζόντιο στο κεκλιμένο επίπεδο.	21
2.3.3 Η γωνία δύσης του ηλίου.....	22
2.4 Η ΜΕΣΗ ΟΛΙΚΗ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ	23
2.5 ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ Φ/Β ΣΤΑΘΜΟΥ	25
2.5.1 Μέση Ετήσια Ενέργεια	25
2.6 ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΑΠΕ.....	25

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο	27
3. ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ	27
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ.....	27
3.2 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	28
3.2.1 Ημιαγώγιμα στοιχεία.....	28
3.2.2 Πρόσμιξη ημιαγώγιμων στοιχείων	29
3.2.3 Η ένωση P-N.....	30
3.2.4 Ορθή και αναστροφή πόλωση της διόδου	31
3.2.5 Το ανάστροφο ρεύμα κόρου.....	32
3.3 ΤΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ	32
3.4 ΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ.....	34
3.5 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΚΑΙ I-V ΚΑΜΠΥΛΕΣ.....	36
3.6 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΠΛΗΡΩΣΗΣ.....	38
3.7 ΑΠΩΛΕΙΑ ΙΣΧΥΟΣ- ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ HOT SPOT.....	39
3.7.1 Μέθοδοι θεραπείας	41
3.7.2 Στρατηγική παράλληλης / σε σειρά σύνδεσης κυττάρων.....	41
3.7.3 Δίοδοι παράκαμψης.....	41
3.8 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΠΛΑΙΣΙΩΝ	42
3.8.1 Μονοκρυσταλλικό Πυρίτιο	43
3.8.2 Πολυκρυσταλλικό πυρίτιο.....	43
3.8.3 Πλαίσια άμορφου πυριτίου ή πλαίσια thin film.....	44
3.8.4 Πλαίσια τεχνολογίας III-IV ομάδας	45
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο	46
4. ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ)	46
4.1 ΓΕΝΙΚΑ	46
4.2 ΕΙΔΗ ΜΠΑΤΑΡΙΑΣ	46
4.2.1 Πρωτογενείς (Μιας Χρήσεως).....	46
4.2.2 Δευτερογενείς (Επαναφορτιζόμενες).....	47
4.3 ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ ΓΙΑ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	47
4.3.1 Ονομαστικά στοιχεία μιας μπαταρίας.....	47
4.4 ΟΙ ΙΔΙΑΙΤΕΡΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ ΜΙΑΣ Φ/Β ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ	48
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο	49
5. Φ/Β ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ ΑΠΟ ΣΥΝΕΧΕΣ ΣΕ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟ (DC/AC): ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΙΣ (INVERTERS)	49
5.1 ΓΕΝΙΚΑ	49
5.2 THYRISTOR (SCR)	49

5.3 ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΙΣ ΔΙΑΚΟΠΤΙΚΟΥ ΤΥΠΟΥ	50
5.3.1 Μονοφασικοί Αντιστροφείς Ημιγέφυρας.....	51
5.3.2 Μονοφασικοί Αντιστροφείς Πλήρους Γέφυρας.....	51
5.3.3 Τριφασικοί Αντιστροφείς.....	52
5.4 ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ DC/AC ΜΕ ΜΡΡΤ.....	52
5.5 ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΩΝ DC/AC.....	53
5.6 ΕΛΕΓΚΤΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ	54
5.6.1 Παράλληλος ρυθμιστής φόρτισης (Shunt controller).....	55
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο	56
6. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΤΡΟΦΟΔΟΤΗΣΗ ΕΞΟΧΙΚΗΣ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ.....	56
6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	56
6.2 ΟΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΙΣ.....	56
6.3 Η ΧΡΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ.....	58
6.4 Η ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ	58
6.4.1 Η Κλίση Των Συλλεκτών.....	58
6.4.2 Η Απαιτούμενη Ισχύς Αιχμής.....	61
6.4.3 Η Τάση Του Συστήματος	63
6.4.4 Το πλήθος και η οργάνωση των φωτοβολταϊκών πλαισίων.....	63
6.5 ΟΙ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ	65
6.6 ΕΠΙΛΟΓΗ ΡΥΘΜΙΣΤΗ ΦΟΡΤΙΣΗΣ.....	67
6.7 ΕΠΙΛΟΓΗ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑ (INVERTER).....	69
6.7.1 Έλεγχος συμβατότητας φωτοβολταϊκής συστοιχίας και μετατροπέα	71
6.8 ΕΠΙΛΟΓΗ ΒΟΗΘΗΤΙΚΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΠΗΓΗΣ.....	72
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο	73
7. ΤΕΧΝΟ - ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ	73
7.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ.....	73
ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....	75
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	76

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η μεγάλη και συνεχώς αυξανόμενη κατά κεφαλή κατανάλωση ενέργειας, καθώς και η ανάπτυξη του πληθυσμού έχουν σαν άμεσο αποτέλεσμα την επιβάρυνση του περιβάλλοντος με αρκετά υψηλά ποσοστά ρύπων, που σε πολλές περιοχές της υφηλίου έχουν ξεπεράσει τα επιτρεπτά όρια. Μακροπρόθεσμα, η απορρόφηση αυτών των ρυπογόνων ουσιών από τη φύση δεν καθίσταται δυνατή αφού προκύπτουν από ευρεία κατανάλωση οργανικών και μη οργανικών υλικών. Οι αρνητικές επιπτώσεις που είχε τον περασμένο αιώνα η βιομηχανική ανάπτυξη εις βάρος της φύσης παρατηρούνται πλέον σε κάθε έκφανση και μπορούν να μετρηθούν τόσο σε τοπικό επίπεδο όσο και σε παγκόσμια κλίμακα. Έως σήμερα αυτά τα προβλήματα έμειναν άλυτα, ειδικά σε περιπτώσεις που ήλθαν σε αντιπαράθεση με οικονομικά συμφέροντα. Η ανάπτυξη και η οικονομική ευημερία φαίνεται να λειτουργεί ως μόνος γνώμονας και να έχει προτεραιότητα έναντι της ποιότητας ζωής, της διαφύλαξης της ανθρώπινης υγείας αλλά και της διάσωσης σπάνιων και υπό εξαφάνιση ειδών του ζωικού και φυτικού βασιλείου.

Καλούμαστε, λοιπόν, να δούμε με υπευθυνότητα το πρόβλημα της ρύπανσης τόσο γιατί το περιβάλλον γίνεται άμεσα επικίνδυνο για την υγεία όσο και επειδή η ρύπανση έρχεται σε αντίθεση με την οικονομική ανάπτυξη του πρωτογενούς τομέα και της βιομηχανίας τροφίμων. Συνεπώς η μελέτη πρέπει να επικεντρωθεί σε τεχνολογίες που αν όχι ελαχιστοποιούν, εκμηδενίζουν τις ρυπογόνες παραγωγικές διαδικασίες και αντικαθιστούν τις ρυπογόνες ύλες με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η σπουδαιότερη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας είναι ο ήλιος καθώς οι περισσότεροι ενεργειακοί πόροι του πλανήτη σχετίζονται με αυτόν, άλλοι σε μεγαλύτερο και άλλοι σε μικρότερο βαθμό. Η ακτινοβολία που δέχεται η γη από τον ήλιο είναι της τάξης των 1014kWh/h (2.6*10¹⁵kWh/year).

Η πιθανή πλέον απειλή της παγκόσμιας κλιματικής αλλαγής, η ρύπανση της ατμόσφαιρας, η συνεχώς αυξανόμενη ενεργειακή ζήτηση του αναπτυσσόμενου κόσμου και αναπόφευκτα η εξάντληση των ορυκτών καυσίμων έχουν κάνει το βιώσιμο ενεργειακό εφοδιασμό ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα ολόκληρου του πλανήτη. Όπως έχει ήδη αναφερθεί και αναλυθεί, η μοναδική διέξοδος από την καταστροφή του περιβάλλοντος και την κατασπατάληση των αποθεμάτων ενέργειας είναι η στροφή στις καθαρές – ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Μια εκ των οποίων είναι και η ηλιακή ενέργεια, η χρήση της οποίας έχει ως αποτέλεσμα την μείωση των εκπομπών επικίνδυνων ρύπων, όπως των οξειδίων του αζώτου, των ενώσεων του θείου, των καρκινογόνων μικροσωματιδίων, κ.λ.π.

Βασικό κριτήριο της Φ/Β επιλογής έναντι κάποιας άλλης ηλεκτροπαραγωγικής διάταξης είναι η ηλιοφάνεια και το κόστος. Στην Ελλάδα η ηλιοφάνεια είναι υψηλή, οπότε απομένουν οι συγκρίσεις στο κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας μεταξύ των διάφορων μεθόδων ηλεκτροπαραγωγής. Οι συγκρίσεις όμως αυτές έχουν πολλές παραμέτρους τόσο από την πλευρά των εφαρμογών με Φ/Β, όσο και από τις άλλες πηγές, έτσι η απόφαση είναι σχεδόν πάντοτε περιπτώσιακή.

Και στις ημέρες μας προστίθεται και ένας ακόμη λόγος για την υιοθέτηση της χρήσης της ηλιακής ενέργειας - ο λόγος αυτός είναι η μεγάλη αύξηση σε αυτές τις νέες τιμές πετρελαίου. Η εκτόξευση των τιμών του πετρελαίου καθιστά τις συμβατικές ενεργειακές ακριβότερες και τον χρόνο απόσβεσης μιας Φ/Β επένδυσης μικρότερο. Μα και τώρα που οι τιμές υποχώρησαν σε χαμηλότερα επίπεδα το ιστορικό προηγούμενο της αύξησης παραμένει πάντα σαν μια εν δυνάμει κατάσταση.

Τα Φ/Β συστήματα ανήκουν και αυτά με τη σειρά τους στις πολλά υποσχόμενες και σταθερά αναπτυσσόμενες τεχνολογίες παραγωγής ενέργειας. Στηρίζονται εξ ολοκλήρου στην ηλιακή ενέργεια, μια ήπια & ανεξάντλητη & ανανεώσιμη ενεργειακή πηγή.

Αποτέλεσμα; Να αποτελούν έναν ενεργειακό πόρο ασφαλούς, συνεχούς ενεργειακής τροφοδοσίας, ιδιαίτερα φιλικής με το περιβάλλον. Ο ήλιος είναι αναμφισβήτητα μία ανεξάντλητη πηγή ενέργειας, και η εκμετάλλευσή του μπορεί να συμβάλλει καθοριστικά στην κάλυψη σημαντικού μέρους των ενεργειακών αναγκών της χώρας, τόσο σε βιομηχανικό όσο και οικιακό επίπεδο. Οι επιστήμονες εκτιμούν πως η χώρα μας δεν έχει εκμεταλλευτεί την ηλιακή ενέργεια στο βαθμό που θα μπορούσε, δεδομένου ότι η συμβολή της δεν εξαντλείται στη χρήση ηλιακού θερμοσίφωνα, αλλά μπορεί να λειτουργήσει για τη γενικότερη θέρμανση ή και ηλεκτροδότηση ενός χώρου. Τονίζουν δε, ότι απομονωμένα σπίτια, φάροι ακόμα και ολόκληροι οικισμοί μπορούν να καλύψουν τις ανάγκες τους μέσω του ήλιου κάνοντας χρήση των Φ/Β. Με τη μέθοδο αυτή μπορεί να καλυφθούν μικρές ενεργειακές ανάγκες σε ορισμένες ειδικές περιοχές της Ελλάδας, ούτως ώστε να επιτευχθεί τόσο αναβάθμιση στην ποιότητα ζωής των κατοίκων και όσο και στην τουριστική υποδομή.

Πιο συγκεκριμένα δίδεται η δυνατότητα χρήσης οικιακών ή αγροτικών ηλεκτρικών συσκευών, ενώ παράλληλα δημιουργούνται προϋποθέσεις βελτίωσης των υπηρεσιών που παρέχουν οι τοπικές αρχές, όπως οι τηλεπικοινωνιακοί φορείς και τα μέσα γενικής ενημέρωσης. Τα Φ/Β μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως δομικά υλικά παρέχοντας τη δυνατότητα για καινοτόμους αρχιτεκτονικούς σχεδιασμούς. Υπάρχει μεγάλη ποικιλία χρωμάτων, μεγεθών, σχημάτων και μπορούν να παρέχουν ευελιξία και πλαστικότητα στη φόρμα, ενώ δίνουν και δυνατότητα διαφορετικής διαπερατότητας του φωτός ανάλογα με τις ανάγκες του σχεδιασμού. Αντικαθιστώντας άλλα δομικά υλικά συμβάλλουν στη μείωση του συνολικού κόστους μιας κατασκευής (ιδιαίτερα σημαντικό στην περίπτωση των ηλιακών προσόψεων σε εμπορικά κτίρια).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Η ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΚΑΙ Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η εξέλιξη της ανθρωπότητας είναι στενά συνδεδεμένη με τη χρήση ενέργειας. Δεν είναι τυχαίο ότι οι ονομασίες των ιστορικών περιόδων της ανθρωπότητας, λίθινη εποχή, εποχή του σιδήρου ή του χαλκού, προέκυψαν από τις διαφορετικές μορφές ενέργειας που οι άνθρωποι διαχειρίζονταν στις αντίστοιχες εποχές. Σ' όλη την ιστορική του πορεία, ο άνθρωπος χρησιμοποίησε με εφευρετικότητα τις δυνατότητες που του παρείχε απλόχερα η φύση, τη δύναμη της φωτιάς, του νερού, του ανέμου και του ήλιου, με στόχο τη βελτίωση των συνθηκών της διαβίωσης του.

Στους πιο πρόσφατους αιώνες, χρησιμοποίησε την ενέργεια από την καύση του κάρβουνου και του πετρελαίου και βρήκε τρόπο να τη μετατρέπει στην περισσότερο εξευγενισμένη των μορφών της, τον ηλεκτρισμό. Στα μέσα του 20ου αιώνα, ένας νέος τρόπος παραγωγής ενέργειας ήρθε να δημιουργήσει ελπίδες, για ριζική επίλυση του παγκόσμιου ενεργειακού προβλήματος, η πυρηνική ενέργεια. Πολύ γρήγορα, όμως, δραματικά γεγονότα ήλθαν να επιβεβαιώσουν, χωρίς περιθώρια αμφισβήτησης, την αδυναμία μας να διασφαλίσουμε την ελεγχόμενη παραγωγή της πυρηνικής ενέργειας και την αποφυγή ατυχημάτων.

Επιπλέον, άρχισαν να επιβεβαιώνονται, με επιστημονικά τεκμηριωμένο τρόπο, οι προβλέψεις για σημαντικές επιβαρυντικές συνέπειες της μέχρι σήμερα συμπεριφοράς του ανθρώπου στο οικοσύστημα, εξαιτίας της αλόγιστης χρήσης των συμβατικών καυσίμων και πολλών, φαινομενικά αθώων, τεχνολογικών προϊόντων. Η παραγωγή και χρήση της ενέργειας που προέρχεται από τα συμβατικά καύσιμα δημιούργησαν μια σειρά από περιβαλλοντικά προβλήματα με αιχμή τους, το γνωστό σε όλους μας, φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Η υπερθέρμανση του πλανήτη αλλά και η υποβάθμιση του περιβάλλοντος σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο δεν αφήνουν κανένα περιθώριο εφησυχασμού. Σύμφωνα με την Διακυβερνητική Επιτροπή για την αλλαγή του κλίματος (IPCC) προβλέπεται θέρμανση του πλανήτη κατά 0.2°C ανά δεκαετία, ενώ υποθέτοντας πως τα επίπεδα συγκέντρωσης αερίων του θερμοκηπίου παραμένουν σε εκείνα του 2000, αναμένεται επίσης αύξηση, κατά 0.1°C ανά δεκαετία. Εάν δεν ληφθούν μέτρα, προβλέπεται ότι η αύξηση της στάθμης της θάλασσας θα είναι σύμφωνα με την πλέον συντηρητική εκτίμηση 18-38cm ή 26-59cm σύμφωνα με το πλέον απαισιόδοξο σενάριο για τα μελλοντικά επίπεδα εκπομπής. Προβλέπεται επίσης ότι θα σημειωθεί αύξηση κατά 1.4 έως 5.8 βαθμούς έως τα τέλη του αιώνα. Όλες οι περιοχές του κόσμου θα αντιμετωπίσουν σοβαρές συνέπειες, τόσο για τις οικονομίες τους, όσο και για τα οικοσυστήματά τους. Για το λόγο αυτό η διεθνής ερευνητική κοινότητα και η ενεργειακή βιομηχανία έχουν στρέψει το ενδιαφέρον τους σε σύγχρονες “καθαρές” τεχνολογίες παραγωγής με βελτιωμένα, ενεργειακά και περιβαλλοντικά, απόδοση, όπως είναι η αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ).

1.2 ΟΙ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΗΜΕΡΑ

Το σύνολο των πηγών ενέργειας, που ο άνθρωπος έχει στη διάθεση του διακρίνεται σε δυο κύριες κατηγορίες. Στις πηγές εκείνες που βασίζονται σε υπάρχοντα αποθέματα μέσα στο στερεό φλοιό της γης, με συγκεκριμένη διάρκεια ζωής, και σ' αυτές που καθημερινά και αέναα μας παρέχονται σε βαθμό ήπιας εκμετάλλευσης.

Στις πρώτες ανήκουν τα ορυκτά καύσιμα (πετρέλαιο, φυσικό αέριο, κάρβουνο), αναφερόμενα και ως συμβατικά καύσιμα και η χαρακτηριστικά, μη ήπια μορφή ενέργειας, η πυρηνική ενέργεια.

Οι δεύτερες, έχουν βασική τους προέλευση τον ήλιο. Η ακτινοβολούμενη από τον ήλιο ενέργεια, που φτάνει στη γη, εκτός από τη γενικότερη συμβολή της στη δημιουργία, ανάπτυξη και διατήρηση της ζωής στον πλανήτη μας, δίδει ακατάπαυστα ενέργεια, με διάφορες μορφές αξιοποίησης. Άμεσα θερμαίνει, εξατμίζει μεγάλες ποσότητες θαλασσινού νερού και συντηρεί τον γνωστό φυσικό κύκλο, δημιουργώντας τις λίμνες και τα ποτάμια, που αποτελούν πρόσθετη πηγή ενέργειας (υδατοπτώσεις). Θέτει σε κίνηση τις αέριες μάζες της ατμόσφαιρας (αιολική ενέργεια), δημιουργεί τα κύματα (ενέργεια κυμάτων) και συμβάλλει στη δημιουργία των θαλασσιών ρευμάτων. Απορροφούμενη από συνδυασμένα υλικά παράγει ηλεκτρισμό (φωτοβολταϊκό φαινόμενο), συμβάλλει στην ανάπτυξη της χλωρίδας, η καύση δε των φυτικών προϊόντων παράγει ενέργεια (βιομάζα).

Οι κύριες πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται σήμερα είναι κάρβουνο, το πετρέλαιο και η πυρηνική ενέργεια.

1.2.1 Το κάρβουνο

Αποτέλεσε για πολλά χρόνια μέχρι σήμερα, την κύρια καύσιμη ύλη. Σ' αυτό βασίστηκε κατά κύριο λόγο, η βιομηχανική επανάσταση. Μεγάλο μέρος της σημερινής παγκόσμιας βιομηχανικής παραγωγής βασίζεται στην ενέργεια από την καύση του ορυκτού άνθρακα.

1.2.2 Το πετρέλαιο

Είναι γνωστό από την αρχαιότητα, αλλά η βιομηχανική του εκμετάλλευση άρχισε στα τέλη του 15ου αιώνα. Η παγκόσμια παραγωγή του εντατικοποιήθηκε από τα μέσα του 19^{ου} αιώνα, ενώ από τα μέσα του 20^{ου}, οι ρυθμοί εκμετάλλευσης πήραν εκρηκτικές διαστάσεις. Σήμερα, μετά από δυο πετρελαϊκές κρίσεις (1973 και 1979) και τη διαπίστωση ορατών πλέον επιπτώσεων στο περιβάλλον μας, συνειδητοποιούμε την ανάγκη αλλαγής τρόπου ζωής μας και αναζήτησης λύσεων από το χώρο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Παράλληλα, αποκτά ιδιαίτερο νόημα η εφαρμογή αυστηρότερης πολιτικής στον τομέα της ορθολογικής χρήσης και εξοικονόμησης ενέργειας.

Τα συμβατικά καύσιμα καλύπτουν το 85% της καταναλισκόμενης ενέργειας στις αναπτυγμένες χώρες και το 55% στις υπό ανάπτυξη. Στις τελευταίες, το ποσοστό χρήσης πετρελαίου, ως ενεργειακής πηγής, συνεχίζει να αυξάνει, ενώ στις αναπτυγμένες χώρες παρατηρείται τάση μείωσής του, με σταδιακή διεύθυνση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Εκτιμάται ότι τα υπάρχοντα αποθέματα των πηγών αυτών θα επαρκέσουν ακόμα για περίπου 200 χρόνια για το κάρβουνο, 60 χρόνια για το φυσικό αέριο και 50 χρόνια για το πετρέλαιο.

Η καύση του άνθρακα, του πετρελαίου και των παραγώγων του δίδει, ως άμεσα προϊόντα το CO₂, τα οξείδια του αζώτου και του θείου. Οι αυξημένες ποσότητες των αερίων αυτών, που εισέρχονται στην ατμόσφαιρα, αποτελούν μια μόνιμη απειλή για το μέλλον μας, προκαλώντας ισχυρές κλιματικές αλλαγές και επιβαρυντική απόκλιση από τις κανονικές συνθήκες ισορροπίας του φαινομένου του θερμοκηπίου.



Σχήμα 1.2.1: Παραγωγή ρύπων από την καύση του άνθρακα, του πετρελαίου και των παραγώγων του.

1.2.3 Η πυρηνική ενέργεια

Από το 1945 και μετά, προστέθηκε στις μεγάλης ισχύος πηγές ενέργειας, η πυρηνική, στην οποία αρχικά βασίστηκαν πολλές ελπίδες. Η Γαλλία είναι από τις χώρες που έδωσαν μεγάλη έμφαση στην ανάπτυξή της, χρησιμοποιώντας, κατά την περίοδο της δεκαετίας του '70, το μη πειστικό πια επιχείρημα της παραγωγής καθαρής ηλεκτρικής ενέργειας. Σήμερα αντιλαμβανόμαστε με απόγνωση, την αδυναμία μας να λύσουμε το πρόβλημα της ανεξέλεγκτης διασποράς των πυρηνικών όπλων ή της διασφαλισμένης αποθήκευσης των πυρηνικών αποβλήτων και αισθανόμαστε τρόμο για τα ολοένα και πιο πιθανά πυρηνικά ατυχήματα.

Η πυρηνική ενέργεια προορίζεται, στο βαθμό που έχει αναπτυχθεί σήμερα, κυρίως για παραγωγή ηλεκτρισμού βάσης, δηλαδή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σταθερής ισχύος χωρίς δυνατότητα κάλυψης των διακυμάνσεων ζήτησης. Καλύπτει το 6,5% της παγκόσμιας ενεργειακής ζήτησης και το 17% της παγκοσμίως παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Το περιορισμένο των κοιτασμάτων του βασικού υλικού (Ουράνιο), τα πυρηνικά απόβλητα και η απειλητική πιθανότητα ολοσχερούς καταστροφής του κόσμου μας, είτε από την υποτιθέμενη

υπό έλεγχο πυρηνική αντίδραση, είτε από την ανεξέλεγκτη διασπορά των πυρηνικών όπλων, βάζουν φρένο στη χρήση τους.

Όλες οι μεγάλης πυκνότητας ισχύος συμβατικές πηγές ενέργειας, εκτός από την αδιαμφισβήτητη προσφορά τους στην ανάπτυξη της τεχνολογίας και της επιστήμης και τη μεγάλη συμβολή τους στη βελτίωση της διαβίωσης του ανθρώπου, συνδέονται δυστυχώς, με πολύ σοβαρές και εμφανώς αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Έτσι, ενισχύεται διεθνώς η άποψη για μερική, σε πρώτη φάση, αντικατάστασή τους με άλλες πηγές ενέργειας, που να μη ρυπαίνουν και να ενσωματώνονται φιλικά στο περιβάλλον, τις λεγόμενες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

1.3 ΟΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (ΑΠΕ)

Οι ΑΠΕ πρακτικά είναι ανεξάντλητες, η χρήση τους δεν ρυπαίνει το περιβάλλον ενώ η αξιοποίησή τους περιορίζεται μόνο από την ανάπτυξη αξιόπιστων και οικονομικά αποδεκτών τεχνολογιών που θα έχουν σαν σκοπό την δέσμευση του δυναμικού τους. Το ενδιαφέρον για την ανάπτυξη των τεχνολογιών αυτών εμφανίστηκε αρχικά μετά την πρώτη πετρελαϊκή κρίση του 1974 και παγιώθηκε μετά τη συνειδητοποίηση των παγκόσμιων σοβαρών περιβαλλοντικών προβλημάτων την τελευταία δεκαετία. Για πολλές χώρες, οι ΑΠΕ αποτελούν μια εγχώρια πηγή ενέργειας με ευνοϊκές προοπτικές συνεισφορές στο ενεργειακό τους ισοζύγιο, συμβάλλοντας στην μείωση της εξάρτησης από το ακριβό εισαγόμενο πετρέλαιο και στην ενίσχυση της ασφάλειας του ενεργειακού τους εφοδιασμού. Παράλληλα, συμβάλλουν στη βελτίωση της ποιότητας του περιβάλλοντος, καθώς έχει πλέον διαπιστωθεί ότι ο ενεργειακός τομέας είναι ο κλάδος που ευθύνεται κατά κύριο λόγο για τη ρύπανση του περιβάλλοντος.

Οι μορφές των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι η υδατόπτωση, η ενέργεια κυμάτων, παλιρροϊκών κινήσεων και θαλάσσιων ρευμάτων, η βιομάζα, η γεωθερμική ενέργεια, η αιολική ενέργεια και η φωτοβολταϊκή ηλεκτρική ενέργεια.

1.3.1 Υδατόπτωση

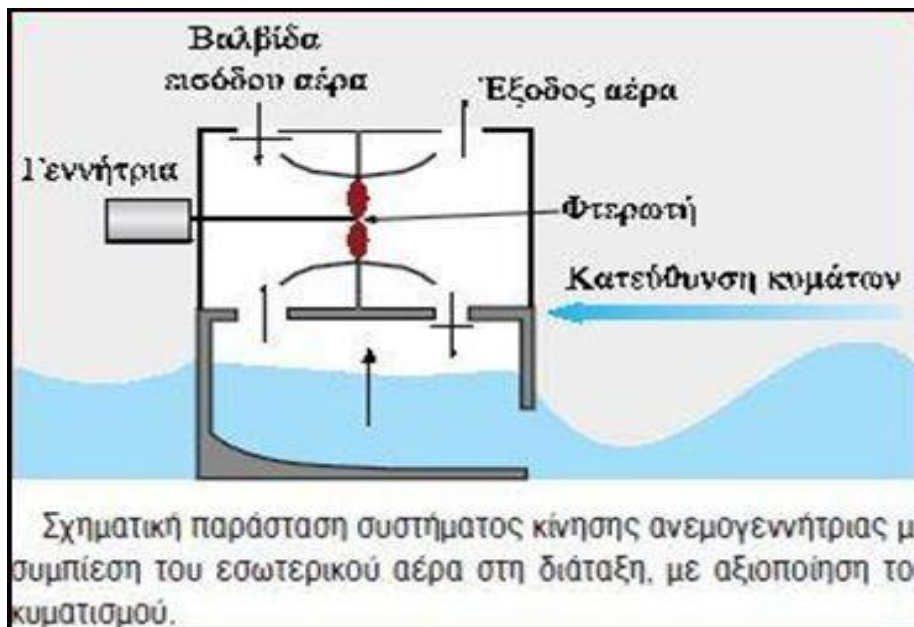
Αποτελεί έναν από τους πιο φυσικούς τρόπους παραγωγής μεγάλης ισχύος, οικολογικά καθαρής, ηλεκτρικής ενέργειας, με ανανεώσιμη συμπεριφορά. Εκμεταλλευόμαστε την ύπαρξη φυσικών λεκανών συλλογής των όμβριων υδάτων σε συγκεκριμένες περιοχές, με κατάλληλη εδαφική διαμόρφωση, κατασκευάζοντας φράγματα. Η υδατόπτωση κινεί υδροστρόβιλους, που με την σειρά τους θέτουν σε κίνηση ηλεκτρογεννήτριες. Η δημιουργία τεχνητών λιμνών με φράγματα έχει περιορισμένη εφαρμογή λόγω των απαιτούμενων ειδικών εδαφικών χαρακτηριστικών. Επιπλέον, σε πολλές περιπτώσεις η κατασκευή ενός φράγματος, παρότι η περιοχή καλύπτει τα τεχνικά κριτήρια, μπορεί να προκαλέσει σημαντική οικολογική καταστροφή και ενδεχομένως μετακίνηση πληθυσμού, λόγω της κατάκλισης με νερό εκτεταμένων εύφορων και με ιδιαίτερη φυσική ομορφιά περιοχών. Η υδροηλεκτρική παραγωγή ενέργειας καλύπτει, περίπου το 7% της παγκόσμιας ενεργειακής παραγωγής.



Σχήμα 1.3.1: Το υδροηλεκτρικό εργοστάσιο του Λάδωνα, στην Αρκαδία.

1.3.2 Ενέργεια κυμάτων, παλιρροϊκών κινήσεων και θαλάσσιων ρευμάτων

Η παραγωγή ενέργειας από τα κύματα ή τις παλιρροϊκές κινήσεις, έχει αξιοποιηθεί σε συγκεκριμένες θέσεις, όπου το ύψος των κυμάτων και η διάρκεια κυματισμού καθώς και η ταχύτητα των θαλασσίων ρευμάτων επιτρέπουν την ενεργειακή αξιοποίησή τους.



1.3.3 Βιομάζα

Η βιομάζα καλύπτει σήμερα το 14% της παγκοσμίως απαιτούμενης ενέργειας. Η καύση αποτελεί, ουσιαστικά, ουδέτερη διαδικασία από την άποψη του φαινομένου του θερμοκηπίου, αρκεί να μην διαταράσσεται η λεπτή ισορροπία στο φυσικό περιβάλλον.

1.3.4 Γεωθερμική ενέργεια

Αφορά την ενέργεια των θερμών νερών (ή ατμών του νερού), που αναβλύζουν μέσα από ηφαιστειακές διόδους ή ρήγματα του υπεδάφους. Σύμφωνα με την επικρατέστερη θεωρία, η θέρμανση των γεωθερμικών ρευστών αποδίδεται κυρίως, στην εκλύομενη ενέργεια κατά τη διάσπαση των ραδιενεργών ισοτόπων στο στερεό φλοιό της γης. Όταν η θερμοκρασία των γεωθερμικών ρευστών είναι χαμηλή, η ενέργειά τους χρησιμοποιείται κυρίως για την θέρμανση κτιρίων, θερμοκηπίων, κτηνοτροφικών μονάδων, ιχθυοκαλλιεργειών κ.α. , ενώ στις περιπτώσεις που η θερμοκρασία των ατμών είναι υψηλή (>150°C), μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.



Σχήμα 1.3: Γεωθερμική γεώτρηση στη Ν.Κεσσάνη (Ν. Ξάνθης)

1.3.5 Αιολική ενέργεια

Η εγκατάσταση αιολικών συστημάτων για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τον άνεμο, με χρήση ανεμογεννητριών οριζόντιου ή κατακόρυφου άξονα πτερυγίων, βρίσκεται σήμερα σε εντυπωσιακή εξέλιξη. Στη χώρα μας λειτουργούν αρκετά αιολικά πάρκα, με ισχύ από μερικές εκατοντάδες kW έως μερικές δεκάδες MW, κυρίως διασυνδεδεμένα με το δίκτυο της ΔΕΗ.

Το αιολικό δυναμικό, δηλαδή η μέση ετήσια ταχύτητα του ανέμου, σε πολλά σημεία της χώρας μας βρίσκεται σε εξαιρετικά υψηλά επίπεδα για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Στα νησιά του Αιγαίου το αιολικό δυναμικό παρουσιάζει μια μέση ετησίως τιμή, από 7 έως 11 m/s, το οποίο υπερκαλύπτει την αποδοτική για τις ανεμογεννήτριες, περιοχή ταχυτήτων ανέμου και κατ' επέκταση τις απαιτήσεις σε ηλεκτρική ενέργεια των νησιών αυτών. Συνεπώς, ο νησιωτικός χώρος αποτελεί ιδανικό πεδίο εφαρμογής της τεχνολογίας των αιολικών συστημάτων.

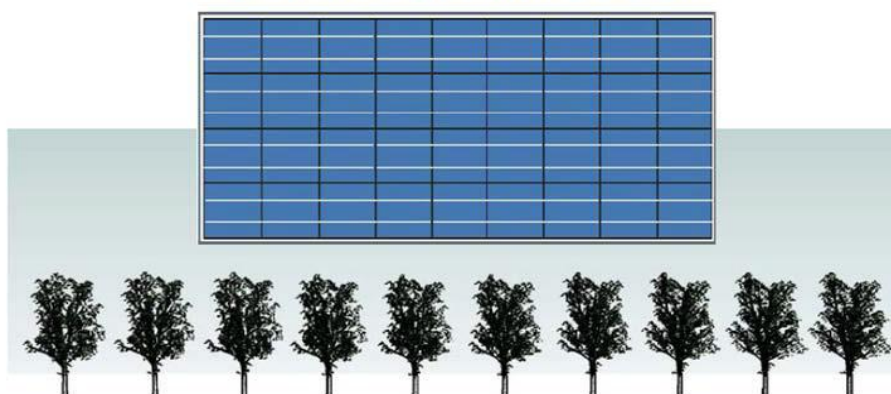


Σχήμα 1.4: Αιολικό πάρκο στην περιοχή Αχλάδια Σητείας Κρήτης, ισχύος 27,5MW

1.3.6 Ηλιακή ενέργεια

Το ενδιαφέρον για την ηλιακή ενέργεια εντάθηκε όταν, χάρη στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο, διαπιστώθηκε η πρακτική δυνατότητα της εύκολης, άμεσης και αποδοτικής μετατροπής της σε ηλεκτρική ενέργεια με την κατασκευή φωτοβολταϊκών γεννητριών. Τα φωτοβολταϊκά είναι από τις πλέον υποσχόμενες τεχνολογίες για την περιβαλλοντικά ήπια παραγωγή ενέργειας και την απεξάρτηση από το πετρέλαιο, ενώ το κόστος τους είναι ήδη ανταγωνιστικό σε σχέση με τις συμβατικές μεθόδους παραγωγής σε αρκετές εφαρμογές ηλεκτροπαραγωγής. Κάθε εγκαταστημένο κιλοβάτ φωτοβολταϊκών συμβάλλει ετησίως στην αποφυγή εκπομπής περίπου 1,5 τόνου CO₂, προστατεύοντας ουσιαστικά το περιβάλλον και την υγεία των πολιτών.

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΟΦΕΛΗ



1=10

Ένα μέσο φωτοβολταϊκό πλαίσιο ισοδυναμεί με 10 δέντρα

Όπως δείχνεται συνοπτικά στον πίνακα 1.1, η φωτοβολταϊκή μέθοδος μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια έχει μόνο πλεονεκτήματα, αν εξαιρέσει κανείς το κόστος, που είναι ακόμη αρκετά υψηλό για τις περισσότερες εφαρμογές, και την αδυναμία της φωτοβολταϊκής γεννήτριας να παράγει συνεχώς ηλεκτρική ενέργεια λόγω των διακυμάνσεων της ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας κατά την διάρκεια του 24ώρου.

Ανάλογα με το βαθμό πολυπλοκότητας στην κατασκευή και στην λειτουργία, μπορούμε να κατατάξουμε τις φωτοβολταϊκές γεννήτριες σε τρεις κατηγορίες:

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

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
<ol style="list-style-type: none"> 1. Ανανεώσιμη και ελεύθερα διαθέσιμη ενεργειακή πηγή. 2. Ικανοποιητική απόδοση μετατροπής. 3. Σχετικά εύκολη μέθοδος κατασκευής των ηλιακών στοιχείων από πρώτες ύλες που αφθονούν. 4. Πρακτικά απεριόριστη διάρκεια ζωής των ηλιακών στοιχείων (τουλάχιστον 20 με 30 χρόνια). 5. Τα ηλιακά στοιχεία δεν έχουν κινούμενα μέρη, επομένως είναι σχεδόν απαλλαγμένα από την ανάγκη επίβλεψης και συντήρησης (αρκεί συνήθως η επίβλεψή τους μια φορά κάθε εξάμηνο). 6. Η φωτοβολταϊκή μετατροπή δεν προκαλεί ρύπανση στο περιβάλλον, ούτε θόρυβο ή άλλη ενόχληση και δεν δημιουργεί άλλα απόβλητα ή άλλα άχρηστα παραπροϊόντα. 7. Δίνει την δυνατότητα ανεξαρτησίας από κεντρικά ηλεκτρικά δίκτυα διανομής. 8. Οι φωτοβολταϊκοί σταθμοί μπορούν να λειτουργούν με όσο μικρή ισχύ ζητηθεί. 9. Η αναλογία της παραγόμενης ισχύος προς το βάρος της διάταξης είναι αρκετά μεγάλη, περίπου 100W/kg, που είναι σημαντική ιδιότητα για τις διαστημικές εφαρμογές. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Υψηλό κόστος κατασκευής των ηλιακών στοιχείων. 2. Για τις περισσότερες εφαρμογές απαιτείται η δαπανηρή αποθήκευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, λόγω της αστάθειας και της μεγάλης διακύμανσης της ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας. 3. Απαιτείται η χρησιμοποίηση μεγάλων σχετικά επιφανειών, λόγω της μικρής πυκνότητας της ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας.

Πίνακας 1.1: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

2. ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

2.1 ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

Ηλιακή ενέργεια χαρακτηρίζεται το σύνολο των διαφόρων μορφών ενέργειας που προέρχονται από τον Ήλιο. Τέτοιες είναι το φως ή φωτεινή ενέργεια, η θερμότητα ή θερμική ενέργεια καθώς και διάφορες ακτινοβολίες πέρα από το ορατό φάσμα. Η ηλιακή ενέργεια στο σύνολό της είναι πρακτικά ανεξάντλητη, αφού προέρχεται από τον ήλιο, και ως εκ τούτου δεν υπάρχουν περιορισμοί χώρου και χρόνου για την εκμετάλλευσή της.

Όσον αφορά την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας, θα μπορούσαμε να πούμε ότι χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες εφαρμογών: τα παθητικά ηλιακά συστήματα, τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα, και τα Φ/Β συστήματα. Τα παθητικά και τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα εκμεταλλεύονται τη θερμότητα που εκπέμπεται μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας, ενώ τα Φ/Β συστήματα στηρίζονται στη μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρικό ρεύμα μέσω του Φ/Β φαινομένου.



Εικόνα 2.1 Διαχωρισμός ηλιακών συστημάτων

Με μια καλή προσέγγιση, ο ήλιος ενεργεί ως μια τέλεια πηγή ακτινοβολίας, σε μια θερμοκρασία κοντά στους 5.800 K. Η προσπίπτουσα ροή ενέργειας πάνω σε μια μονάδα επιφάνειας κάθετη προς τη διεύθυνση της δέσμης έξω από τη γήινη ατμόσφαιρα είναι γνωστή ως η ηλιακή σταθερά: $S=1376 \text{ W/τ.μ.}$. Γενικότερα, η ολική ισχύς από μια πηγή ακτινοβολίας που πέφτει πάνω στη μονάδα επιφάνειας ονομάζεται ένταση ακτινοβολίας.

Όταν η ηλιακή ακτινοβολία εισέρχεται στη γήινη ατμόσφαιρα, ένα μέρος της προσπίπτουσας ενέργειας αναιρείται λόγω της σκέδασης ή της απορρόφησης από τα μόρια του αέρα, τα σύννεφα και το υλικό που συνήθως αναφέρεται ως aerosols.

Η ακτινοβολία, η οποία δεν ανακλάται ή διασκορπίζεται και προσεγγίζει την επιφάνεια της γης άμεσα σε ευθεία γραμμή από τον ηλιακό δίσκο, ονομάζεται άμεση ή ακτινοβολία δέσμης. Η διασκορπισμένη ακτινοβολία η οποία προσεγγίζει το έδαφος ονομάζεται διαχεόμενη ακτινοβολία. Κάποια από τις ακτινοβολίες αυτές ίσως προσεγγίσει ένα δέκτη μετά την ανάκλασή της στο έδαφος, οπότε και ονομάζεται ανακλώμενη ισχύς από το έδαφος. Η ολική ακτινοβολία η οποία αφορά και τις τρεις επιμέρους περιπτώσεις ονομάζεται σφαιρική. Η ποσότητα της ακτινοβολίας η οποία φτάνει στο έδαφος είναι φυσικά άκρως μεταβλητή. Επιπλέον, πέρα από την όποια κανονική ημερήσια και ετήσια μεταβολή λόγω της φαινόμενης κίνησης του ήλιου, ακατάστατες μεταβολές (κάλυψη από σύννεφα) προκαλούνται από τις κλιματολογικές συνθήκες καθώς επίσης και τη γενικότερη σύνθεση της ατμόσφαιρας. Γι' αυτό το λόγο, η σχεδίαση ενός Φ/Β συστήματος βασίζεται στη λήψη μετρούμενων δεδομένων που λαμβάνονται κοντά στην τοποθεσία της εγκατάστασης.

Ένα μέγεθος που χαρακτηρίζει την επίδραση της καθαρής ατμόσφαιρας πάνω στο ηλιακό φως είναι η μάζα αέρος ίση προς το σχετικό μήκος της διαδρομής της απευθείας δέσμης διαμέσου της ατμόσφαιρας. Στη διάρκεια μιας ηλιόλουστης καλοκαιρινής ημέρας στο επίπεδο της θάλασσας, η ακτινοβολία από τον ήλιο, όταν βρίσκεται στο Ζενίθ, αντιστοιχεί σε μάζα αέρος 1 (συντετημημένο σε AM 1).

2.2 ΗΛΙΑΚΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ

Το πρώτο βήμα για την ανάπτυξη του φωτοβολταϊκού συστήματος είναι ο υπολογισμός της προσφερόμενης από τον ήλιο ενέργειας. Δεδομένα της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας βρίσκονται στην διεθνή βιβλιογραφία καθώς και στις βάσεις δεδομένων των μετεωρολογικών υπηρεσιών, των Πολυτεχνικών Ιδρυμάτων και του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ). Οι εμπειρικοί τύποι για τον υπολογισμό της απολαβής από τις φωτοβολταϊκές κυψέλες βασίζονται στην ονομαστική ισχύ που δίνεται από τον κατασκευαστή και την στατιστικά μέση ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας της εξεταζόμενης περιοχής που εξάγονται από τους χάρτες ηλιακού δυναμικού. Οι χάρτες του ηλιακού δυναμικού (Σχήμα 2.1) παρουσιάζουν τις διάφορες γεωγραφικές ζώνες όπου η ηλιακή ενέργεια ανά τετραγωνικό μέτρο έχει παρόμοιες τιμές. Ένα χρήσιμο συμπέρασμα που εξάγεται από τους χάρτες αυτούς είναι ότι δίνεται η δυνατότητα να υπολογιστεί πόσο μεγαλύτερη ή μικρότερη είναι η ηλιακή ακτινοβολία από περιοχή σε περιοχή.



Σχήμα 2.1: Χωρισμός της χώρας σε 6 κλιματικές ζώνες με παρόμοιες μετεωρολογικές συνθήκες

Στις εφαρμογές που γίνεται χρήση της ηλιακής ακτινοβολίας το φωτοβολταϊκό πάνελ έχει μια ορισμένη κλίση σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο καθώς και έναν προσανατολισμό, τα οποία εξαρτώνται από την γεωγραφική θέση της εγκατάστασης. Η ρύθμιση της κλίσης και του προσανατολισμού γίνονται με σκοπό την μεγαλύτερη δυνατή απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας στην διάρκεια του έτους ή σε συγκεκριμένες χρονικές περιόδους.

2.3 ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΕ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ ΕΠΙΠΕΔΟ

Οι υπολογισμοί πραγματοποιούνται με βάση σχεδιασμό που προϋποθέτει νότιο προσανατολισμό (σε βόρεια γεωγραφικά πλάτη) και αζιμούθιο 0° – ώστε να μη παρατηρούνται φαινόμενα σκίασης από άλλα αντικείμενα - μεταξύ 9 π.μ. και 3 μ.μ. την πιο σύντομη ημέρα του έτους. Προκειμένου να υπολογιστεί η μέση μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία σε μια οριζόντια επιφάνεια, υπολογίζεται αρχικά η ημερήσια ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο εκτός ατμόσφαιρας (H_{ext}):

$$H_{ext} = \frac{24 \times 3600 \times I_{sc}}{\pi} \left(1 + 0.033 \cos \left(\frac{n}{365} \times 360 \right) \right) \times \left(\cos \varphi \cos \delta \cos \omega_s + \frac{\pi \times \omega_s}{180} \sin \varphi \sin \delta \right)$$

όπου:

I_{sc} η μέση τιμή της ηλιακής σταθεράς, $I_{sc} = 1353 \text{ (W/m}^2\text{)}$

n ο αύξων αριθμός της αντίστοιχης μέρας του έτους. Μέρα έναρξης θεωρείται η 1η Ιανουαρίου: $n=1$

δ είναι η απόκλιση του ήλιου και υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\delta = 23.45 \sin (360 (284+n)/365)$$

ω_s ωριαία γωνία δύσης του ήλιου και υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\omega_s = \cos^{-1}(-\tan\phi \tan\delta)$$

ϕ είναι το γεωγραφικό πλάτος της τοποθεσίας

2.3.1 Ηλιακή ακτινοβολία \bar{H} σε οριζόντιο επίπεδο

Οι τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας \bar{H} σε οριζόντιο επίπεδο μπορούν να υπολογιστούν από τη σχέση:

$$\bar{H} = \bar{K}_t \times \bar{H}_{ext} \text{ (όπου } K_t \text{ είναι ο δείκτης αιθριότητας)}$$

Σε όλους τους υπολογισμούς που θα πραγματοποιήσουμε, επιλέγεται η χρήση των δεδομένων που στηρίζονται στο διαχωρισμό ανάλογα με τις κλιματικές ζώνες (Πίνακας 1) και στην συγκεκριμένη περίπτωση της ζώνης 3.

Κλιματολογική Ζώνη 3	
Γεωγραφικό Μήκος (λ)	38° 14'
Γεωγραφικό Πλάτος (ϕ)	22° 03'
Αζιμούθιο	0°
Panel Fixed Tilt	30°
Προσανατολισμός	Νότιος

Πίνακας 2.1: Δεδομένα για τη περιοχή

Ο πίνακας που ακολουθεί παρουσιάζει μετρήσεις της ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο και περιέχει δεδομένα με βάση το διαχωρισμό σε κλιματολογικές ζώνες (Πίνακας 2).

Μήνας	Μέση Θερμοκρασία (C°)	Μηνιαία Ηλιακή Ακτινοβολία σε οριζόντια επιφάνεια (Κλιματολογικές Ζώνες - kWh/m ² per month)
Jan	10	61.6
Feb	10.6	72.52
Mar	12.5	112
Apr	15.6	138.04
May	20.1	191.52
Jun	24.1	208.6
Jul	26.4	218.68
Aug	26.7	199.64
Sep	23.5	147.28
Oct	19	102.76
Nov	14.5	67.48
Dec	11.4	52.36
Average	17.8	131.04 (selected value)

Πίνακας 2.2: Μέση Θερμοκρασία και Μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο (kWh/m² per month)

2.3.2 Συντελεστής μετατροπής της ακτινοβολίας από το οριζόντιο στο κεκλιμένο επίπεδο.

Το επόμενο βήμα είναι να υπολογίσουμε το R_b , δηλ. το συντελεστή μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολία από το οριζόντιο στο κεκλιμένο επίπεδο. Εξ' ορισμού:

$$R_b = \frac{I_{b,n}}{I_{b,h}} = \frac{\text{Solar beam (direct) on a tilted plane}}{\text{Solar beam (direct) on horizontal}}$$

$$\Rightarrow I_{b,n} = R_b \times I_{b,h}$$

το \bar{R}_b είναι η υπολογισμένη μηνιαία τιμή του R_b , καθώς η προσομοίωση στη περίπτωση μας είναι σε μηνιαία βάση, το ϕ το γεωγραφικό πλάτος της τοποθεσίας, το β η κλίση του πάνελου και το ω 's είναι η γωνία δύσης του ηλίου στο κεκλιμένο επίπεδο. Το \bar{R}_b υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\bar{R}_b = \frac{\cos(f-b)\cos(d)\sin(w'_s) + (p/180)w'_s \sin(f-b)\sin(d)}{\cos(f)\cos(d)\sin(w_s) + (p/180)\sin(f)\sin(d)}$$

2.3.3 Η γωνία δύσης του ηλίου

Η γωνία δύσης του ηλίου ως προς το κεκλιμένο επίπεδο δίνεται από τη σχέση:

$$\omega'_s = \min[\cos^{-1}(-\tan\phi\tan\delta), \cos^{-1}(\tan(\beta)\tan\delta)]$$

Το ω'_s είναι η μικρότερη από τις δύο παραπάνω γωνίες:

$$\omega_s \text{ and } \cos^{-1}(-\tan(\phi-\beta)\tan\delta).$$

Ο λόγος, \bar{R} , της μηνιαίας ολικής ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένη επιφάνεια β , προς τη μηνιαία ολική ακτινοβολία σε οριζόντια επιφάνεια, δίνεται από τη σχέση:

$$\bar{R} = \frac{\bar{H}_T}{H} = \left(1 - \frac{\bar{H}_d}{H}\right)\bar{R}_b + \frac{\bar{H}_d}{H} \left(\frac{1 + \cos b}{2}\right) + r \left(\frac{1 - \cos b}{2}\right)$$

Zone 3										
Tilt	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
Month										
Jan	1.00	1.20	1.37	1.51	1.62	1.69	1.71	1.69	1.63	1.53
Feb	1.00	1.13	1.24	1.32	1.37	1.39	1.38	1.33	1.25	1.15
Mar	1.00	1.08	1.13	1.17	1.17	1.15	1.11	1.03	0.93	0.81
Apr	1.00	1.03	1.04	1.03	0.99	0.94	0.87	0.78	0.66	0.55
May	1.00	1	0.98	0.94	0.88	0.81	0.72	0.62	0.52	0.41
Jun	1.00	0.98	0.95	0.9	0.83	0.75	0.66	0.55	0.45	0.34

Jul	1.00	0.99	0.96	0.92	0.85	0.77	0.68	0.58	0.47	0.36
Aug	1.00	1.02	1.02	1	0.95	0.89	0.81	0.71	0.60	0.48
Sept	1.00	1.07	1.11	1.13	1.12	1.09	1.03	0.95	0.85	0.72
Oct	1.00	1.12	1.23	1.3	1.35	1.36	1.33	1.28	1.20	1.08
Nov	1.00	1.19	1.35	1.48	1.58	1.63	1.65	1.62	1.56	1.45
Dec	1.00	1.21	1.39	1.55	1.66	1.74	1.77	1.76	1.70	1.60

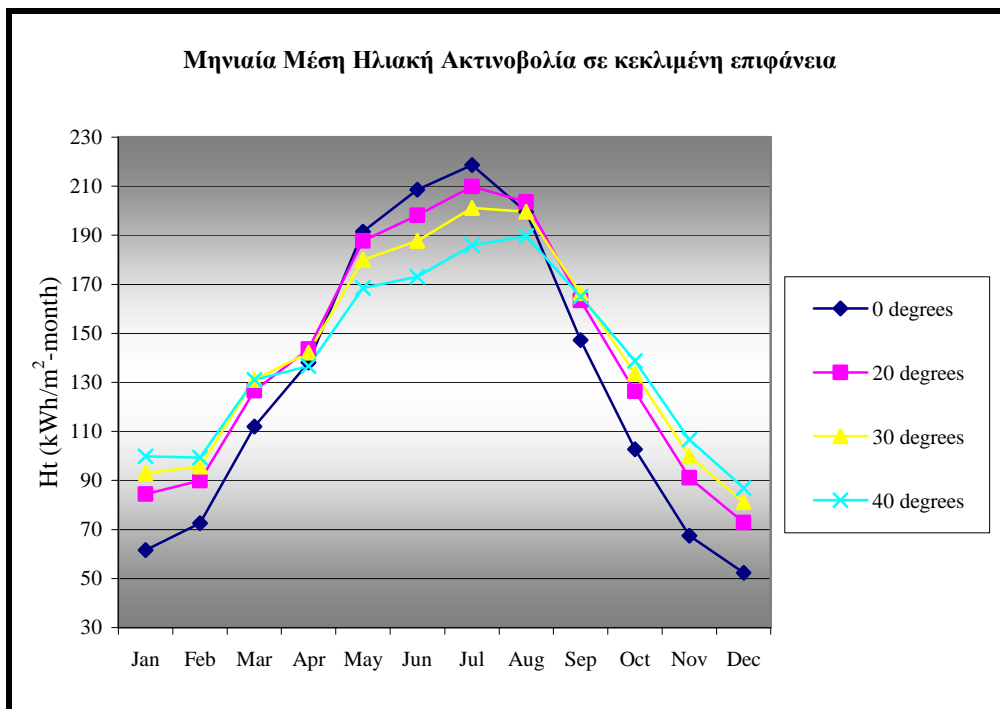
Πίνακας 2.3: Συντελεστής μετατροπής \bar{R} . Υπολογισμένες μηνιαίες τιμές για τη μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας από το οριζόντιο στο κεκλιμένο επίπεδο.

2.4 Η ΜΕΣΗ ΟΛΙΚΗ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

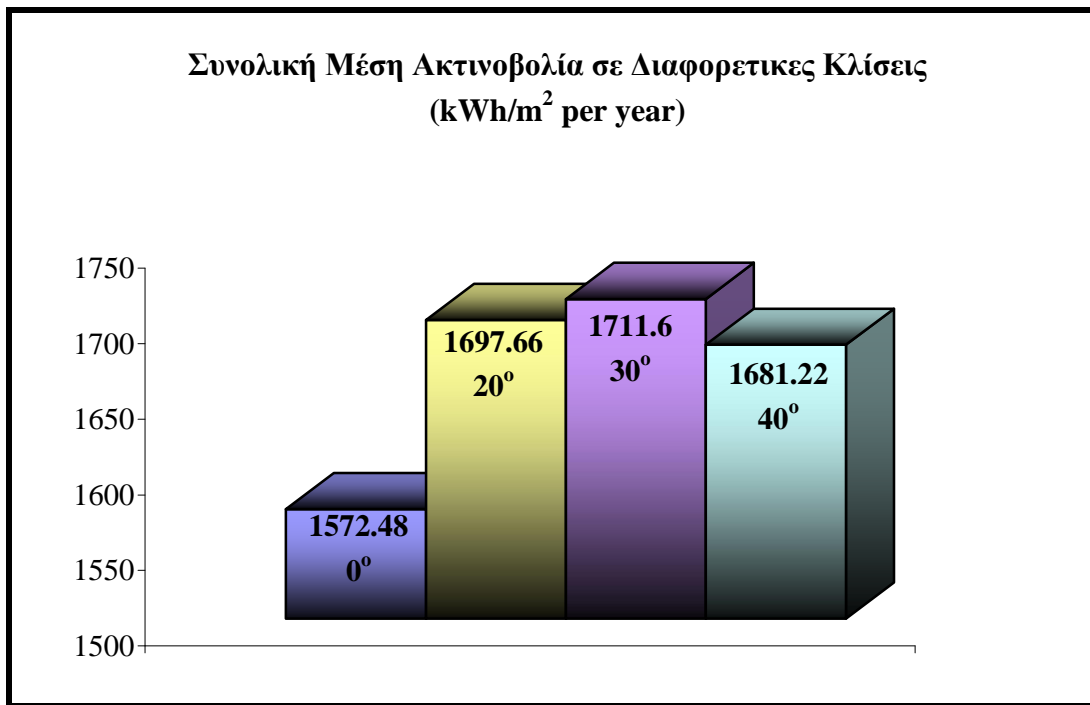
Η μέση ολική ηλιακή ακτινοβολία \bar{H}_T σε μία κεκλιμένη επιφάνεια είναι ίση με:

$$\bar{H}_T = \bar{H} \times \bar{R}$$

Τελικά, τα αποτελέσματα της συνολικής μηνιαίας ακτινοβολίας σε kWh/m² ανά μήνα σε κεκλιμένη επιφάνεια και η βέλτιστη γωνία κλίσης παρουσιάζονται στα διαγράμματα 1 & 2.

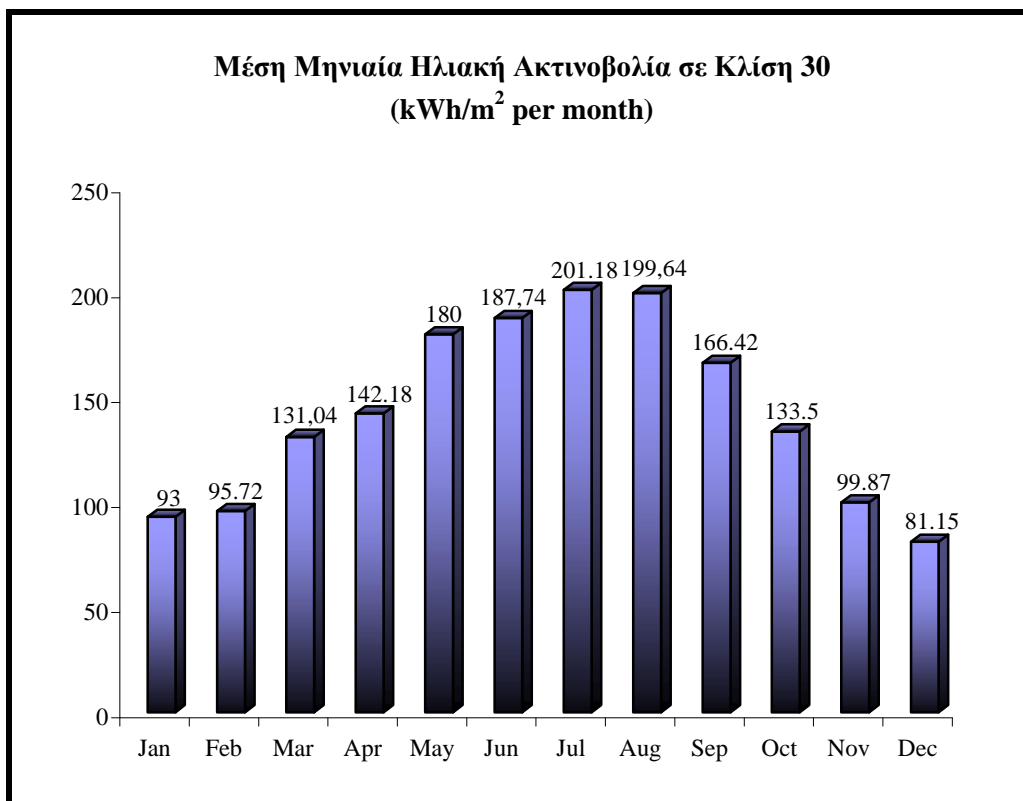


Διάγραμμα 2.1: Επίδραση της κλίσης στη μέση μηνιαία ακτινοβολία σε kWh/m² που δέχεται επιφάνεια νότιου προσανατολισμού



Διάγραμμα 2.2: Συνολική Μέση Ακτινοβολία ανά χρόνο για Διάφορες Κλίσεις kWh/m²

Για τη περιοχή μας θεωρούμε ότι η ηλιακή ακτινοβολία λαμβάνει τις μεγαλύτερες τιμές σε κλίση $\beta=30^\circ$. Το Διάγραμμα 3 παρουσιάζει τη μέση μηνιαία ακτινοβολία για κλίση 30° .



Διάγραμμα 2.3: Μέση Μηνιαία Ηλιακή Ακτινοβολία (kWh/m²) σε Κλίση 30° .

2.5 ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ Φ/Β ΣΤΑΘΜΟΥ

Ο υπολογισμός της παραγωγής ενέργειας ενός Φ/Β σταθμού γίνεται με την χρήση της ακόλουθης σχέσης:

$$E_p = \Pi(kWh/m^2 \text{ per year}) \times \frac{P_a(kWp)}{1(kW/m^2)} \times S_q \times S_r$$

Όπου:

- **Π (kWh/m² per year):** Συνολική Ετήσια Ηλιακή Ακτινοβολία σε βέλτιστη κλίση $\approx 1712 \text{ kWh/m}^2 \text{ per year}$ (μέγιστο κλίσης 30° ζώνης 3)
- **Ρ_α (kWp):** Nominal Power ($\approx 1000 \text{ kWp}$)
- **σθ:** συντελεστής θερμοκρασίας και δίνεται από τη σχέση $\sigma\theta = 1 - ((\Theta_a + 10)/200)$, όπου Θ_a η μέση θερμοκρασία αέρα ($^\circ\text{C}$) στη διάρκεια της ημέρας $\approx 0,86$.
- **σρ :** Αδιάστατος συντελεστής που σχετίζεται με τη ρύπανση του περιβάλλοντος στο οποίο είναι τοποθετημένα τα Φ/Β πλαίσια και για περιβάλλον χωρίς ρύπανση ισούται με τη μονάδα $\approx 0,95$

2.5.1 Μέση Ετήσια Ενέργεια

Μια εκτίμηση της Μέσης Ετήσιας Ενέργειας, που αναμένεται να παράγει ο σταθμός μας ισχύος 1000 kWp , δίνεται από τη παρακάτω σχέση (Σύμφωνα με το βιβλίο του Κ.Καγκαράκη, Καθηγητή του Ε.Μ.Π.):

$$E_p = \Pi(kWh/m^2 \text{ per year}) \times \frac{P_a(kWp)}{1(kW/m^2)} \times S_q \times S_r \approx 1.398.704 \text{ kWh/year}$$

2.6 ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΑΠΕ

Ο Ήλιος είναι αστέρας μέσου μεγέθους που λόγω των μεγάλων θερμοκρασιών των στοιχείων που τον συνθέτουν, μεταξύ των οποίων και το υδρογόνο, τα μόρια αλλά και τα άτομά τους βρίσκονται σε μια κατάσταση «νέφους» θετικών και αρνητικών φορτίων ή κατάσταση πλάσματος, όπως ονομάζεται. Σ' αυτές τις θερμοκρασίες, μερικών εκατομμυρίων $^\circ\text{C}$, οι ταχύτατα κινούμενοι πυρήνες υδρογόνου (H) συσσωματώνονται, υπερνικώντας τις μεταξύ τους απωστικές ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις και δημιουργούν πυρήνες του στοιχείου ηλίου (He). Η πυρηνική αυτή αντίδραση –σύντηξη πυρήνων- είναι εξώθερμη και χαρακτηρίζεται από τη γνωστή μας έκλυση τεράστιων ποσοτήτων ενέργειας ή θερμότητας ή όπως συνηθίζεται να λέγεται, ηλιακής ενέργειας, που ακτινοβολείται προς όλες τις κατευθύνσεις στο διάστημα. Αν και αυτό συμβαίνει συνεχώς εδώ και 5

δισεκατομμύρια χρόνια περίπου, ο ήλιος διαθέτει τεράστιες ποσότητες υδρογόνου και δεν αναμένεται να υπάρξει μείωση μια ενέργειας που ακτινοβολείται από αυτόν.

Η πηγή μια ηλιακής ενέργειας είναι πρακτικά ανεξάντλητη, γι' αυτό και ονομάζεται ανανεώσιμη. Στις μέρες μας, η συστηματική εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας, που αφορά στην ηλεκτροπαραγωγή μέσω φωτοβολταϊκών, ξεκίνησε μια αρχές μια δεκαετίας του '80 και συνεχίζεται με αυξανόμενους ρυθμούς τα τελευταία χρόνια. Η αύξηση αυτή οφείλεται στη συνεχή βελτίωση μια τεχνολογίας, και, που επιτρέπει την ολοένα και αποτελεσματικότερη, τεχνικά και οικονομικά, εκμετάλλευση του ήλιου.

Στην Ελλάδα η οποία είναι χώρα με πλούσιο ηλιακό δυναμικό, αλλά και ευνοϊκό θεσμικό πλαίσιο υλοποίησης των σχετικών επενδύσεων, η παραγωγή σημαντικών ποσοτήτων ηλεκτρικής ενέργειας από Φ/Β αποτελεί ρεαλιστική ενεργειακή πολιτική.

Η περιφέρεια της Πελοποννήσου, όπου πρόκειται να πραγματοποιηθεί το έργο, παρουσιάζει ιδιαίτερα ευνοϊκό ηλιακό δυναμικό, το οποίο και έχει μελετηθεί αναλυτικά από το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ).

Τα δεδομένα στα οποία βασίζεται η ενεργειακή μελέτη είναι η μέση θερμοκρασία και η μηνιαία ακτινοβολία σε οριζόντια επιφάνεια για τη ζώνη 3 στην οποία ανήκει η έκταση της προτεινόμενης εγκατάστασης και βρίσκονται στη βιβλιογραφία.

Μήνας	Μέση Θερμοκρασία (C°)	Μηνιαία Ηλιακή Ακτινοβολία σε οριζόντια επιφάνεια (Κλιματολογικές Ζώνες - kWh/m² per month)
Jan	10	61.6
Feb	10.6	72.52
Mar	12.5	112
Apr	15.6	138.04
May	20.1	191.52
Jun	24.1	208.6
Jul	26.4	218.68
Aug	26.7	199.64
Sep	23.5	147.28
Oct	19	102.76
Nov	14.5	67.48
Dec	11.4	52.36
Average	17.8	131.04 (selected value)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

3. ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ

Τα φωτοβολταϊκά ανακαλύφθηκαν από τον Γάλλο φυσικό Μπεκερέλ (Alexandre Edmund Becquerel) το 1839. Αυτή η ανακάλυψη δεν είχε γίνει πλήρως αντιληπτή μέχρι της αρχές της δεκαετίας του '50, όταν τα αποτελέσματα των Φ/Β χρησιμοποιήθηκαν ως πηγή ενέργειας για διαστημικές εφαρμογές. Στις αρχές της δεκαετίας του '70, υπήρξε μια ραγδαία ανάπτυξη των Φ/Β που οφειλόταν στην χρηματοδότηση για την έρευνα και την ανάπτυξη προγραμμάτων για την μετατροπή ενέργειας ως αποτέλεσμα της κρίσης του πετρελαίου το 1973. Από τότε μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του '90, ο στόχος ήταν η εξασφάλιση της μέγιστης απόδοσης μετατροπής του φωτός σε ηλεκτρικό ρεύμα.

Γενικά, ο όρος ηλιακή ενέργεια περιλαμβάνει όλη την ενέργεια που φτάνει στη γη από τον ήλιο. Η ηλιακή ενέργεια χωρίζεται σε δύο τύπους χρήσης, την ηλιακή θέρμανση και το ηλιακό ρεύμα. Η σημαντικότερη χρήση της ηλιακής ενέργειας είναι ο ηλιακός ηλεκτρισμός. Αυτός ο ηλεκτρισμός παράγεται απευθείας από το ηλιακό φως με τη χρήση φωτοβολταϊκών κυττάρων. Η λέξη 'φωτοβολταϊκά' αναφέρεται σε μια ηλεκτρική τάση που προκαλείται από το φως. Τα ηλιακά κύτταρα κατ' αρχάς αναπτύχθηκαν για να δίνουν ισχύ στους δορυφόρους για τα προγράμματα του διαστήματος κατά την διάρκεια της δεκαετίας του '50. Τώρα χρησιμοποιούνται στη γη και κατασκευάζονται από διάφορες εταιρίες σε όλο τον κόσμο. Τα περισσότερα ηλιακά κύτταρα φτιάχνονται από ένα είδος πυριτίου. Καθώς το ηλιακό φως εκπέμπεται στην επιφάνεια του πυριτίου, παράγεται ηλεκτρική ενέργεια από μια διαδικασία που είναι γνωστή ως φωτοβολταϊκό φαινόμενο.

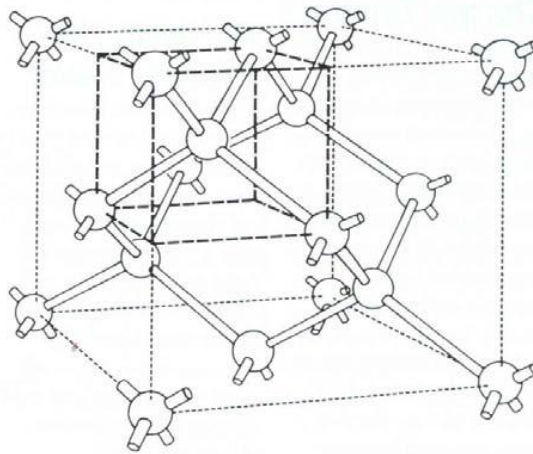
Το κύριο συστατικό κάθε φωτοβολταϊκού συστήματος μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια είναι τα φωτοβολταϊκά ηλιακά στοιχεία (ή φωτοστοιχεία ή ηλιακά κύτταρα ή κυψελίδες). Τα στοιχεία αυτά είναι δίοδοι ημιαγωγών σε μορφή δίσκου που καθώς δέχονται στην επιφάνειά τους την ηλιακή ακτινοβολία εκδηλώνουν μια διαφορά δυναμικού ανάμεσα στην εμπρός και πίσω όψη τους. Ανάλογα με το υλικό κατασκευής του και την ένταση της ακτινοβολίας που δέχεται, ένα ηλιακό στοιχείο μπορεί να δώσει τάση 0,5-1,0 V και πυκνότητα ρεύματος 20-40 mA ανά cm² της επιφανείας του.

3.2 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

3.2.1 Ημιαγώγιμα στοιχεία

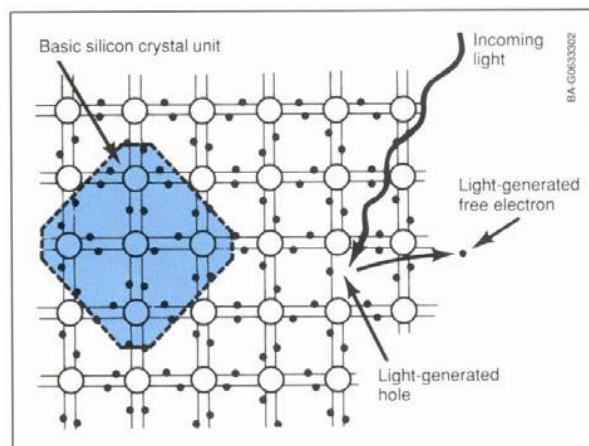
Βασικό ημιαγώγιμο υλικό που χρησιμοποιείται στην κατασκευή φωτοβολταϊκών στοιχείων είναι το πυρίτιο, το οποίο είναι το στοιχείο με την μεγαλύτερη χρήση όχι μόνο για τα ηλιακά στοιχεία αλλά και για τις άλλες ηλεκτρονικές εφαρμογές.

Το πυρίτιο είναι τετρασθενές στοιχείο. Σε ένα κρύσταλλο πυριτίου, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.1, κάθε άτομο είναι ενωμένο με τέσσερα γειτονικά άτομα που συγκρατούνται με το κεντρικό άτομο με τέσσερα ζεύγη ηλεκτρονίων (χημικούς δεσμούς). Έτσι το κεντρικό άτομο έχει στην εξωτερική του στοιβάδα οκτώ ηλεκτρόνια και σταθερή δομή.



Σχήμα 3.1: Απεικόνιση του πλέγματος του πυριτίου.

Όταν ο κρύσταλλος του πυριτίου απορροφήσει φωτόνια κατάλληλης ενέργειας ελευθερώνονται ηλεκτρόνια σθένους από κάποιους από τους δεσμούς. Τα ηλεκτρόνια αυτά αποτελούν φορείς ηλεκτρισμού και συνεισφέρουν στη δημιουργία ηλεκτρικού ρεύματος (Σχήμα 3.2.) Οι κενές ηλεκτρονικές θέσεις που δημιουργούνται στους χημικούς δεσμούς ονομάζονται οπές.

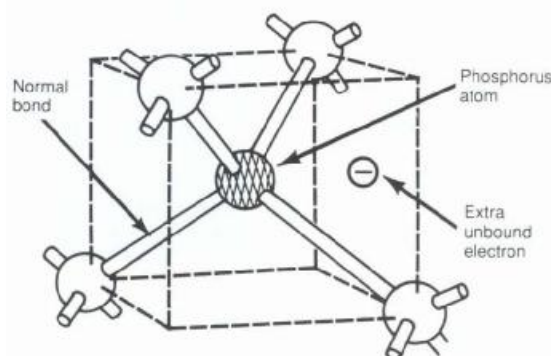


Σχήμα 3.2: Επίδραση της ακτινοβολίας στο πυρίτιο

Σε συνθήκες σταθερής ενεργειακής κατάστασης το πλήθος των ηλεκτρονίων που ελευθερώνονται ισούται με το πλήθος των ηλεκτρονίων που παγιδεύονται στις οπές κι έτσι παρατηρείται ισορροπία φορέων. Εάν στα άκρα του ημιαγωγού εφαρμοστεί τάση, τότε δημιουργείται ηλεκτρικό πεδίο υπό την επίδραση του οποίου τα ελεύθερα ηλεκτρόνια και οι οπές κινούνται σε αντίθετη κατεύθυνση. Η ημιαγωγιμότητα των υλικών αυτών οφείλεται στα ελεύθερα ηλεκτρόνια όσο και στις θετικές οπές.

3.2.2 Πρόσμιξη ημιαγώγιμων στοιχείων

Με την πρόσμιξη μικρής ποσότητας πεντασθενούς στοιχείου, πχ. As, σε τήγμα πυριτίου, Si, ενσωματώνονται στην κρυσταλλική δομή του πυριτίου άτομα As σε θέσεις που αλλιώς θα κατείχαν μόνο άτομα Si. Τέσσερα από τα πέντε ηλεκτρόνια σθένους κάθε ατόμου As σχηματίζουν δεσμούς σθένους με γειτονικά άτομα Si. Το πέμπτο ηλεκτρόνιο συγκρατείται πολύ «χαλαρά» από το θετικό πυρηνικό φορτίο του As με αποτέλεσμα με πολύ μικρή ποσότητα ενέργειας να μπορεί να αποσπασθεί και να συμπεριφερθεί σαν ελεύθερο ηλεκτρόνιο, όμοιο με τα ελεύθερα ηλεκτρόνια που προέρχονται από τη διέγερση των ηλεκτρονίων σθένους των κανονικών δεσμών πυριτίου. Το πεντασθενές άτομο As που βρίσκεται σε περιβάλλον με τετρασθενή άτομα συμπεριφέρεται σαν δότης ηλεκτρονίων και συγχρόνως μετατρέπεται σε θετικό ιόν.



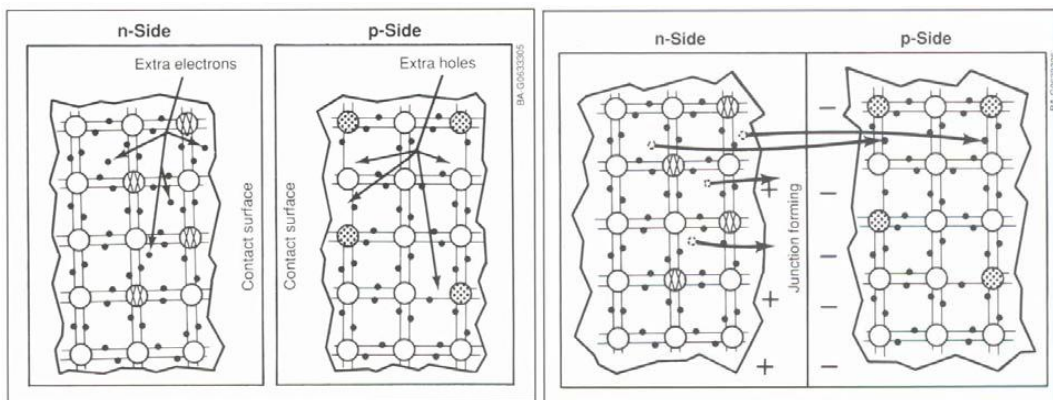
Σχήμα 3.3: Σχηματισμός πυριτίου τύπου N με προσμίξεις από άτομα-δότες ηλεκτρονίων

Αντίστοιχα, με την πρόσμιξη τρισθενών ατόμων, πχ B, σε πλεγματικές θέσεις του πυριτίου δημιουργούνται κενές θέσεις ηλεκτρονίων στους δεσμούς, αφού τα τρία ηλεκτρόνια σθένους κάθε ατόμου B επαρκούν για τους δεσμούς με τρία μόνο από τα τέσσερα άτομα Si που το περιβάλλουν. Με την απορρόφηση λίγης ενέργειας, ένα ηλεκτρόνιο από γειτονικό πλήρη δεσμό μπορεί να μετακινηθεί προς την κενή θέση, αφήνοντας στην προηγούμενη θέση του μια οπή. Το τρισθενές άτομο B που βρίσκεται σε περιβάλλον με τετρασθενή άτομα συμπεριφέρεται σαν αποδέκτης ηλεκτρονίων και συγχρόνως μετατρέπεται σε αρνητικό ιόν.

Οι ημιαγωγοί προσμίξεων στους οποίους επικρατούν δότες και επομένως οι κύριοι φορείς του ηλεκτρικού ρεύματος είναι τα αρνητικά φορτισμένα ελεύθερα ηλεκτρόνια ονομάζονται τύπου n, ενώ αντίστοιχα όταν επικρατούν αποδέκτες οι ημιαγωγοί προσμίξεων ονομάζονται τύπου p.

3.2.3 Η ένωση P-N

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



Σχήμα 3.4: Ένωση p-n

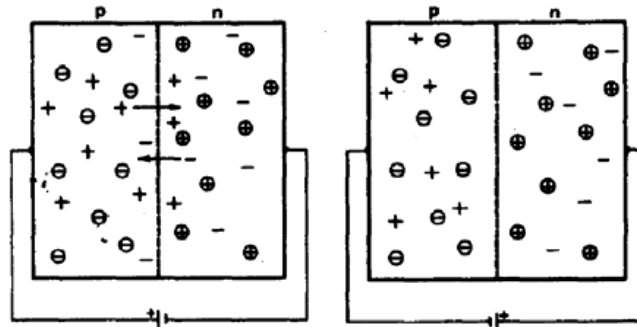
Η ανάμιξη αυτή των φορέων και η αύξηση της συγκέντρωσης των φορέων μειονότητας στις περιοχές κοντά στη διαχωριστική επιφάνεια των τεμαχίων τύπου p και n, ανατρέπουν την κατάσταση ισορροπίας που υπήρχε πριν. Η αποκατάσταση των συνθηκών ισορροπίας γίνεται με επανασυνδέσεις των φορέων, μέχρι οι συγκεντρώσεις τους να πάρουν τιμές που να ικανοποιούν το νόμο δράσης των μαζών.

Για αυτό η περιοχή γύρω από μια ένωση p-n ονομάζεται ζώνη εξάντλησης των φορέων (ή περιοχή αραιώσης). Η διάταξη ημιαγωγών που αποτελείται από μία ένωση p-n και από μία ηλεκτρική σύνδεση στο κάθε τμήμα της ονομάζεται δίοδος ημιαγωγού ή απλά δίοδος.

Σε αντίθεση με τους ευκίνητους φορείς των ημιαγωγών (ελεύθερα ηλεκτρόνια και οπές) που τείνουν να διαχέονται προς τις περιοχές με τη μικρότερη συγκέντρωσή τους, η συγκέντρωση των αρνητικών ιόντων στα οποία μετατράπηκαν οι αποδέκτες στο τμήμα τύπου p, και η συγκέντρωση των θετικών ιόντων στα οποία μετατράπηκαν οι δότες στο τμήμα τύπου n, παραμένουν αμετάβλητες, αφού τα ιόντα, όπως συνήθως όλα τα άτομα στα στερεά, μένουν ακίνητα στο σώμα. Έτσι το υλικό χάνει τοπικά την ηλεκτρική ουδετερότητα και οι δύο πλευρές της ένωσης p-n φορτίζονται με αντίθετα ηλεκτρικά φορτία. Δημιουργείται λοιπόν μία διαφορά δυναμικού, που η τιμή της είναι σχετικά μικρή (συνήθως περίπου 0.3 μέχρι 0.5V, ανάλογα με τις συγκεντρώσεις των προσμίξεων) αλλά το ενσωματωμένο αυτό ηλεκτροστατικό πεδίο εμποδίζει την παραπέρα διάχυση των φορέων πλειονότητας προς το απέναντι τμήμα της ένωσης. Το αποτέλεσμα είναι ότι η δίοδος που περιέχει την ένωση p-n παρουσιάζει εντελώς διαφορετική συμπεριφορά στη ροή του ηλεκτρικού ρεύματος, ανάλογα με τη φορά του.

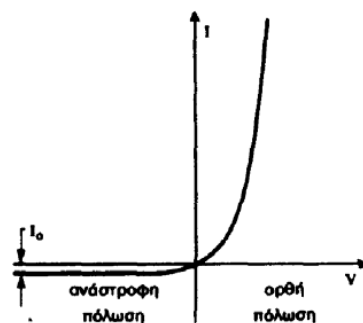
3.2.4 Ορθή και αναστροφή πόλωση της διόδου

Η μία περίπτωση είναι να επιβληθεί στη δίοδο p-n ορθή πόλωση, δηλαδή ο αρνητικός πόλος της πηγής να συνδεθεί με το τμήμα τύπου n της διόδου, και ο θετικός πόλος με το τμήμα τύπου p. Τότε, τα ηλεκτρόνια ρέουν ανεμπόδιστα από την πηγή, διαμέσου του τμήματος τύπου n, προς την περιοχή της ένωσης όπου επανασυνδέονται με τις οπές που σχηματίζονται με την απομάκρυνση ηλεκτρονίων προς το θετικό πόλο της πηγής, διαμέσου του τμήματος τύπου p. (Σχήμα 3.5).



Σχήμα 3.5: Συνδεσμολογία ορθής και ανάστροφης πόλωσης

Αντίθετα, στην ανάστροφη πόλωση, δηλαδή αν ο αρνητικός πόλος της πηγής συνδεθεί με το τμήμα τύπου p και ο θετικός με το τμήμα τύπου n, γίνεται επανασύνδεση των οπών του τμήματος τύπου p με τα ηλεκτρόνια που έρχονται από την πηγή, και, από την άλλη μεριά, απομάκρυνση των ελεύθερων ηλεκτρονίων του τμήματος τύπου n, προς το θετικό πόλο της πηγής. Έτσι, οι συγκεντρώσεις των φορέων μειώνονται πάρα πολύ, το πάχος της ζώνης εξάντλησης αυξάνει, και τα φορτισμένα άτομα των προσμίξεων δημιουργούν ένα ισχυρό εσωτερικό ηλεκτροστατικό πεδίο που είναι αντίθετο προς το πεδίο που επιβάλλει η πηγή. Το αποτέλεσμα είναι ότι τώρα η δίοδος προβάλλει μεγάλη αντίσταση στο ηλεκτρικό ρεύμα. Δηλαδή μπορεί μια δίοδος που έχει σε ορθή πόλωση αντίσταση μόλις 10 Ω, να την αυξάνει στην αντίστροφη πόλωση σε 100 MΩ, δηλαδή να γίνεται δέκα εκατομμύρια φορές μεγαλύτερη. Το παρακάτω διάγραμμα (Σχήμα 3.6) δείχνει ακριβώς την ιδιόμορφη μεταβολή της έντασης του ρεύματος που διαρρέει μια δίοδος ένωσης p-n, σε συνάρτηση με την τιμή της τάσης και το είδος της πόλωσης που εφαρμόζεται.



Σχήμα 3.6: Χαρακτηριστική καμπύλη έντασης (I)-τάσης (V) μίας διόδου P-N

3.2.5 Το ανάστροφο ρεύμα κόρου

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

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

όπου:

e: το στοιχειώδες ηλεκτρονικό φορτίο,

k: η σταθερά Boltzman,

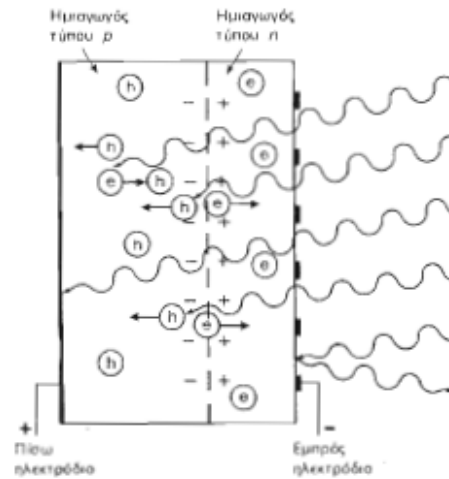
T: η απόλυτη θερμοκρασία, και

γ: ένας συντελεστής που ανάλογα με την κατασκευή και την ποιότητα της διόδου παίρνει συνήθως τιμές μεταξύ 1 και 2.

Στις συνηθισμένες διόδους πυριτίου, το I_0 είναι συνήθως μικρότερο από 1 μA , ενώ το ρεύμα της ορθής πόλωσης είναι πολλές χιλιάδες φορές μεγαλύτερο και φτάνει σε δεκάδες ή εκατοντάδες mA.

3.3 ΤΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ

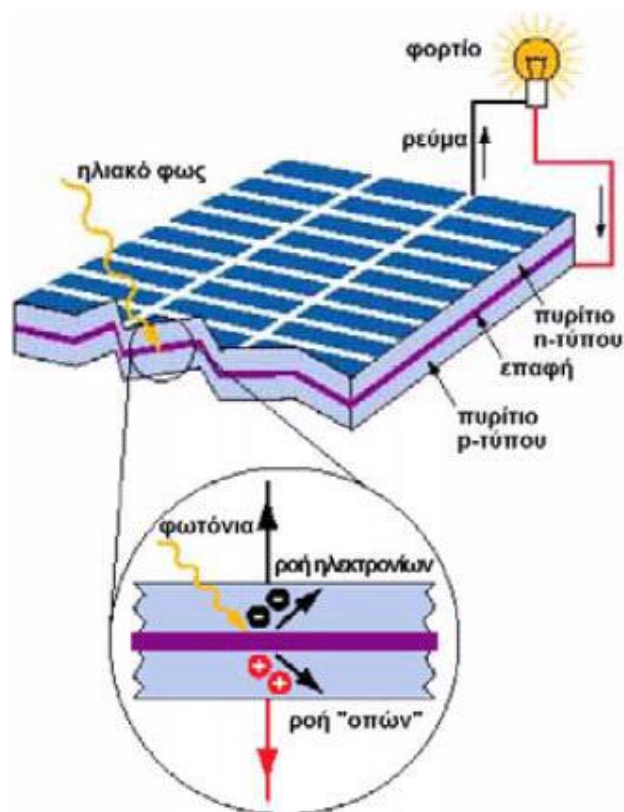
Όπως έχει ήδη αναφερθεί, τα ηλιακά στοιχεία είναι δίοδοι ημιαγωγού με τη μορφή δίσκου, (δηλαδή η ένωση p-n εκτείνεται σε όλο το πλάτος του δίσκου), που δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία. Κάθε φωτόνιο της ηλιακής ακτινοβολίας με ενέργεια ίση ή μεγαλύτερη από το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού, έχει τη δυνατότητα να απορροφηθεί σε ένα χημικό δεσμό και να ελευθερώσει ένα ηλεκτρόνιο. Δημιουργείται έτσι, όσο διαρκεί η ακτινοβολία, μια 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 προσήμου), μπορεί να βρεθούν στην περιοχή της ένωσης p-n οπότε θα δεχτούν την επίδραση του ενσωματωμένου ηλεκτροστατικού της πεδίου (Σχήμα 3.7)



Σχήμα 3.7: Μηχανισμός εκδήλωσης φωτοβολταϊκού φαινομένου σε ένα ηλιακό στοιχείο

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

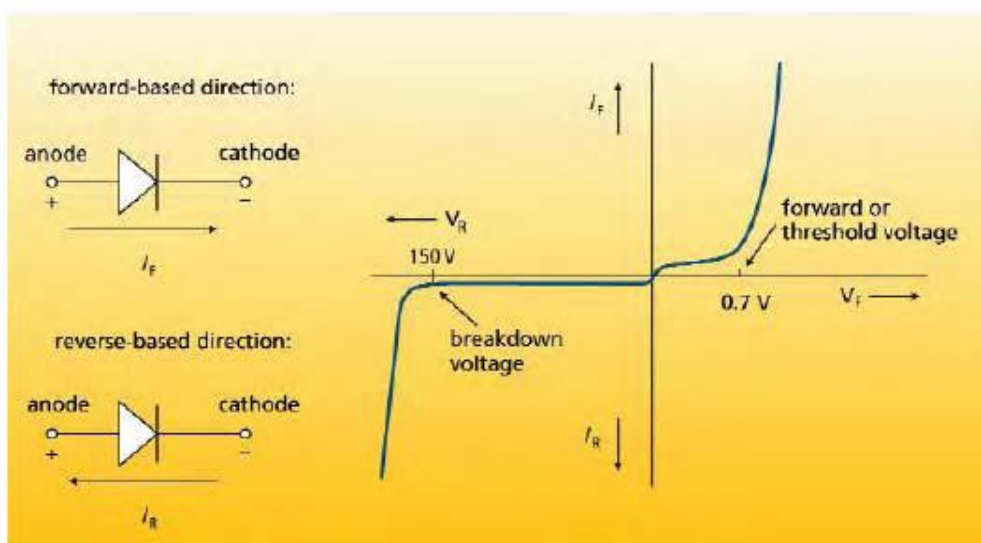
Η εκδήλωση της διαφοράς δυναμικού ανάμεσα στις δύο όψεις του φωτιζόμενου δίσκου, η οποία αντιστοιχεί σε ορθή πόλωση της διόδου ονομάζεται φωτοβολταϊκό φαινόμενο.



Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο σε μια ηλιακή κυψέλη

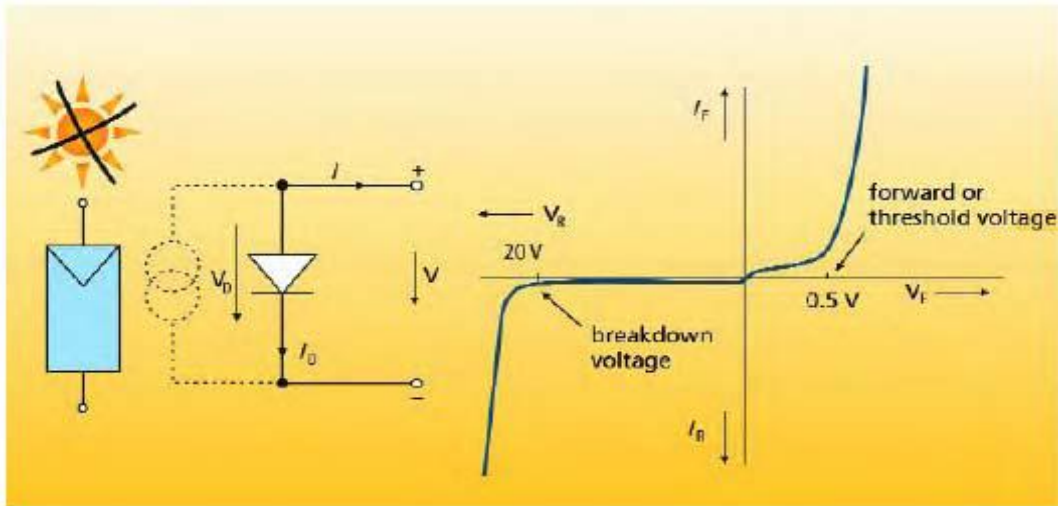
3.4 ΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο αποτελεί ουσιαστικά μια μεγάλης κλίμακας δίοδο. Η χαρακτηριστική ρεύματος – τάσης φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα. Αν το τμήμα p βρεθεί σε υψηλότερο δυναμικό από το τμήμα n, η δίοδος πολώνεται θετικά. Σε αυτή την περίπτωση, για τάσεις μεγαλύτερες από 0.7 V, (πρώτο τεταρτημόριο του διαγράμματος) το ρεύμα διαρρέει τη δίοδο. Αν η δίοδος πολωθεί ανάστροφα, δεν αναπτύσσεται ρεύμα (τρίτο τεταρτημόριο). Στην περίπτωση όμως που η δίοδος πολωθεί ανάστροφα υπό τάση μεγαλύτερη μιας καθορισμένης τιμής (τάση κατάρρευσης, στο παράδειγμα 150 V) τότε η δίοδος άγει, κάτι τέτοιο όμως μπορεί να οδηγήσει στην καταστροφή της.



Σχήμα 3.4.1: Χαρακτηριστική I-V φβ στοιχείου

Ένα φ/β στοιχείο σε συνθήκες έλλειψης ακτινοβολίας περιγράφεται από το ισοδύναμο κύκλωμα μιας διόδου. Για ένα μονοκρυσταλλικό στοιχείο πυριτίου μια τυπική τιμή τάσης υπό ορθή πόλωση είναι 0.5 V και τάσης κατάρρευσης 12V έως 50V (ανάλογα με την ποιότητα και το υλικό κατασκευής του στοιχείου).

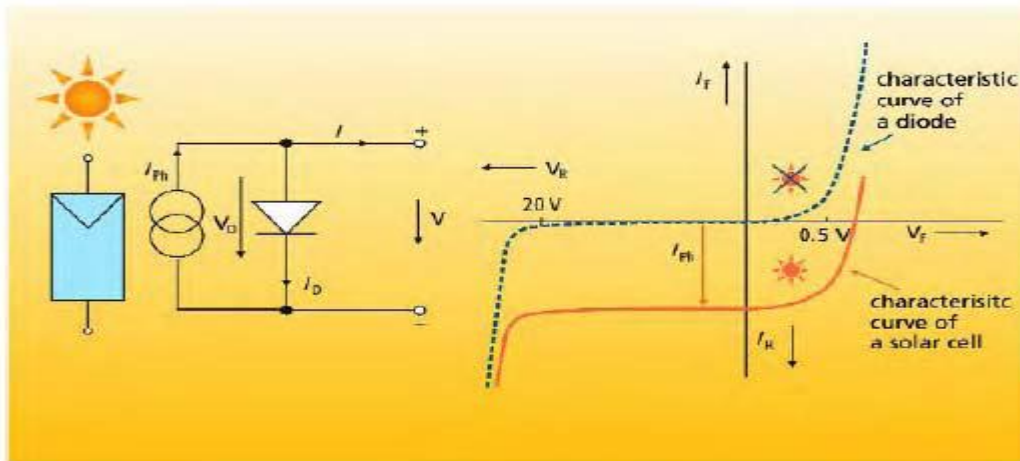


$$V = V_D$$

$$I = -I_D = -I_0 \times (e^{V/m \times VT} - 1)$$

Σχήμα 3.4.2: φ/β στοιχείο υπό συνθήκες έλλειψης ακτινοβολίας

Όταν προσπίπτει ακτινοβολία στην επιφάνεια του στοιχείου, η ενέργεια των φωτονίων οδηγεί στην παραγωγή φορέων αγωγιμότητας. Το ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα, όπως δίνεται στη συνέχεια, αποτελείται από μια πηγή ρεύματος και μια δίοδο. Η πηγή ρεύματος παράγει ρεύμα ίσο με το φωτόρρευμα, η τιμή του οποίου εξαρτάται από το επίπεδο της ακτινοβολίας.



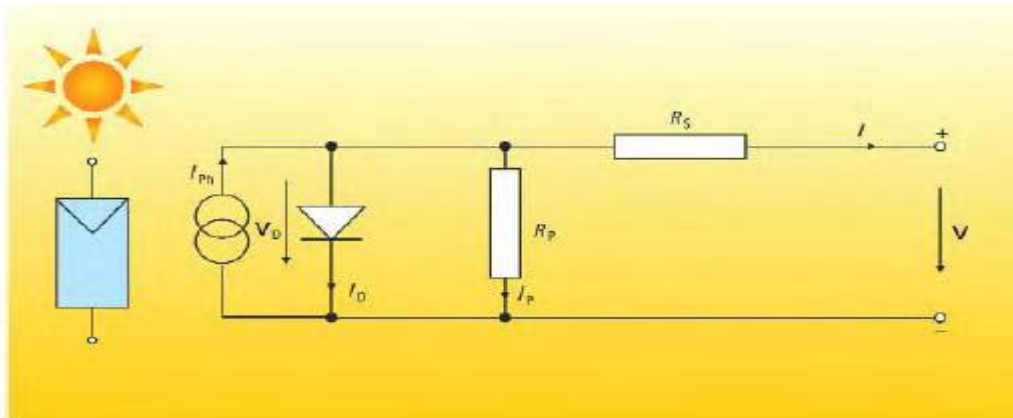
$$V = V_D$$

$$I_{ph} = c_0 \times E$$

$$I = I_{ph} - I_D$$

Σχήμα 3.4.3: φ/β στοιχείο υπό συνθήκες ακτινοβολίας

Το ισοδύναμο κύκλωμα που ακολουθεί καλείται πλήρες μοντέλο μιας διόδου και είναι αυτό που χρησιμοποιείται τυπικά στη μελέτη των φωτοβολταϊκών. Στην πράξη, παρατηρείται μια πτώση τάσης κατά τη μετακίνηση των φορέων αγωγιμότητας από τον ημιαγωγό προς τις ηλεκτρικές επαφές, η οποία περιγράφεται από την εν σειρά αντίσταση R_s που είναι της τάξης των μερικών $m\Omega$. Επιπλέον, τα ρεύματα διαρροής που αναπτύσσονται περιγράφονται από μια παράλληλη με τη διόδο αντίσταση, R_p (με τιμή πολύ μεγαλύτερη των 10Ω). Με τη βοήθεια αυτού του κυκλώματος είναι δυνατός ο υπολογισμός των χαρακτηριστικών I-V καμπυλών για διάφορα επίπεδα ακτινοβολίας.



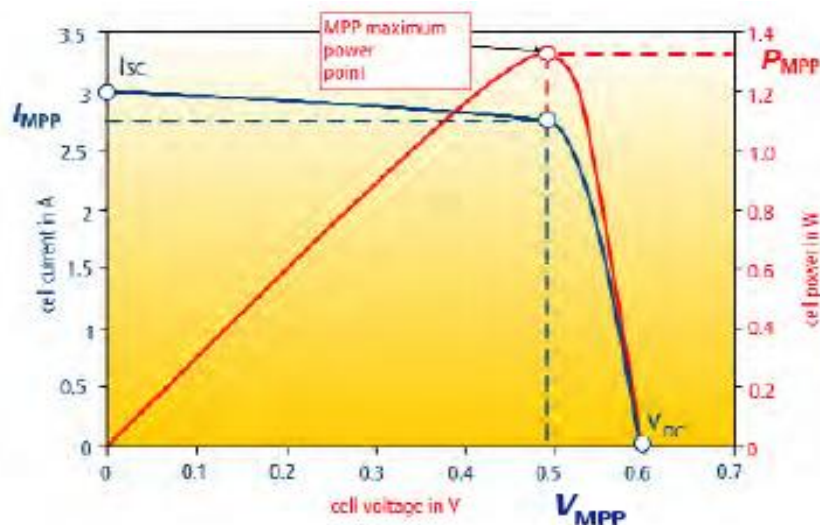
$$I = I_{ph} - I_D - I_p$$

$$I_p = V_D / R_p = V + R_s \cdot I / R_p$$

Σχήμα 3.4.4: Πλήρες ηλεκτρικό ισοδύναμο φ/β στοιχείου

3.5 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΚΑΙ I-V ΚΑΜΠΥΛΕΣ

Στην τεχνική βιβλιογραφία δίνεται τις περισσότερες φορές η συμπεριφορά των φ/β στοιχείων υπό συνθήκες ορθής πόλωσης. Πιο συγκεκριμένα, δίνεται η καμπύλη του ρεύματος συναρτήσει της τάσης όπως φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα.



Σχήμα 3.4.5: Καμπύλες I-V και P-V φ/β στοιχείου

Συνθήκες αναφοράς (Standard Test Conditions STC)

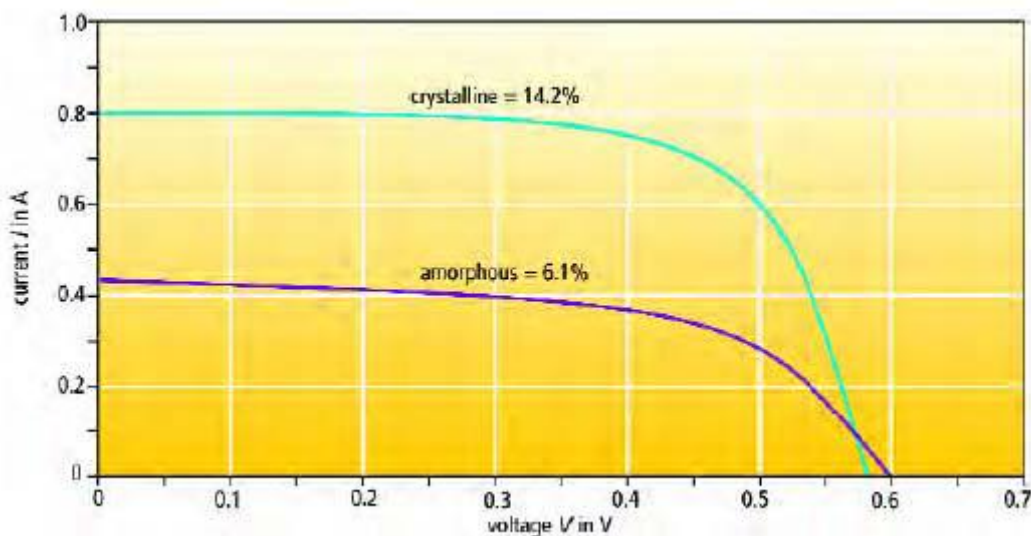
Για λόγους σύγκρισης των χαρακτηριστικών που παρουσιάζουν τα φ/β στοιχεία ή πλαίσια, έχουν καθοριστεί κάποιες συνθήκες αναφοράς κάτω από τις οποίες δίνονται οι χαρακτηριστικές I-V καμπύλες. Αυτές είναι οι εξής:

1. ακτινοβολία ίση με $E = 1000\text{W/m}^2$
2. θερμοκρασία στοιχείων ίση με $T = 25\text{ }^\circ\text{C}$
3. καθορισμένο ηλιακό φάσμα που χαρακτηρίζεται από $AM = 1.5$

Τα τρία βασικά σημεία μιας I-V χαρακτηριστικής είναι:

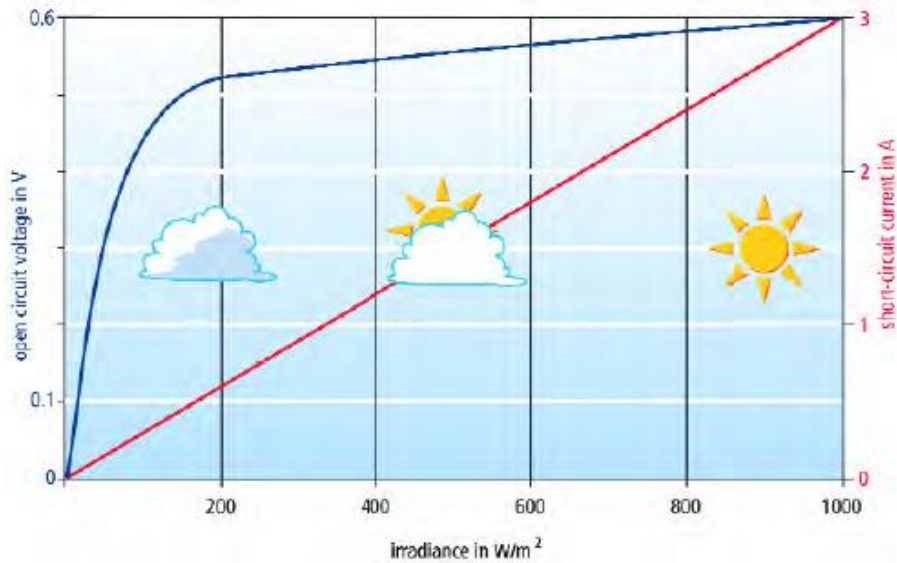
1. Το σημείο μέγιστης ισχύος (maximum power point, MPP) στο οποίο το Φ/Β στοιχείο λειτουργεί παράγοντας μέγιστη ισχύ. Στο σημείο αυτό η ισχύς συμβολίζεται με P_{mp} , το ρεύμα με I_{mp} και η τάση με V_{mp} .
2. Το ρεύμα βραχυκύκλωσης, I_{sc} (το οποίο είναι 5% με 15% υψηλότερο από το ρεύμα μέγιστης ισχύος).
3. Η τάση ανοικτοκύκλωσης, V_{oc} (η οποία κυμαίνεται γύρω στα 0.6V)

Στη συνέχεια παρατίθενται δύο τυπικές χαρακτηριστικές για πολυκρυσταλλικό στοιχείο πυριτίου και για στοιχείο άμορφου πυριτίου (thin-film).



Σχήμα 3.4.6: Καμπύλες I-V φβ στοιχείου πολυκρυσταλλικού και άμορφου πυριτίου

Το ρεύμα βραχυκύκλωσης μεταβάλλεται γραμμικά με την ακτινοβολία, όπως φαίνεται και στο σχήμα που ακολουθεί. Αντίθετα η τάση ανοικτοκύκλωσης μένει πρακτικά σταθερή στις μεταβολές της ακτινοβολίας. Μαθηματικά, η εξάρτηση τάσης- ακτινοβολίας είναι λογαριθμική.



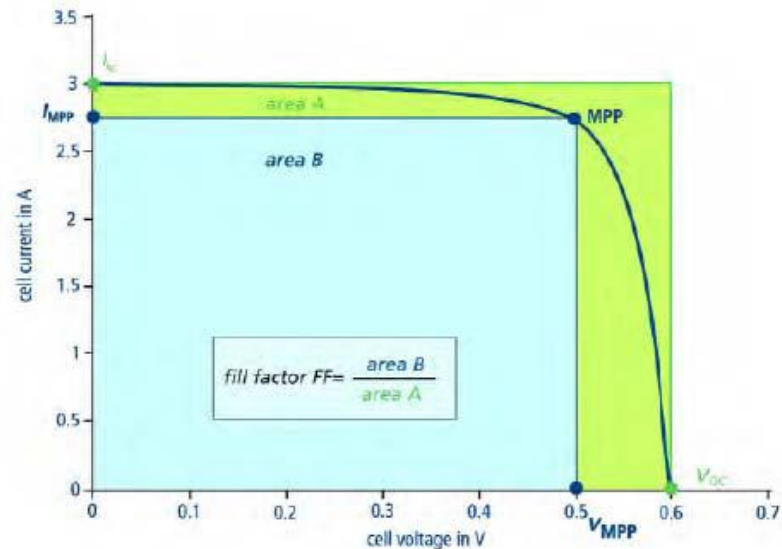
Σχήμα 3.4.7: Εξάρτηση ρεύματος και τάσης από την ακτινοβολία

3.6 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΠΛΗΡΩΣΗΣ

Ο συντελεστής πλήρωσης (fill factor, FF) περιγράφει την ποιότητα των φ/β στοιχείων. Ορίζεται ως ο λόγος της μέγιστης ισχύος MPP προς το γινόμενο της τάσης ανοικτού κύκλου, V_{oc} , με το ρεύμα βραχυκύκλωσης, I_{sc} .

$$FF = \frac{V_{MPP} \times I_{MPP}}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{P_{MPP}}{V_{oc} \times I_{sc}}$$

Για στοιχεία πολυκρυσταλλικού πυριτίου ο συντελεστής αυτός έχει τιμή 0.75 με 0.85, ενώ για στοιχεία άμορφου πυριτίου κυμαίνεται μεταξύ 0.5 και 0.7. Γραφικά ο συντελεστής αυτός μπορεί να προσδιοριστεί από το λόγο των εμβαδών B προς A όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα.



Σχ. 3.4.8: Συντελεστής Πλήρωσης

Τέλος, ο βαθμός ή συντελεστής απόδοσης ενός φβ στοιχείου (πλαϊσίου) είναι ίσος με την αποδιδόμενη (εξερχόμενη) ηλεκτρική ισχύ προς την (εισερχόμενη) ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στην επιφάνεια του φβ στοιχείου (πλαϊσίου), δηλαδή:

$$n = \frac{P}{G \times S} = \frac{E}{E_t \times S}$$

Όπου:

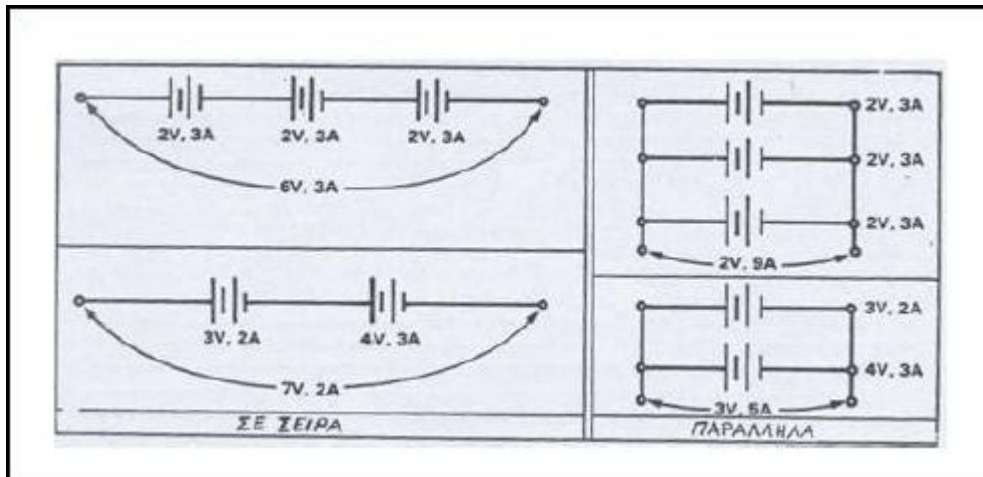
- P**, η αποδιδόμενη ισχύς (W)
- G**, η ένταση (πυκνότητα) της ηλιακής ακτινοβολίας (W/m²)
- E**, η αποδιδόμενη ηλεκτρική ενέργεια (kWh)
- E_t**, η πυκνότητα της ηλιακής ενέργειας (kWh/m²)

3.7 ΑΠΩΛΕΙΑ ΙΣΧΥΟΣ- ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ HOT SPOT

Οι αιτίες της μη προσαρμογής των χαρακτηριστικών των κυττάρων μιας συστοιχίας είτε ενυπάρχουν και οφείλονται σε κατασκευαστικούς λόγους, κατά την μαζική παραγωγή τους, είτε προκύπτουν κατά την διάρκεια της λειτουργίας τους. Από τις τελευταίες, πρωτεύουσα θέση κατέχει η μερική ή ολική σκίαση ενός ή περισσότερων κυττάρων και μπορεί να οφείλεται σε σύννεφα, παρακείμενα δένδρα, κτίρια, πουλιά κλπ. Άλλη αιτία είναι η θραύση ενός ή περισσότερων κυττάρων και μπορεί να οφείλεται σε διαφορετική διαστολή μεταξύ του κυττάρου και του υλικού πάνω στο οποίο στηρίζεται, σε χαλάζι, σε ελαττωμένη αντοχή που προέκυψε κατά την διάρκεια της κατασκευής του, ή της ενσωμάτωσής του στο πλαίσιο. Ας σημειωθεί ότι η ολική θραύση ενός κυττάρου σημαίνει, από ηλεκτρική άποψη,

ανοιχτό κύκλωμα. Τέλος, μια άλλη αιτία μπορεί να είναι ανοιχτοκυκλωμένες ηλεκτρικές συνδέσεις και να οφείλεται σε διαφορετική θερμική διαστολή κλπ.

Επίσης, είναι γνωστό ότι οι τάσεις σε σειρά προστίθενται, ενώ παράλληλα είναι ισοδύναμες με την τιμή της μικρότερης τάσης. Επιπλέον, ρεύματα παράλληλα προστίθενται, ενώ σε σειρά είναι ισοδύναμα με την τιμή του μικρότερου σχήματος (σχήμα 3.7).



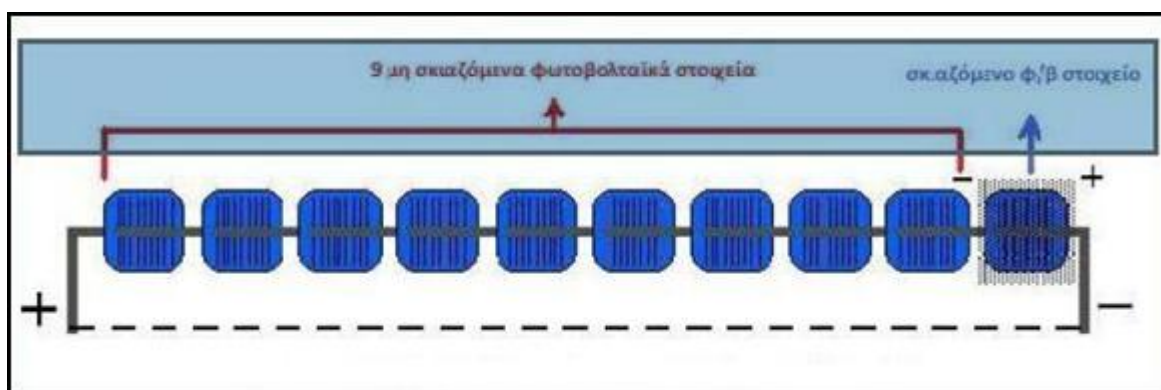
Σχήμα 3.7: Βασικός συνδυασμός, σε σειρά και παράλληλα, πηγών τάσεως και ρεύματος με διαφορετικά χαρακτηριστικά.

Έτσι, αν δύο κύτταρα με ανόμοια χαρακτηριστικά συνδεθούν σε σειρά η συμπεριφορά τους (που απαιτεί να διαρρέονται από το ίδιο ρεύμα) περιγράφεται, αν αθροίσουμε τις τάσεις των δύο κυττάρων για τις διάφορες τιμές του ρεύματος.

Ισχυρές αποκλίσεις από την προσαρμογή των χαρακτηριστικών των κυττάρων μιας συστοιχίας, είναι δυνατόν να προκαλέσουν απώλεια της ικανότητας παραγωγής ισχύος από τα «καλύτερα», (από άποψη χαρακτηριστικών) κύτταρα. Με άλλα λόγια, η μη προσαρμογή των χαρακτηριστικών των κυττάρων μιας συστοιχίας συνεπάγεται ότι η συνολική ισχύς εξόδου θα είναι μικρότερη από το άθροισμα των ισχύων των επί μέρους κυττάρων. Η απώλεια αυτή ισχύος καλείται απώλεια προσαρμογής (mismatch loss) και αποτελεί ένα φαινόμενο με μεγάλο ενδιαφέρον, ιδιαίτερα για κύτταρα συνδεδεμένα σε σειρά.

Η μη προσαρμογή των χαρακτηριστικών των κυττάρων μιας συστοιχίας, εκτός από μείωση της ισχύος εξόδου, είναι δυνατόν να προκαλέσει κι ένα άλλο φαινόμενο, ιδιαίτερα σημαντικό, που ονομάζεται φαινόμενο hot-spot. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται σε ανάστροφη πόλωση ενός ή περισσότερων κυττάρων και συνεπάγεται υπερθέρμανσή τους, που πολλές φορές μπορεί να είναι καταστροφική.

Πιο συγκεκριμένα, το φαινόμενο hot-spot συμβαίνει όταν υπάρχει ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο, συνδεδεμένο σε σειρά με κάποια άλλα, που δίνει χαμηλό ρεύμα σε σχέση με τα υπόλοιπα. Δηλαδή, αν μια αλυσίδα από κύτταρα βραχυκυκλωθεί (σχήμα 3.8) τότε η ισχύς που παράγουν τα μη σκιαζόμενα στοιχεία καταναλώνεται δια μέσω του σκιαζόμενου φωτοβολταϊκού στοιχείου. Το σκιαζόμενο στοιχείο μειώνει το ρεύμα δια μέσω των μη σκιαζόμενων στοιχείων, προκαλώντας τα «καλά» στοιχεία να παράγουν υψηλότερη τάση η οποία μπορεί να προκαλέσει ανάστροφη πόλωση του σκιαζόμενου φωτοβολταϊκού στοιχείου. Έτσι, η ενέργεια που χάνεται στο σκιαζόμενο στοιχείο μετατρέπεται σε θερμότητα (υπερβολική τοπική αύξηση της θερμότητας) με πιθανό αποτέλεσμα την θραύση ή ακόμη και την πλήρη καταστροφή του πλαισίου.



Σχήμα 3.8: Διάταξη φ/β στοιχείων σε σειρά με ένα σκιαζόμενο

3.7.1 Μέθοδοι θεραπείας

Επειδή τα κύτταρα μιας συστοιχίας κατά την διάρκεια της λειτουργίας της είναι δυνατόν να μην έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά είναι πιθανόν να προκύψουν τα δύο φαινόμενα που μελετήθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο (μείωση ισχύος εξόδου και φαινόμενο hot spot) και να δημιουργηθούν προβλήματα. Με σκοπό να μειώσουμε την επίδραση των προβλημάτων αυτών στην λειτουργία της συστοιχίας και να απομακρύνουμε τον κίνδυνο δυσάρεστων καταστάσεων, ακολουθούμε συνήθως δύο στρατηγικές: είτε χρησιμοποιούμε πλεονάζουσες συνδέσεις είτε συνδέουμε παράλληλα διόδους παράκαμψης.

3.7.2 Στρατηγική παράλληλης / σε σειρά σύνδεσης κυττάρων

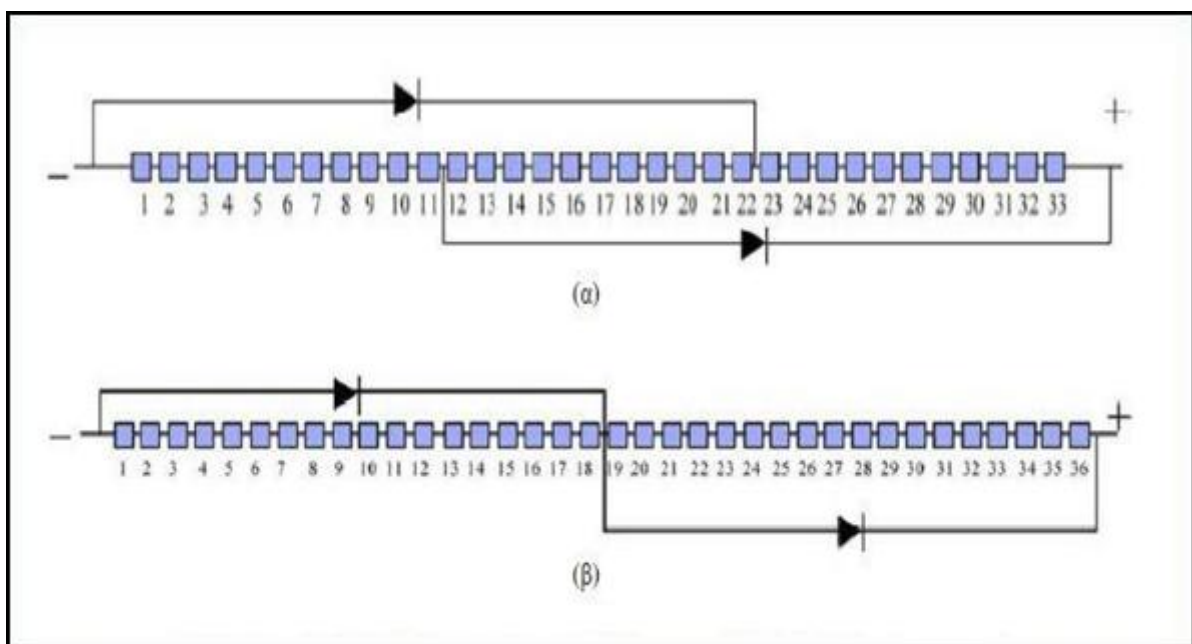
Ένας τρόπος για να αυξήσουμε την αξιοπιστία του συστήματος είναι να χρησιμοποιήσουμε πλεονάζουσες σε σειρά και παράλληλες συνδέσεις. Είναι σκόπιμο να χωρίσουμε την συστοιχία σε μεγάλο αριθμό παράλληλων κλάδων. Αυτό μειώνει την πιθανότητα να συμβούν πολλά βραχυκυκλώματα σε ένα κλάδο, έτσι ώστε δύο ή περισσότερα βραχυκυκλωμένα κύτταρα να μην προκαλούν αθροιστική πτώση τάσης. Αυτό έχει το επιπλέον πλεονέκτημα ότι είναι δυνατός ο τμηματικός έλεγχος της συστοιχίας σε διάφορα ενδιάμεσα σημεία καθώς επίσης υπάρχει δυνατότητα απομόνωσης μικρών (επί μέρους) τμημάτων της όλης συστοιχίας για συντήρηση κι επισκευή.

3.7.3 Δίοδοι παράκαμψης

Το καταστροφικό φαινόμενο hot-spot είναι δυνατόν να αποφευχθεί με την χρήση μιας παρακαμπτήριας διόδου (δίοδος παράκαμψης). Μια δίοδος συνδέεται παράλληλα με μια σειρά φωτοβολταϊκών στοιχείων, την οποία θέλουμε να προστατέψουμε, αλλά με αντίθετη

πόλωση (αντι-παράλληλη σύνδεση). Υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας, κάθε στοιχείο είναι ορθά πολωμένο και η δίοδος, που είναι ανάστροφα πολωμένη, απλά αποτελεί ένα κομμάτι ανοιχτού, ουσιαστικά, κυκλώματος με αποτέλεσμα το ρεύμα να μην επιλέγει τον δρόμο αυτό. Όμως, όταν ένα στοιχείο πολωθεί ανάστροφα και εμφανιστεί μια διαφορά του ρεύματος βραχυκυκλώσεως μεταξύ των φωτοβολταϊκών στοιχείων της σειράς, τότε η δίοδος άγει και προστατεύει το «προβληματικό» στοιχείο.

Πρακτικά, θα έπρεπε να είχαμε μια δίοδο για κάθε στοιχείο. Αυτό, όμως, είναι ανέφικτο λόγω του υψηλού κόστους κι έτσι χρησιμοποιείται μια δίοδος κατά μήκος μιας ομάδας στοιχείων. Ο μέγιστος αριθμός φωτοβολταϊκών στοιχείων που μπορεί να καλύπτει μια δίοδος είναι περίπου 15 (στοιχεία/ δίοδο). Οι κατασκευαστές χρησιμοποιούν δύο τρόπους τοποθέτησης δίοδων κατά τους οποίους είτε παρουσιάζεται αλληλοεπικάλυψη στοιχείων, είτε και όχι (σχήμα 3.9)



Σχήμα 3.9: (α) στοιχεία που επικαλύπτονται και (β) στοιχεία που δεν επικαλύπτονται

3.8 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΠΛΑΙΣΙΩΝ

Για την κατασκευή των φωτοβολταϊκών πλαισίων χρησιμοποιούνται διάφορα ημιαγωγικά υλικά, αλλά όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα, την μερίδα του λέοντος στην παγκόσμια παραγωγή φωτοβολταϊκών πλαισίων κατέχουν τα κύτταρα πυριτίου (Si). Το πυρίτιο είναι ίσως και το μοναδικό υλικό που παράγεται με τόσο μαζικό τρόπο και στις μέρες μας, αποτελεί την πρώτη ύλη για το 90% της αγοράς των φωτοβολταϊκών.

Οι τεχνολογίες των φ/β που συναντώνται σήμερα ποικίλουν ως προς το βασικό υλικό κατασκευής, την ικανότητα μετατροπής και το κόστος. Μια συνοπτική αναφορά των κυριότερων χαρακτηριστικών τους ακολουθεί στη συνέχεια.

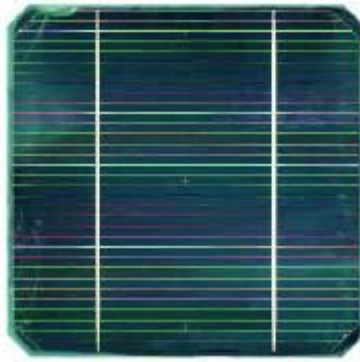


3.8.1 Μονοκρυσταλλικό Πυρίτιο

Τα πλαίσια μονοκρυσταλλικού πυριτίου κατασκευάζονται από κρυσταλλικό πυρίτιο-βασικό ημιαγωγικό υλικό. Το κρυσταλλικό πυρίτιο μορφοποιείται σε μεγάλα φύλλα, τα οποία μπορούν να κατατμηθούν σε συγκεκριμένο μέγεθος και να χρησιμοποιηθούν σε ένα πλαίσιο. Τα πλαίσια αυτού του είδους είναι πιο ακριβά από τα πλαίσια πολυκρυσταλλικού πυριτίου καθώς προέρχονται από πυρίτιο καλύτερης ποιότητας-καθαρότητας, ωστόσο χαρακτηρίζονται από υψηλότερη ικανότητα μετατροπής και συχνά σε βάθος χρόνου παρουσιάζουν καλύτερη σχέση κόστους-απόδοσης. Η ικανότητα μετατροπής τους είναι της τάξης του 15-18%, κάτι που σημαίνει ότι από την ηλιακή ενέργεια που προσπίπτει στην επιφάνειά τους, το παραπάνω ποσοστό μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια.

3.8.2 Πολυκρυσταλλικό πυρίτιο

Τα πολυκρυσταλλικά πλαίσια πυριτίου έχουν ένα μέτριο κόστος σε σύγκριση με τις υπόλοιπες τεχνολογίες που είναι διαθέσιμες στις μέρες μας, και σίγουρα χαμηλότερο από τα αντίστοιχα μονοκρυσταλλικά εξαιτίας της χαμηλότερης ποιότητας πυριτίου που χρησιμοποιούν, παρόλο που το κόστος παραγωγής των μεμονωμένων ηλιακών στοιχείων που τα αποτελούν παραμένει υψηλό. Το μειονέκτημα σε σχέση με τα μονοκρυσταλλικά πλαίσια είναι η σχετικά μειωμένη ικανότητα μετατροπής που κυμαίνεται σε 12-14%.



Τυπικό Φ/Β κρυσταλλικό στοιχείο

3.8.3 Πλαίσια άμορφου πυριτίου ή πλαίσια *thin film*

Τα *thin-film* πλαίσια διαφέρουν σημαντικά από τα κρυσταλλικά, από την αρχική φάση κατασκευής τους. Αντί το πυρίτιο να χυτευθεί και στη συνέχεια να καταταμηθεί σε στοιχεία, το άμορφο πυρίτιο δεν παρουσιάζει κρυσταλλική δομή και μπορεί να εφαρμοστεί σαν μια λεπτή ημιαγώγιμη μεμβράνη πάνω σε διαφορετικά υλικά. Εκτός από το άμορφο πυρίτιο, με τον ίδιο τρόπο μπορούν χρησιμοποιηθούν το σύμπλοκο δισεληνιούχου χαλκού με ίνδιο (copper indium diselenide, CIS) και το τελουριούχο κάδμιο (CdTe). Το βασικό πλεονέκτημα των *thin-film* πλαισίων έγκειται στο χαμηλό κόστος κατασκευής και η πολλαπλή χρησιμότητά τους. Επειδή για την κατασκευή τους απαιτείται λιγότερος χρόνος και κόστος, μπορούν να παραχθούν πιο αποδοτικά. Από την άλλη πλευρά, επειδή οι μεμβράνες αυτές εφαρμόζονται σε λεπτές επιστρώσεις σε διάφορα υλικά, είναι δυνατή η κατασκευή εύκαμπτων, σταθερής μορφής, ή ασυνήθιστου μεγέθους πλαισίων. Ωστόσο, τα πλαίσια *thin-film* παρουσιάζουν κάποια σημαντικά μειονεκτήματα. Παρόλο που υπερέχουν σε κόστος κατασκευής και “ευλυγισία”, υστερούν πολύ σε ικανότητα μετατροπής με συνέπεια να παρουσιάζουν τη χαμηλότερη ανάμεσα σε όλες τις υπάρχουσες τεχνολογίες φωτοβολταϊκών (4-5%). Τα συγκεκριμένα πλαίσια χρησιμοποιούν πυρίτιο με χαμηλά επίπεδα καθαρότητας γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε επιπρόσθετες απώλειες μετατροπής όταν τα πλαίσια αυτά αρχίσουν να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια.



Παράδειγμα εφαρμογής ημιδιάφανου *thin-film* πλαισίου

3.8.4 Πλαίσια τεχνολογίας III-IV ομάδας

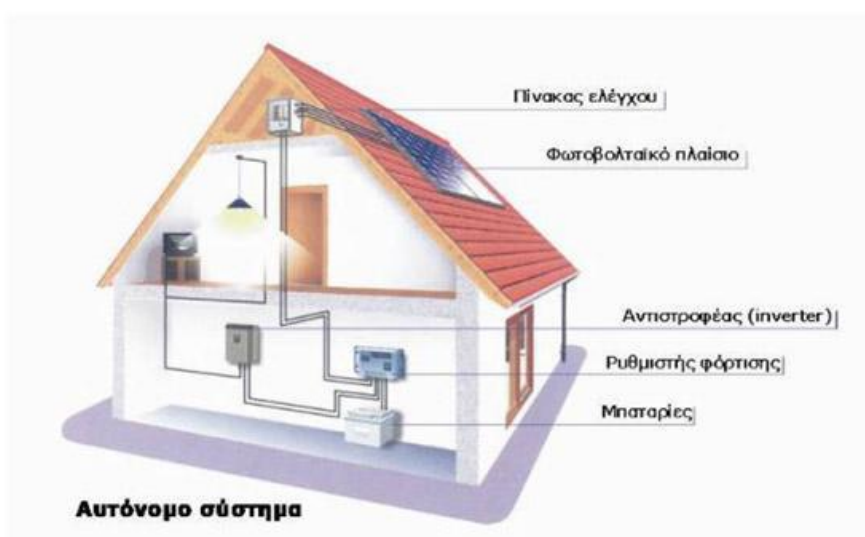
Το όνομα των τεχνολογιών αυτών έχει προκύψει από το βασικό υλικό κατασκευής τους, το οποίο κατατάσσεται στην τρίτη ή τέταρτη ομάδα του περιοδικού πίνακα. Οι τεχνολογίες αυτές έχουν μεν υψηλή ικανότητα μετατροπής αλλά συγχρόνως παρουσιάζουν και υψηλό κόστος. Τα υλικά που χρησιμοποιούν έχουν ικανότητα μετατροπής γύρω στο 25%, όπως το αρσενιούχο γάλιο, το οποίο συνδυάζεται με άλλα υλικά για τη δημιουργία ημιαγωγών που αποκρίνονται σε διαφορετικούς τύπους ηλιακής ενέργειας. Ωστόσο, η χρήση τους περιορίζεται μόνο σε αεροδιαστημικές εφαρμογές εξαιτίας του υψηλού κόστους τους όπως προαναφέρθηκε.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

4. ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ)

4.1 ΓΕΝΙΚΑ

Μια φωτοβολταϊκή εγκατάσταση μπορεί να αποτελεί λοιπόν ένα αυτόνομο σύστημα που να καλύπτει το σύνολο των ενεργειακών αναγκών ενός κτιρίου, κάποιας απομακρυσμένης εγκατάστασης από το δίκτυο. Για τη συνεχή εξυπηρέτηση του καταναλωτή, η εγκατάσταση θα πρέπει να περιλαμβάνει και μια μονάδα αποθήκευσης (συνήθως συσσωρευτές) και διαχείρισης της ενέργειας.



Αυτόνομο σύστημα Φ/Β, εγκατεστημένο σε οικία

Ένα βασικό κομμάτι του αυτόνομου συστήματος είναι οι Συσσωρευτές. Στην ενότητα που ακολουθεί γίνεται μια εκτενής παρουσίαση των Συσσωρευτών.

4.2 ΕΙΔΗ ΜΠΑΤΑΡΙΑΣ

4.2.1 Πρωτογενείς (Μιας Χρήσεως)

Οι πρωτογενείς μπαταρίες, είναι οι μη επαναφορτιζόμενες μπαταρίες. Μερικές από αυτές είναι οι: Ψευδαργύρου/ Άνθρακα, Αλκαλικές Μαγγανίου, Λιθίου, Υδραργύρου.

4.2.2 Δευτερογενείς (Επαναφορτιζόμενες)

Αυτές είναι: Σύστημα Νικελίου/Καδμίου, Σύστημα Μολύβδου, Σύστημα Νικελίου/Μετάλλου υδριδίου.

4.3 ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ ΓΙΑ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Σε συστήματα απομονωμένα από το δίκτυο, το φωτοβολταϊκό σύστημα πρέπει να παρέχει την ενέργεια κάθε φορά που απαιτείται ανεξαρτήτως αν έχει ήλιο ή όχι. Γι' αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται συσσωρευτές που αποθηκεύουν την περίσσεια ενέργειας. Οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενοι τύποι μπαταριών είναι οι μολύβδου-ασβεστίου και μολύβδου-αντιμονίου. Για περιπτώσεις όπου ο συσσωρευτής είναι εκτεθειμένος σε μεγάλο εύρος θερμοκρασιών χρησιμοποιούνται οι νικελίου-καδμίου. Εξαιτίας της συνεχώς μεταβαλλόμενης τιμής της ηλιακής ακτινοβολίας και του φορτίου, οι συσσωρευτές πρέπει να περνούν από πολλούς κύκλους φόρτισης και εκφόρτισης χωρίς να χάνουν τις ιδιότητές τους γρήγορα. Το ποσοστό της χωρητικότητας του συσσωρευτή που μπορεί να εκφορτιστεί χωρίς να καταστραφεί ονομάζεται βάθος εκφόρτισης και εξαρτάται από τον τύπο του. Οι μολύβδου-ασβεστίου είναι μικρού βάθους εκφόρτισης και αντέχουν 20% εκφόρτιση σε κάθε κύκλο. Οι νικελίου-καδμίου είναι μεγάλου βάθους εκφόρτισης και αντέχουν 80% εκφόρτιση σε κάθε κύκλο. Οι συσσωρευτές χρειάζονται αλλαγή κάθε 5 με 10 χρόνια ανάλογα με τον αριθμό των κύκλων φόρτισης και εκφόρτισης που κάνουν.

Οι συσσωρευτές παρέχουν αυτονομία στο σύστημα από μερικές μέρες μέχρι δύο εβδομάδες. Η χρονική διάρκεια εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του κάθε συστήματος, δηλαδή από την τοποθεσία του και την ύπαρξη ή όχι γεννήτριας. Οι συσσωρευτές χαρακτηρίζονται από την τάση τους, η οποία συνήθως είναι πολλαπλάσιο των 12 V, και από την χωρητικότητά τους, που μετριέται σε αμπερώρια (Ah). Για παράδειγμα συσσωρευτής 50Ah, 48V θα αποθηκεύσει υπό ονομαστικές συνθήκες 2400Wh.

Οι συσσωρευτές, πέραν της μείωσης της απόδοσης που προκαλούν, χρειάζονται περιοδική συντήρηση (έλεγχο υγρών) και έναν μεγάλο χώρο για να αποθηκευτούν. Ο σωστός υπολογισμός του μεγέθους του συσσωρευτή του συστήματος είναι καθοριστικός για την επίτευξη μεγάλης διάρκειας ζωής του, για την ιδανική απόδοση και για την επίτευξη ονομαστικού κόστους κύκλου ζωής του συστήματος.

4.3.1 Ονομαστικά στοιχεία μιας μπαταρίας

ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΤΑΣΗ: είναι η τάση που μπορούμε να μετρήσουμε στους πόλους με ένα βολτόμετρο και την μπαταρία χωρίς φορτία που καταναλώνουν ρεύμα.

ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ: Είναι η ποσότητα του φορτίου που η μπαταρία μπορεί να αποθηκεύσει. Μετριέται σε Ampere/Ωρα (Ah) σε εκφόρτιση 1 ώρας 5 ωρών, 10 ωρών ή 20 ωρών ανάλογα με τα στοιχεία που δίνει ο κατασκευαστής.

ΡΕΥΜΑ ΑΙΧΜΗΣ: είναι το μέγιστο ρεύμα που η μπαταρία μπορεί να δώσει όταν είναι κρύα για περίπου 30 δευτερόλεπτα (συνήθως αναφερόμαστε σε 0 C° ή -18 C° στις χειρότερες συνθήκες. Όσο η τιμή αυτή είναι μεγαλύτερη, τόσο η μπαταρία είναι σε θέση να τροφοδοτήσει ένα μεγάλο φορτίο κάτω από δύσκολες συνθήκες. Τέλος πρέπει να προσέξουμε και κάτι άλλο: Έστω ότι έχουμε μια μπαταρία με χωρητικότητα 120 A/h η οποία δύναται να μας δώσει συνέχεια 12 A για 10 ώρες, εάν όμως ζητήσουμε να πάρουμε πολύ περισσότερο ρεύμα διαπιστώνουμε ότι δεν τηρείται η αναλογία και η μπαταρία συμπεριφέρεται σαν να έχει μικρότερη χωρητικότητα από την ονομαστική. Αυτό συμβαίνει γιατί υπεισέρχονται εσωτερικές απώλειες.

4.4 ΟΙ ΙΔΙΑΙΤΕΡΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ ΜΙΑΣ Φ/Β ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Μια Φ/Β εγκατάσταση έχει τις παρακάτω απαιτήσεις όσον αφορά τους συσσωρευτές:

Οι χρησιμοποιούμενοι συσσωρευτές θα πρέπει να είναι δευτερογενείς , δηλαδή να είναι επαναφορτιζόμενοι. Αλλιώς η χρησιμότητα της εγκατάστασης ελαχιστοποιείται και βέβαια δεν υπάρχει λόγος χρήσης συσσωρευτή σε αυτή την περίπτωση.

Οι χρησιμοποιούμενοι συσσωρευτές θα πρέπει να έχουν όσο το δυνατό μεγαλύτερη χωρητικότητα σε αμπερώρια. Ένα τέτοιο πρόβλημα είναι δυνατό να λυθεί με συστοιχίες συσσωρευτών σε κατάλληλη συνδεσμολογία. Η επιθυμητή χωρητικότητα υπολογίζεται από το σύνολο των παραμέτρων της εγκατάστασης , του φορτίου, της ηλιοφάνειας κλπ.

Οι συσσωρευτές θα πρέπει να καλύπτουν και μια σειρά τεχνικές και κατασκευαστικές προδιαγραφές (πέρα από τις ονομαστικές τους τιμές) όπως να είναι μάλλον κλειστού τύπου, να είναι ανθεκτικοί στην διάβρωση, να απαιτούν ελάχιστη συντήρηση και να παρουσιάζουν μεγάλα διαστήματα χωρίς βλάβες κλπ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

5. Φ/Β ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ ΑΠΟ ΣΥΝΕΧΕΣ ΣΕ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟ (DC/AC): ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΙΣ (INVERTERS)

5.1 ΓΕΝΙΚΑ

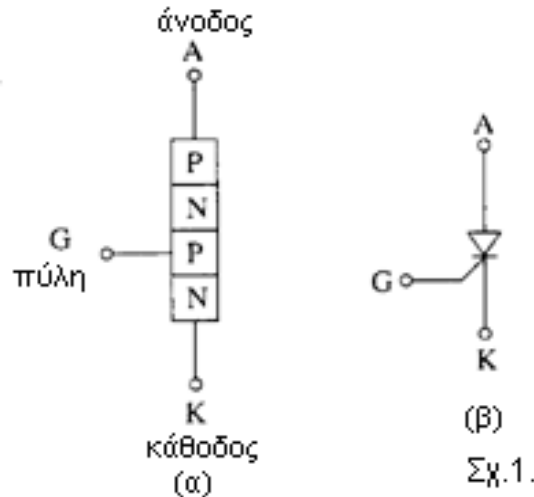
Για τη σωστή διαχείριση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από την φωτοβολταϊκή συστοιχία, απαιτείται η παρεμβολή κατάλληλων ηλεκτρονικών συσκευών, με σκοπό την βελτιστοποίηση της μεταφοράς ενέργειας με όσο το δυνατόν οικονομικότερο τρόπο αλλά και την προστασία των συσσωρευτών από υπερφόρτιση ή από υπεκφόρτιση. Οι δυο βασικότερες ηλεκτρονικές διατάξεις είναι: ο ελεγκτής ή επιτηρητής φόρτισης – εκφόρτισης και οι μετατροπείς τάσεως (inverters). Ο ελεγκτής φόρτισης τοποθετείται συνήθως σε χωριστή μονάδα σε σχέση με τις υπόλοιπες διατάξεις, μπορεί όμως να βρίσκεται και ενσωματωμένος με τον inverter σε μια μονάδα.

Τα Φ/Β στοιχεία λειτουργούν με συνεχές ρεύμα (DC). Τα ηλεκτρικά δίκτυα όπως και οι οικιακές συσκευές λειτουργούν με εναλλασσόμενο ρεύμα (AC). Οι μετατροπείς ισχύος DC/AC μετατρέπουν το συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο και είναι απαραίτητοι σε ένα σύστημα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για να τροφοδοτήσουν το φορτίο. Οι μετατροπείς ισχύος DC/AC των συστημάτων ανανεώσιμων πηγών χωρίζονται σε δυο κατηγορίες: τους μετατροπείς που εγκαθίστανται σε αυτόνομα συστήματα και τους μετατροπείς που συνδέονται με το ηλεκτρικό δίκτυο.

Εκτός από αυτούς τους μετατροπείς DC/AC, υπάρχουν και οι μετατροπείς DC/DC οι οποίοι δεν αναλύονται καθώς ξεφεύγουν από τους σκοπούς της παρούσης εργασίας.

5.2 THYRISTOR (SCR)

Το thyristor είναι ημιαγωγός ισχύος τεσσάρων στρωμάτων PNPN ο οποίος χρησιμοποιείται σαν ηλεκτρονικός διακόπτης. Είναι ο πλέον δημοφιλής ελεγκτής ισχύος διότι συνδυάζει υψηλή ταχύτητα μεταγωγής, μεγάλες τάσεις και μεγάλα ρεύματα λειτουργίας και μικρό μέγεθος - κόστος.



Η δομή ενός thyristor καθώς και το σύμβολό του

Το thyristor έχει τρεις ακροδέκτες την άνοδο A, την κάθοδο K που είναι και οι ακροδέκτες ισχύος και την πύλη G που είναι ο ακροδέκτης ελέγχου. Για να γίνει αγώγιμο το thyristor αρκεί η άνοδος να είναι πλέον θετική της καθόδου και μία θετική τάση, σε σχέση με την κάθοδο, να δημιουργήσει κατάλληλου πλάτους ρεύμα πύλης i_G . Το thyristor δεν μπορεί να έλθει σε αποκοπή με χρήση της πύλης. Η αγωγιμότητα του thyristor σταματά μόνο αν μηδενισθεί το ρεύμα μέσα από αυτό. Βεβαίως με ανάστροφη πόλωση το thyristor δεν γίνεται σε καμία περίπτωση αγώγιμο.

5.3 ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΙΣ ΔΙΑΚΟΠΤΙΚΟΥ ΤΥΠΟΥ

Οι αντιστροφείς διακοπτικού τύπου χρησιμοποιούνται σε AC κινητήρια συστήματα και σε AC τροφοδοτικά αδιάλειπτης λειτουργίας (UPS) όπου απαιτείται η παραγωγή ημιτονοειδούς τάσης με ελεγχόμενη συχνότητα και πλάτος. Οι αντιστροφείς διακρίνονται σε αυτούς που η είσοδος τους είναι μια DC πηγή τάσης και σε αυτούς που η είσοδος τους είναι μια DC πηγή ρεύματος. Επίσης, διακρίνονται περαιτέρω σε:

- ∅ μονοφασικούς αντιστροφείς ημιγέφυρας,
- ∅ μονοφασικούς αντιστροφείς σε συνδεσμολογία πλήρους γέφυρας και
- ∅ τριφασικούς αντιστροφείς.

Οι αντιστροφείς πηγής τάσης διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες:

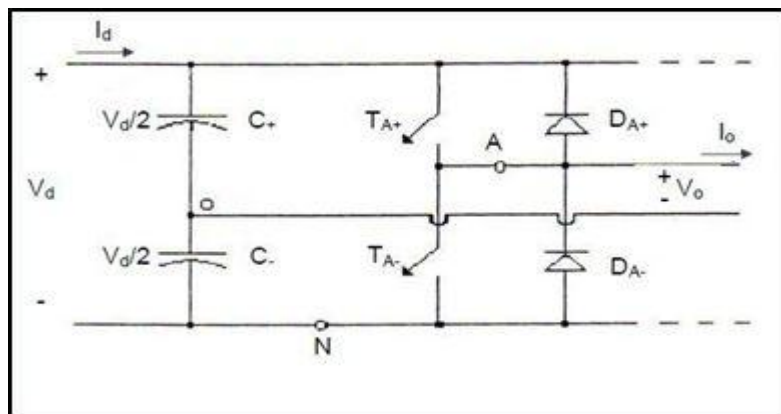
- ∅ Αντιστροφείς με διαμόρφωση εύρους παλμών: σε αυτούς τους αντιστροφείς η τάση εισόδου έχει σταθερό πλάτος και επομένως ο αντιστροφέας ελέγχει το πλάτος και τη συχνότητα της εξόδου. Αυτό γίνεται με τη διαμόρφωση του εύρους των παλμών εξόδου και γι' αυτό αυτοί οι αντιστροφείς ονομάζονται αντιστροφείς με διαμόρφωση εύρους παλμών.
- ∅ Αντιστροφείς με τετραγωνική κυματομορφή: σε αυτούς τους αντιστροφείς ελέγχεται το πλάτος της εισόδου για τον έλεγχο του πλάτους της εξόδου.

Συνεπώς, ο αντιστροφέας πρέπει να ελέγξει τη συχνότητα της τάσης εξόδου. Η κυματομορφή της τάσης εξόδου μοιάζει με τετραγωνική και γι' αυτό οι συγκεκριμένοι αντιστροφείς λέγονται τετραγωνικοί.

- ∅ Αντιστροφείς με απαλοιφή τάσης: σε αυτούς τους αντιστροφείς ελέγχεται το πλάτος και η συχνότητα της τάσης εξόδου. Συνεπώς, συνδυάζουν τα χαρακτηριστικά των δύο προηγούμενων κατηγοριών. Η τεχνική της απαλοιφής τάσης δε λειτουργεί στους τριφασικούς αντιστροφείς αλλά μόνο στους μονοφασικούς.

5.3.1 Μονοφασικοί Αντιστροφείς Ημιγέφυρας

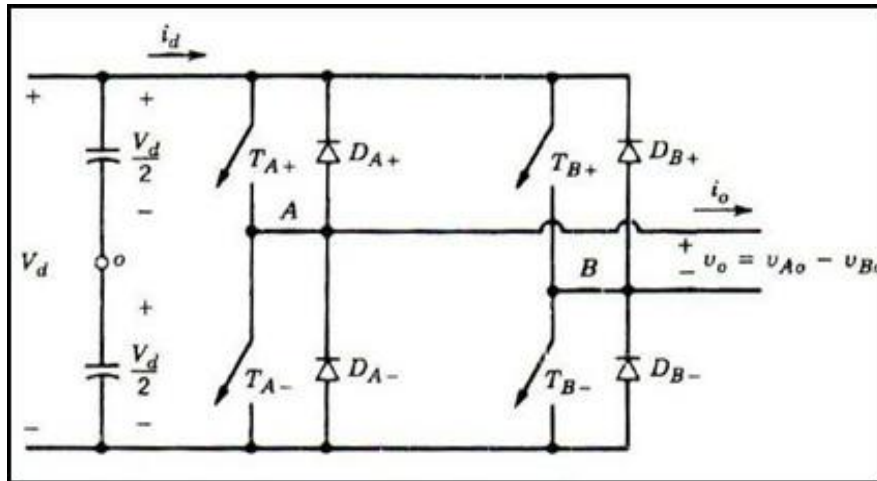
Στο Σχήμα 5.1, παρουσιάζεται το διάγραμμα ενός αντιστροφέα ημιγέφυρας. Όπως φαίνεται, η DC τάση εισόδου συνδέεται σε σειρά με δύο πυκνωτές. Στο σημείο σύνδεσης των πυκνωτών αναπτύσσεται το μισό δυναμικό από αυτό της εισόδου, άρα στα άκρα κάθε πυκνωτή αναπτύσσεται τάση ίση με $V_d/2$. Οι χωρητικότητες πρέπει να είναι αρκετά μεγάλες, ώστε το δυναμικό στο σημείο "ο" να είναι σταθερό σε σχέση με το δυναμικό του αγωγού N.



Σχήμα 5.1: Αντιστροφέας Ημιγέφυρας

5.3.2 Μονοφασικοί Αντιστροφείς Πλήρους Γέφυρας

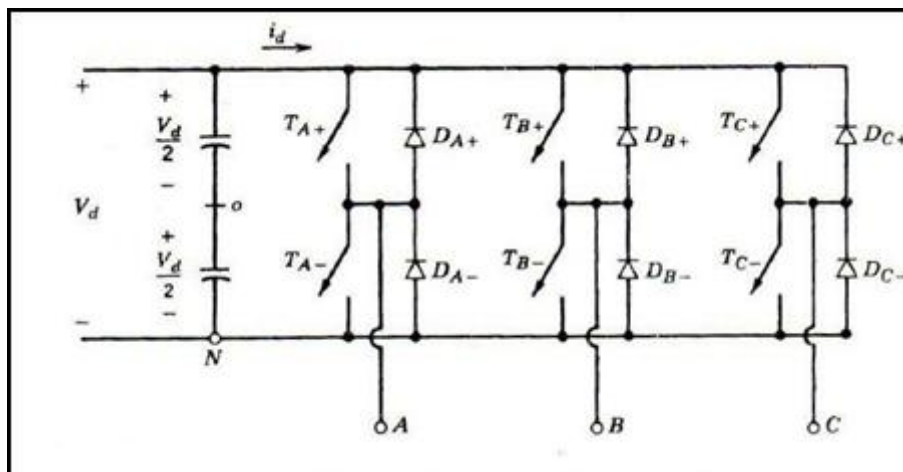
Οι αντιστροφείς με πλήρη γέφυρα αποτελούνται από δυο αντιστροφείς ενός σκέλους, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.2 και είναι προτιμότεροι σε περιπτώσεις υψηλής ισχύος. Με την ίδια τάση εισόδου, η μέγιστη τάση εξόδου του αντιστροφέα με πλήρη γέφυρα είναι διπλάσια της αντίστοιχης του αντιστροφέα ημιγέφυρας. Έτσι, για ίδια ισχύ εξόδου, τα ρεύματα της εξόδου και των διακοπών έχουν τη μισή τιμή από εκείνα του αντιστροφέα ημιγέφυρας. Αυτό είναι ιδιαίτερο πλεονέκτημα για υψηλές τιμές ισχύος εξόδου καθώς απαιτεί λιγότερους παραλληλισμούς ημιαγωγικών στοιχείων.



Σχήμα 5.2: Μονοφασικός αντιστροφέας πλήρους γέφυρας

5.3.3 Τριφασικοί Αντιστροφέες

Σε τριφασικές εφαρμογές χρησιμοποιούνται τριφασικοί αντιστροφέες. Η τροφοδοσία τριφασικού φορτίου είναι δυνατή μέσω τριών μονοφασικών αντιστροφέων, καθένας από τους οποίους παράγει μια έξοδο στη βασική συχνότητα μετατοπισμένη κατά 120° σε σχέση με τις υπόλοιπες. Το κύκλωμα τριφασικού αντιστροφέα που χρησιμοποιείται συχνότερα φαίνεται στο Σχήμα 5.3 και αποτελείται από τρία σκέλη, ένα για κάθε φάση. Κάθε σκέλος είναι όμοιο με αυτό που χρησιμοποιήθηκε στην περιγραφή του βασικού αντιστροφέα ενός σκέλους.



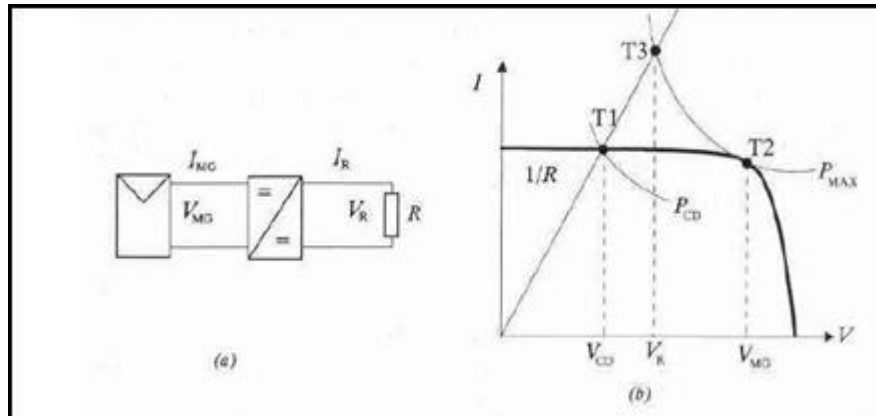
Σχήμα 5.3: Τριφασικός αντιστροφέας

5.4 ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ DC/AC ΜΕ ΜΡΡΤ

Οι μετατροπείς ισχύος DC/AC με ΜΡΡΤ είναι μετατροπείς ισχύος και ηλεκτρονικές διατάξεις ισχύος που μπορούν να απορροφήσουν τη μέγιστη δυνατή ισχύ από τα Φ/Β πλαίσια. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται Maximum Power Point Tracking (ΜΡΡΤ). Η αρχή

της λειτουργίας των συστημάτων MPPT φαίνεται στο Σχήμα 5.4 όπου θεωρούμε μια Φ/Β γεννήτρια, ένα μετατροπέα ισχύος με δυνατότητα MPPT και μία αντίσταση σαν φορτίο.

Η χαρακτηριστική του φορτίου τέμνει την χαρακτηριστική της Φ/Β γεννήτριας στο σημείο T1 το οποίο βρίσκεται πολύ μακριά από το σημείο μέγιστης ισχύος T2. Έτσι ένα μεγάλο ποσοστό ενέργειας από αυτό που θα μπορούσε να παραχθεί χάνεται. Χρησιμοποιώντας τον μετατροπέα ισχύος με δυνατότητα MPPT, ο οποίος έχει την χαρακτηριστική καμπύλη που περνά από τα σημεία T2 και T3, το σημείο λειτουργίας του συστήματος μετατοπίζεται στο σημείο T2 το οποίο είναι το σημείο μέγιστης ισχύος της Φ/Β γεννήτριας. Έτσι απορροφάται από το φορτίο το μέγιστο δυνατό ποσό ενέργειας.



Σχήμα 5.4: α) Το γενικό διάγραμμα και β) η αρχή λειτουργίας των συστημάτων με δυνατότητα Maximum Power Point Tracking.

5.5 ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΩΝ DC/AC

Οι μετατροπείς ισχύος DC/AC έχουν βαθμό απόδοσης μετατροπής ισχύος η_1 , με τιμή της τάξης του 95% κατά τη λειτουργία στην ονομαστική τους ισχύ. Όταν λειτουργούν σε ισχύ διαφορετική από την ονομαστική τους τότε η απόδοσή τους είναι μειωμένη. Ο βαθμός απόδοσης, η_1 , των μετατροπών ισχύος DC/AC ορίζεται ως εξής:

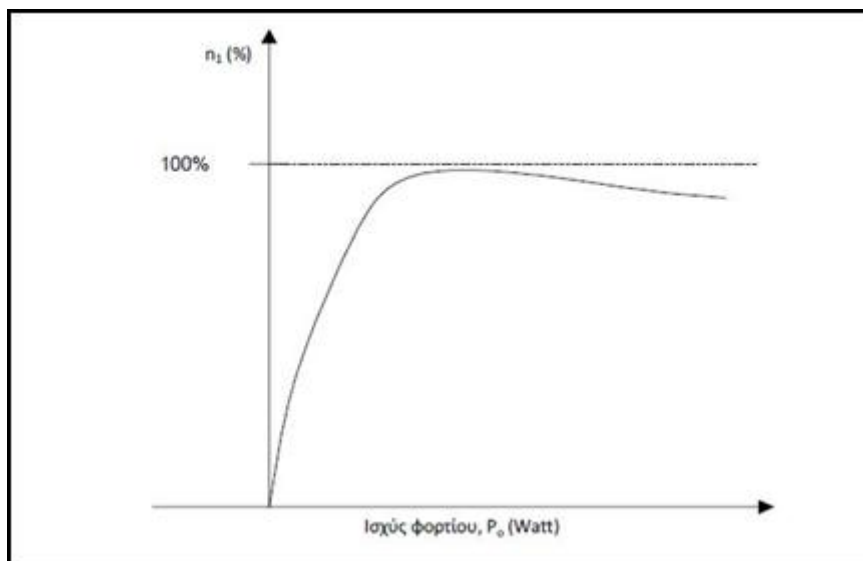
$$\eta_1(\%) = \frac{P_o}{P_{in}} 100\%$$

όπου:

P_o: η ισχύς εξόδου του μετατροπέα ισχύος DC/AC (η ισχύς που παρέχεται στο φορτίο)

P_{in}: η ισχύς εισόδου του μετατροπέα ισχύος DC/AC.

Στο Σχήμα 5.5 φαίνεται η καμπύλη του βαθμού απόδοσης ενός μετατροπέα ισχύος DC/AC σε συνάρτηση με την ισχύ του φορτίου του.



Σχήμα 5.4: Ο βαθμός απόδοσης ενός inverter συναρτίζεται της ισχύος του φορτίου

Συνήθως προτιμώνται οι αντιστροφείς με δυνατότητα MPPT. Καθώς έχει αποδειχτεί ότι παρά το γεγονός ότι έχουν υψηλότερο κόστος σε σχέση με αυτούς χωρίς τη συγκεκριμένη δυνατότητα το συνολικό κόστος του Φ/Β συστήματος μειώνεται λόγω της καλύτερης εκμετάλλευσης της διαθέσιμης ενέργειας των Φ/Β στοιχείων. Με η_{MPPT} συμβολίζεται η ακρίβεια εκτέλεσης της λειτουργίας MPPT της εκάστοτε συσκευής και βρίσκεται, όπως και ο βαθμός απόδοσης της συσκευής η_1 , στα χαρακτηριστικά που δίνουν οι κατασκευαστές της συσκευής. Έτσι, ο συνολικός βαθμός απόδοσης, κατά τη μετατροπή της διαθέσιμης μέγιστης ισχύος των Φ/Β πλαισίων σε ισχύ που διοχετεύεται στο ηλεκτρικό δίκτυο, δίνεται από τη σχέση:

$$\eta_{\text{inv}} = \eta_1 \cdot \eta_{MPPT}$$

5.6 ΕΛΕΓΚΤΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ

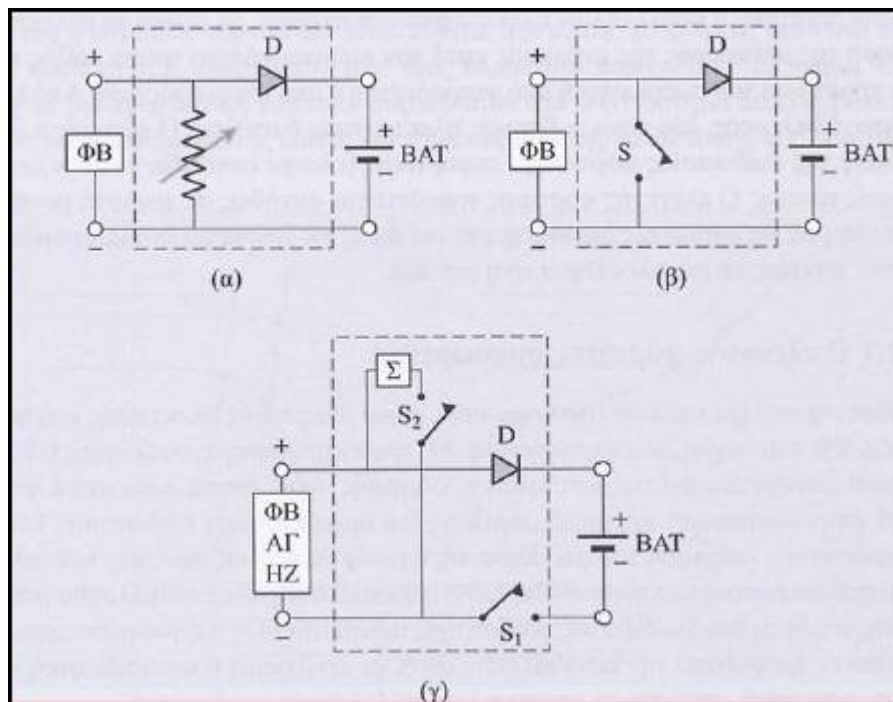
Η φόρτιση των ηλεκτρικών συσσωρευτών, μέσω μιας πηγής ηλεκτρικής ενέργειας απαιτεί συνεχή έλεγχο της κατάστασης φόρτισης τους ώστε όταν φτάσουν στην κατάσταση μέγιστης φόρτισης να διακόπτεται η διαδικασία. Έτσι αποφεύγεται η υπέρταση του συσσωρευτή, η οποία θα είχε σαν συνέπεια την έκλυση μεγάλων ποσοτήτων υδρογόνου, λόγω ηλεκτρόλυσης με αποτέλεσμα την μείωση της στάθμης του διαλύματος. Επίσης απαιτείται έλεγχος του συσσωρευτή όσο αυτός τροφοδοτεί την κατανάλωση ώστε να προληφθεί η καταστροφική κατάσταση υπερφόρτισης.

Γενικά ο ελεγκτής φόρτισης-εκφόρτισης, στην πιο περιορισμένη του μορφή, εποπτεύει την διαδικασία φόρτισης και εκφόρτισης ώστε να απομονώνει το σύστημα αποθήκευσης, αφενός από το σύστημα παραγωγής της ενέργειας, στην περίπτωση της υπερφόρτισης και αφετέρου από το σύστημα κατανάλωσης, στην περίπτωση υπερεκφόρτισης. Και στις δυο περιπτώσεις, η διακοπή αυτή προκαλείται όταν η τάση στα άκρα του συσσωρευτή ξεπεράσει προς τα άνω, και αντίστοιχα προς τα κάτω ορισμένα όρια τάσης, όπου ενεργοποιούνται οι ηλεκτρικοί διακόπτες.

Μια μονάδα ελέγχου φόρτισης – εκφόρτισης, περιλαμβάνει ένα σύνολο ολοκληρωμένων συστημάτων είτε μικρο-ελεγκτές, που ελέγχουν ηλεκτρικούς διακόπτες, είτε ηλεκτρομηχανικούς (ρελέ), είτε ηλεκτρονικούς ισχύος (Mosfets, thyristors, triacs). Σε κάθε περίπτωση στο κύκλωμα παρεμβάλλεται μια δίοδος για την προστασία του συστήματος αποθήκευσης από εκφόρτιση, μέσω των κυκλωμάτων της διάταξης ή του υπόλοιπου συστήματος.

5.6.1 Παράλληλος ρυθμιστής φόρτισης (Shunt controller)

Ειδικότερα στα φωτοβολταϊκά συστήματα τα οποία χαρακτηρίζονται ως πηγές σταθερού ρεύματος, χρησιμοποιούνται διατάξεις παράλληλου ρυθμιστή φόρτισης με γραμμικό και με διακοπτικό στοιχείο. (Shunt controller). Χαρακτηριστικό αυτού του ρυθμιστή είναι ότι το ελεγχόμενο στοιχείο είναι συνδεδεμένο παράλληλα με το φωτοβολταϊκό σύστημα με δυνατότητα να λειτουργεί, είτε μεταβαλλόμενο γραμμικά, ανάλογα με την μέγιστη φόρτιση, είτε ως διακόπτης ON/OFF. (Σχήμα 5.5). Στην περίπτωση του παράλληλου ρυθμιστή, όταν επιτευχθεί η μέγιστη φόρτιση, το ελεγχόμενο στοιχείο βραχυκυκλώνει το φωτοβολταϊκό σύστημα χωρίς να προκαλείται καμία βλάβη σε αυτό. Έτσι απομονώνεται το σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από το σύστημα αποθήκευσης της.



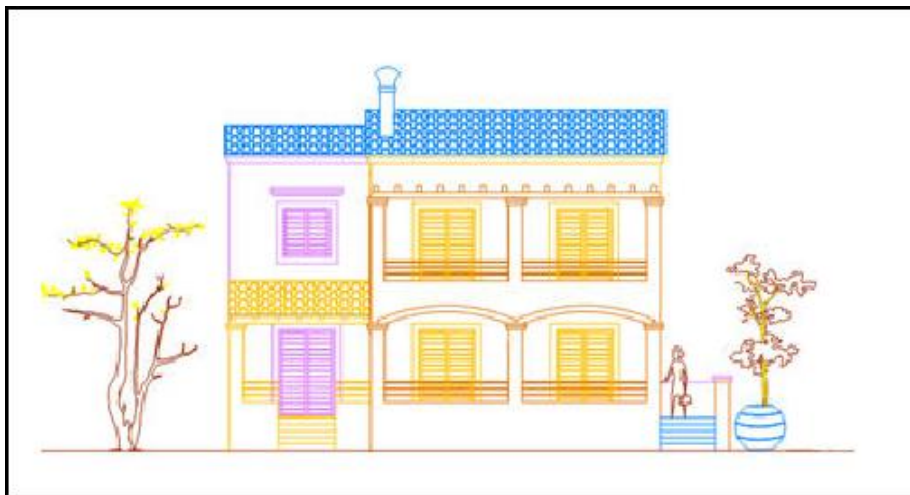
Σχήμα 5.5: Τυπικά διαγράμματα παράλληλου ρυθμιστή φόρτισης (α) με γραμμικό και (β) με διακοπτικό στοιχείο. Το διάγραμμα (γ) αφορά ρυθμιστή φόρτισης σε σειρά με στοιχείο απόρριψης ή απόδοσης της περίσσειας ενέργειας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο

6. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΤΡΟΦΟΔΟΤΗΣΗ ΕΞΟΧΙΚΗΣ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ

6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το κεφάλαιο που ακολουθεί ασχολείται με το πρόβλημα τροφοδότησης εξοχικής κατοικίας, απομακρυσμένης από το δίκτυο της ΔΕΗ. Η εξοχική κατοικία που μελετάμε στεγάζει μια μέση ελληνική οικογένεια.



Η οικογένεια αποφάσισε να εγκαταστήσει φωτοβολταϊκά για την τροφοδότηση της εξοχικής κατοικίας με ηλεκτρικό ρεύμα διότι το δίκτυο της ΔΕΗ βρισκόταν πολύ μακριά και θα ήταν ασύμφορο εάν αποφάσιζαν να το χρησιμοποιήσουν. Δεδομένης της κατάστασης, όλα τα μέλη της οικογένειας συμφώνησαν να περιορίσουν στον μέγιστο δυνατό βαθμό τις ανάγκες τους σε ηλεκτρικό ρεύμα, τουλάχιστον κατά την διάρκεια των χειμερινών μηνών όπου η ηλιοφάνεια είναι περιορισμένη.

6.2 ΟΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΙΣ

Ο σχεδιασμός πάντα ξεκινά με την εκτίμηση των ηλεκτρικών καταναλώσεων του συστήματος. Ύστερα από προσεκτική έρευνα, απαριθμούνται οι διάφορες ενδεχόμενες χρήσεις ηλεκτρικής ενέργειας και καταγράφονται όλες οι ηλεκτρικές συσκευές, η ισχύς τους και ο πιθανός χρόνος λειτουργίας τους στην διάρκεια του 24ώρου. Συχνά είναι χρήσιμο να

καταγράφεται η πιθανότητα ταυτόχρονης λειτουργίας περισσότερων συσκευών, ώστε να υπολογιστεί η μέγιστη ισχύς στην 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.

Στην περίπτωση μας, επιλέχθηκαν μοντέρνες οικιακές συσκευές, ενεργειακής κλάσης Α, δηλαδή χαμηλότερης κατανάλωσης, έτσι ώστε η οικογένεια να μπορεί να απολαμβάνει αστικές ανέσεις στον μεγαλύτερο δυνατό βαθμό. Για την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης κρίνεται αναγκαία η αποφυγή ηλεκτρικών συσκευών με μεγάλη θερμική κατανάλωση. Τέτοιες συσκευές αποτελούν οι ηλεκτρικές κουζίνες, τα ηλεκτρικά καλοριφέρ, τα αερόθερμα, οι ηλεκτρικοί θερμοσίφωνες, οι σταθεροί υπολογιστές (τύπου desktop) κ. ά. Και μπορούν να αντικατασταθούν από κουζίνες και θερμάστρες υγραερίου, ηλιακούς θερμοσίφωνες και φορητούς υπολογιστές (laptop).

Στους πίνακες που ακολουθούν καταχωρήσαμε τα στοιχεία ημερήσιας κατανάλωσης κατά την διάρκεια των μηνών.

Περιγραφή Φορτίου	Αριθμός Συσκευών	Ισχύς (W)	Ώρες (h) Λειτουργίας	Ημερήσια Ηλεκτρική Κατανάλωση (Wh)
Ψυγειοκαταψύκτης	1	110	24	2640
Απορροφητήρας	1	200	1	200
Αναδευτήρας χειρός	1	125	0.03	3.75
Αναδευτήρας καφέ	1	15	0.05	0.75
Μπλέντερ moulinex	1	150	0.036	5.4
Τοστιέρα	1	350	0.25	87.5
Καφετιέρα	1	480	0.33	158.4
Βραστήρας Νερού	1	800	0.25	200
Πλυντήριο ρούχων	1	1200	0.43	516
Ατμοσίδερο	1	1300	0.43	559
Ηλεκτρική σκούπα	1	1200	0.143	171.6
Τηλεόραση	1	80	4	320
Στεγνωτήρας μαλλιών	1	800	0.25	200
Laptop	1	50	8	400
Εκτυπωτής	1	20	0.0024	0.048
Στερεοφωνικό	1	80	3	240
Φωτισμός (εσωτερικός)	3	15	6	270
Φωτισμός	5	18	6	540

(εσωτερικός)				
Φωτισμός (εξωτερικός)	2	60	3	360
Σύνολο		7215W		6.87 kWh

Πίνακας 6.1. πίνακας ηλεκτρικών καταναλώσεων κατά τη διάρκεια των μηνών

Όπως προέκυψε από τα παραπάνω δεδομένα, η μέση ημερήσια ηλεκτρική κατανάλωση είναι 6.87 kWh. Ωστόσο ποτέ δεν μπορούμε να είμαστε πλήρως ακριβείς στις προβλέψεις μας επειδή είναι πολύ πιθανό να προκύψουν και πρόσθετες ηλεκτρικές καταναλώσεις κατά την διάρκεια της ημέρας, όπως η φόρτιση ενός κινητού τηλεφώνου, η χρήση κάποιας μικροσυσκευής ή ακόμη και η κατανάλωση ενέργειας από κάποια συσκευή που βρίσκεται σε κατάσταση αναμονής. Έτσι, κρίνεται απαραίτητο να συνεχίσουμε την μελέτη μας θεωρώντας ότι η ημερήσια ηλεκτρική κατανάλωση είναι **7 kWh**.

6.3 Η ΧΡΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ

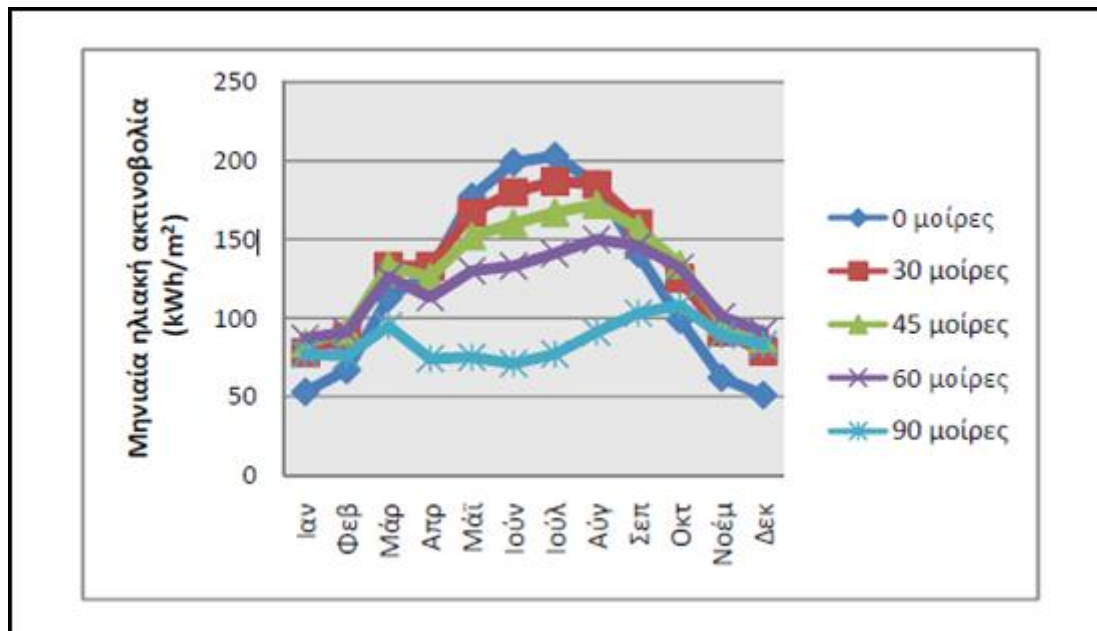
Είναι προφανές ότι το σύστημα πρέπει να λειτουργεί αξιόπιστα καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Συνεπώς, τα μεγέθη του φωτοβολταϊκού συστήματος (μέγεθος συλλεκτών, συσσωρευτών και λοιπών διατάξεων) πρέπει να προσαρμόζονται στις συνθήκες του μήνα με την μικρότερη ηλιακή ακτινοβολία – Δεκέμβριος ή Ιανουάριος – ανάλογα με την κλίση των συλλεκτών που θα επιλέξουμε.

6.4 Η ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ

6.4.1 Η Κλίση Των Συλλεκτών

Η ηλιακή ακτινοβολία που θα δεχθεί μια επιφάνεια εξαρτάται από την κλίση και τον προσανατολισμό της. Για μια επιφάνεια σε έναν συγκεκριμένο τόπο, η αύξηση της κλίσης της έχει σαν αποτέλεσμα να δέχεται περισσότερη ακτινοβολία τον χειμώνα από ότι το καλοκαίρι. Έτσι, είναι σύνηθες σε ηλιακές εφαρμογές που απαιτείται να γίνει χρήση της ενέργειας από τους ηλιακούς συλλέκτες τον χειμώνα, η κλίση τους να είναι μεγάλη ενώ αν οι συλλέκτες χρησιμοποιούνται το καλοκαίρι η κλίση τους να είναι μικρή.

Το μέρος που θα εγκατασταθεί το φωτοβολταϊκό σύστημα πρόκειται για τόπο γεωγραφικού πλάτους 38°. Στον πίνακα 6.2, που ακολουθεί, αναγράφεται η συνολική μηνιαία και ετήσια ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε συλλέκτες διαφόρων κλίσεων στον προς μελέτη τόπο. Κατόπιν, στον πίνακα 6.3, υπολογίστηκε, μέσω του πίνακα 6.2, η μέση ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε συλλέκτες διαφόρων κλίσεων.



Σχήμα 6.1: Μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία σε διάφορες κλίσεις συλλέκτη για τόπο γεωγραφικού πλάτους 38° .

Κλίση συλλέκτη	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ	Μέσος όρος	Συνολική
0°	53	67	113	129	177	199	203	185	141	99	62	51	123	1479
30°	78	88	133	133	167	180	187	185	160	125	91	79	134	1611
45°	84	92	133	126	152	160	167	172	157	134	98	87	130	1563
60°	87	91	126	113	130	133	141	150	146	132	101	91	120	1441
90°	77	76	95	74	75	71	77	91	103	108	89	83	85	1018

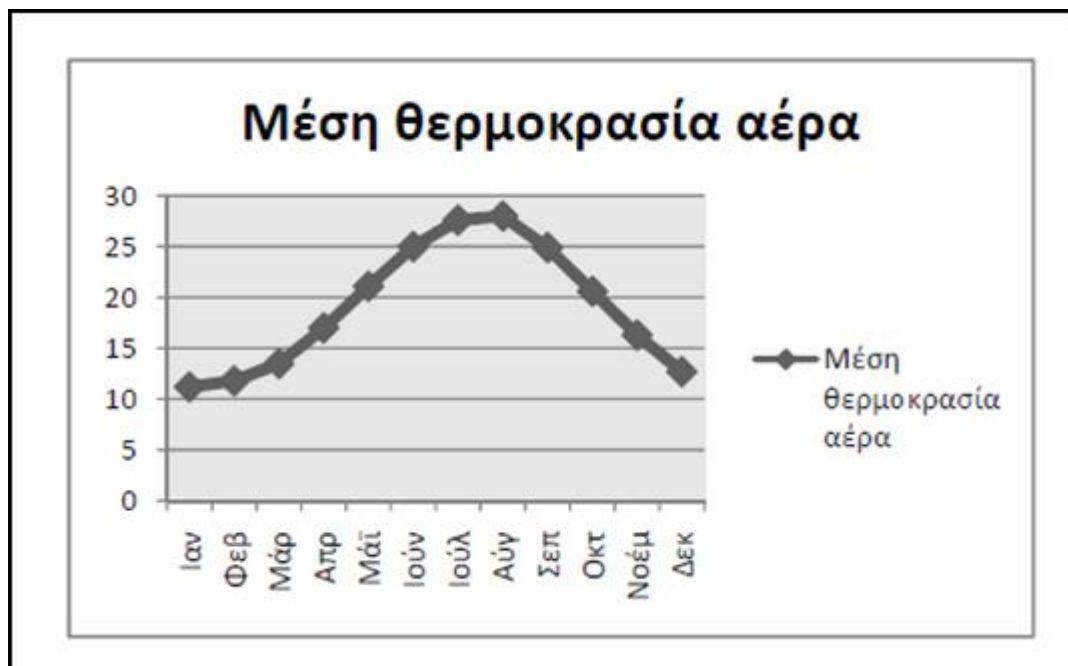
Πίνακας 6.2 : Συνολική μηνιαία και ετήσια ηλιακή ακτινοβολία (kWh/m²) στον προς μελέτη τόπο.

Κλίση συλλέκτη	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ	Μέσος όρος
0°	1,709	2,393	3,645	4,300	5,709	6,633	6,548	5,968	4,700	3,193	2,067	1,645	4,043
30°	2,516	3,143	4,290	4,433	5,387	6,000	6,032	5,968	5,333	4,032	3,033	2,548	4,393
45°	2,709	3,286	4,290	4,200	4,903	5,333	5,387	5,548	5,233	4,323	3,267	2,806	4,274
60°	2,806	3,250	4,065	3,766	4,194	4,433	4,548	4,839	4,866	4,258	3,367	2,935	3,944
90°	2,484	2,714	3,064	2,466	2,419	2,366	2,483	2,935	3,433	3,484	2,967	2,677	2,791

Πίνακας 6.3: Μέση ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία (kWh/m² day) για διάφορες κλίσεις συλλέκτη.

	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ
Μέση θερμοκρασία αέρα	11,2	11,8	13,5	17,0	21,1	25,0	27,6	28,0	24,9	20,6	16,3	12,7

Πίνακας 6.4: Μέση θερμοκρασία αέρα (°C) στην διάρκεια των φωτεινών ωρών της ημέρας.



Σχήμα 6.2: Μέση μηνιαία θερμοκρασία αέρα

Μελετώντας το διάγραμμα του σχήματος 6.1, παρατηρούμε ότι η χρήση επίπεδων συλλεκτών (κλίση 0°) απορρίπτεται εξ αρχής, διότι η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε αυτούς κατά τους ακραίους μήνες (Δεκέμβριο και Ιανουάριο) παρουσιάζει σημαντικές διαφορές σε σχέση με τις υπόλοιπες κλίσεις. Επιπλέον, είναι ολοφάνερο πως εάν τοποθετήσουμε συλλέκτες κλίσης 90° δεν θα εκμεταλλευτούμε στο έπακρον την ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στον προς μελέτη τόπο, για κανέναν μήνα του έτους. Θεωρητικά η κλίση των 60° υπερτερεί, αφού μας ενδιαφέρει να αυξήσουμε όσο το δυνατόν περισσότερο την αξιοπιστία του συστήματος κατά τους χειμερινούς μήνες. Ωστόσο, επειδή το κέρδος σε σύγκριση με την κλίση των 45° είναι ιδιαίτερα μικρό, είναι προτιμότερο να τοποθετήσουμε συλλέκτες κλίσης 45° για να πετύχουμε μεγαλύτερη εκμετάλλευση ηλιακής ακτινοβολίας κατά τους θερινούς μήνες. Τελικώς, η κλίση των 30° αποτελεί λύση του προβλήματος μας αφού οι τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας κατά τους ακραίους μήνες δεν παρουσιάζουν δραματικές διαφορές. Μάλιστα, η κλίση αυτή αποτελεί την βέλτιστη λύση σε περίπτωση που υπάρχουν επιπλέον θερινά φορτία, όπως ένα κλιματιστικό.

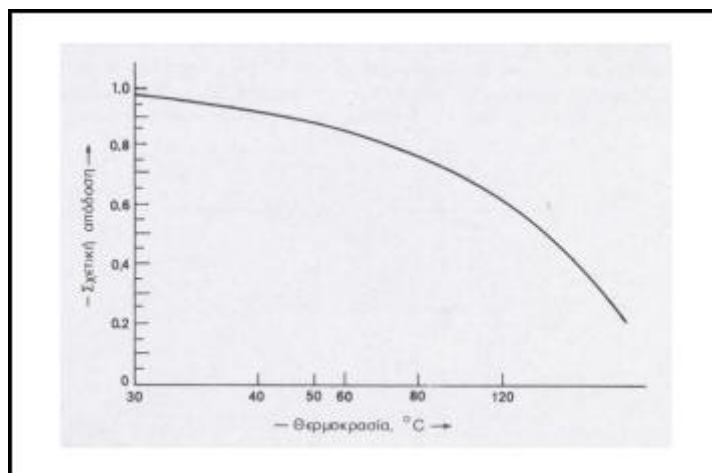
Συνοψίζοντας καλούμαστε να τοποθετήσουμε συλλέκτες κλίσης 30° με κατεύθυνση προς Νότο, προκειμένου να επιτύχουμε καλύτερη εκμετάλλευση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας κατά τους χειμερινούς μήνες. Σε αυτήν την περίπτωση θα μελετήσουμε το

σύστημα με βάση τα χαρακτηριστικά του μήνα με την μικρότερη ηλιακή ακτινοβολία, δηλαδή τον μήνα Ιανουάριο, όπου η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στους συλλέκτες είναι 78 kWh/m^2 . (Πίνακας 6.2)

6.4.2 Η Απαιτούμενη Ισχύς Αιχμής

Από τον πίνακα 6.3 παρατηρούμε ότι την μικρότερη μέση τιμή της ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας έχει ο μήνας Ιανουάριος, είτε πρόκειται να τοποθετήσουμε συλλέκτες κλίσης 30° είτε 45° , και η μέση θερμοκρασία του αέρα στις φωτεινές ώρες της ημέρας είναι $11,2^\circ \text{C}$ (πίνακας 6.4). Δεχόμενοι ότι η θερμοκρασία των ηλιακών στοιχείων είναι κατά 30°C μεγαλύτερη, καταλήγουμε στους $41,2^\circ \text{C}$ για τον μήνα Ιανουάριο. Επομένως, από το διάγραμμα που ακολουθεί (σχήμα 6.3) εύκολα βρίσκουμε τον συντελεστή θερμοκρασιακής διόρθωσης σ_θ :

$$\sigma_\theta = 0,90$$



Σχήμα 6.3: Συντελεστής θερμοκρασιακής διόρθωσης

Όσο αφορά την ρύπανση των φωτοβολταϊκών συλλεκτών, προβλέπουμε ότι λόγω των ανέμων και της σκόνης, θα γίνεται επιθεώρηση κι ενδεχομένως καθαρισμός της επιφάνειάς τους σε τακτά χρονικά διαστήματα. Έτσι, δεχόμαστε για τον συντελεστή καθαρότητας την τιμή 0,9 για όλες τις εποχές του έτους:

$$\sigma_p = 0,90$$

Δεδομένου ότι η μέση ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία κατά τον μήνα Ιανουάριο είναι $2,516 \text{ kWh/m}^2$ (πίνακας 6.3), η ιδανική απαιτούμενη ισχύς αιχμής της φωτοβολταϊκής συστοιχίας δίνεται από :

$$P_a (kW_p) = \frac{E (kWh/d) \times 1 (kW/m^2)}{\Pi (kWh/m^2 \cdot d) \times \sigma_\theta \times \sigma_\rho} \Rightarrow$$

Οπότε :

$$P_a (kW_p) = \frac{7 (kWh/d) \times 1 (kW/m^2)}{2,516 (kWh/m^2 \cdot d) \times 0,9 \times 0,9} \Rightarrow$$

$$P_a (kW_p) = 3,44 kW$$

Στην συνέχεια, προχωράμε σε μια χονδρική εκτίμηση των απωλειών του συστήματος. Παίρνοντας ως συντελεστή απόδοσης 85% για τους συσσωρευτές, 90% για τον αντιστροφέα DC/AC και 95% για τους αγωγούς του συστήματος, καταλήγουμε σε συνολικό συντελεστή απόδοσης:

$$a = 0.85 \times 0.90 \times 0.95 = 0.73$$

Επομένως, η ελάχιστη ισχύς αιχμής της φωτοβολταϊκής γεννήτριας πρέπει να είναι:

$$P'_a = \frac{P_a}{a}$$

Επομένως: $P'_a = 3,44/0,73 = 4,7 \text{ kW}$

6.4.3 Η Τάση Του Συστήματος

Η τάση της φωτοβολταϊκής συστοιχίας πρέπει να ισούται με την τάση των συσσωρευτών, καθώς και με την τάση και με την τάση εισόδου του μετατροπέα. Συνήθως προτιμούμε 12V, 24V ή 48V. Όσο υψηλότερη τάση χρησιμοποιούμε στο σύστημα τόσο μικρότερο ρεύμα απαιτείται, που συνεπάγεται ελαχιστοποίηση των απωλειών στα καλώδια. Ωστόσο, για να έχουμε υψηλή τάση θα πρέπει να συνδέσουμε μεγάλο πλήθος συσσωρευτών σε σειρά και κάτι τέτοιο αυξάνει υπερβολικά το κόστος εγκατάστασης. Για αυτούς τους λόγους πρέπει να είμαστε ιδιαίτερα προσεκτικοί ως προς την επιλογή της τάσης του συστήματος.

Στην παρούσα μελέτη, αποφασίστηκε να εγκαταστήσουμε inverter τάσης εισόδου 24V και συνεπώς, η τάση της φωτοβολταϊκής συστοιχίας και των συσσωρευτών θα είναι και αυτή 24V.

6.4.4 Το πλήθος και η οργάνωση των φωτοβολταϊκών πλαισίων

Επιλέξαμε να εγκαταστήσουμε φωτοβολταϊκά πλαίσια πολυκρυσταλλικού τύπου (SE 240) κυψελών της εταιρείας SILCIO SOLAR TECHNOLOGIES ονομαστικής ισχύος 240 Wp.



Σχήμα 6.4 : Φωτοβολταϊκό πλαίσιο SE 240, ονομαστικής ισχύος 240 Wp.

Τα χαρακτηριστικά του μοντέλου που επιλέξαμε φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

ΑΝΑΛΥΤΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΓΙΑ ΤΑ ΠΛΑΙΣΙΑ

Τύπος Πλαισίου		SE 215	SE 220	SE 225	SE 230	SE 235	SE 240
Όνομαστική Ισχύς	(W)	215	220	225	230	235	240
Όνομαστική Τάση U_{mp}	(V)	28,79	29,12	29,41	29,72	29,90	30,10
Όνομαστική Ένταση I_{mp}	(A)	7,47	7,56	7,65	7,74	7,86	7,98
Τάση Ανοικτού Κυκλώματος U_{oc}	(V)	36,81	36,94	37,07	37,17	37,26	37,30
Ρεύμα Βραχυκύκλωσης I_{sc}	(A)	8,10	8,12	8,14	8,16	8,18	8,19
Βαθμός Αποδόσεως	(%)	13,10	13,40	13,70	14,00	14,30	14,60

Οι ανωτέρω τιμές δίδονται σε πρότυπες συνθήκες ελέγχου (STC - ηλιακή ακτινοβολία 1.000 W/m^2 , AM 1,5 και θερμοκρασία κυττάρων του πλαισίου 25°C).

Συντελεστές θερμοκρασίας

$T_k (U_{oc})$ - Τάση Ανοικτού Κυκλώματος	-0,29%/K
$T_k (I_{sc})$ - Ρεύμα Βραχυκύκλωσης	0,053%/K
$T_k (P_{mp})$ - Ισχύς	-0,39%/K

Απόδοση σε NOCT		SE 215	SE 220	SE 225	SE 230	SE 235	SE 240
Ισχύς P_{mp}	(W)	159,10	163,00	166,20	169,60	172,60	173,90
Τάση V_{mp}	(V)	26,50	26,80	27,00	27,20	27,50	27,70
Ρεύμα I_{mp}	(A)	6,00	6,10	6,20	6,20	6,30	6,40
Τάση Ανοικτού Κυκλώματος U_{oc}	(V)	34,20	34,20	34,40	34,60	34,90	35,00
Ρεύμα Βραχυκύκλωσης I_{sc}	(A)	6,60	6,50	6,60	6,70	6,70	6,80
Θερμοκρασία NOCT	39,95°C						

Οι ανωτέρω τιμές δίδονται σε πρότυπες συνθήκες λειτουργίας (SOC - ηλιακή ακτινοβολία 800 W/m^2 , AM 1,5, ταχύτητα ανέμου 1 m/s , θερμοκρασία περιβάλλοντος 20°C και κλίση πλαισίου 45°).

Πίνακας 6.5 : Επιλογή πλαισίου SE 240

Επειδή η τάση των πλαισίων καλύπτει την επιθυμητή τάση της φωτοβολταϊκής γεννήτριας (24V) δεν θα χρειαστεί να συνδέσουμε καθόλου πλαίσια σε σειρά. Πρέπει, όμως, να υπολογίσουμε τον αριθμό των πλαισίων που θα συνδέσουμε παράλληλα.

Το πλήθος των φωτοβολταϊκών πλαισίων (παράλληλης σύνδεσης) που θα χρειαστούμε δίνεται από :

$$4.7 \text{ kW} / 240 \text{ W} = 19.6 = 20 \text{ Φωτοβολταϊκά πλαίσια}$$

Τελικά η φωτοβολταϊκή γεννήτρια θα δίνει τάση 24 V και θα παράγει ισχύ:

$$20 \times 240 \text{ W} = 4800 \text{ W} = 4.8 \text{ kW}$$

Σε αυτό το σημείο κρίνεται αναγκαίο να οργανώσουμε τα πλαίσια σε ομάδες. Αυτό θα διευκολύνει, στη συνέχεια, την μελέτη μας σε ότι αφορά την επιλογή των αντιστροφέων καθώς και των ρυθμιστών τάσεως. Έτσι θα φτιάξουμε 2 ομάδες αποτελούμενες από 7 πλαίσια έκαστη και άλλη μια ομάδα αποτελούμενη από 6 πλαίσια.

6.5 ΟΙ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ

Με γνώμονα τα χαρακτηριστικά που δίνουν οι κατασκευαστές, επιλέξαμε να εγκαταστήσουμε συσσωρευτές BAE BATTEPIEN διότι υπερέχουν έναντι πολλών άλλων συσσωρευτών. Πιο συγκεκριμένα, έχουν μεγάλο βάθος εκφόρτισης, έως και 85%, κι επίσης μεγάλη διάρκεια ζωής, πάνω από 10 έτη.

2. Technische Daten (Referenztemperatur 20 °C)

Type	C _{1h} Ah	C _{10h} Ah	C _{20h} Ah	C _{72h} Ah	C _{100h} Ah	C _{120h} Ah	C _{240h} Ah	R _i (1) mΩ	I _k (2) kA	Länge (L) mm	Breite (B) mm	Höhe (H) mm	Gewicht (trocken) kg	Gewicht (gefüllt) kg
12V 1 PVS 70	32,3	56,2	63,8	72	72,8	73,3	75,1	19,20	0,64	272	205	385	29,5	41
12V 2 PVS 140	62,3	108	122	137	139	139	144	9,60	1,28	272	205	385	38	47,6
12V 3 PVS 210	96,9	168	191	216	218	219	225	6,40	1,92	380	205	385	51	69,4
6V 4 PVS 280	129	225	254	288	291	292	300	2,40	2,56	272	205	385	33	46,5
6V 5 PVS 350	161	281	318	360	364	366	374	1,92	3,20	380	205	385	41,7	60,4
6V 6 PVS 420	193	337	382	432	437	440	451	1,60	3,84	380	205	385	48,5	66,5

1,2) Innenwiderstand und Kurzschlussstrom gemäß IEC 60896-11

BAE SECURA PVS BLOCK solar Batterien in der trockenen und geladenen Version sind "TG" gekennzeichnet, z. B. 12 V 3 PVS 210 TG.

Alle Werte der Tabelle entsprechen 100 % DOD. Bitte Punkt 7 beachten.

Πίνακας 6.6 : Χαρακτηριστικά συσσωρευτή BAE BATTEPIEN



Σχήμα 6.7: Συσσωρευτές BAE BATTEPIEN

Δεδομένου ότι επιλέξαμε ως τάση της φωτοβολταϊκής συστοιχίας και των συσσωρευτών τα 24V, θα πρέπει να συνδέσουμε 2 συσσωρευτές σε σειρά, για κάθε κλάδο συσσωρευτών, αφού η ονομαστική τάση των συσσωρευτών BAE BATTEPIEN είναι 12 V. Συνεπώς, θεωρούμε ότι το βάθος εκφόρτισης των συσσωρευτών είναι $\beta=85\%$, ο συντελεστής απόδοσής τους $\alpha=85\%$ και η τάση τους 24V.

Επιπλέον, επειδή πρόκειται για σύστημα που θα λειτουργεί καθ' όλη τη διάρκεια του έτους πρέπει να λάβουμε υπ' όψη μας τις πιθανές διαδοχικές ημέρες συννεφιάς καθ' όλη την διάρκεια του έτους. Μια αρκετά καλή προσέγγιση είναι να σχεδιάσουμε το σύστημα μας ώστε να παρέχει ενέργεια στην αγροικία έως και 3 διαδοχικές ημέρες συννεφιάς, κατά τους χειμερινούς μήνες. Τότε, η ικανότητα αποθήκευσης των συσσωρευτών E (kWh) πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση με :

$$E' = k \text{ days} \times E \text{ kWh/day}$$

Ø $E' = 7 \text{ kWh/day} \times 3 \text{ day} = 21 \text{ kWh}$

Τελικά, το σύστημα μας θα σχεδιαστεί έτσι ώστε να δύναται να παρέχει ενέργεια ίση με 21 kWh, σε περίπτωση διαδοχικών ημερών συννεφιάς. Η ονομαστική χωρητικότητα των συσσωρευτών πρέπει να είναι:

$$C_N = \frac{E'}{\alpha \times \beta \times V}$$

$$\emptyset C_N = 21 \text{ kWh} / 0,85 \times 0,85 \times 12\text{V} \approx 2423 \text{ Ah}$$

Άρα είναι προφανές ότι θα χρειαστούμε $2423\text{Ah} / 210 \text{ Ah} = 11,6 \approx 12$ συσσωρευτές.

6.6 ΕΠΙΛΟΓΗ ΡΥΘΜΙΣΤΗ ΦΟΡΤΙΣΗΣ

Ο ρυθμιστής φόρτισης είναι μια απλή ηλεκτρονική συσκευή που φροντίζει για την σωστή φόρτιση των συσσωρευτών του συστήματος. Ελέγχει την διαδικασία φόρτισης και την διακόπτει όταν διαπιστωθεί ότι η μπαταρία έχει φορτισθεί πλήρως. Εάν η φόρτιση συνεχιστεί ελλοχεύει ο κίνδυνος καταστροφής των συσσωρευτών. Επειδή οι μπαταρίες έχουν την τάση να εκφορτίζονται σταδιακά, ακόμη και όταν δεν τροφοδοτούν με ρεύμα κάποια συσκευή (αυτοεκφόρτιση), ο ρυθμιστής φόρτισης φροντίζει να ξαναρχίσει αυτόματα η διαδικασία φόρτισης της μπαταρίας όταν διαπιστωθεί ότι η τάση της έπεσε κάτω από το επίπεδο πλήρους φόρτισης.

Στην παρούσα μελέτη, τα φωτοβολταϊκά πλαίσια θα οργανωθούν σε 3 ομάδες, όπως αναφέραμε και σε προηγούμενη ενότητα. Είναι προφανές, λοιπόν, ότι απαιτούνται 3 ρυθμιστές φόρτισης για τη σωστή λειτουργία της συστοιχίας των συσσωρευτών.

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια που επιλέξαμε παράγουν ισχύ 240 Wp και σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά που δίνει ο κατασκευαστής το ρεύμα και η τάση τους είναι $7,98\text{A}$ και $30,1\text{V}$, αντίστοιχα.

Ο τύπος των ρυθμιστών φόρτισης που θα τοποθετήσουμε στο σύστημά μας εξαρτάται κυρίως από την τάση και το ρεύμα που παράγει η κάθε ομάδα φωτοβολταϊκών πλαισίων. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, τα πλαίσια θα οργανωθούν σε 2 ομάδες των 7 πάνελ και σε μια ομάδα των 6 πάνελ που θα παράγουν ρεύμα εντάσεως : $7,98 \times 7 = 55,9\text{A}$, & $7,98 \times 6 = 47,7\text{A}$

Συνεπώς, μια καλή επιλογή θα ήταν να χρησιμοποιήσουμε ρυθμιστές φόρτισης τύπου PHOCOS PL60 με μέγιστο ρεύμα 60 A . Επιπλέον η μέγιστη τάση ανοιχτού κυκλώματος του ρυθμιστή (55V) είναι μεγαλύτερη από την τάση ανοιχτού κυκλώματος των φωτοβολταϊκών πλαισίων ($37,3\text{V}$). Τα χαρακτηριστικά τους καταγράφονται στον πίνακα που ακολουθεί:

	PL 20	PL 40	PL 60
Ονομαστική τάση	12, 24, 32, 36, 48V	12, 24, 32, 36, 48V	12, 24, 32, 36, 48V
Μέγιστο ρεύμα φόρτισης	20 A	40 A	60 A
Μέγιστο ρεύμα καταναλώσεων	20 A	7 A	30 A
Ανώτατη πτώση τάσης	0,4 V	0,4 V	0,42 V
Περιβαλλοντική θερμοκρασία	-20 to +55 °C	-20 to +55 °C	-20 to +55 °C
Ρεύμα τροφοδοσίας συσκευής	9mA	13mA	20mA
Εύρος αισθητήρων θερμοκρασίας	-15 to +50 °C	-15 to +50 °C	-15 to +50 °C
Καθορισμένα σημεία φόρτισης	4 προετοιμασμένα προγράμματα	4 προετοιμασμένα προγράμματα	4 προετοιμασμένα προγράμματα
	1 καθοριζόμενο από το χρήστη	1 καθοριζόμενο από το χρήστη	1 καθοριζόμενο από το χρήστη
Διαστάσεις (Υ x Π x Μ)	100 x 109 x 41mm	130 x 124 x 50mm	225 x 175 x 62mm
Βάρος	320 g	515 g	1100 g

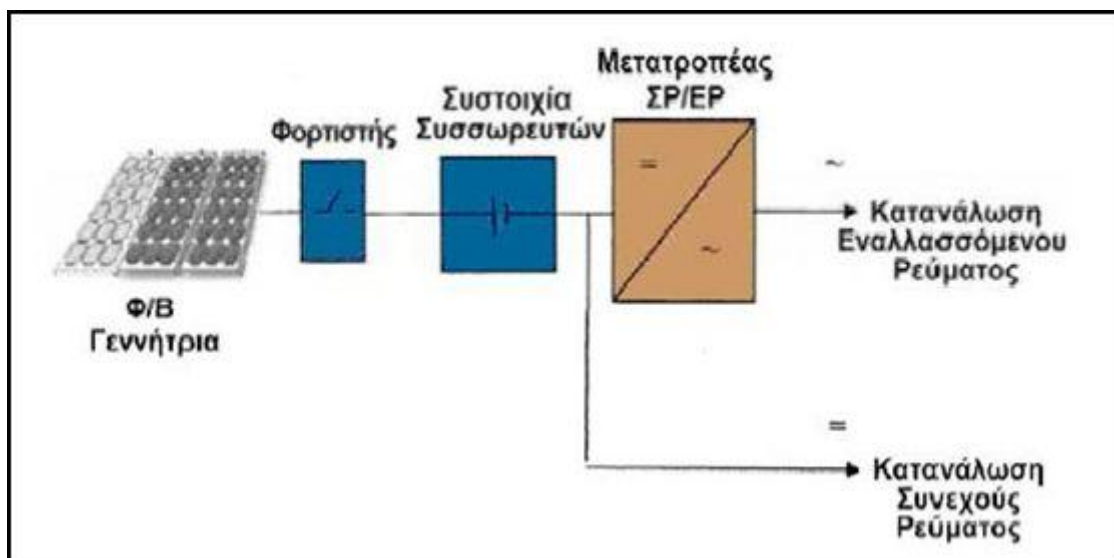
Πίνακας 6.8: Χαρακτηριστικά μεγέθη ρυθμιστή φόρτισης PL60



Σχήμα 6.9 : Ρυθμιστή φόρτισης PL60

6.7 ΕΠΙΛΟΓΗ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑ (INVERTER)

Ο inverter είναι η συσκευή που μετατρέπει το συνεχές (DC) ρεύμα του φωτοβολταϊκού συστήματος σε εναλλασσόμενο ρεύμα (AC). Έτσι, από τους συσσωρευτές του συστήματος μπορούμε να τροφοδοτήσουμε όλες τις οικιακές συσκευές που απαιτούν 230V. Δεν έχει σημασία πόσες συσκευές θα συνδέσουμε ταυτόχρονα, αρκεί η ισχύς όλων αυτών των συσκευών που λειτουργούν συγχρόνως να μην ξεπερνά την μέγιστη επιτρεπόμενη ισχύ του μετατροπέα. Ένας μετατροπέας καλής ποιότητας κλείνει αν από λάθος συνδεθεί μια συσκευή μεγαλύτερης ισχύος από αυτήν που μπορεί να αντέξει, προστατεύοντας, κατ' αυτόν τον τρόπο, τις ηλεκτρικές συσκευές. Το ίδιο γίνεται και σε περίπτωση που διαπιστωθεί ότι οι μπαταρίες του συστήματος τείνουν να αδειάσουν.



Σχήμα 6.7.1 : Σχηματική παράσταση ενός αυτόνομου Φ/Β συστήματος.

Στη μελέτη μας, λαμβάνοντας υπ' όψιν τα χαρακτηριστικά των κατασκευαστών επιλέξαμε να χρησιμοποιήσουμε τον αντιστροφέα STUDER XTH 6000-48 ,τα τεχνικά χαρακτηριστικά του οποίου καταγράφονται παρακάτω:

Μοντέλο	XTH 3000-12	XTH 5000-24	XTH 6000-48	XTH 8000-48
Inverter				
Όνομαστική τάση μπαταρίας	12 V	24 V	48 V	48 V
Είδος τάσης εισόδου	9,5 - 17 V	19 - 34 V	38 - 68 V	39 - 68 V
Όνομαστική τάση @ 25 °C	2,500 VA	4,000 VA	5,000 VA	7,000 VA
Smart boost power	2,500 VA	4,000 VA	5,000 VA	7,000 VA
Μέγιστο φορτίο για 30 min @ 25 °C	3,000 VA	5,000 VA	6,000 VA	8,000 VA
Μέγιστο φορτίο για 5 sec @ 25 °C	3 x Ρονομ.			
Μέγιστο φορτίο	Μέχρι βραχυκύκλωμα			
Μέγιστο ασύμμετρο φορτίο	Μέχρι το Ρονομ.			
Ρίθμιση (standby)	2 to 25 W			
Σινημίτονο φ	0.1 - 1			
Μέγιστη απόδοση	93%	94%	96%	96%
Κατανάλωση OFF/standby/ON	1.7 W/2.2 W/14 W	1.8 W/2.5 W/20 W	2.2 W/3 W/22 W	2.2 W/3.8 W/34 W
Τάση εξόδου	Ημιτονικής κυματομορφής, 230 Vac (+0/-10%) / 190-245 Vac			
Σιχνότητα εξόδου	50 Hz ρυθμιζόμενη 45-65 Hz +/- 0.05% (ελεγχόμενη από κρύσταλλο)			
Αρμονική παραμόρφωση	<2%			
Δυναμική συμπεριφορά σε μεταβολή φορτίου 0-100%	0.5 ms			
ΙΑ κατά υπερφόρτισης και βραχυκύκλωμα	Αυτόματη αποσύνδεση με προσπάθεια επανεκκίνησης 3 φορές			
Προστασία κατά υπερθέρμανσης	Ακουστική προειδοποίηση πριν από την σβέση με αυτόματη επανεκκίνηση			



Σχήμα 6.7.2 : Μετατροπέας STUDER XTH 6000-48

6.7.1 Έλεγχος συμβατότητας φωτοβολταϊκής συστοιχίας και μετατροπέα

Προκειμένου να είμαστε σίγουροι για την συμβατότητα της φωτοβολταϊκής συστοιχίας και του μετατροπέα ελέγχουμε αν :

-Η τάση ανοιχτού κυκλώματος της συστοιχίας , που ισούται με την τάση ανοιχτού κυκλώματος του κάθε παράλληλου κλάδου , είναι μικρότερη από την τάση εισόδου:

Πράγματι: $V_{oc} = 37.3 \leq 48$.

6.8 ΕΠΙΛΟΓΗ ΒΟΗΘΗΤΙΚΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΠΗΓΗΣ

Συνήθως, το σύστημα συμπληρώνεται με μια βοηθητική πηγή ηλεκτροπαραγωγής, για την αντιμετώπιση ανώμαλων καταστάσεων, όπως μια σοβαρή βλάβη του συστήματος, ένα υπερβολικά παρατεταμένο διάστημα συνεχούς συννεφιάς κλπ. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιούμε γεννήτριες ντίζελ. Ο λόγος που προτιμούμε αυτές τις γεννήτριες είναι ότι λειτουργούν με πετρέλαιο, στο οποίο όλοι έχουμε πρόσβαση ανά πάσα στιγμή.

Το μέγεθος της γεννήτριας εξαρτάται από τις ανάγκες που θέλουμε να ικανοποιήσουμε σε περίπτωση που η παροχή ρεύματος από την φωτοβολταϊκή γεννήτρια διακοπεί. Είναι αυτονόητο, βέβαια, πως σε ένα τέτοιο ενδεχόμενο η οικογένεια θα περιορίσει τα ηλεκτρικά φορτία αφού η γεννήτρια μπορεί να παρέχει πολύ μικρότερη ισχύ από αυτήν που η οικογένεια καταναλώνει σε καθημερινή βάση. Ως εκ τούτου, συμβουλεύουμε την οικογένεια να μην κάνει χρήση συσκευών μεγάλης ισχύος, όπως είναι το πλυντήριο ρούχων, η ηλεκτρική σκούπα και τα κλιματιστικά χώρων. Αλλά ακόμη και αν κάτι τέτοιο κριθεί απαραίτητο μπορεί να διακοπεί η λειτουργία των υπόλοιπων συσκευών και να λειτουργήσει προσωρινά μια από τις συσκευές μεγάλης ισχύος.

Ενδεικτικά, μπορούμε να προτείνουμε μια γεννήτρια της τάξεως των 3.5 kW, όπως είναι η Honda EC400. Μια τέτοια γεννήτρια αρκεί για να καλύψουμε κάποιες ανάγκες σε ηλεκτρικό ρεύμα όπως είναι η λειτουργία του ψυγείου, ο εσωτερικός φωτισμός, η τηλεόραση και ο φορητός υπολογιστής.



Σχήμα 6.7: Γεννήτρια EC400, 3.5 kW

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο

7. ΤΕΧΝΟ - ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

7.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναλύσουμε πρωτίστως το κόστος της Φωτοβολταϊκής εγκατάστασης και επίσης θα κοιτάξουμε τι κέρδος μπορεί να αποφέρει σαν μακροχρόνια επένδυση σε σύγκριση με την Δ.Ε.Η .

Έπειτα από σχετική αναζήτηση στην αγορά των φωτοβολταϊκών έχουμε τους εξής υπολογισμούς:

Φωτοβολταϊκό πλαίσιο SE 240 : 20 πλαίσια \approx 4000 € (1€W)

Συσσωρευτές BAE ΒΑΤΤΕΡΙΕΝ : 380 €x 12 = 4560 €

Ρυθμιστής φόρτισης PL60 : 450 €x 3 = 1350 €

Μετατροπέας STUDER ΧΤΗ 6000-48 : 4500 €

Συνολικό κόστος : 14410 €

Προσεγγιστικά το κόστος εγκατάστασης δικτύου της ΔΕΗ από το υπάρχων σύστημα μέχρι το σημείο που βρίσκεται η εξοχική κατοικία, ανέρχεται προσεγγιστικά γύρω στις 10000 € ποσό το οποίο αφαιρείται από το συνολικό κόστος.

Επομένως έχουμε : 14410 €- 10000 €= 4410 €

Θεωρούμε τέλος, ότι αν είχαμε την εξοχική κατοικία συνδεδεμένη στο σύστημα της ΔΕΗ, θα είχαμε ετήσιο κόστος περίπου 600 €

Οπότε θα είχαμε απόσβεση του κόστους του συστήματος σε 4410 € / 600 € \approx 7 χρόνια.

Συμπερασματικά λοιπόν, τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις όπου δεν είναι δυνατή η ηλεκτροδότηση από το δίκτυο της ΔΕΗ. Η μελέτη και σχεδίαση ενός τέτοιου συστήματος περιλαμβάνει ένα πλήθος παραμέτρων όπως η παραγόμενη ενέργεια από την φωτοβολταϊκή εγκατάσταση, η καταναλισκόμενη ενέργεια από την εγκατάσταση, η αυτονομία της εγκατάστασης, η μεγιστοποίηση του χρόνου ζωής των μπαταριών και πολλά ακόμη.

Το πιο δύσκολο σημείο μιας αυτόνομης εγκατάστασης είναι ο περιορισμός και έλεγχος της κατανάλωσης. Οι συνήθειες του καθενός μας που ενδέχεται να κατοικήσουν σε

ένα αυτόνομο σπίτι, πρέπει να αλλάξουν. Οι μεγάλες καταναλώσεις (πλυντήριο, AC, θερμοσίφωνα) πρέπει να περιοριστούν αποκλειστικά στις ώρες μέγιστης ηλιοφάνειας και φυσικά όχι σε ώρες που έχουμε συννεφιά. Γενικά οι όποιες δραστηριότητες ακόμα και το ψήσιμο ενός καφέ θα πρέπει να έπονται του ελέγχου του δικτύου ως προς την επάρκεια ρεύματος. Σίγουρα δεν είναι κάτι που μπορούμε εύκολα να συνηθίσουμε οι περισσότεροι από εμάς.

Εάν δούμε την τεχνολογία των αυτόνομων μόνο σαν παρατηρητές θα δούμε ότι βρίσκεται σε αρχικό ακόμη στάδιο σε σχέση με τα διασυνδεδεμένα συστήματα. Όμως η τεχνολογική έρευνα έχει παρουσιάσει εφαρμογές που θα μειώσουν πολύ το κόστος και θα καθιστούν βιώσιμη την επένδυση σε αυτόνομο. Το ερώτημα που θα καλούμαστε να απαντήσουμε στο μέλλον είναι εάν θα αποφασίσουμε να συνδεθούμε με την ΔΕΗ ή θα φτιάξουμε μια αυτόνομη διάταξη για τις ανάγκες μας...

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Ολοκληρώνοντας την μελέτη αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος για την τροφοδότηση εξοχικής κατοικίας συμπεραίνουμε ότι τέτοιου είδους μελέτες δεν είναι ιδιαίτερα απλές. Ο μηχανικός πρέπει να λάβει υπόψη του ένα πλήθος παραγόντων πριν προχωρήσει στην επιλογή των μονάδων και το μέγεθος της εγκατάστασης. Βασικό κριτήριο στις επιλογές του αποτελεί η επιθυμητή αξιοπιστία του μελετώμενου συστήματος που όμως αντικρούεται με το αυξημένο κόστος των απαραίτητων μονάδων για την συγκρότηση του.

Οι ενδιαφερόμενοι πρέπει να κατανοήσουν ότι, εφόσον η ηλεκτρική τροφοδότησή τους βασίζεται αποκλειστικά σε ένα αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα, πρέπει να περιορίσουν τις ανάγκες τους σε ηλεκτρική ενέργεια στον μέγιστο δυνατό βαθμό. Ο μηχανικός οφείλει να τους προτείνει εναλλακτικές λύσεις σε ότι αφορά την χρήση συσκευών που μπορούν να αντικατασταθούν από άλλες που δεν απαιτούν ηλεκτρική ενέργεια, όπου αυτό είναι δυνατόν, προκειμένου να παρθεί μια τελική και συγχρόνως ικανοποιητική απόφαση ως προς το μέγεθος της εγκατάστασης.

Σήμερα, τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα βρίσκουν εφαρμογή σε ελάχιστες περιπτώσεις εξαιτίας της μικρής αξιοπιστίας τους και του υπέρογκου ποσού χρημάτων που πρέπει να δαπανηθεί για την μελέτη και εγκατάστασή τους. Συνήθως, τα συναντάμε σε κατοικίες απομακρυσμένες από δημόσιο ηλεκτρικό δίκτυο ή εξοχικά σπίτια που κατοικούνται κυρίως κατά τους θερινούς μήνες και οι απαιτήσεις σε ενέργεια και αποθήκευσή αυτής είναι πολύ περιορισμένες.

Δεδομένου ότι τα συμβατικά καύσιμα έχουν κάποια όρια ύπαρξης και κάποτε θα εξαντληθούν, η τεχνολογία έχει ήδη στραφεί στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δίνοντας έμφαση στην ηλιακή. Αυτό είναι πολύ ενθαρρυντικό διότι η φωτοβολταϊκή τεχνολογία θα εξελιχθεί και στο μέλλον θα μπορούσε να αποτελέσει την κύρια πηγή ηλεκτρικής τροφοδότησης του ανθρώπου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Βασιλική Περράκη (2008). *Φυσική των φ/β στοιχείων*, εκδόσεις πανεπιστημίου Πατρών

Ζαχαρίας Θωμάς (2007). *Ήπιες μορφές ενέργειας II*, εκδόσεις πανεπιστημίου Πατρών

I. Φραγκιαδακης (2007). *Φωτοβολταϊκά συστήματα*, Εκδόσεις Ζήτη

Δίας Χαραλαμπόπουλος, Βασίλης Π. Κονταράς, Νανά Παυλακέλλη 2001, *Αειφόρος χρήση ενέργειας*

Σ. Τσελέπης, (Αύγουστος 2001), *Τεχνολογίες παραγωγής φωτοβολταϊκών γεννητριών κρυσταλλικού πυριτίου και λεπτών μεμβρανών και η τρέχουσα κατάσταση στην αγορά φωτοβολταϊκών*, Τεχνική Επιθεώρηση τεύχος 112.

A. Νομικός. (Μάιος 2001), *Ο οικολογικός δρόμος της ενέργειας*, Τεχνική εκλογή τεύχος 413

Επίσης, για τη συγγραφή της πτυχιακής χρησιμοποιήθηκαν αρκετές ιστοσελίδες από το διαδίκτυο:

<http://el.wikipedia.org/>

<http://www.livepedia.gr/index.php>

http://en.wikipedia.org/wiki/Main_Page

www.iqsolarpower.com/

www.greenpeace.org/greece/

www.solar-systems.gr/

http://apogee-solutions.net/atlantis/files/ap5490_Odigos_FB.pdf

www.e-greeksolar.gr/

www.rae.gr

www.desmie.gr

www.cres.gr

www.iea.org

www.aenaon.net/gr/

<http://www.ecosun.gr/>

<http://www.bae-berlin.de/>

<http://www.silcio.gr/>

<http://www.studer-inno.com/>

<http://www.phocos.com/>

<http://www.neonenergy.gr/>

<http://www.fotovoltaika.gr/>

http://library.tee.gr/digital/m2107/m2107_safakas.pdf

www.battery.com

<http://www.palms.gr>