

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Μελέτη εφαρμογής διάταξης αδιάλειπτης παροχής ισχύος
25kW με αυτονομία 30 λεπτών και χρήση φωτοβολταϊκών**



**Χαλκιάς Ιωάννης 512106
Τακματζίδης Αναστάσιος 512116**

**Επιβλέπων
Κιοσκερίδης Ιορδάνης**

Ημερομηνία 15/01/2024

Τίτλος: Μελέτη εφαρμογής διάταξης αδιάλειπτης παροχής ισχύος 25kW με αυτονομία 30 λεπτών και χρήση φωτοβολταϊκών

Κωδικός: 21404

Φοιτητές: Χαλκιάς Ιωάννης & Τακματζίδης Αναστάσιος

Επιβλέπων Καθηγητής: Κιοσκερίδης Ιορδάνης

Ημερομηνία ανάληψης: 12/12/2021

Ημερομηνία περάτωσης: 15/1/2024

Βεβαιώνω ότι είμαι ο συγγραφέας αυτής της εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, έχω καταγράψει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών, εικόνων και κειμένου, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επιπλέον, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά, ειδικά ως διπλωματική εργασία, στο Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του ΔΙ.ΠΑ.Ε.

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία των φοιτητών Χαλκιά Ιωάννη και Τακματζίδη Αναστάσιου που την εκπόνησαν. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης, ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο Διεθνές Πανεπιστήμιο της Ελλάδος άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσης της εργασίας διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο της εργασίας, δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού, ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, πώληση, εμπορική χρήση, διανομή, έκδοση, μεταφόρτωση (downloading), ανάρτηση (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού.

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος, δεν υποδηλώνει απαραίτητα και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα, εκ μέρους του Τμήματος.

Πρόλογος

Ο σχεδιασμός ηλιακών στεγών είναι ένα σημαντικό βήμα προς την κατεύθυνση βιώσιμων ενεργειακών λύσεων, αξιοποιώντας τη δύναμη του ήλιου για την παραγωγή καθαρής και ανανεώσιμης ηλεκτρικής ενέργειας. Η προσέγγιση αυτή περιλαμβάνει τη στρατηγική ενσωμάτωση ηλιακών συλλεκτών στις στέγες των κτιρίων, μετατρέποντάς τα ουσιαστικά σε περιουσιακά στοιχεία που παράγουν ενέργεια. Οι εκτιμήσεις σχεδιασμού περιλαμβάνουν τη βελτιστοποίηση του προσανατολισμού των πάνελ, των γωνιών κλίσης και των αποστάσεων για τη μεγιστοποίηση της έκθεσης στο ηλιακό φως και της παραγωγής ενέργειας. Οι ηλιακές εγκαταστάσεις στις στέγες δεν συμβάλλουν μόνο στη μείωση του αποτυπώματος άνθρακα, αλλά προσφέρουν επίσης οικονομικά οφέλη μέσω χαμηλότερων λογαριασμών ηλεκτρικού ρεύματος και πιθανής δημιουργίας εσόδων από την πλεονάζουσα παραγωγή ενέργειας. Η υιοθέτηση του ηλιακού σχεδιασμού σε στέγες αντιπροσωπεύει μια προοδευτική προσέγγιση στην αποκεντρωμένη παραγωγή ενέργειας, προωθώντας την περιβαλλοντική διαχείριση, την ενεργειακή ανεξαρτησία και ένα πιο ανθεκτικό και βιώσιμο μέλλον. Στη παρούσα πτυχιακή εργασία θα αναλύσουμε το φωτοβολταϊκό φαινόμενο καθώς και την ηλιακή ενέργεια και θα μελετήσουμε την εγκατάσταση φωτοβολταϊκού συστήματος, παραγωγής 25 kW, σε στέγη ενός κτιρίου με αυτόνομη χρήση καθώς επίσης και διασύνδεση του στο δίκτυο ηλεκτροδότησης.

Περίληψη

Σε αυτή τη πτυχιακή αρχικά θα δούμε με κάθε λεπτομέρεια τι είναι το φωτοβολταϊκό φαινόμενο, πως λειτουργεί και πως μπορούμε να το αξιοποιήσουμε στα μέτρα μας. Στη συνέχεια θα χρησιμοποιήσουμε όλες αυτές τις πληροφορίες για να κάνουμε μια μελέτη εγκατάστασης φωτοβολταϊκού συστήματος net-metering σε στέγη ενός αυτοματοποιημένου parking αυτοκινήτων. Έχοντας λάβει και υπολογίσει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες, θα κάνουμε μια αναλυτική προσομοίωση και έναν θεωρητικό υπολογισμό συγκομιδής ενέργειας για να βρούμε τα οικονομικά στοιχεία που θα δαπανήσουμε και που θα ανταμειφθούμε από το σύστημα αυτό.

Application study of a 25kW uninterruptible power supply device with a 30-minute autonomy and the use of photovoltaics

«CHALKIAS IOANNIS & TAKMATZIDIS ANASTASIOS»

Abstract

In this thesis we will first look in detail what the photovoltaic phenomenon is, how it works and how we can use it to our advantage. Then we will use all this information to do a study of installing a photovoltaic net-metering system on the roof of an automated car park. Having received and calculated all the necessary information, we will do a detailed simulation and a theoretical energy harvesting calculation to find the economics of what we will spend and what we will get in return from this system.

Ευχαριστίες

Σε αυτό το σημείο θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον καθηγητή μας Κιοσκερίδη Ιορδάνη που όποτε χρειαστήκαμε την βοήθεια του, έλυσε όλες μας τις απορίες. Επίσης να ευχαριστήσουμε τις εταιρίες που απάντησαν στις ερωτήσεις μας σχετικά με τα κόστη και αρκετά χαρακτηριστικά των πάνελ. Τέλος να ευχαριστήσουμε τους γονείς μας που μας στήριξαν σε αυτή τη δύσκολη περίοδο εκπόνησης μιας διπλωματικής εργασίας.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1^ο: Εισαγωγή στις ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

1.1 Εισαγωγή.....	10
1.2 Κύριες πηγές ενέργειας	10
1.2.1 Λιγνίτης.....	11
1.2.2 Πυρηνική ενέργεια.....	11
1.2.3 Πετρέλαιο	11
1.2.4 Φυσικό αέριο	12
1.3 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ).....	12
1.3.1 Βιομάζα	13
1.3.2 Αιολική ενέργεια.....	13
1.3.3 Γεωθερμική ενέργεια	14
1.3.4 Υδραυλική ενέργεια.....	14
1.3.5 Ηλιακή ενέργεια.....	15
1.4 Γιατί να επιλέξουμε ΑΠΕ.....	15

Κεφάλαιο 2^ο: Φωτοβολταϊκή ενέργεια και κατηγορίες Φ/Β συστημάτων

2.1 Φωτοβολταϊκό φαινόμενο	16
2.2 Συνιστώσες φωτοβολταϊκής συστοιχίας	17
2.2.1 Ενθυλάκωση.....	18
2.3 Τύποι ηλιακών συλλεκτών	18
2.4 Τρόποι σύνδεσης φωτοβολταϊκών στοιχείων	19
2.5 Βασικοί τύποι φωτοβολταϊκών συστημάτων.....	20
2.6 Net-metering.....	21
2.7 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα φωτοβολταϊκών	21,22
2.8 Τα φωτοβολταϊκά στην Ελλάδα	22
2.9 Ονομαστικές συνθήκες λειτουργίας (STC).....	22
2.10 Μέγιστο σημείο λειτουργίας (MPP) και χαρακτηριστικές I-V και P-V.....	23
2.11 Προσανατολισμός και βέλτιστη κλίση φωτοβολταϊκών πλαισίων.....	24
2.12 Παραγωγή φωτοβολταϊκού πλαισίου.....	25
2.13 Διατομή καλωδίων.....	25
2.14 Μέθοδοι αύξησης απόδοσης φωτοβολταϊκών συστημάτων.....	25

Κεφάλαιο 3^ο: Δομή υβριδικού φωτοβολταϊκού συστήματος

3.1 Γενικά.....	26
3.2 Λειτουργία υβριδικού φωτοβολταϊκού συστήματος.....	27
3.3 Τα μέρη που αποτελούν ένα υβριδικό σύστημα.....	28
3.3.1 Μπαταρίες και είδη μπαταριών.....	30
3.4 Απαραίτητες διατάξεις.....	34
3.4.1 Αντιστροφέας.....	35
3.4.2 Μετατροπέας.....	37
3.4.3 Δίοδοι.....	38
3.5 Βασικές τεχνικές λειτουργίας και ελέγχου.....	39
3.5.1 Ελεγκτές πρώτου επιπέδου.....	40
3.5.2 Ελεγκτές δεύτερου επιπέδου.....	40
3.5.3 Ελεγκτές τρίτου επιπέδου.....	41
3.6 Πυκνωτής στην έξοδο του συστήματος.....	42
3.7 Σύστημα προστασίας και ασφάλειας ανθρώπου και εγκαταστάσεων.....	43
Κεφάλαιο 4^ο: Έρευνα υλικών	
4.1 Φωτοβολταϊκά πλαίσια.....	45
4.2 Αντιστροφέας και ρυθμιστής φόρτισης.....	46
4.3 Συστοιχία μπαταριών.....	52
4.4 Αναλώσιμα υλικά εγκατάστασης.....	53
4.5 Backup Box.....	56
4.6 Huawei Smart Power Sensor.....	
4.7 Βελτιστοποίηση και παρακολούθηση.....	58
Κεφάλαιο 5^ο: Μελέτη εγκατάστασης	
5.1 Υπολογισμός κλίσης και προσανατολισμού.....	60
5.2 Υπολογισμός ηλιακής ακτινοβολίας.....	61
5.3 Ώρες αιχμής του ήλιου.....	61
5.4 Υπολογισμός απόστασης και πλήθους φωτοβολταϊκών πλαισίων.....	62
5.5 Υπολογισμός μεγέθους αντιστροφέα.....	63
5.6 Έρευνα αγοράς και υπολογισμός κόστους.....	64
Κεφάλαιο 6^ο: Υπολογισμός Προσομοίωση και απόσβεση	
Συμπεράσματα.....	78
Κατάλογος εικόνων.....	79
Κατάλογος πινάκων.....	81
Βιβλιογραφία.....	82

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

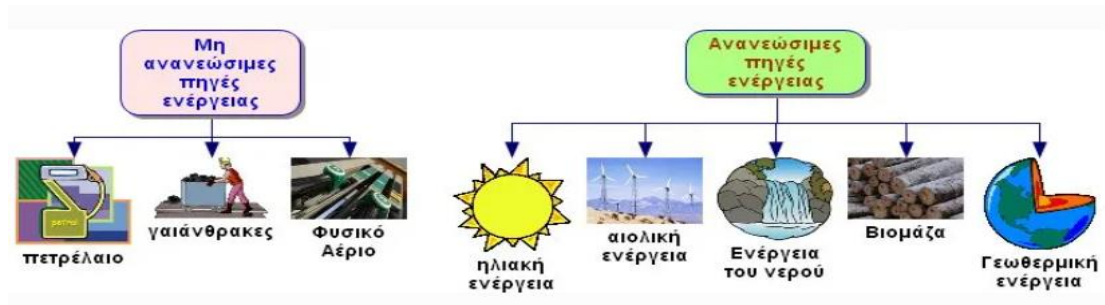
1.1 Εισαγωγή

Δίχως αμφιβολία η ενέργεια αποτελεί μια ανάγκη της καθημερινότητας μας όπως είναι το φαγητό και το νερό. Η συνεχής αύξηση του πληθυσμού της γης έχει επιφέρει στο πλανήτη μας μία συνεχή αύξηση για ενεργειακή κατανάλωση. Η χρήση ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή ενέργειας ευθύνεται σε μεγάλο βαθμό για την αύξηση των αερίων του φαινομένου του θερμοκηπίου, όπως επίσης και την υπερθέρμανση του πλανήτη. Αυτό το γεγονός έχει ως αποτέλεσμα την κλιματική αλλαγή και πολλών ακραίων καιρικών φαινομένων.

Η αντικατάσταση των ορυκτών ως πηγή ενέργειας, με άλλες φιλικότερες προς το περιβάλλον πηγές όπως οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, θα πρέπει να θεωρηθεί απαραίτητο για τον μέλλον του πλανήτη μας και της ζωής πάνω σε αυτόν. Η ηλιακή ενέργεια είναι η πιο άφθονη μορφή ενέργειας που έχουμε στη διάθεσή μας. Κατά προσέγγιση ηλιακή ενέργεια αξίας 10000 TW πέφτει στην επιφάνεια της γης σε μια μέρα (Bosshard, 2006). Με βάση μια τοποθέτηση, η παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας το 2015 ήταν 17,4 TW συνολικά (Seger,2016) και υπάρχει μια ελάχιστη αύξηση στην κατανάλωση ενέργειας κάθε χρόνο, περίπου 1-1,5%. Έχουν πραγματοποιηθεί έρευνες που εμφανίζουν μεγάλη αύξηση στην κατανάλωση ενέργειας στον κόσμο. Συγκεκριμένα αναμένεται αύξηση έως και 56% έως το έτος 2040. Παρά αυτό το ενεργειακό δυναμικό που έχουμε στη διάθεσή μας, η τρέχουσα χρήση της ηλιακής ενέργειας είναι λιγότερο από 5% παγκοσμίως. Υπάρχουν χώρες που αναλαμβάνουν πρωτοβουλίες για μετάβαση από τη χρήση βλαβερών καυσίμων σε ηλιακές εφαρμογές. Αυτές οι χώρες σχηματίζουν μια ομάδα που ονομάζεται G-20 και έχουν αναλάβει να βρουν λύσεις για την χρησιμοποίηση των ανανεώσιμων πόρων ενέργειας σε βάρος των υπολοίπων. Η Γερμανία αποτελεί μία από τις πιο ισχυρές χώρες στον κόσμο αφού καλύπτει τις ενεργειακές της ανάγκες σε ποσοστό περίπου 38% μέσω της ηλιακής ενέργειας και στοχεύει στην πλήρη αντικατάσταση της πυρηνικής με την ηλιακή έως το 2050, δίνοντας έτσι το καλό παράδειγμα.

1.2 Κύριες Πηγές Ενέργειας

Πηγή ενέργειας ή ενεργειακή πηγή ονομάζουμε κάθε φυσικό πόρο που μας δίνει ενέργεια. Οι πηγές αυτές χωρίζονται σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και σε μη ανανεώσιμες πηγές. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι αυτές που δεν εξαντλούνται ποτέ και υπάρχουν απεριόριστα γύρω μας και στο περιβάλλον μας, όπως η αιολική ενέργεια και η αιολική και άλλες. Ενώ οι μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας κάποια στιγμή, αργά ή γρήγορα, θα εξαντληθούν. Τέτοιες πηγές είναι το πετρέλαιο, ο γαιάνθρακας, το φυσικό αέριο και άλλες.



Εικόνα 1 Πηγές Ενέργειας

1.2.1 Λιγνίτης

Ο λιγνίτης ανήκει στους γαιάνθρακες ή ορυκτούς άνθρακες και σχηματίζεται κατά το δεύτερο στάδιο ενανθράκωσης μετά την τύρφη. Είναι χαμηλότερης περιεκτικότητας σε άνθρακα από τον λιθάνθρακα και θεωρείται το χειρότερης ποιότητας καύσιμο άνθρακα, ωστόσο έχει υψηλότερη περιεκτικότητα άνθρακα από την τύρφη. Χρησιμοποιείται κυρίως στα ατμοηλεκτρικά εργοστάσια για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Άλλες χρήσεις του είναι για την παραγωγή οργανοχημικών λιπασμάτων, στην γεωργία κ.α. Είναι καστανόμαυρος, με ξυλώδη υφή και στερείται λάμψης. Περιέχει μέχρι και 30% άνθρακα (C). Η χώρα μας κατέχει τη δεύτερη θέση σε παραγωγή λιγνίτη στην Ευρωπαϊκή Ένωση και την έκτη θέση παγκοσμίως. Οι σπουδαιότερες λιγνιτοφόρες λεκάνες στην Ελλάδα είναι εκείνες της Πτολεμαΐδας (Πτολεμαΐδα, Κομνηνά, Αγ.Χριστόφορος, Περδίκια), της Μεγαλόπολης και Δράμας και της Φλώρινας.



Εικόνα 2 Λιγνίτης

1.2.2 Πυρηνική ενέργεια

Πυρηνική ενέργεια ονομάζεται η ενέργεια που παράγεται από τη διάσπαση ή τη σύντηξη των ατομικών πυρήνων. Είναι δηλαδή η δυναμική ενέργεια που είναι εγκλωβισμένη στους πυρήνες των ατόμων λόγω της αλληλεπίδρασης των σωματιδίων που τα συνιστούν. Κατά τη διάσπαση ενός πυρήνα, ελευθερώνονται ενέργεια, θερμότητα και ακτινοβολία σε μορφή ακτίνων, ενώ κατά τη σύντηξη δύο πυρήνων, ελευθερώνεται ενέργεια σε μορφή θερμότητας. Η πυρηνική ενέργεια χρησιμοποιείται ευρέως για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε πυρηνικούς σταθμούς. Οι πυρηνικοί σταθμοί λειτουργούν με τη χρήση σχετικά μεγάλων πυρηνικών αντιδραστήρων, οι οποίοι περιέχουν σταθεροποιημένα πυρήνες, όπως το ουράνιο ή το πλουτόνιο. Οι πυρηνικοί αντιδραστήρες παράγουν θερμότητα, η οποία χρησιμοποιείται για να παραχθεί ατμός που κινεί τους γεννήτριες ηλεκτρικής ενέργειας. Η πυρηνική ενέργεια αποτελεί μια εναλλακτική λύση χαμηλών εκπομπών άνθρακα αντί για τα ορυκτά καύσιμα και αποτελεί βασικό συστατικό του ενεργειακού μίγματος δεκατριών από τα είκοσι επτά κράτη μέλη, ενώ αναλογεί στο 26% της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται στην ΕΕ.



Εικόνα 3 Το σήμα της Πυρηνικής Ενέργειας

1.2.3 Πετρέλαιο

Το πετρέλαιο βρίσκεται στο υπέδαφος σε υγρή μορφή, μέσα σε κοιλάτες, σχηματίστηκε εκεί από ζωικούς και φυτικούς μικροοργανισμούς, κυρίως θαλάσσιους, οι οποίοι συγκεντρώθηκαν από τα θαλάσσια ρεύματα στο βάθος λεκανών, όπου και καταπλακώθηκαν λόγω επιχωματώσεων ή άλλων διαδικασιών. Εκεί, χωρίς την παρουσία αέρα, μετατράπηκαν σε πετρέλαιο κατά την διάρκεια χιλιάδων ετών. Η ενέργεια του πετρελαίου προέρχεται από την ενέργεια που είχαν συγκεντρώσει από τον ήλιο και την τροφή τους οι μικροοργανισμοί που το δημιούργησαν. Σήμερα αντλούμε το πετρέλαιο από τα υπόγεια κοιτάσματά του,



Εικόνα 4 Εξαγωγή Πετρελαίου

ακόμα και αν αυτά βρίσκονται κάτω από τον πυθμένα της θάλασσας. Τα κύρια συστατικά του είναι αλκάνια (παραφίνες), κυκλοεξάνια (ναφθένια) και αρωματικοί υδρογονάνθρακες και σε μικρότερες ποσότητες οξυγονούχες, αζωτούχες και θειούχες ενώσεις. Το πετρέλαιο αποτελεί το σημαντικότερο ορυκτό για την παγκόσμια οικονομία, καθώς αποτελεί την κύρια πρωτογενή πηγή ενέργειας και την πρώτη ύλη από την οποία παράγεται ένας τεράστιος αριθμός προϊόντων

(πλαστικά, φάρμακα, καλλυντικά, απορρυπαντικά, φιλμ. μαγνητοταινίες, εκρηκτικά κλπ.) Η χρήση του πετρελαίου έχει καταστεί σημαντική για την οικονομική ανάπτυξη και την ενεργειακή ανεξαρτησία των χωρών, ωστόσο έχει επίσης οδηγήσει σε πολλά προβλήματα που σχετίζονται με το περιβάλλον και την υγεία. Μεταξύ των προβλημάτων αυτών περιλαμβάνονται η ρύπανση του ατμοσφαιρικού αέρα από τις εκπομπές αερίων των οχημάτων και των εργοστασίων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, η θαλάσσια ρύπανση κ.α.

1.2.4 Φυσικό Αέριο

Το φυσικό αέριο είναι μίγμα υδρογονανθράκων και αποτελείται κυρίως από μεθάνιο και σε πολύ μικρότερη αναλογία από αιθάνιο, προπάνιο, βουτάνιο και πεντάνιο. Καθοριστικός παράγοντας για τη σύστασή του, αποτελεί η προέλευσή του και ιδιαίτερα εάν πρόκειται για αμιγώς κοιτάσματα φυσικού αερίου ή προκύπτει από κοιτάσματα πετρελαίου.



Εικόνα 6 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Η εμπορική αξιοποίησή του ξεκίνησε περίπου το 1810 ως καύσιμο σε λάμπες φωτισμού ενώ μετά το τέλος του Β' Παγκοσμίου Πολέμου κατασκευάστηκαν τα πρώτα δίκτυα μεταφοράς και διανομής φυσικού αερίου.



Εικόνα 5 Εργοστάσιο Φυσικού Αερίου

Στα προτερήματά του ως πηγή ενέργειας περιλαμβάνονται η δυνατότητα μεταφοράς του σε μεγάλες αποστάσεις μέσω αγωγών και βεβαίως η συγκριτικά φιλική προς το περιβάλλον καύση του.

1.3 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ)

Με τον όρο «Ανανεώσιμες πηγές Ενέργειας» εννοούμε τις μορφές εκμεταλλεύσιμης ενέργειας που προέρχονται από διάφορες φυσικές διαδικασίες, όπως ο άνεμος, ο ήλιος, η ύδρευση και άλλες. Οι Α.Π.Ε έχουν δυο βασικά χαρακτηριστικά. Πρώτον, για την εκμετάλλευσή τους δεν απαιτείται κάποια ενεργητική παρέμβαση όπως εξόρυξη, άντληση ή καύση, όπως γίνεται με τις μέχρι τώρα πηγές ενέργειας, αλλά απλώς η εκμετάλλευσή της ήδη υπάρχουσας ροής ενέργειας στη φύση. Οι ΑΠΕ



πρακτικά είναι ανεξάντλητες, η χρήση τους δεν ρυπαίνει το περιβάλλον ενώ η αξιοποίησή τους περιορίζεται μόνον από την ανάπτυξη αξιόπιστων και οικονομικά αποδεκτών τεχνολογιών που θα έχουν σαν σκοπό την δέσμευση του δυναμικού τους. Δεύτερον, πρόκειται για «καθαρές» μορφές ενέργειας, πολύ φιλικές προς το περιβάλλον, χωρίς την αποδέσμευση βλαβερών, για το περιβάλλον, ουσιών όπως οι υδρογονάνθρακες και το διοξείδιο του άνθρακα. Το ενδιαφέρον

για την ανάπτυξη των τεχνολογιών αυτών εμφανίσθηκε 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 συνεισφοράς στο ενεργειακό τους ισοζύγιο, συμβάλλοντας στη μείωση της εξάρτησης από το ακριβό εισαγόμενο πετρέλαιο και στην ενίσχυση της ασφάλειας του ενεργειακού τους εφοδιασμού.

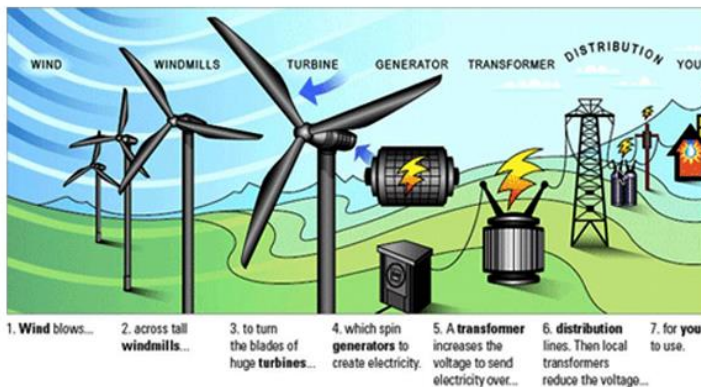
Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας που χρησιμοποιεί κατά κύριο λόγο ο άνθρωπος σήμερα είναι οι εξής :

1.3.1 Βιομάζα

Με τον όρο βιομάζα χαρακτηρίζουμε οποιοδήποτε υλικό παράγεται από ζωντανούς οργανισμούς (όπως είναι το ξύλο και άλλα προϊόντα του δάσους, υπολείμματα καλλιεργειών, κτηνοτροφικά απόβλητα, απόβλητα βιομηχανιών τροφίμων κ.λπ.) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για παραγωγή ενέργειας. Βάσει του ορισμού, η βιομάζα αποτελεί ουσιαστικά κάθε ύλη που έμμεσα ή άμεσα έχει βιολογική (οργανική) προέλευση. Σε περίπτωση που η βιομάζα χρησιμοποιείται ως καύσιμο για την παραγωγή ενέργειας, μιλάμε για στερεά, υγρά και αέρια βιοκαύσιμα, ανάλογα με τη φυσική τους μορφή. Η ενέργεια της βιομάζας (βιοενέργεια ή πράσινη ενέργεια) είναι δευτερογενής ηλιακή ενέργεια. Η ηλιακή ενέργεια μετασχηματίζεται από τα φυτά μέσω της φωτοσύνθεσης. Οι βασικές πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται είναι το νερό και ο άνθρακας τα οποία βρίσκονται άφθονα στη φύση. Όπως έχει αναφερθεί η βιομάζα είναι ανανεώσιμη καθώς απαιτείται μία σύντομη περίοδος για να αναπληρωθεί ότι χρησιμοποιείται ως πηγή ενέργειας. Για τις διάφορες τελικές χρήσεις της βιομάζας υιοθετούνται διαφορετικοί όροι, όπως "βιοισχύς" ο οποίος περιγράφει τα συστήματα που χρησιμοποιούν πρώτες ύλες βιομάζας αντί των ορυκτών καυσίμων (φυσικό αέριο, άνθρακα) για ηλεκτροπαραγωγή, ή όπως "βιοκαύσιμα" ο οποίος αναφέρεται κυρίως στα υγρά καύσιμα μεταφορών που υποκαθιστούν πετρελαϊκά προϊόντα όπως βενζίνη ή ντίζελ. Βασικό πλεονέκτημα της βιομάζας είναι ότι είναι ανανεώσιμη πηγή ενέργειας και ότι παρέχει ενέργεια αποθηκευμένη με χημική μορφή. Η αξιοποίηση της μπορεί να γίνει με μετατροπή της σε μεγάλη ποικιλία προϊόντων με διάφορες μεθόδους και τη χρήση σχετικά απλής τεχνολογίας. Σαν πλεονέκτημά της καταγράφεται και το ότι κατά την παραγωγή και την μετατροπή της δεν δημιουργούνται οικολογικά και περιβαλλοντολογικά προβλήματα. Στα μειονεκτήματα της τώρα έχουμε ότι σαν μορφή ενέργειας η βιομάζα χαρακτηρίζεται από πολυμορφία, χαμηλό ενεργειακό περιεχόμενο, σε σύγκριση με τα ορυκτά στοιχεία, λόγω της χαμηλής της πυκνότητας και της υψηλής περιεκτικότητας σε νερό, εποχικότητα κ.α. Τα χαρακτηριστικά αυτά δυσκολεύουν στη συλλογή, τη μεταφορά και την αποθήκευση της. Ως συνέπεια αυτό έχει το κόστος μετατροπής της σε πιο εύχρηστες μορφές ενέργειας να παραμένει υψηλό.

1.3.2 Αιολική Ενέργεια

Αιολική ενέργεια ονομάζεται η ενέργεια που παράγεται από την εκμετάλλευση του ανέμου. Η ενέργεια αυτή χαρακτηρίζεται "ήπια μορφή ενέργειας" και περιλαμβάνεται στις "καθαρές" πηγές, όπως συνηθίζονται να λέγονται οι πηγές ενέργειας που δεν εκπέμπουν ή δεν προκαλούν ρύπους. Η αιολική ενέργεια είναι μια βιώσιμη και ανανεώσιμη ενέργεια και



Εικόνα 7 Παράδειγμα Αιολικής Ενέργειας

έχει πολύ μικρότερο αντίκτυπο στο περιβάλλον σε σύγκριση με την καύση ορυκτών καυσίμων, γι' αυτό αποτελεί σήμερα μια ελκυστική λύση στο πρόβλημα της ηλεκτροπαραγωγής. Το «καύσιμο» της είναι άφθονο, αποκεντρωμένο και δωρεάν. Δεν εκλύονται αέρια και άλλοι ρύποι, και οι επιπτώσεις στο περιβάλλον είναι μικρές σε σύγκριση με τα εργοστάσια ηλεκτροπαραγωγής από συμβατικά καύσιμα. Επίσης, τα οικονομικά οφέλη μιας περιοχής από την ανάπτυξη της αιολικής βιομηχανίας είναι αξιοσημείωτα. Ο άνεμος είναι μια διακοπτόμενη πηγή ενέργειας, η οποία δεν μπορεί να παράγει ηλεκτρισμό ούτε να αποστέλλεται κατόπιν ζήτησης. Παρέχει επίσης μεταβλητή ισχύ, η οποία είναι σταθερή συνολικά από έτος σε έτος, χωρίς δηλαδή σημαντικές διακυμάνσεις αλλά ποικίλλει σε μικρότερα χρονικά διαστήματα. Επομένως, πρέπει να χρησιμοποιείται μαζί με άλλες πηγές ηλεκτρικής ενέργειας ή να αποθηκεύεται με σκοπό την παροχή αξιόπιστης και συνεχούς τροφοδοσίας. Όταν αυξάνεται το ποσοστό της αιολικής ενέργειας σε μια περιοχή, απαιτούνται συμβατικές πηγές ενέργειας για την υποστήριξη (όπως η ενέργεια από ορυκτά καύσιμα και η πυρηνική ενέργεια). Για να μπορέσει να λειτουργήσει όμως ένα τέτοιο δίκτυο, ενδέχεται να χρειάζεται αναβάθμιση. Αυτή η αναβάθμιση μπορεί να επιτευχθεί με τεχνικές διαχείρισης ισχύος, όπως είναι η ύπαρξη πηγών τροφοδοσίας, η υδροηλεκτρική ενέργεια, η πλεονάζουσα χωρητικότητα, οι γεωγραφικά καταναμημένοι στρόβιλοι, η εξαγωγή και εισαγωγή ισχύος σε γειτονικές περιοχές, η αποθήκευση ενέργειας ή ακόμα και η μείωση της ζήτησης όταν η παραγωγή αιολικής ενέργειας είναι χαμηλή. Σημαντική βοήθεια προσφέρει η πρόγνωση του καιρού, η οποία επιτρέπει στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας να προετοιμαστεί για τις προβλέψιμες διακυμάνσεις που συμβαίνουν στην παραγωγή.

1.3.3 Γεωθερμική Ενέργεια

Η γεωθερμική ενέργεια είναι μια ήπια και ανανεώσιμη μορφή ενέργειας, που παράγεται από την εκμετάλλευση του υπόγειου γεωθερμικού δυναμικού. Έχει ελάχιστο έως μηδενικό περιβαλλοντικό αποτύπωμα και μπορεί με τις σημερινές τεχνολογικές δυνατότητες να παράγει θερμική είτε / και ηλεκτρική ενέργεια. Για να θεωρηθεί ότι ένα υπόγειο θερμό ρευστό διαθέτει γεωθερμικό δυναμικό, πρέπει η θερμοκρασία του να υπερβαίνει τους 30oC. Σημειώνεται ότι τα ενεργειακά συστήματα θέρμανσης ή ψύξης χώρων αφορούν στην εκμετάλλευση της θερμοχωρητικότητας επιφανειακών ή υπογείων στρωμάτων υπεδάφους και νερού που δεν χαρακτηρίζονται ως γεωθερμικό δυναμικό (θερμοκρασία < 30oC). Βασικές χρήσεις της γεωθερμικής ενέργειας παγκοσμίως αφορούν στη θέρμανση θερμοκηπίων και υδατοκαλλιεργειών, ξήρανση γεωργικών προϊόντων, αφαλάτωση νερού για την κάλυψη ύδρευσης, άλλες ήπιες βιομηχανικές χρήσεις αλλά και για τηλεθέρμανση κτιρίων, οικισμών, χωριών ή και πόλεων. Η συμμετοχή γεωθερμικής ενέργειας στην ηλεκτροπαραγωγή βαίνει διαρκώς αυξανόμενη. Στην Ελλάδα γίνεται εκμετάλλευση σε θερμικές εφαρμογές, ενώ

εκτελούνται έρευνες για την αξιοποίησή της στην ηλεκτροπαραγωγή. Μεγάλη σημασία για τον άνθρωπο έχει η αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας για την κάλυψη αναγκών του, καθώς είναι μια πρακτικά ανεξάντλητη πηγή ενέργειας. Ανάλογα με το θερμοκρασιακό της επίπεδο μπορεί να έχει διάφορες χρήσεις.

1.3.4 Υδραυλική Ενέργεια

Όπως όλα τα σώματα που κινούνται, έτσι και τα νερά που προέρχονται από την τήξη των πάγων και του χιονιού ή τη βροχή που έπεσε σε μεγάλο υψόμετρο, έχουν ενέργεια καθώς κατεβαίνουν προς χαμηλότερες περιοχές. Όμως, όταν η κάθοδός τους γίνεται από πολλά σημεία και συνεχώς, δεν είναι εύκολο ή δυνατό να χρησιμοποιήσουμε αυτή την ενέργεια. Υδραυλική και εν μέρει υδροηλεκτρική ενέργεια είναι η



Εικόνα 8 Τεχνητό φράγμα για υδραυλική ενέργεια

ενέργεια που αποταμιεύεται ως δυναμική ενέργεια μέσα σε βαρυτικό πεδίο με τη συσσώρευση μεγάλων ποσοτήτων νερού σε υψομετρική διαφορά από τη συνέχιση της ροής του ελεύθερου νερού, και αποδίδεται ως κινητική μέσω της υδατόπτωσης. Η κινητική ενέργεια, στη συνέχεια, μπορεί είτε να χρησιμοποιείται αυτούσια επιτόπου (π.χ. νερόμυλοι), είτε να μετατρέπεται σε ηλεκτρική ή άλλες, που την αποθηκεύουν, ώστε τελικά να μεταφέρεται σε μεγάλες αποστάσεις.

1.3.5 Ηλιακή Ενέργεια

Η ηλιακή ενέργεια χαρακτηρίζεται στο σύνολο των διάφορων μορφών ενέργειας που προέρχονται από τον ήλιο, όπως το φως τη θερμότητα και την ακτινοβολία του ηλίου. Η ανεξάντλητη ακτινοβολία του ήλιου είναι η σημαντικότερη πηγή ενέργειας. Για την εκμετάλλευση αυτής της ενέργειας χρησιμοποιούμε τα θερμικά συστήματα για την παραγωγή θερμότητας και τα φωτοβολταϊκά συστήματα για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Η πηγή αυτή είναι καθαρή καθώς δεν επιφέρει βλάβες και μόλυνση στο περιβάλλον. Επίσης είναι ανανεώσιμη αφού δεν πρόκειται να εξαντληθεί ο ήλιος.

Η ανάπτυξη της ηλιακής ενέργειας στην Ελλάδα ξεκίνησε το 2006. Το 2009 η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων απογειώθηκε λόγω των ελκυστικών τιμολογίων τροφοδοσίας που μπήκαν σε ισχύ αλλά και των αντίστοιχων κανονισμών για οικιακές εφαρμογές των ηλιακών φωτοβολταϊκών. Ωστόσο το συγκεκριμένο πρόγραμμα οδήγησε σε ένα τεράστιο έλλειμμα στο ταμείο του ελληνικού Διαχειριστή Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΑΔΜΗΕ) όπου λειτουργεί στη χώρα από το 2011. Για την αντιμετώπιση του ελλείματος αυτού, εισήχθησαν νέοι κανονισμοί ένας εκ των οποίων ήταν η αναδρομική μείωση των τιμολογίων, με περαιτέρω μειώσεις με την πάροδο του χρόνου. Αυτά τα μέτρα επέτρεψαν να γίνει η διαγραφή του ελλείματος.

1.4 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας

1.4.1 Πλεονεκτήματα

- Είναι πολύ φιλικές προς το περιβάλλον, αφού δεν έχουν στην ουσία ούτε κατάλοιπα ούτε απόβλητα
- Δεν πρόκειται να εξαντληθούν ποτέ, σε αντίθεση με τα ορυκτά καύσιμα, αφού προέρχονται από τη φύση

- Είναι ευέλικτες εφαρμογές, που μπορούν να παράγουν ενέργεια ανάλογη με τις ανάγκες του επι τόπου πληθυσμού, καταργώντας την ανάγκη για τεράστιες μονάδες παραγωγής. Εξυπηρετώντας έτσι σε ύπαιθρο και σε νησιά.
- Ο εξοπλισμός τους είναι απλός ως προς την εγκατάσταση και την κατασκευή καθώς επίσης και στη συντήρησή τους, με μεγάλη διάρκεια ζωής .
- Βοηθούν στην ενεργειακή αυτονομία μικρών και αναπτυσσόμενων χωρών.
- Επιδοτούνται από τις περισσότερες κυβερνήσεις ανοίγοντας δρόμο για επενδύσεις όπως επίσης και θέσεις εργασίας

1.4.2 Μειονεκτήματα

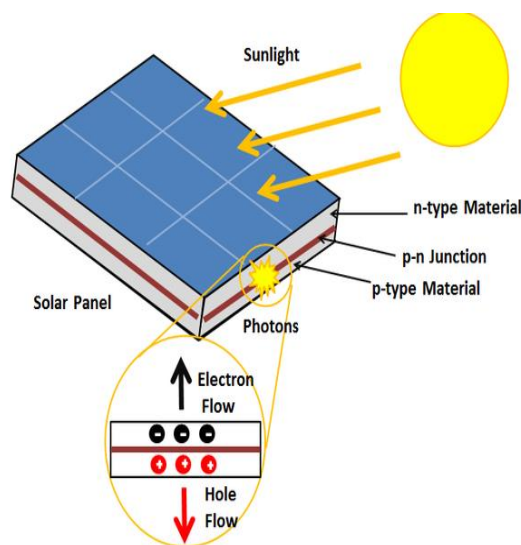
- Έχουν έναν αρκετά μικρό συντελεστή απόδοσης, της τάξης τους 30% ή και χαμηλότερο.
- Απαιτείται αρκετά μεγάλο κόστος εφαρμογής σε μεγάλη επιφάνεια της γης. Για αυτό και μέχρι σήμερα χρησιμοποιούνται ως συμπληρωματικές πηγές ενέργειας.
- Η παροχή και η απόδοση τους εξαρτάται από την εποχή του έτους , το κλίμα αλλά και το γεωγραφικό πλάτος της εκάστοτε περιοχής

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ & ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ Φ/Β ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

2.1 Φωτοβολταϊκό φαινόμενο

Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο είναι μια διαδικασία που παράγει τάση ή ηλεκτρικό ρεύμα σε ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο όταν αυτό εκτίθεται στο ηλιακό φως. Αυτό το φαινόμενο είναι που καθιστά τους ηλιακούς συλλέκτες χρήσιμους, καθώς με αυτόν τον τρόπο οι κυψέλες εντός του συλλέκτη μετατρέπουν το ηλιακό φως σε ηλεκτρική ενέργεια. Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο ανακαλύφθηκε για πρώτη φορά το 1839 από τον Edmond Becquerel. Όταν έκανε πειράματα με υγρές κυψέλες, παρατήρησε ότι η τάση της κυψέλης αυξανόταν όταν οι ασημένιες πλάκες της εκτίθεντο στο ηλιακό φως.

Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο εμφανίζεται στις ηλιακές κυψέλες. Αυτά τα ηλιακά κύτταρα αποτελούνται από δύο διαφορετικούς τύπους ημιαγωγών - έναν τύπου p και έναν τύπου n - που ενώνονται μεταξύ τους για να δημιουργήσουν μια ένωση p-n. Με την ένωση αυτών των δύο τύπων ημιαγωγών, δημιουργείται ένα ηλεκτρικό πεδίο στην περιοχή της ένωσης, καθώς τα ηλεκτρόνια κινούνται προς τη θετική πλευρά p και οι οπές κινούνται προς την αρνητική πλευρά n. Αυτό το πεδίο προκαλεί την κίνηση αρνητικά φορτισμένων σωματιδίων προς τη μία κατεύθυνση και θετικά φορτισμένων σωματιδίων προς την άλλη κατεύθυνση.



Εικόνα 9 Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο

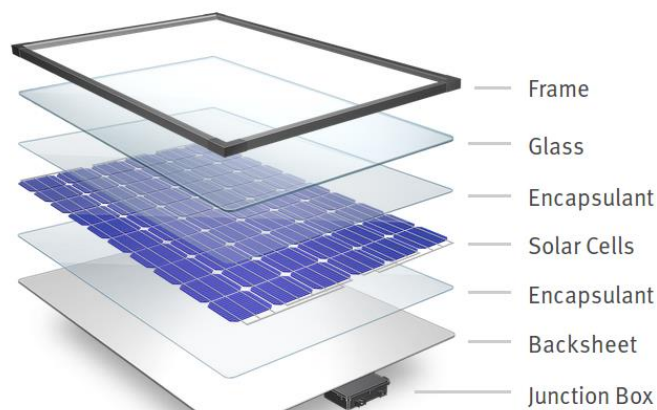
Το φως αποτελείται από φωτόνια, τα οποία είναι απλώς μικρές δέσμες ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας ή ενέργειας. Αυτά τα φωτόνια μπορούν να απορροφηθούν από ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο, τον τύπο του στοιχείου που συνθέτει τους ηλιακούς συλλέκτες. Όταν φως κατάλληλου μήκους κύματος προσπίπτει σε αυτά τα στοιχεία, η ενέργεια από το φωτόνιο μεταφέρεται σε ένα άτομο του ημιαγωγικού υλικού στην ένωση p-n. Συγκεκριμένα, η ενέργεια μεταφέρεται στα ηλεκτρόνια του υλικού. Αυτό προκαλεί το άλμα των ηλεκτρονίων σε μια κατάσταση υψηλότερης ενέργειας, γνωστή ως ζώνη αγωγιμότητας. Αυτό αφήνει πίσω του μια "τρύπα" στη ζώνη σθένους από την οποία το ηλεκτρόνιο πήδηξε προς τα πάνω. Αυτή η μετακίνηση του ηλεκτρονίου ως αποτέλεσμα της προστιθέμενης ενέργειας δημιουργεί δύο φορείς φορτίου, ένα ζεύγος ηλεκτρονίου-οπής.

2.2 Συνιστώσες μιας φωτοβολταϊκής συστοιχίας

Μια συστοιχία φωτοβολταϊκών αποτελείται από φωτοβολταϊκά πλαίσια. Αυτά τα πλαίσια αποτελούνται από πολλές κυψέλες συνδεδεμένες σε σειρά. Αναλόγως πάντα την ανάγκη μας προσαρμόζουμε το μέγεθος της συστοιχίας η οποία μπορεί να είναι μια κυψέλη ή ένα πλαίσιο η πολλά πλαίσια συνδεδεμένα μεταξύ τους.

Φωτοβολταϊκή κυψέλη:

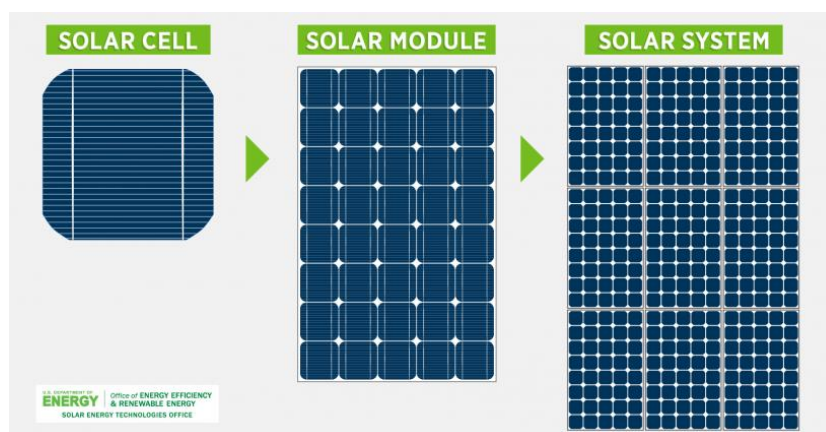
Το Φ/Β στοιχείο (solar cell), είναι το κομμάτι εκείνο το οποίο συλλέγει το ηλιακό φως. Στην ουσία επρόκειτο για έναν κατάλληλα επεξεργασμένο ημιαγωγό λεπτού πάχους σε επίπεδη επιφάνεια. Όταν η ηλιακή ακτινοβολία προσπέφτει πάνω στο Φ/Β στοιχείο τότε δημιουργεί ηλεκτρική τάση και με την κατάλληλη σύνδεση σε φορτίο παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα.



Εικόνα 10 Φωτοβολταϊκή κυψέλη

Φωτοβολταϊκό πλαίσιο:

Το φωτοβολταϊκό πλαίσιο (PV module) απαρτίζεται από πολλά φωτοβολταϊκά στοιχεία συνδεδεμένα κατάλληλα μεταξύ τους. Τα διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά στοιχεία αποτελούν στην ουσία τη βασική δομική μονάδα για όλα τα σύγχρονα φωτοβολταϊκά πάνελ. Είναι κοινά αποδεκτό πως τα περισσότερα φωτοβολταϊκά πλαίσια έχουν τυπική ισχύ από 20W έως 500W. Στην συνέχεια τα φωτοβολταϊκά πλαίσια συνδέονται ηλεκτρολογικά μεταξύ τους ώστε να δημιουργηθούν οι φωτοβολταϊκές συστοιχίες (strings) οι οποίες θα καταστήσουν τα φωτοβολταϊκά πάνελ λειτουργικά.



Εικόνα 11 Φωτοβολταϊκό πλαίσιο

2.2.1 Ενθυλάκωση (Encapsulant)

Οι φωτοβολταϊκές κυψέλες όπως τοποθετούνται στις φωτοβολταϊκές μονάδες ενθυλακώνονται με πολυμερές υλικό για προστασία από τις καιρικές συνθήκες, το διαβρωτικό περιβάλλον, την υπερϊώδη ακτινοβολία, τις χαμηλές μηχανικές καταπονήσεις και τις χαμηλές ενεργειακές επιπτώσεις. Συχνότερα το πολυμερές υλικό ενθυλάκωσης είναι μεμβράνη οξικού βινυλίου αιθυλενίου (EVA). Ένα σωστά σχεδιασμένο φιλμ ενθυλάκωσης υψηλής απόδοσης πρέπει να πληροί ορισμένες βασικές απαιτήσεις:

- Να παρέχει δομική υποστήριξη για τις σειρές φωτοβολταϊκών κυττάρων κατά την κατασκευή, το χειρισμό, την αποθήκευση, την εγκατάσταση και τη λειτουργία.
- Πρέπει να διαθέτει καλή δυνατότητα επεξεργασίας, εξαιρετική χημική αδράνεια και υψηλή απόδοση φραγμού για το οξυγόνο και την υγρασία.
- Πρέπει να έχει καλή συμβατότητα με τα φωτοβολταϊκά στοιχεία και να τα απομονώνει φυσικά από τους περιβαλλοντικούς παράγοντες που τα υποβαθμίζουν.

- Θα πρέπει να εμφανίζει ανθεκτικές οπτικές ιδιότητες (>90% φωτοπερατότητα και <5% απώλεια φωτοπερατότητας μετά από 20 χρόνια λειτουργίας).
- Πρέπει να εμφανίζει υψηλή διηλεκτρική σταθερά για τη μείωση της επαγόμενης από το δυναμικό υποβάθμισης (PID) και να διατηρεί εξαιρετική αντοχή στην υποβάθμιση από την υπεριώδη ακτινοβολία και τη θερμική οξειδωση.
- Να παρέχει αξιόπιστη μακροχρόνια ηλεκτρική μόνωση μεταξύ των φωτοβολταϊκών στοιχείων και των στοιχείων του κυκλώματος κατά τη λειτουργία.

2.3 Τύποι φωτοβολταϊκών πάνελ

Υπάρχουν διάφοροι τύποι φωτοβολταϊκών πάνελ τα οποία χωρίζονται σε πρώτη, δεύτερη και τρίτη γενιάς. Ο διαχωρισμός αυτός γίνεται με βάση το υλικό κατασκευής και κατ' επέκταση την απόδοση που έχουν τα πάνελ. Γενικά η επιλογή των πάνελ εξαρτάται καθαρά από το χώρο που έχουμε να δαπανήσουμε την περιοχή στην οποία θα δημιουργήσουμε την φωτοβολταϊκή συστοιχία, επομένως επιλέγουμε ανάλογα έναν από τους παρακάτω τύπους:

- Μονοκρυσταλλικά ηλιακά πάνελ:

Αυτά κατασκευάζονται από έναν ενιαίο κρύσταλλο καθαρού πυριτίου που κόβεται σε διάφορες γκοφρέτες. Δεδομένου ότι είναι κατασκευασμένα από καθαρό πυρίτιο, μπορούν εύκολα να αναγνωριστούν από το σκούρο μαύρο χρώμα τους. Η χρήση καθαρού πυριτίου καθιστά επίσης τους μονοκρυσταλλικούς συλλέκτες τους πιο αποδοτικούς ως προς το χώρο και τους πιο μακροχρόνιους μεταξύ των τριών τύπων ηλιακών συλλεκτών.

- Πολυκρυσταλλικά ηλιακά πάνελ.

Όπως υποδηλώνει το όνομα, αυτά προέρχονται από διαφορετικούς κρυστάλλους πυριτίου αντί για έναν. Τα θραύσματα πυριτίου λιώνουν και χύνονται σε ένα τετράγωνο καλούπι. Αυτό καθιστά τις πολυκρυσταλλικές κυψέλες πολύ πιο προσιτές, καθώς δεν υπάρχει σχεδόν καθόλου σπατάλη, και τους δίνει αυτό το χαρακτηριστικό τετράγωνο σχήμα. Ωστόσο, αυτό τα καθιστά επίσης λιγότερο αποδοτικά όσον αφορά τη μετατροπή ενέργειας και το χώρο, καθώς η καθαρότητα και η κατασκευή του πυριτίου τους είναι χαμηλότερη από τα μονοκρυσταλλικά πάνελ. Έχουν επίσης χαμηλότερη ανοχή στη θερμότητα, πράγμα που σημαίνει ότι είναι λιγότερο αποδοτικά σε περιβάλλοντα υψηλής θερμοκρασίας.

- Παθητικοποιημένος πομπός και πάνελ οπίσθιας κυψέλης.

Οι ηλιακοί συλλέκτες PERC αποτελούν βελτίωση των παραδοσιακών μονοκρυσταλλικών κυψελών. Αυτή η σχετικά νέα τεχνολογία προσθέτει ένα στρώμα παθητικοποίησης στην οπίσθια επιφάνεια της κυψέλης που βελτιώνει την απόδοση με διάφορους τρόπους:

- Αντικατοπτρίζει το φως πίσω στο κύτταρο, αυξάνοντας την ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που απορροφάται.
- Μειώνει τη φυσική τάση των ηλεκτρονίων να επανασυνδέονται και να αναστέλλουν τη ροή των ηλεκτρονίων στο σύστημα.
- Επιτρέπει την ανάκλαση μεγαλύτερων μηκών κύματος του φωτός. Τα φωτεινά κύματα άνω των 1.180 nm δεν μπορούν να απορριφθούν από τις πλάκες πυριτίου και απλώς περνούν, οπότε καταλήγουν να θερμαίνουν το μεταλλικό πίσω φύλλο του κυττάρου και να μειώνουν την απόδοσή του. Το στρώμα παθητικοποίησης αντανακλά αυτά τα υψηλότερα μήκη κύματος και τα εμποδίζει να θερμάνουν το πίσω φύλλο.

- Φ/Β πάνελ λεπτής μεμβράνης (Thin Film)

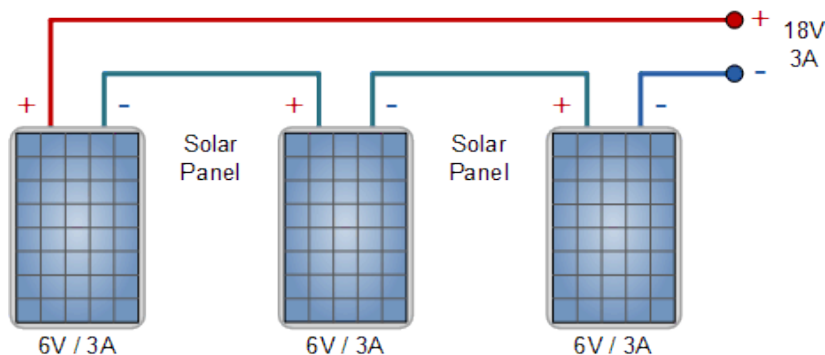
Χαρακτηρίζονται από πολύ λεπτά στρώματα που είναι αρκετά λεπτά ώστε να είναι εύκαμπτα. Κάθε πάνελ δεν απαιτεί πλαίσιο στήριξης, καθιστώντας τα ελαφρύτερα και ευκολότερα στην εγκατάσταση. Σε αντίθεση με τα πάνελ κρυσταλλικού πυριτίου που διατίθενται σε τυποποιημένα μεγέθη με 60, 72 και 96 κυψέλες, τα πάνελ λεπτού υμενίου μπορούν να διατίθενται σε διαφορετικά μεγέθη για την κάλυψη συγκεκριμένων αναγκών. Ωστόσο, είναι λιγότερο αποδοτικοί από τους τυπικούς ηλιακούς συλλέκτες πυριτίου.

2.4 Τρόποι σύνδεση φωτοβολταϊκών στοιχείων

Υπάρχουν τρεις τρόποι σύνδεσης των φωτοβολταϊκών πάνελ. Η πιο διαδεδομένη είναι η σύνδεση σε σειρά, ενώ υπάρχει η παράλληλη σύνδεση καθώς και φυσικά μια ενδιάμεση κατάσταση με πάνελ συνδεδεμένα μεταξύ τους σε σειρά και παράλληλα. Γενικά υπάρχει ευελιξία στο τρόπο σύνδεσης καθώς ο κάθε ένας εξυπηρετεί διαφορετικές ανάγκες:

- Σύνδεση σε σειρά.

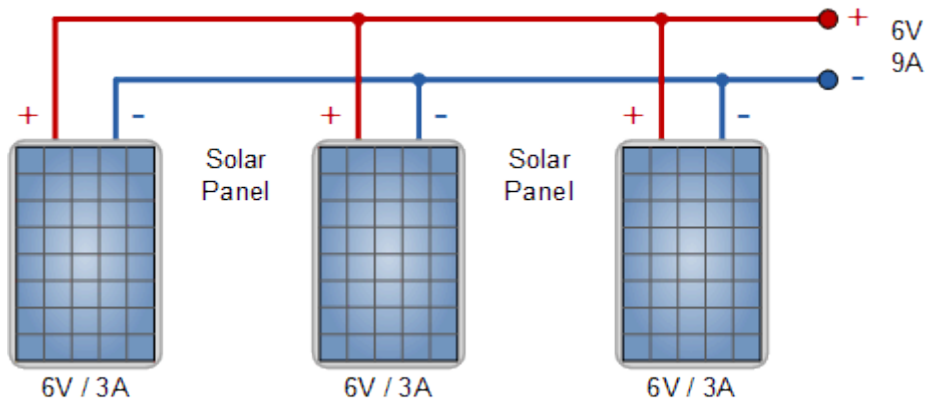
Η ηλεκτρική σύνδεση των ηλιακών συλλεκτών σε σειρά αυξάνει τη συνολική τάση εξόδου του συστήματος. Οι συνδεδεμένοι σε σειρά ηλιακοί συλλέκτες χρησιμοποιούνται γενικά όταν έχετε έναν μετατροπέα συνδεδεμένο στο δίκτυο ή έναν ελεγκτή φόρτισης που απαιτεί 24 βολτ ή περισσότερο. Για να συνδέσουμε τα πάνελ σε σειρά μεταξύ τους, συνδέουμε τον θετικό ακροδέκτη με τον αρνητικό ακροδέκτη κάθε πάνελ μέχρι να μείνουμε με μια ενιαία θετική και αρνητική σύνδεση. Τα ηλιακά πάνελ σε σειρά αθροίζουν τις τάσεις που παράγονται από κάθε μεμονωμένο πάνελ, δίνοντας τη συνολική τάση εξόδου της συστοιχίας. Με αυτό το τρόπο καταφέρνουμε να αυξήσουμε την παραγωγή ενέργειας κρατώντας την ένταση του ρεύματος σε χαμηλό επίπεδο, κάτι που σημαίνει λιγότερες απώλειες και μικρότερο πάχος καλωδίων.



Εικόνα 12 Σύνδεση Φωτοβολταϊκών σε σειρά

- Παράλληλη σύνδεση.

Η παράλληλη σύνδεση ηλιακών συλλεκτών χρησιμοποιείται για την ενίσχυση του συνολικού ρεύματος του συστήματος και είναι το αντίστροφο της σύνδεσης σε σειρά. Για την παράλληλη σύνδεση των ηλιακών συλλεκτών συνδέουμε όλους τους θετικούς ακροδέκτες μαζί (θετικό προς θετικό) και όλους τους αρνητικούς ακροδέκτες μαζί (αρνητικό προς αρνητικό), μέχρι να μείνουμε με μια ενιαία θετική και αρνητική σύνδεση. Όταν συνδέουμε παράλληλα ηλιακούς συλλέκτες μεταξύ τους, η συνολική τάση εξόδου παραμένει η ίδια όπως και για έναν μεμονωμένο συλλέκτη, αλλά το ρεύμα εξόδου γίνεται το άθροισμα της εξόδου κάθε συλλέκτη. Σε αυτή τη περίπτωση έχουμε μεγάλα ρεύματα για περιπτώσεις που θέλουμε μεγάλη μεταφορά ενέργειας.



Εικόνα 13 Παράλληλη σύνδεση φωτοβολταϊκών

- Σύνδεση σε σειρά και παράλληλα

Αποτελείται από πάνελ συνδεδεμένα σε σειρά και όλες οι σειρές συνδέονται μεταξύ τους παράλληλα. Με αυτή τη σύνδεση καταφέρνουμε να ελέγξουμε και την τάση και το ρεύμα εξόδου. Είναι η πλέον κατάλληλη για εφαρμογές αυτόνομων συστημάτων τα οποία χρειάζονται ισχυρά ρεύματα για τη ταχύτερη φόρτιση των μπαταριών ενώ παράλληλα κρατάμε το κόστος παραγωγής σε φυσιολογικά πλαίσια λόγω της αύξησης της τάσης λειτουργίας από τα πάνελ τα οποία είναι σε σειρά.

2.5 Βασικοί τύποι φ/β συστημάτων

Υπάρχουν τρεις τύποι φ/β συστημάτων. Ο κάθε ένας έχει τα δικά του πλεονεκτήματα και χρησιμοποιείται για να καλύψει συγκεκριμένες ανάγκες.

- Διασυνδεδεμένα με το δίκτυο (On Grid PV System)

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα εντός του δικτύου είναι μακράν τα πιο συνηθισμένα και χρησιμοποιούνται ευρέως από σπίτια και επιχειρήσεις. Τα συστήματα αυτά δεν χρειάζονται μπαταρίες και χρησιμοποιούν είτε ηλιακούς μετατροπείς είτε μικρομετατροπείς και συνδέονται με το δημόσιο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Οποιαδήποτε πλεονάζουσα ηλιακή ενέργεια που παράγεται εξάγεται στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας και συνήθως πληρώνεται με ένα τιμολόγιο τροφοδότησης (FiT) ή πιστώσεις για την ενέργεια που εξάγετε.

- Αυτόνομα συστήματα (Stand Alone PV System)

Ένα σύστημα εκτός δικτύου δεν είναι συνδεδεμένο με το ηλεκτρικό δίκτυο και επομένως απαιτεί αποθήκευση μπαταριών. Τα εκτός δικτύου φ/β συστήματα πρέπει να σχεδιάζονται κατάλληλα, ώστε να παράγουν αρκετή ενέργεια καθ' όλη τη διάρκεια του έτους και να έχουν αρκετή χωρητικότητα μπαταριών για να καλύψουν τις απαιτήσεις του σπιτιού, ακόμη και στα βάθη του χειμώνα, όταν γενικά υπάρχει πολύ λιγότερη ηλιακή ακτινοβολία. Το υψηλό κόστος των μπαταριών και των μετατροπών εκτός δικτύου σημαίνει ότι τα συστήματα εκτός δικτύου είναι πολύ πιο ακριβά από τα συστήματα εντός δικτύου και έτσι συνήθως χρειάζονται μόνο σε πιο απομακρυσμένες περιοχές που βρίσκονται μακριά από το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο, το κόστος των μπαταριών μειώνεται με ταχείς ρυθμούς, οπότε υπάρχει πλέον μια αυξανόμενη αγορά για συστήματα ηλιακών μπαταριών εκτός δικτύου, ακόμη και σε πόλεις και κομπούλες.

- Υβριδικά συστήματα

Τα σύγχρονα υβριδικά συστήματα συνδυάζουν την ηλιακή ενέργεια και την αποθήκευση μπαταριών σε ένα και είναι πλέον διαθέσιμα σε πολλές διαφορετικές μορφές και διαμορφώσεις. Λόγω της μείωσης του κόστους της αποθήκευσης μπαταριών, τα συστήματα που είναι ήδη συνδεδεμένα στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας μπορούν επίσης να αρχίσουν να επωφελούνται από την αποθήκευση μπαταριών. Αυτό σημαίνει ότι μπορούν να αποθηκεύουν την ηλιακή ενέργεια που παράγεται κατά τη διάρκεια της ημέρας και να τη χρησιμοποιούν τη νύχτα. Όταν η αποθηκευμένη ενέργεια εξαντληθεί, το δίκτυο είναι εκεί ως εφεδρεία, επιτρέποντας στους καταναλωτές να έχουν το καλύτερο και από τους δύο κόσμους. Τα υβριδικά συστήματα είναι επίσης σε θέση να φορτίζουν τις μπαταρίες χρησιμοποιώντας φθηνή ηλεκτρική ενέργεια εκτός αιχμής (συνήθως μετά τα μεσάνυχτα έως τις 6 το πρωί).

2.6 Net-metering

Το Net-metering αφορά διασυνδεδεμένα συστήματα τα οποία συγκεντρώνουν όλη την ενέργεια που παράγουν στο δίκτυο. Η κατανάλωση των φορτίων γίνεται πάλι από το δίκτυο με τη διαφορά ότι γίνεται ένας συμψηφισμός ανάμεσα στην παραγόμενη και την καταναλισκόμενη ενέργεια. Έτσι κάθε φορά που γίνεται μια μέτρηση γίνεται η αφαίρεση και μειώνεται δραματικά (έως και μηδενίζει) ο λογαριασμός ρεύματος. Πλέον υπάρχει και το Virtual net-metering, το οποίο επιτρέπει στον καταναλωτή να χρησιμοποιεί την παροχή αυτή έχοντας την μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας οπουδήποτε, χωρίς να χρειάζεται οι καταναλώσεις να τροφοδοτούνται από την ίδια παροχή, Αυτό βοηθάει πάρα πολύ σε περιπτώσεις όπου ο χώρος είναι πολύ περιορισμένος ή δεν υπάρχει κάποια στέγη και γενικότερα κατάλληλος χώρος εγκατάστασης του συστήματος.

2.7 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα

Όπως κάθε μορφή ενέργειας έτσι και τα φωτοβολταϊκά κάπου υστερούν και κάπου κερδίζουν σε σχέση με τις υπόλοιπες. Ας δούμε λίγο πιο αναλυτικά τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της χρήσης φωτοβολταϊκών.

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ:

- Δεν υπάρχει κανένας φόβος ή ανησυχία σχετικά με τα πάνελ που παράγουν επιβλαβή αέρια του θερμοκηπίου στον αέρα, όπως το διοξείδιο του άνθρακα.
- Παραγωγή ενέργειας από την ηλιακή ακτινοβολία, η οποία βρίσκεται ελεύθερη και σε αφθονία
- Είναι γνωστά για το χαμηλό κόστος συντήρησης και λειτουργίας τους σε σύγκριση με άλλα συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.
- Αθόρυβη λειτουργία, πράγμα που τα καθιστά κατάλληλα και για κατοικημένες περιοχές
- Τα συστήματα φωτοβολταϊκών κυψελών είναι επίσης ένα σύστημα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που προωθείται μέσω κρατικής επιχορήγησης. Τα οικονομικά κίνητρα που προσφέρονται καθιστούν τα ηλιακά πάνελ μια ελκυστική επενδυτική εναλλακτική λύση.

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ:

- Δεν είναι συνεχώς διαθέσιμη για μετατροπή σε ηλεκτρική ενέργεια, όπως κατά τη διάρκεια της νύχτας και κατά τη διάρκεια συννεφιασμένου ή βροχερού καιρού.
- Οι φωτοβολταϊκές κυψέλες απαιτούν πρόσθετη επένδυση σε μετατροπείς και μπαταρίες αποθήκευσης.
- Οι μεγάλες εκτάσεις γης που χρησιμοποιούνται για εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών πλαισίων στην ξηρά παραμένουν δεσμευμένες για το σκοπό αυτό
- Ενώ τα φωτοβολταϊκά δεν χρειάζονται συντήρηση ή κόστος λειτουργίας, η ευθραυστότητά τους σημαίνει ότι καταστρέφονται εύκολα.

2.8 Φ/Β στην Ελλάδα

Η ανάπτυξη της ηλιακής ενέργειας στην Ελλάδα ξεκίνησε το 2006 και οι εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών συστημάτων εκτοξεύτηκαν στα ύψη από το 2009 λόγω των ελκυστικών τιμολογίων τροφοδότησης που θεσπίστηκαν και των αντίστοιχων κανονισμών για τις οικιακές εφαρμογές των φωτοβολταϊκών σε στέγες. Το 2019, το 90% των περίπου 1,5 δισ. δυναμικότητας 2,5 GWp εγκαταστάθηκε το 2011, το 2012 και το 2013. Ωστόσο, η χρηματοδότηση των FIT δημιούργησε ένα απαράδεκτο έλλειμμα άνω των 500 εκατ. ευρώ στο ελληνικό ταμείο ΑΠΕ του "Διαχειριστή Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας". Για να μειωθεί αυτό το έλλειμμα, εισήχθησαν νέοι κανονισμοί τον Αύγουστο του 2012, που περιλάμβαναν αναδρομική μείωση των τιμολογίων τροφοδότησης, με περαιτέρω μειώσεις με την πάροδο του χρόνου. Τα μέτρα αυτά επέτρεψαν την εξάλειψη του ελλείμματος έως το 2017. Οι δημοπρασίες αντικατέστησαν τα FIT και μετά από στασιμότητα από το 2013, από το 2019 η Ελλάδα εγκαθιστά και πάλι εκατοντάδες MWp ετησίως[3]. Μέχρι τον Μάιο του 2022[4] η εγκατεστημένη ισχύς των φωτοβολταϊκών συστημάτων, στο διασυνδεδεμένο δίκτυο, έχει φτάσει σε συνολική εγκατεστημένη ισχύ 4199 MWp για τα μεγάλα πάρκα. Επιπλέον, μέχρι την ημερομηνία αυτή έχουν εγκατασταθεί και άλλα 352 MWp φωτοβολταϊκών συστημάτων σε στέγες - φωτοβολταϊκά συστήματα με καθαρή ισχύ κάτω των 10 kWp.

2.9 Ονομαστικές συνθήκες λειτουργίας (STC)

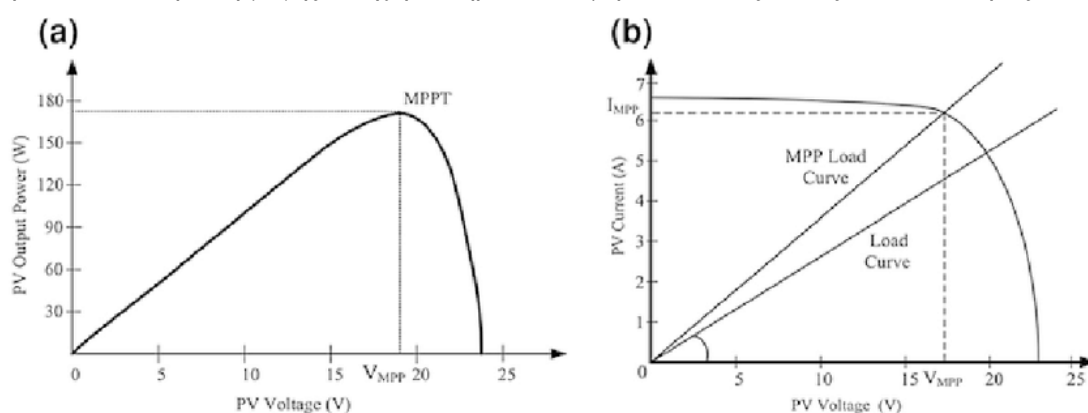
Με τον όρο ονομαστικές συνθήκες λειτουργίας (Standard Test Conditions) αναφερόμαστε στις πρότυπες και ιδανικές συνθήκες στις οποίες γίνεται ο έλεγχος λειτουργίας τω πάνελ. Αυτές σύμφωνα με τους κατασκευαστές είναι οι εξής:

- Θερμοκρασία κυψέλης 25 °C
- Ηλιακή ακτινοβολία στο επίπεδο του πάνελ ίση με 1000W/m²
- Μάζα αέρα σε επίπεδο θάλασσας AM=1.5

Όλα τα χαρακτηριστικά τα οποία αναγράφονται στο πίσω μέρος του φ/β πάνελ είναι ελεγμένα υπό αυτές τις συνθήκες, πράγμα το οποίο σημαίνει ότι είναι πρακτικά αδύνατον να πλησιάσουν σε αυτές τις τιμές. Αυτό είναι ευρέως γνωστό και πρέπει να υπολογίζεται για όλες τις εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών.

2.10 Μέγιστο σημείο λειτουργίας (MPP)

Η παρακολούθηση σημείου μέγιστης ισχύος (MPPT) ή μερικές φορές απλά η παρακολούθηση σημείου ισχύος (PPT), είναι μια τεχνική που χρησιμοποιείται με μεταβλητές πηγές ισχύος για τη μεγιστοποίηση της εξαγωγής ενέργειας καθώς οι συνθήκες μεταβάλλονται. Τα φωτοβολταϊκά ηλιακά συστήματα έχουν ποικίλες σχέσεις με συστήματα μετατροπέων, εξωτερικά δίκτυα, συστοιχίες μπαταριών και άλλα ηλεκτρικά φορτία. Το κεντρικό πρόβλημα που αντιμετωπίζει το MPPT είναι ότι η απόδοση της μεταφοράς ισχύος από την ηλιακή κυψέλη εξαρτάται από την ποσότητα του διαθέσιμου ηλιακού φωτός, τη σκίαση, τη θερμοκρασία του ηλιακού πλαισίου και τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του φορτίου. Καθώς οι συνθήκες αυτές μεταβάλλονται, αλλάζει το χαρακτηριστικό φορτίου (σύνθετη αντίσταση) που παρέχει την υψηλότερη μεταφορά ισχύος. Το σύστημα βελτιστοποιείται όταν αλλάζει η χαρακτηριστική του φορτίου, ώστε να διατηρείται η μεταφορά ισχύος με την υψηλότερη απόδοση. Αυτό το βέλτιστο χαρακτηριστικό φορτίου ονομάζεται σημείο μέγιστης ισχύος (MPP). Το MPPT είναι η διαδικασία προσαρμογής του χαρακτηριστικού φορτίου καθώς αλλάζουν οι συνθήκες.



Εικόνα 14 Γράφημα μέγιστου σημείου ισχύος (MPPT)

Τα κυκλώματα μπορούν να σχεδιαστούν ώστε να παρουσιάζουν βέλτιστα φορτία στα φωτοβολταϊκά κύτταρα και στη συνέχεια να μετατρέπουν την τάση, το ρεύμα ή τη συχνότητα ώστε να ταιριάζουν σε άλλες συσκευές ή συστήματα. Η μη γραμμική σχέση των ηλιακών κυψελών μεταξύ της θερμοκρασίας και της συνολικής αντίστασης μπορεί να αναλυθεί με βάση την καμπύλη ρεύματος-τάσης (I-V) και τις καμπύλες ισχύος-τάσης (P-V). Το MPPT συλλέγει δείγματα από την έξοδο της κυψέλης και εφαρμόζει την κατάλληλη αντίσταση (φορτίο) για την επίτευξη μέγιστης ισχύος. Οι συσκευές MPPT ενσωματώνονται συνήθως σε ένα σύστημα μετατροπής ηλεκτρικής ισχύος που παρέχει μετατροπή τάσης ή ρεύματος, φιλτράρισμα και ρύθμιση για την οδήγηση διαφόρων φορτίων, συμπεριλαμβανομένων των δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας, των μπαταριών ή των κινητήρων. Οι ηλιακοί μετατροπείς μετατρέπουν την ισχύ συνεχούς ρεύματος σε ισχύ εναλλασσόμενου ρεύματος και μπορεί να ενσωματώνουν MPPT.

2.11 Προσανατολισμός και κλίση φ/β συστήματος

Ο προσανατολισμός και η κλίση των φ/β συστημάτων είναι η πιο σημαντική παράμετρος που πρέπει να λάβουμε υπόψη όταν κάνουμε μια μελέτη. Αυτό γιατί τα φ/β πάνελ αξιοποιούν την ηλιακή ακτινοβολία η οποία εισέρχεται κάθετα στις κυψέλες τους, για αυτό το λόγο πρέπει να τα τοποθετήσουμε έτσι ώστε να εισέρχεται κάθετη ακτινοβολία όσο το δυνατόν περισσότερο μέσα στην μέρα. Για να το πετύχουμε αυτό χρησιμοποιούμε τις παρακάτω παραμέτρους:

- Γωνία απόκλισης (Declination Angle, δ)

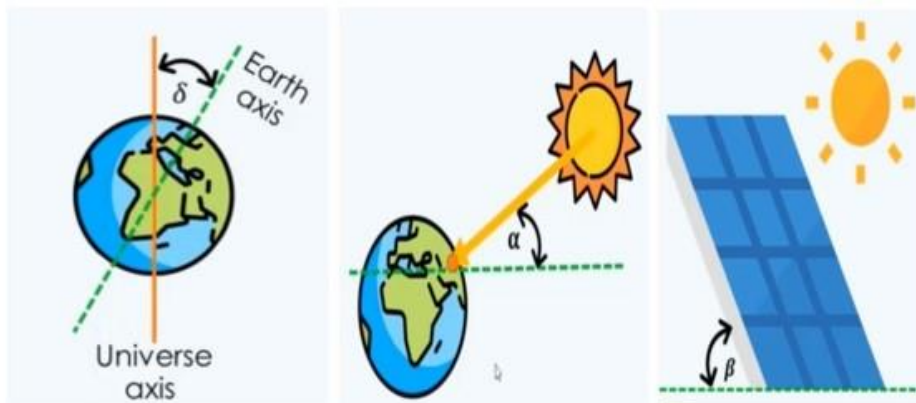
Είναι η γωνία μεταξύ του άξονα της γης και του άξονα περιστροφής γύρω από τη τροχιά του ήλιου.

- Γωνία ανύψωσης (Elevation Angle, a)

Είναι η γωνία μεταξύ των ακτινών του ήλιου και του οριζόντιου επιπέδου

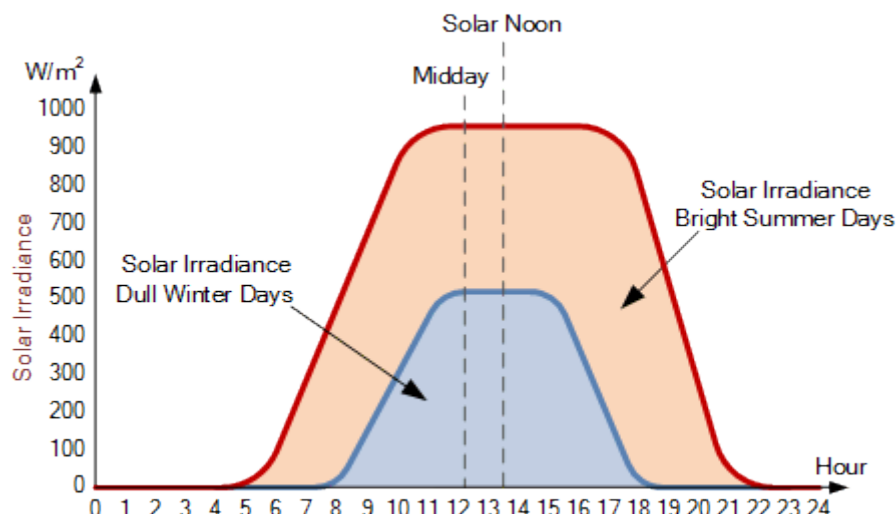
- Γωνία κλίσης (Tilt Angle, b)

Είναι η γωνία μεταξύ του φ/β πάνελ και του οριζόντιου επιπέδου.



Εικόνα 15 Κλίση Φωτοβολταϊκού Πάνελ

Με αυτά τα στοιχεία και με βάση τις γεωγραφικές συντεταγμένες της περιοχής του συστήματος βρίσκουμε τις ώρες μέγιστης ηλιακής ακτινοβολίας (Peak Sun Hours (P.S.H)) με σκοπό να έχουμε κάθετη πρόσπτωση στα πάνελ το μεγαλύτερο δυνατό καθημερινά. Για διασυνδεδεμένα συστήματα υπολογίζεται ο μέσος όρος του P.S.H για όλο το έτος, καθώς δεν υπάρχει κάποια συγκεκριμένη ανάγκη για ποσότητα ενέργειας ανά τη μέρα, αλλά μας ενδιαφέρει η γενική παραγωγή του συστήματος. Ωστόσο στα αυτόνομα συστήματα, όπου δεν υφίσταται δίκτυο ρεύματος για τις καταναλώσεις, χρειάζεται να υπολογίσουμε κλίση τέτοια ώστε το χειμώνα να είναι εφικτό να παράγεται η κατάλληλη ενέργεια που απαιτείται για τις καταναλώσεις. Συνεπώς ανάλογα με τον τύπο του συστήματος γίνεται και η κατάλληλη μελέτη.



Εικόνα 16 Γράφημα επίδοσης φωτοβολταϊκού με βάση την ώρα της ημέρας

Για το βόρειο ημισφαίριο η βέλτιστη κλίση του φωτοβολταϊκού είναι 10° - 30° με κατεύθυνση προς το Νότο. Για την Ελλάδα η μεγιστοποίηση της συνολικής ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε επιφάνεια σταθερής κλίσης επιτυγχάνεται για νότιο προσανατολισμό και κλίση περίπου 28° .

2.12 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ενός φ/β πάνελ

Τα πάνελ παράγουν ενέργεια μέσω του ρεύματος που τα διαρρέει. Για την ακρίβεια ο συνδυασμός του ρεύματος με την τάση λειτουργίας τους μας δίνει την ισχύ σε Watt (W). Στην Ελλάδα σε γενικές γραμμές το καλοκαίρι έχουμε 5 ώρες μέγιστης κάθετης ακτινοβολίας ενώ το χειμώνα περίπου 3.5. Συνεπώς για ένα πάνελ με ονομαστική ισχύ 100Wp η ισχύς που θα παραχθεί είναι 500Wp το καλοκαίρι και 350Wp το χειμώνα. Με τον όρο Wp (Watt peak) εννοούμε την μέγιστη παραγωγή κατά STC, πράγμα που όπως είδαμε πιο πάνω είναι πρακτικά αδύνατο. Οπότε η παραγωγή των πάνελ θα είναι κοντά σε αυτά που αναφέραμε παραπάνω.

2.13 Διατομή καλωδίων

Η επιλογή καλωδίων για τη σύνδεση των φ/β πάνελ παίζει πολύ μεγάλο ρόλο στην ασφάλεια και την σωστή λειτουργία του συστήματος. Εάν έχουμε ένα φωτοβολταϊκό καλώδιο που δεν είναι αρκετά μεγάλο για να στηρίζει το φ/β πάνελ, η αντίσταση μπορεί να οδηγήσει στη μεταφορά λιγότερων watt και να μπλοκάρει το κύκλωμα. Τα φωτοβολταϊκά καλώδια διαστασιολογούνται με τη χρήση των αμερικανικών μετρητών καλωδίων για την εκτίμηση της κλίμακας μέτρησης. Εάν έχουμε ένα καλώδιο με μικρότερο αριθμό μετρητή (AWG), θα έχουμε μικρότερη αντίσταση και το ρεύμα που ρέει από τα φ/β πάνελ θα φτάσει με ασφάλεια. Διαφορετικά καλώδια έχουν διαφορετικά μεγέθη διαμέτρου και αυτό μπορεί να επηρεάσει την τιμή του καλωδίου. Κάθε μέγεθος διαμέτρου έχει τη δική του ονομαστική τιμή ρεύματος, η οποία είναι η μέγιστη ποσότητα που μπορεί να ταξιδέψει μέσω του καλωδίου με ασφάλεια.

2.14 Μέθοδοι αύξησης απόδοσης φ/β συστημάτων

Η απόδοση των φ/β πάνελ ανέκαθεν ήταν αρκετά χαμηλή ανεξαρτήτως τρόπου κατασκευής και τύπου πάνελ. Οι βασικοί λόγοι είναι:

- Η συσσώρευση θερμότητας, η οποία επηρεάζει την αγωγιμότητα των ημιαγωγών στις φωτοβολταϊκές κυψέλες.
- Η ποσότητα του φωτός που ανακλάται μακριά από την επιφάνεια του κελιού.
- Η ποσότητα της νεφοκάλυψης.
- Η ένταση του ήλιου.

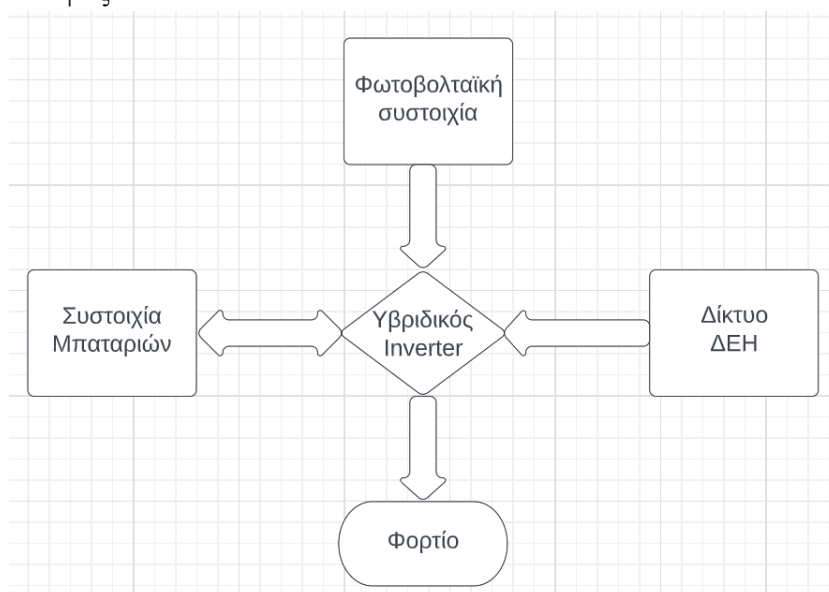
Ερευνητές σε όλο το κόσμο προσπαθούν να αυξήσουν την απόδοση των πάνελ και να μειώσουν το κόστος παραγωγής έτσι ώστε να γίνει μια πιο ελκυστική μορφή ΑΠΕ με τους παρακάτω τρόπους:

- Φασματικός διαχωρισμός (πρίσμα) της ακτινοβολίας μέσω του οποίου επιτυγχάνεται επιλεκτική εκμετάλλευση του ηλιακού φάσματος και το οποίο στη συνέχεια κατευθύνεται σε πλαίσια με διαφορετικό ενεργειακό διάκενο.
- Φασματική επεξεργασία της ακτινοβολίας η οποία ουσιαστικά αναφέρεται στην επέμβαση που γίνεται στη σύσταση του φάσματος που φθάνει στη Γη, με απώτερο σκοπό η ηλιακή ακτινοβολία να αποτελείται από φωτόνια συγκεκριμένης ενέργειας.
- Βελτιστοποίηση των υλικών που επιτυγχάνεται με τη χρήση ημιαγώγιμων υλικών τα οποία προηγουμένως έχουν υποστεί μια κατεργασία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΔΟΜΗ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

3.1 Γενικές πληροφορίες

Ένα υβριδικό ηλιακό σύστημα είναι ένα σύστημα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που συνδέεται με το δίκτυο και περιλαμβάνει αποθήκευση μπαταριών. Το σύστημα χρησιμοποιεί ηλιακούς συλλέκτες για την παραγωγή ενέργειας κατά τη διάρκεια της ημέρας, ενώ οι μπαταρίες αποθηκεύουν την πλεονάζουσα ενέργεια για χρήση αργότερα τη νύχτα, όταν δεν υπάρχει ηλιακό φως.



Εικόνα 17 Μπλοκ διάγραμμα υβριδικού ηλιακού συστήματος

Τα υβριδικά ηλιακά συστήματα έχουν δυνατότητες τόσο εντός όσο και εκτός δικτύου, επιτρέποντάς μας να συνεχίσουμε να λειτουργούμε με ηλιακή ενέργεια ακόμη και αν το δίκτυο υποστεί κάποια βλάβη. Το σύστημα εναλλάσσεται έξυπνα μεταξύ της χρήσης ηλιακής ενέργειας, της αποθήκευσης μπαταριών και της ενέργειας δικτύου. Με αυτό το τρόπο αποφεύγεται η χρήση της ενέργειας του δικτύου σε ώρες αιχμής που οδηγούν σε εξοικονόμηση λογαριασμών. Καθώς αποθηκεύει την ανανεώσιμη ενέργεια που παράγεται από τα ηλιακά πάνελ της στέγης του, κατά τη διάρκεια μιας καταιγίδας ή διακοπής ρεύματος, το σύστημα ενεργοποιείται απρόσκοπτα και τροφοδοτεί όλα τα βασικά φορτία., διατηρώντας τις βασικές λειτουργίες σε τροφοδοσία.

Τα κύρια πλεονεκτήματα έναντι του διασυνδεδεμένου η του αυτόνομου συστήματος είναι τα εξής:

- Λόγω της έξυπνης αλλαγής μεταξύ μπαταρίας και δικτύου καταφέρνουμε τη μέγιστη εξοικονόμηση στους λογαριασμούς ρεύματος.
- Ένα υβριδικό σύστημα μπορεί να σχεδιαστεί ώστε να ανταποκρίνεται στις συγκεκριμένες ανάγκες ενός σπιτιού και να είναι επεκτάσιμο για μελλοντικές ενεργειακές ανάγκες.
- Έχει σχεδιαστεί για να παρέχει ενέργεια κατά τη διάρκεια διακοπών του δικτύου.

Συνοψίζοντας, ένα υβριδικό ηλιακό σύστημα είναι μια εξαιρετική επιλογή για τους ιδιοκτήτες σπιτιού που δεν ψάχνουν μόνο να πάνε στην ηλιακή ενέργεια για να μειώσουν το λογαριασμό του ηλεκτρικού ρεύματος, αλλά για να εξασφαλίσουν ότι η ιδιοκτησία σας τροφοδοτείται με ρεύμα κατά τη διάρκεια μιας διακοπής ρεύματος.

3.2 Λειτουργία υβριδικού φωτοβολταϊκού

Το υβριδικό σύστημα δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στα φ/β πάνελ και την μετατρέπει σε ηλεκτρικό ρεύμα. Το ρεύμα αυτό στη συνέχεια μέσω του ρυθμιστή φόρτισης χρησιμοποιείται για να φορτίσει τους συσσωρευτές οι οποίοι τροφοδοτούν τις καταναλώσεις μέσω του αντιστροφέα (Inverter). Ο αντιστροφέας εξυπηρετεί την μετατροπή της συνεχής τάσης που προσφέρουν οι συσσωρευτές σε εναλλασσόμενη με σκοπό να τροφοδοτηθούν όλες οι καταναλώσεις που χρειάζονται εναλλασσόμενο ρεύμα. Το δίκτυο λειτουργεί βοηθητικά, προσφέροντας ρεύμα μόνο όταν οι καταναλώσεις ξεπερνούν την παραγωγή των φ/β πάνελ. Επίσης λειτουργεί και εφεδρικά, φορτίζοντας τους συσσωρευτές το βράδυ κυρίως εάν έχουν χρησιμοποιηθεί αρκετά μέσα στη μέρα οι συσσωρευτές ή σε περίπτωση κακοκαιρίας και βλάβης του δικτύου. Ο αντιστροφέας είναι ο εγκέφαλος του συστήματος και είναι αυτός ο οποίος καθορίζει το τρόπο με τον οποίο θα χρησιμοποιηθούν όλες οι παροχές αρμονικά για την σωστή εξοικονόμηση ενέργειας.



Εικόνα 18 Λειτουργία υβριδικού φωτοβολταϊκού

3.3 Τα μέρη που αποτελούν ένα υβριδικό φ/β σύστημα

Τα βασικά μέρη που αποτελούν το υβριδικό σύστημα είναι: τα **φ/β πάνελ**, ο **ρυθμιστής φόρτισης**, ο **αντιστροφέας(inverter)** και οι **μπαταρίες-συσσωρευτές**. Τα **φ/β πάνελ** είναι η κύρια πηγή ενέργειας καθώς όπως είδαμε και πιο πάνω μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει πάνω στις κυψέλες τους παράγουν ρεύμα και προκύπτει ηλεκτρική ενέργεια. Χαρακτηρίζονται κατά STC σε W_p και χωρίζονται σε τρεις βασικούς τύπους τους οποίους θα αναλύσουμε λίγο παραπάνω:

Μονοκρυσταλλικά φ/β πάνελ: Τα μονοκρυσταλλικά ηλιακά πάνελ κατασκευάζονται από μονοκρυσταλλικά ηλιακά κύτταρα. Κάθε κυψέλη είναι ένα κομμάτι ενός μονοκρυσταλλικού πυριτίου που καλλιεργείται ρητά με σκοπό τη δημιουργία ηλιακών συλλεκτών. Η απόδοσή τους κυμαίνεται από 15% έως 20% με τις παρακάτω ιδιότητες:

- Υψηλή αποδοτικότητα στην παραγωγή ενέργειας σε σχέση με τα πολυκρυσταλλικά
- Απαιτούν λιγότερο χώρο
- Καλύτερη ανοχή στη θερμότητα

Πολυκρυσταλλικά φ/β πάνελ: Τα πολυκρυσταλλικά ηλιακά πάνελ αποτελούνται από μεμονωμένες πολυκρυσταλλικές ηλιακές κυψέλες. Ο κρύσταλλος πυριτίου ψύχεται και θρυμματίζεται μόνος του. Αυτά τα θραύσματα λιώνουν σε φούρνο και σχηματίζουν κύβους που κόβονται σε λεπτές γκοφρέτες. Έτσι, πολλοί διαφορετικοί κρύσταλλοι σχηματίζουν αυτό το αμάλγαμα, αντί για τον ενιαίο κρύσταλλο του μονοκρυσταλλικού τύπου ηλιακών κυψελών. Έχουν γενικά βαθμό απόδοσης μεταξύ 13% και 16%, με τις παρακάτω ιδιότητες:

- Λιγότερο ακριβά από τα μονοκρυσταλλικά πάνελ
- Διάρκεια ζωής συγκρίσιμη με εκείνη των μονοκρυσταλλικών πάνελ, αλλά με χαμηλότερο κόστος
- Αποτελούν τα πιο πολυχρησιμοποιημένα πάνελ παγκοσμίως

Φ/β πάνελ λεπτού υμενίου: Αποτελούνται από πολλαπλά λεπτά στρώματα φωτοβολταϊκών υλικών. Τα στρώματα είναι περίπου 300 έως 350 φορές λεπτότερα από το τυπικό πυρίτιο, γεγονός που καθιστά την τεχνολογία ιδανική για φορητές συσκευές. Κάθε κυψέλη αποτελείται από τρία κύρια μέρη: φωτοβολταϊκό υλικό, ένα αγωγίμο φύλλο και ένα προστατευτικό στρώμα. Εκτός από τον λεπτό σχεδιασμό τους, τα φωτοβολταϊκά πάνελ λεπτών υμενίων διαφέρουν από τα παραδοσιακά μονοκρυσταλλικά και πολυκρυσταλλικά πάνελ ως προς τα υλικά που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή και ως προς την απόδοση, αλλά θα αναφερθούμε αναλυτικότερα σε αυτό αργότερα. Ακολουθούν οι τέσσερις πιο συνηθισμένοι τύποι φ/β πάνελ λεπτής μεμβράνης και οι βαθμοί απόδοσής τους:

- Πάνελ άμορφου πυριτίου (α-Si): 7% αποδοτικότητα
- Πάνελ τελλουριδίου του καδμίου (CdTe): με αποδοτικότητα μεταξύ 9%-15%
- Πάνελ ινδίου-γαλλίου-γαλλίου-δισελενιδίου (CIGS): 12% έως 14% αποδοτικότητα
- Οργανικά φωτοβολταϊκά πάνελ (OPV): 18,2% αποδοτικότητα

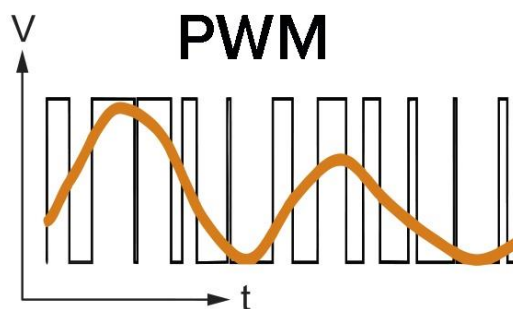
Ρυθμιστής φόρτισης: Χρειάζεται στα αυτόνομα ή υβριδικά συστήματα. Τα συστήματα αυτά επιτρέπουν τη χρήση της ηλιακής ενέργειας εκτός δικτύου, είτε με πλήρη απασχόληση είτε ως εφεδρικό σύστημα κατά τη διάρκεια διακοπών ρεύματος. Ο ρυθμιστής ελέγχει την ποσότητα ενέργειας που αποστέλλεται στην εφεδρική μπαταρία, ώστε η μπαταρία να μην υπερβαίνει τη χωρητικότητα τάσης της καθώς με αυτόν τον τρόπο παρατείνεται η διάρκεια ζωής της μπαταρίας και αποφεύγεται οποιαδήποτε ζημιά σε αυτήν.

Η απόδοση ενός ηλιακού συλλέκτη μπορεί να ποικίλλει ανάλογα με τα επίπεδα ηλιακής ακτινοβολίας, τη θερμοκρασία περιβάλλοντος, την ποιότητα των ηλιακών κυψελών του συλλέκτη και άλλους παράγοντες. Όλοι αυτοί οι παράγοντες επηρεάζουν την απόδοση των πάνελ στη μετατροπή του ηλιακού φωτός σε ηλεκτρική ενέργεια. Ένας ηλιακός ελεγκτής φόρτισης εξομαλύνει αυτή τη μεταβλητότητα, ώστε οι μπαταρίες να λαμβάνουν ενέργεια με σταθερό και ασφαλή ρυθμό. Επίσης, στέλνει μια "σταδιακή φόρτιση" όταν η μπαταρία είναι σχεδόν γεμάτη. Δεδομένου ότι οι μπαταρίες χάνουν τακτικά μια μικρή ποσότητα φόρτισης, μια μικρή φόρτιση διατηρεί τη μπαταρία γεμάτη χωρίς να την υπερφορτίζει.

Οι ρυθμιστές φόρτισης χαρακτηρίζονται ανάλογα με την ισχύ λειτουργίας της συστοιχίας σε σχέση με την τάση λειτουργίας της μπαταρίας. Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι ρυθμιστών φόρτισης, οι ελεγκτές διαμόρφωσης εύρους παλμού (PWM) και ο ελεγκτής παρακολούθησης σημείου μέγιστης ισχύος (MPPT). Οι ρυθμιστές PWM είναι καταλληλότεροι για μικρά συστήματα με πάνελ χαμηλής τάσης και μικρές μπαταρίες. Οι ρυθμιστές MPPT είναι ακριβότεροι, αλλά έχουν περισσότερες δυνατότητες και πλεονεκτήματα.

- **PWM:**

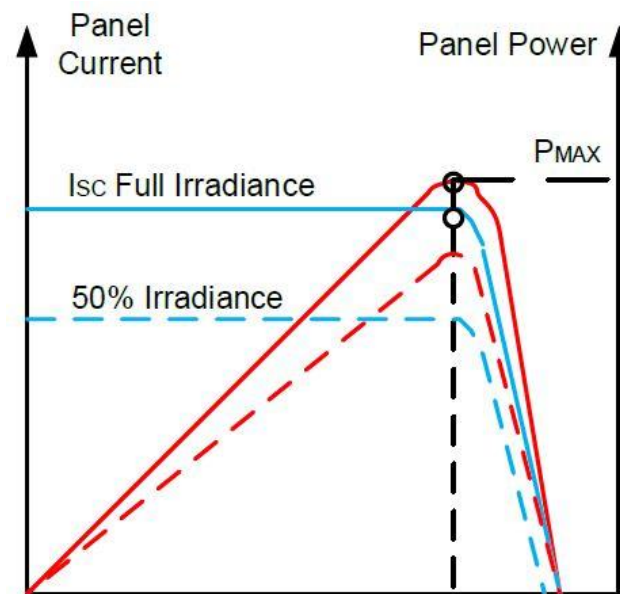
Η κύρια λειτουργία ενός ρυθμιστή PWM είναι να προστατεύει την μπαταρία, διασφαλίζοντας ότι τα φ/β πάνελ έχουν την ίδια τάση με την μπαταρία. Μέσω της διαμόρφωσης εύρους παλμού (Pulse Width Modulation), στην ουσία, λειτουργεί ως διακόπτης ο οποίος ανοιγοκλείνει πάρα πολύ γρήγορα με σκοπό να μειώσει όλο το εύρος της τάσης των πάνελ και να το προσαρμόσει στη τάση λειτουργίας της μπαταρίας. Ως συμπέρασμα μπορούμε να καταλάβουμε ότι όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά τάσης μεταξύ των πάνελ και της μπαταρίας τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η διακοπή που θα εισάγεται από τον ρυθμιστή, μειώνοντας κατά πολύ την απόδοση. Συνιστάται για μικρά συστήματα με μικρή διαφορά τάσης μεταξύ πάνελ και μπαταρίας,



Εικόνα 19 Διαμόρφωση Πλάτους Παλμού (PWM)

- **MPPT:**

Το MPPT σημαίνει Maximum Power Point Tracking, μια τεχνική που χρησιμοποιείται στα συστήματα ηλιακής ενέργειας για τη μεγιστοποίηση της παραγωγής ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά πάνελ. Χρησιμοποιείται στους ρυθμιστές φόρτισης, οι οποίοι ρυθμίζουν την ποσότητα ενέργειας που εισέρχεται σε μια συστοιχία μπαταριών από τα ηλιακά πάνελ. Ο ρυθμιστής φόρτισης παρακολουθεί το σημείο μέγιστης ισχύος (maximum power point, MPP) των φωτοβολταϊκών πλαισίων, το οποίο είναι το σημείο στο οποίο τα πλαίσια παράγουν τη μεγαλύτερη ισχύ, και ρυθμίζει ανάλογα την τάση και το ρεύμα για να διασφαλίσει ότι η συστοιχία μπαταριών φορτίζεται όσο το δυνατόν πιο αποτελεσματικά. Με τη χρήση της τεχνολογίας MPPT, ο ρυθμιστής φόρτισης μπορεί να εξάγει τη μέγιστη ποσότητα ισχύος από τα φωτοβολταϊκά πάνελ, ακόμη και σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού ή μερικής σκίασης. Αυτό μπορεί να αυξήσει σημαντικά την αποδοτικότητα και την απόδοση ενός συστήματος ηλιακής ενέργειας. Η τεχνική αυτή βασίζεται σε έναν αλγόριθμο ο οποίος λειτουργεί ως εξής:



Εικόνα 20 Γράφημα MPPT

1. Μετράει το ρεύμα και την τάση εξόδου των φ/β πάνελ.
2. Χρησιμοποιεί έναν μικροελεγκτή για να υπολογίσει την ισχύ εξόδου των φωτοβολταϊκών πλαισίων με βάση τις μετρούμενες τιμές ρεύματος και τάσης.
3. Καθορίζει την κατεύθυνση προς την οποία θα αυξηθεί η ισχύς εξόδου με ελαφρά προσαρμογή του επιπέδου τάσης ή ρεύματος.
4. Προσαρμόζει ανάλογα το επίπεδο τάσης ή ρεύματος και επαναλαμβάνει τις μετρήσεις και τους υπολογισμούς έως ότου επιτευχθεί και διατηρηθεί το MPP.

3.3.1 Μπαταρίες και είδη μπαταριών

Οι μπαταρίες έχουν επίσης πολύ σημαντικό ρόλο διότι μέσω των μπαταριών αποθηκεύεται η ενέργεια από τα φ/β πάνελ έτσι ώστε να χρησιμοποιηθεί όταν υπάρχει ανάγκη, δηλαδή τις νυχτερινές ώρες όπου δεν υπάρχει ηλιακή ακτινοβολία και σε βλάβες ηλεκτροδότησης. Υπάρχουν διάφορα είδη μπαταριών τα οποία θα αναλύσουμε παρακάτω. Χαρακτηρίζονται από την χωρητικότητα τους (Ah) και την τάση λειτουργίας τους καθώς επίσης και τους κύκλοι ζωής (φόρτισης και εκφόρτισης). Χωρίζονται ανάλογα με το πόσο πολύ μπορούν να εκφορτιστούν σε βαθιάς και αβαθής εκφόρτισης. Οι βαθιάς εκφόρτισης μπορούν να εκφορτιστούν έως και 80% της πλήρης φόρτισης ενώ οι αβαθής μέχρι 20%-30% και σε μερικές περιπτώσεις 50%. Σε περίπτωση που ξεπεραστεί αυτό το όριο σε συχνή βάση τότε μειώνεται κατά πολύ η διάρκεια ζωής της μπαταρίας, για αυτό συνιστάται οι συστοιχίες μπαταριών να είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερης χωρητικότητας.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι μπαταριών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε φωτοβολταϊκά συστήματα, συμπεριλαμβανομένων των μπαταριών μολυβδου-οξέος, ιόντων λιθίου, νικελίου-καδμίου και ροής. Ο πιο συνηθισμένος τύπος μπαταρίας που χρησιμοποιείται σε φωτοβολταϊκά συστήματα είναι ο μολυβδος-οξύ, ο οποίος είναι μια ώριμη τεχνολογία που χρησιμοποιείται εδώ και δεκαετίες.

Μόλυβδου οξέος (PzS): Οι μπαταρίες μολυβδου-οξέος αποτελούνται από πλάκες μολυβδου και διοξειδίου του μολυβδου που είναι βυθισμένες σε διάλυμα ηλεκτρολύτη θεικού οξέος και νερού. Όταν η μπαταρία φορτίζεται, οι πλάκες μολυβδου και διοξειδίου του μολυβδου μετατρέπονται σε θεικό μολυβδο και ο ηλεκτρολύτης μετατρέπεται σε νερό και θεικό οξύ. Όταν η μπαταρία εκφορτίζεται, ο θεικός μολυβδος μετατρέπεται ξανά σε μολυβδο και διοξείδιο του μολυβδου και το θεικό οξύ και το νερό μετατρέπονται ξανά στον ηλεκτρολύτη. Υπάρχουν οι ανοιχτού τύπου και οι κλειστού τύπου. Είναι ευρέως χρησιμοποιημένες και ονομάζονται VRLA (Valve Regulated Lead Acid) και χωρίζονται σε AGM και GELL CELS

AGM:

Οι μπαταρίες AGM (Absorbent Glass Mat) είναι παρόμοιες με τις παραδοσιακές μπαταρίες μολυβδου-οξέος, αλλά χρησιμοποιούν ένα ειδικό χαλί από υαλοβάμβακα που τοποθετείται μεταξύ των πλακών μολυβδου στο εσωτερικό της μπαταρίας. Ο τάπητας απορροφά τον ηλεκτρολύτη, ο οποίος είναι συνήθως ένα μείγμα θεικού οξέος και νερού, και τον συγκρατεί στη θέση του, αποτρέποντας τη διαρροή ή τη διαρροή του. Οι μπαταρίες AGM είναι σφραγισμένες και δεν απαιτούν συντήρηση, καθώς δεν χρειάζεται να συμπληρωθούν με νερό ή να ελεγχθούν τα επίπεδα του ηλεκτρολύτη τους. Είναι επίσης ανθεκτικές στους κραδασμούς, γεγονός που τις καθιστά δημοφιλή επιλογή για χρήση σε οχήματα. Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα των μπαταριών AGM είναι ο υψηλός ρυθμός εκφόρτισης, ο οποίος τους επιτρέπει να παρέχουν μεγάλη ποσότητα ισχύος σε σύντομο χρονικό διάστημα. Έχουν επίσης μεγάλη διάρκεια ζωής, συνήθως μεταξύ 5-7 ετών, ανάλογα με τη χρήση και τη συντήρηση.

GEL CELS:

Οι μπαταρίες gel cell, επίσης γνωστές ως μπαταρίες gel, είναι ένας τύπος σφραγισμένης μπαταρίας μολυβδου-οξέος που χρησιμοποιείται συνήθως σε διάφορες εφαρμογές, όπως συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας εκτός δικτύου, εφεδρικά συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας και σε οχήματα όπως μοτοσυκλέτες και σκούτερ. Οι μπαταρίες gel είναι παρόμοιες με τις μπαταρίες AGM στο ότι είναι σφραγισμένες και δεν απαιτούν συντήρηση, καθώς δεν χρειάζεται να συμπληρώνονται με νερό ή να ελέγχονται τα επίπεδα του ηλεκτρολύτη τους. Ωστόσο, αντί να χρησιμοποιούν ένα χαλί από υαλοβάμβακα για να συγκρατούν τον ηλεκτρολύτη στη θέση του, οι μπαταρίες gel χρησιμοποιούν έναν παράγοντα πύκνωσης που

μετατρέπει τον ηλεκτρολύτη σε μια ουσία που μοιάζει με gel. Ο ηλεκτρολύτης που μοιάζει με πηκτή στις μπαταρίες gel είναι λιγότερο πιθανό να διαρρεύσει ή να χυθεί, καθιστώντας τις ασφαλέστερη επιλογή για χρήση σε οχήματα ή άλλες εφαρμογές όπου οι κραδασμοί ή η κίνηση αποτελούν πρόβλημα. Οι μπαταρίες gel είναι επίσης πιο ανθεκτικές στις ακραίες θερμοκρασίες και έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής από τις παραδοσιακές πλημμυρισμένες μπαταρίες μολυβδου-οξέος.

Μπαταρίες ιόντων λιθίου (LiFePO₄): Η μπαταρία φωσφορικού σιδήρου λιθίου (LiFePO₄ battery) ή μπαταρία LFP (lithium ferrophosphate) είναι ένας τύπος μπαταρίας ιόντων λιθίου που χρησιμοποιεί φωσφορικό σίδηρο λιθίου (Life PO₄) ως υλικό καθόδου και ένα ηλεκτρόδιο γραφίτη άνθρακα με μεταλλικό υπόστρωμα ως άνοδο. Έχουν πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις παραδοσιακές μπαταρίες μολυβδου-οξέος, συμπεριλαμβανομένης της υψηλότερης ενεργειακής πυκνότητας, της μεγαλύτερης διάρκειας ζωής και των ταχύτερων χρόνων φόρτισης. Έχουν επίσης μικρότερο κίνδυνο θερμικής διαφυγής και είναι λιγότερο πιθανό να πάρουν φωτιά ή να εκραγούν σε σύγκριση με άλλους τύπους μπαταριών ιόντων λιθίου. Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα των μπαταριών LiFePO₄ είναι η υψηλή ενεργειακή πυκνότητα, η οποία τους επιτρέπει να αποθηκεύουν περισσότερη ενέργεια σε μικρότερη και ελαφρύτερη συσκευασία σε σύγκριση με τις παραδοσιακές μπαταρίες μολυβδου-οξέος. Αυτό τις καθιστά ιδανικές για χρήση σε φορητές ηλεκτρονικές συσκευές και ηλεκτρικά οχήματα, όπου το βάρος και το μέγεθος είναι σημαντικά κριτήρια. Οι μπαταρίες LiFePO₄ έχουν επίσης μεγαλύτερη διάρκεια ζωής σε σύγκριση με τις παραδοσιακές μπαταρίες μολυβδου-οξέος, που συνήθως διαρκούν μεταξύ 2.000-5.000 κύκλων φόρτισης, ανάλογα με τη χρήση και τη συντήρηση. Έχουν επίσης ταχύτερο χρόνο φόρτισης, καθώς συνήθως χρειάζονται μόνο λίγες ώρες για την πλήρη φόρτιση σε σύγκριση με τις μπαταρίες μολυβδου-οξέος, οι οποίες μπορεί να χρειαστούν αρκετές ώρες ή ακόμη και ημέρες για την πλήρη φόρτιση. Ένα από τα κύρια μειονεκτήματα των μπαταριών LiFePO₄ είναι το υψηλότερο κόστος τους σε σύγκριση με τις παραδοσιακές μπαταρίες μολυβδου-οξέος. Ωστόσο, η υψηλότερη ενεργειακή πυκνότητα και η μεγαλύτερη διάρκεια ζωής τους μπορούν να οδηγήσουν σε χαμηλότερο συνολικό κόστος ιδιοκτησίας κατά τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας.

Μπαταρίες Νικελίου-Καδμίου (NiCad batteries): Οι μπαταρίες νικελίου-καδμίου (NiCad) είναι ένας τύπος επαναφορτιζόμενης μπαταρίας που χρησιμοποιείται σε διάφορες εφαρμογές εδώ και πολλές δεκαετίες. Αποτελούνται από ένα θετικό ηλεκτρόδιο από υδροξείδιο του νικελίου, ένα αρνητικό ηλεκτρόδιο από κάδμιο και έναν ηλεκτρολύτη από υδροξείδιο του καλίου. Οι μπαταρίες NiCad έχουν πολλά πλεονεκτήματα έναντι άλλων τύπων μπαταριών, όπως μεγάλη διάρκεια ζωής, υψηλό ρυθμό εκφόρτισης και ικανότητα να αντέχουν σε ακραίες θερμοκρασίες. Επίσης, επηρεάζονται λιγότερο από υπερφόρτιση και υπερεκφόρτιση σε σύγκριση με άλλους τύπους επαναφορτιζόμενων μπαταριών. Ένα από τα κύρια μειονεκτήματα των μπαταριών NiCad είναι η χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα, που σημαίνει ότι αποθηκεύουν λιγότερη ενέργεια ανά μονάδα βάρους ή όγκου σε σύγκριση με άλλους τύπους μπαταριών. Είναι επίσης επιρρεπείς στην ανάπτυξη ενός "φαινομένου μνήμης", το οποίο μπορεί να μειώσει τη χωρητικότητά τους εάν δεν εκφορτιστούν πλήρως πριν επαναφορτιστούν. Επιπλέον οι μπαταρίες NiCad χρησιμοποιούν κάδμιο, το οποίο είναι ένα τοξικό, βαρύ μέταλλο που μπορεί να είναι επιβλαβές για το περιβάλλον εάν δεν απορριφθεί σωστά. Για αυτούς τους λόγους πλέον χρησιμοποιούνται σε πολύ συγκεκριμένες περιπτώσεις και έχουν απαγορευτεί από πολλές χώρες.

Μπαταρίες ροής (Flow Batteries): Οι μπαταρίες ροής είναι ένας τύπος επαναφορτιζόμενης μπαταρίας που χρησιμοποιεί δύο υγρούς ηλεκτρολύτες που διαχωρίζονται από μια μεμβράνη για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Οι ηλεκτρολύτες αποθηκεύονται σε εξωτερικές δεξαμενές και κυκλοφορούν μέσω της μπαταρίας κατά τη λειτουργία. Είναι ασφαλέστερες και πιο φιλικές προς το περιβάλλον σε σύγκριση με τις παραδοσιακές μπαταρίες μολυβδου-οξέος,

καθώς χρησιμοποιούν μη τοξικούς ηλεκτρολύτες. Είναι επίσης εξαιρετικά επεκτάσιμες, καθώς η ποσότητα ενέργειας που μπορεί να αποθηκευτεί μπορεί να αυξηθεί απλά με την αύξηση του μεγέθους των εξωτερικών δεξαμενών αποθήκευσης. Αυτό τις καθιστά ιδανικές για χρήση σε εφαρμογές αποθήκευσης ενέργειας μεγάλης κλίμακας, όπως σε συστήματα αποθήκευσης ενέργειας σε επίπεδο δικτύου ή σε συστήματα ενέργειας εκτός δικτύου. Ωστόσο, ένα από τα κύρια μειονεκτήματα των μπαταριών ροής είναι η χαμηλότερη απόδοσή τους σε σύγκριση με άλλους τύπους μπαταριών, καθώς χάνεται ενέργεια κατά τη διαδικασία κυκλοφορίας των ηλεκτρολυτών μέσα στη μπαταρία. Συνολικά, οι μπαταρίες ροής αποτελούν μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία για εφαρμογές αποθήκευσης ενέργειας μεγάλης κλίμακας, καθώς προσφέρουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, υψηλότερη ενεργειακή πυκνότητα και επεκτασιμότητα σε σύγκριση με άλλους τύπους μπαταριών. Ωστόσο, η χαμηλότερη απόδοση και το μεγαλύτερο αποτύπωμά τους τις καθιστούν λιγότερο κατάλληλες για εφαρμογές μικρότερης κλίμακας.

Όπως αναφερθήκαμε παραπάνω τα κύρια χαρακτηριστικά των μπαταριών είναι η χωρητικότητα, το βάθος εκφόρτισης (DoD) δηλαδή οι κύκλοι ζωής και η τάση λειτουργίας. Παρακάτω θα τα δούμε λίγο πιο αναλυτικά για να τα κατανοήσουμε καλύτερα:

Χωρητικότητα:

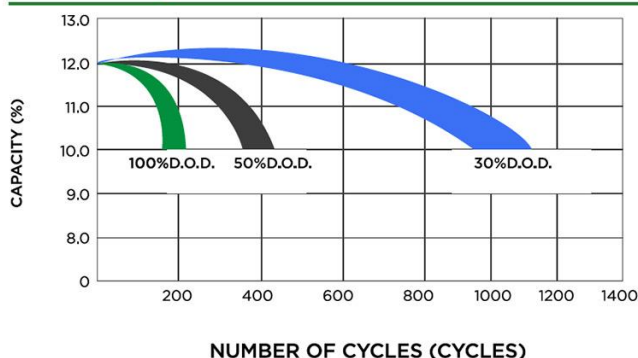
Η "χωρητικότητα της μπαταρίας" είναι ένα μέτρο (συνήθως σε Amp-hr) του φορτίου που αποθηκεύεται από τη μπαταρία και καθορίζεται από τη μάζα του ενεργού υλικού που περιέχεται στη μπαταρία. Η χωρητικότητα της μπαταρίας αντιπροσωπεύει τη μέγιστη ποσότητα ενέργειας που μπορεί να εξαχθεί από τη μπαταρία υπό ορισμένες συγκεκριμένες συνθήκες. Ωστόσο, οι πραγματικές δυνατότητες αποθήκευσης ενέργειας της μπαταρίας μπορεί να διαφέρουν σημαντικά από την ονομαστική χωρητικότητα, καθώς η χωρητικότητα της μπαταρίας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ηλικία και το προηγούμενο ιστορικό της μπαταρίας, τα καθεστώτα φόρτισης ή εκφόρτισης της μπαταρίας και τη θερμοκρασία. Η ενέργεια που αποθηκεύεται σε μια μπαταρία, η οποία ονομάζεται χωρητικότητα της μπαταρίας, μετρείται είτε σε βατ-ώρες (Wh), κιλοβατώρες (kWh) είτε σε αμπέρ-ώρες (Ahr). Το πιο συνηθισμένο μέτρο της χωρητικότητας της μπαταρίας είναι το Ah, το οποίο ορίζεται ως ο αριθμός των ωρών για τις οποίες μια μπαταρία μπορεί να παρέχει ρεύμα ίσο με το ρυθμό εκφόρτισης στην ονομαστική τάση της μπαταρίας. Η μονάδα Ah χρησιμοποιείται συνήθως κατά την εργασία με συστήματα μπαταριών, καθώς η τάση της μπαταρίας μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια του κύκλου φόρτισης ή εκφόρτισης. Η χωρητικότητα Wh μπορεί να υπολογιστεί κατά προσέγγιση από τη χωρητικότητα Ahr πολλαπλασιάζοντας τη χωρητικότητα AH επί την ονομαστική (ή, εάν είναι γνωστή, τη μέση χρονική τάση) της μπαταρίας. Μια πιο ακριβής προσέγγιση λαμβάνει υπόψη τη μεταβολή της τάσης ολοκληρώνοντας τη χωρητικότητα $AH \times V(t)$ κατά τη διάρκεια του χρόνου του κύκλου φόρτισης. Ωστόσο, λόγω της μεγάλης επίδρασης από τους ρυθμούς φόρτισης ή τις θερμοκρασίες, για πρακτική ή ακριβή ανάλυση, οι κατασκευαστές μπαταριών παρέχουν πρόσθετες πληροφορίες σχετικά με τη μεταβολή της χωρητικότητας της μπαταρίας.

Βάθος εκφόρτισης (DoD):

Το βάθος εκφόρτισης (DoD) αναφέρεται στο ποσό της συνολικής χωρητικότητας μιας μπαταρίας που έχει χρησιμοποιηθεί πριν η μπαταρία χρειαστεί επαναφόρτιση. Εκφράζεται ως ποσοστό, με το 0% DoD να υποδηλώνει μια πλήρως φορτισμένη μπαταρία και το 100% DoD να υποδηλώνει μια πλήρως αποφορτισμένη μπαταρία. Για παράδειγμα, εάν μια μπαταρία έχει χωρητικότητα 100Ah και έχει εκφορτιστεί κατά 50Ah, το βάθος εκφόρτισης θα είναι 50% (50Ah / 100Ah). Το βάθος εκφόρτισης είναι ένας σημαντικός παράγοντας που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τη χρήση επαναφορτιζόμενων μπαταριών, ιδίως σε εφαρμογές όπου η διάρκεια ζωής της μπαταρίας είναι κρίσιμη. Γενικά, οι βαθύτερες εκφορτίσεις μειώνουν τη

συνολική διάρκεια ζωής μιας μπαταρίας, επομένως είναι σημαντικό να εξισορροπείται το βάθος εκφόρτισης με τη συνολική διάρκεια ζωής της μπαταρίας κατά το σχεδιασμό συστημάτων που λειτουργούν με μπαταρίες. Ορισμένοι τύποι μπαταριών, όπως οι μπαταρίες μολυβδου-οξέος, μπορούν να αντέξουν βαθύτερες εκφορτίσεις χωρίς να επηρεάσουν σημαντικά τη συνολική διάρκεια ζωής τους. Άλλοι τύποι μπαταριών, όπως οι μπαταρίες ιόντων λιθίου, είναι πιο ευαίσθητοι σε βαθύτερες εκφορτίσεις και ενδέχεται να παρουσιάσουν μικρότερη συνολική διάρκεια ζωής εάν εκφορτίζονται πολύ βαθιά σε τακτική βάση. Είναι σημαντικό να ακολουθούνται οι συστάσεις του κατασκευαστή για το μέγιστο βάθος εκφόρτισης για έναν συγκεκριμένο τύπο μπαταρίας, καθώς η υπέρβαση αυτού του ορίου μπορεί να οδηγήσει σε μειωμένη απόδοση και μικρότερη διάρκεια ζωής.

Cycle service life in relation to depth of discharge



Εικόνα 21 Γράφημα εκφόρτισης της μπαταρίας

Τάση λειτουργίας:

Η τάση λειτουργίας εκφράζει τη διαφορά δυναμικού στα άκρα της μπαταρίας. Είναι ένας τρόπος να μετρήσουμε το βάθος εκφόρτισης καθώς συνδέονται άμεσα. Γενικότερα για αποθήκευση ενέργειας δεν υφίσταται μεμονωμένη μπαταρία. Πάντα υπάρχει συστοιχία με πολλές μπαταρίες (προτιμάται όμοιες) συνδεδεμένες σε σειρά και οι σειρές μεταξύ τους παράλληλα, όπως γίνεται και με τα φ/β πλαίσια. Συνιστάται η μελέτη που θα γίνει για το σύστημα μπαταριών να έχει όσο το δυνατόν μεγαλύτερη τάση λειτουργίας διότι μειώνεται δραματικά το κόστος κατασκευής και οι απώλειες από τα μεγάλα ρεύματα που θα είχαμε αν χρησιμοποιούσαμε χαμηλότερη τάση λειτουργίας.

Voltage	State of Charge
12.6+	100%
12.5	90%
12.42	80%
12.32	70%
12.20	60%
12.06	50%
11.9	40%
11.75	30%
11.58	20%
11.31	10%
10.5	0%

Εικόνα 22 Τάση λειτουργίας

Σύγκριση μεταξύ ανοικτού τύπου (flooded) και κλειστού τύπου (sealed):

- **Κατασκευή:** Οι κλειστού τύπου μπαταρίες έχουν σχεδιαστεί με κλειστό σύστημα που εμποδίζει τη διαρροή του ηλεκτρολύτη (μείγμα θειικού οξέος και νερού), ενώ οι πλημμυρισμένες μπαταρίες έχουν ανοιχτό σύστημα όπου ο ηλεκτρολύτης μπορεί να κινείται ελεύθερα.
- **Συντήρηση:** Οι κλειστού τύπου μπαταρίες απαιτούν τακτική συντήρηση, όπως η προσθήκη αποταγμένου νερού στον ηλεκτρολύτη. Οι πλημμυρισμένες μπαταρίες, από την άλλη πλευρά, απαιτούν περιοδική συντήρηση για να διασφαλιστεί ότι η στάθμη του ηλεκτρολύτη είναι επαρκής και ότι η μπαταρία αποδίδει βέλτιστα.
- **Ανθεκτικότητα:** Οι μπαταρίες κλειστού τύπου είναι συχνά πιο ανθεκτικές από τις πλημμυρισμένες, επειδή είναι λιγότερο ευαίσθητες σε βλάβες από κραδασμούς ή

κρούσεις. Οι πλημμυρισμένες μπαταρίες είναι πιο επιρρεπείς σε ζημιές λόγω του ανοικτού σχεδιασμού τους και του γεγονότος ότι ο ηλεκτρολύτης μπορεί να χυθεί έξω εάν η μπαταρία δεν αντιμετωπιστεί προσεκτικά.

- **Κόστος:** Οι μπαταρίες κλειστού τύπου είναι γενικά πιο ακριβές από τις πλημμυρισμένες επειδή είναι πιο πολύπλοκη η κατασκευή τους και απαιτούν πιο προηγμένη τεχνολογία.
- **Απόδοση:** Οι μπαταρίες κλειστού τύπου έχουν συνήθως μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και μπορούν να αποδώσουν καλύτερα σε ακραίες θερμοκρασίες από ό,τι οι πλημμυρισμένες μπαταρίες. Ωστόσο, οι πλημμυρισμένες είναι καταλληλότερες για εφαρμογές υψηλού ρεύματος και μπορούν να παρέχουν μεγαλύτερη ισχύ από τις σφραγισμένες μπαταρίες του ίδιου μεγέθους.

Γενικά οι κλειστού τύπου μπαταρίες είναι πιο αποτελεσματικές αλλά με μεγαλύτερο κόστος, οπότε η επιλογή γίνεται πάντα με γνώμονα τις ανάγκες που πρέπει να καλυφθούν στην εκάστοτε εγκατάσταση.

3.4 Απαραίτητες διατάξεις

Οι διατάξεις αυτές, στις οποίες αναφερόμαστε ως απαραίτητες, είναι διατάξεις όπου χωρίς αυτές, δεν θα μπορούσαμε να έχουμε τα φ/β και γενικώς όλα τα ΑΠΕ συστήματα όπως τα γνωρίζουμε σήμερα. Αυτά είναι οι αντιστροφείς, οι μετατροπείς και οι δίοδοι (παράκαμψης-φραγής)

3.4.1 Αντιστροφέας

Ο αντιστροφέας είναι ένα από τα πιο σημαντικά κομμάτια εξοπλισμού σε ένα σύστημα ηλιακής ενέργειας. Είναι μια συσκευή που μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια συνεχούς ρεύματος (DC), την οποία παράγει ένα φ/β πάνελ, σε ηλεκτρική ενέργεια εναλλασσόμενου ρεύματος (AC), την οποία χρησιμοποιεί το ηλεκτρικό δίκτυο. Στο συνεχές ρεύμα, η ηλεκτρική ενέργεια διατηρείται σε σταθερή τάση προς μία κατεύθυνση. Στο εναλλασσόμενο ρεύμα, η ηλεκτρική ενέργεια ρέει και προς τις δύο κατευθύνσεις στο κύκλωμα, καθώς η τάση αλλάζει από θετική σε αρνητική. Οι αντιστροφείς είναι ένα μόνο παράδειγμα μιας κατηγορίας συσκευών που ονομάζονται ηλεκτρονικά ισχύος και ρυθμίζουν τη ροή της ηλεκτρικής ενέργειας. Βασικά, ένας αντιστροφέας επιτυγχάνει τη μετατροπή συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο ρεύμα αλλάζοντας την κατεύθυνση μιας εισόδου συνεχούς ρεύματος μπρος και πίσω πολύ γρήγορα. Ως αποτέλεσμα, μια είσοδος συνεχούς ρεύματος μετατρέπεται σε έξοδο εναλλασσόμενου ρεύματος. Επιπλέον, μπορούν να χρησιμοποιηθούν φίλτρα και άλλα ηλεκτρονικά για την παραγωγή μιας τάσης που μεταβάλλεται ως καθαρό, επαναλαμβανόμενο ημιτονοειδές κύμα που μπορεί να εγχυθεί στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας.

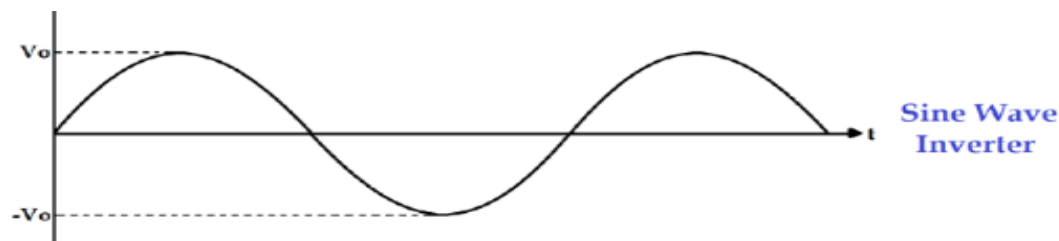


Εικόνα 23 Αντιστροφείς

Οι αντιστροφείς χωρίζονται σε κατηγορίες ανάλογα με την έξοδο τους (καθαρού ημιτόνου, τετραγωνικού παλμού, τροποποιημένου ημιτόνου).

- **Καθαρού ημιτόνου (Pure Sine Wave):**

Η έξοδος ενός μετατροπέα καθαρού ημιτονοειδούς κύματος είναι μια ομαλή, συνεχής κυματομορφή που μοιάζει με ένα τέλειο ημιτονοειδές κύμα. Ο όρος "καθαρό ημιτονοειδές κύμα" αναφέρεται στη μορφή της κυματομορφής εναλλασσόμενου ρεύματος που παράγεται από τον αντιστροφέα, η οποία είναι μια ομαλή καμπύλη που ταλαντώνεται μεταξύ θετικών και αρνητικών τάσεων με συνεπή και ακριβή τρόπο. Αυτός ο τύπος κυματομορφής θεωρείται η υψηλότερη ποιότητα εναλλασσόμενου ρεύματος και είναι ιδανικός για την τροφοδοσία

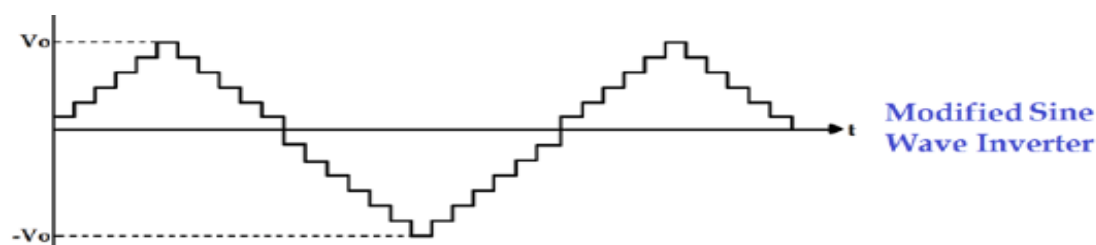


Εικόνα 24 Έξοδος μετατροπέα καθαρού ημιτονικού κύματος

ευαίσθητων ηλεκτρονικών συσκευών που απαιτούν σταθερή και καθαρή ισχύ. Σε σύγκριση με άλλους τύπους μετατροπέων, όπως οι μετατροπείς τροποποιημένου ημιτονοειδούς κύματος ή τετραγωνικού κύματος, οι μετατροπείς καθαρού ημιτονοειδούς κύματος παράγουν λιγότερο ηλεκτρικό θόρυβο και παρεμβολές, οι οποίες μπορούν να προκαλέσουν βλάβες σε ευαίσθητα ηλεκτρονικά συστήματα. Έχουν επίσης υψηλότερη απόδοση και μπορούν να παράγουν υψηλότερη ποιότητα εξόδου ισχύος, καθιστώντας τους την προτιμώμενη επιλογή για πολλές εφαρμογές.

- *Τροποποιημένου ημιτόνου (Modified Sine Wave):*

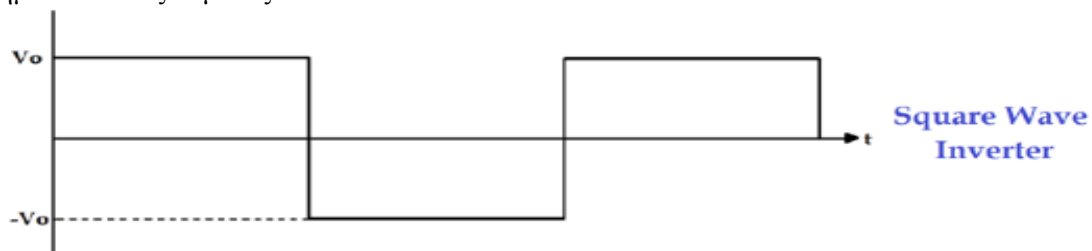
Με τον όρο "τροποποιημένο ημιτονοειδές κύμα" αναφέρεται στο γεγονός ότι η κυματομορφή εξόδου δεν είναι μια ομαλή και συνεχής καμπύλη όπως ένα καθαρό ημιτονοειδές κύμα, αλλά μάλλον μια σειρά από βήματα που αντιπροσωπεύουν τους θετικούς και αρνητικούς κύκλους της κυματομορφής εναλλασσόμενου ρεύματος. Τα βήματα δημιουργούνται συνήθως με την ενεργοποίηση και απενεργοποίηση της συνεχούς τάσης σε υψηλή συχνότητα και, στη συνέχεια, με το φιλτράρισμα και τη διαμόρφωση της κυματομορφής που προκύπτει έτσι ώστε να προσεγγίζει ένα ημιτονοειδές κύμα. Οι μετατροπείς τροποποιημένου ημιτονοειδούς κύματος είναι λιγότερο ακριβοί από τους μετατροπείς καθαρού ημιτονοειδούς κύματος και χρησιμοποιούνται συνήθως σε εφαρμογές όπου το κόστος αποτελεί σημαντικό παράγοντα.



Εικόνα 25 Έξοδος μετατροπέα τροποποιημένου ημιτονικού κύματος

- *Τετραγωνικού παλμού (Square Wave):*

Τέλος οι αντιστροφείς τετραγωνικού παλμού λέγονται έτσι διότι η κυματομορφή τους είναι μια σειρά παλμών υψηλής και χαμηλής τάσης που έχουν τετραγωνικό σχήμα. Η τάση εξόδου του αντιστροφέα αλλάζει απότομα από το ένα επίπεδο στο άλλο, με αποτέλεσμα να προκύπτει μια κυματομορφή που είναι λιγότερο ομαλή και λιγότερο συνεχής από ένα καθαρό ημιτονοειδές κύμα ή ένα τροποποιημένο ημιτονοειδές κύμα. Ένα από τα μειονεκτήματα των μετατροπέων τετραγωνικού κύματος είναι ότι παράγουν περισσότερο ηλεκτρικό θόρυβο και παρεμβολές από τους μετατροπείς καθαρού ημιτονοειδούς κύματος ή τροποποιημένου ημιτονοειδούς κύματος.

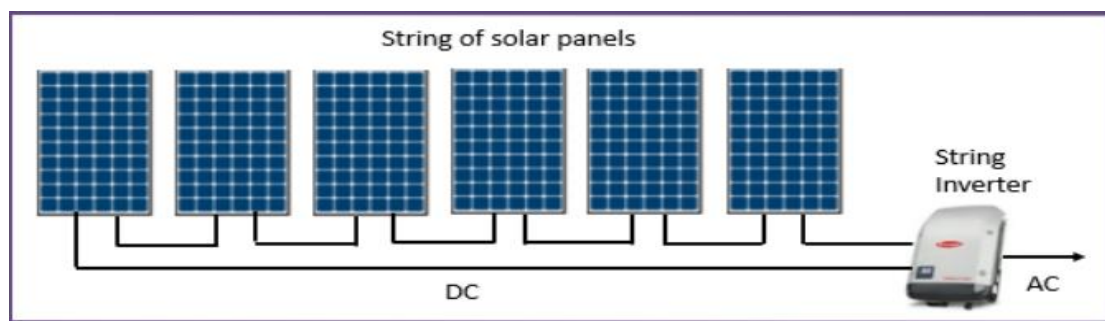


Εικόνα 26 Έξοδος αντιστροφέα τετραγωνικού παλμού

Σε φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις χρησιμοποιούνται κατά κόρων οι αντιστροφείς καθαρού ημιτόνου για το λόγο ότι έχουν την υψηλότερη ποιότητα κυματομορφής και θα πρέπει ακατάπαυστα να βρίσκονται στην ίδια φάση με το δίκτυο ηλεκτροδότησης. Επομένως σε συνδυασμό με κάποιες πιο προχωρημένες διατάξεις που θα δούμε παρακάτω καταφέρνουν να έχουν μια αρμονική σύνδεση μεταξύ αυτών και του δικτύου. Οι αντιστροφείς των φ/β συστημάτων χωρίζονται επίσης και αυτοί σε διάφορες κατηγορίες. Παρακάτω θα δούμε ποιες και τα βασικότερα χαρακτηριστικά τους:

- *String Inverters:*

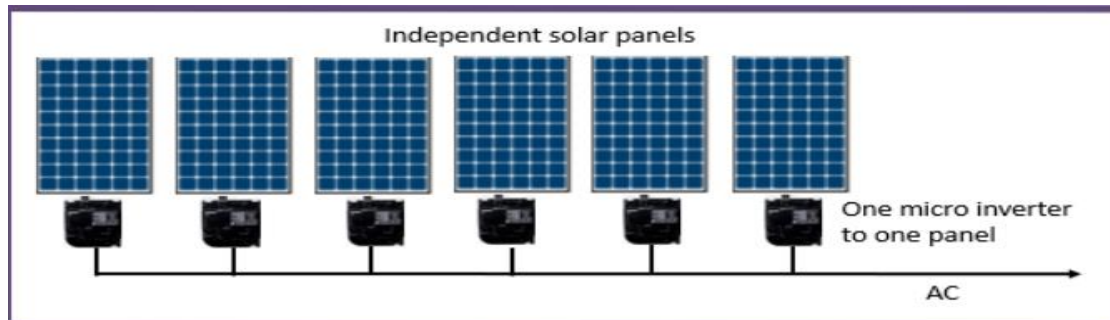
Οι πιο πολυχρησιμοποιημένοι αντιστροφείς. Ονομάζονται έτσι διότι σε κάθε DC είσοδό τους συνδέεται μια σειρά (string) από φ/β πάνελ συνδεδεμένα σε σειρά, με συνολική τάση που δε πρέπει να ξεπερνάει τη DC τάση λειτουργίας του. Έχουν σε γενικές γραμμές χαμηλό κόστος, αποδίδουν πολύ καλά όταν τα φ/β πάνελ έχουν την ίδια κλίση, με το μειονέκτημα ότι σε περίπτωση που κάποιο από τα φ/β πάνελ πάθει κάποια ζημιά ή σκιάζεται μέσα στη μέρα, πέφτει η απόδοση από όλη τη σειρά.



Εικόνα 27 Σύνδεση πάνελ (σε σειρά) με τον αντιστροφέα

- *Micro Inverters:*

Οι μικρό-αντιστροφείς είναι σχεδιασμένοι για να λειτουργούν με ένα φ/β πάνελ. Πράγμα που σημαίνει ότι το κάθε πάνελ είναι ανεξάρτητο από το διπλανό του και γενικά από όλο το υπόλοιπο σύστημα. Σε περίπτωση σφάλματος ή σκίασης ενός φ/β πάνελ βγαίνει εκτός μόνο αυτό και δεν επηρεάζει καθόλου τα υπόλοιπα. Το μόνο αρνητικό είναι το υψηλό κόστος αν σκεφτεί κανείς ότι θα πρέπει να υπάρχει ένας μικρομετατροπέας για κάθε φ/β πάνελ.



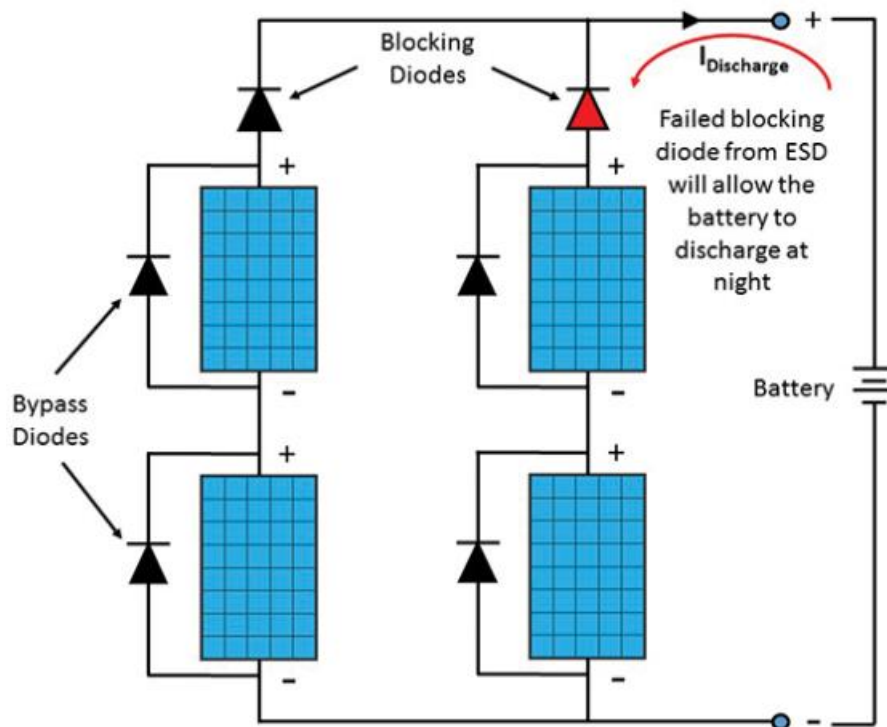
Εικόνα 28 Πάνελ συνδεδεμένα με μικρό-αντιστροφέα

3.4.2 Μετατροπέας

Το σημαντικότερο στις φ/β μονάδες, είναι ο κατάλληλος τρόπος φόρτισης και ελέγχου των συσσωρευτών, καθώς και η προστασία τους από το φαινόμενο της υπερφόρτισης και της βαθιάς εκφόρτισης. Πολλές φορές δεν είναι εύκολο να «ταιριάξουμε» την τάση των συσσωρευτών με αυτή της φ/β γεννήτριας. Μέσω όμως, ενός μετατροπέα dc/dc η τάση φόρτισης των συσσωρευτών ανεξαρτητοποιείται εντελώς από την τάση εξόδου της Φ/Β Γεννήτριας. Ο μετατροπέας αυτός παραλαμβάνει την τάση της, η οποία αναγκαστικά είναι ασταθής λόγω μεταβλητότητας των καιρικών συνθηκών, και την μετατρέπει στην κατάλληλη τάση για τη φόρτιση των συσσωρευτών. Παράλληλα την σταθεροποιεί, ώστε να εξασφαλίζονται οι βέλτιστες συνθήκες φόρτισης. Μία δεύτερη περίπτωση στην οποία οι ρυθμιστές τάσης δίνουν τη λύση είναι όταν οι συσσωρευτές πρέπει να φορτιστούν. Τότε ο ρυθμιστής αναλαμβάνει και διοχετεύει την περίσσεια ενέργειας προς φορτία απόρριψης (dump loads), ή προς άλλες χρήσεις όπως άντληση νερού. Έτσι προστατεύονται οι συσσωρευτές από τον κίνδυνο υπερφόρτισης. Τέλος, αξίζει να αναφερθεί πως οι μετατροπείς DC-DC είναι κυκλώματα μετατροπής ισχύος υψηλής συχνότητας, που χρησιμοποιούν διακόπτες υψηλής συχνότητας και επαγωγείς, μετασχηματιστές και πυκνωτές για εξομάλυνση του θορύβου μεταγωγής σε ρυθμιζόμενες τάσεις DC. Οι κλειστοί βρόχοι ανατροφοδότησης διατηρούν σταθερή την έξοδο τάσης ακόμη και όταν αλλάζουν τάσεις εισόδου και ρεύματα εξόδου.

3.4.3 Δίοδοι

Μια διάταξη εξίσου σημαντική η οποία συνήθως δεν αναφέρεται και γενικότερα δεν είναι γνωστή είναι οι δίοδοι παράκαμψης (bypass) και φραγής (blocking).



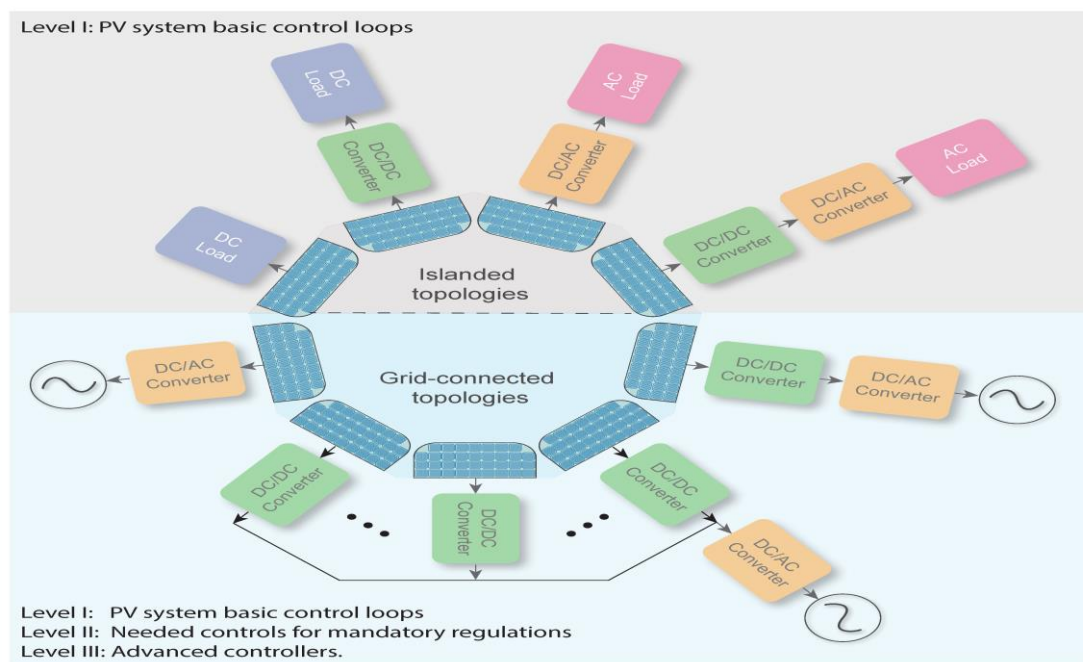
Εικόνα 29 Απεικόνιση διάταξης bypass και blocking

Η διάσυνδεση PN λειτουργεί σαν στερεάς κατάστασης ηλεκτρική βαλβίδα μονόδρομου που επιτρέπει τη ροή ηλεκτρικού ρεύματος μόνο προς μία κατεύθυνση. Το πλεονέκτημα αυτού είναι ότι οι διάοδοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να εμποδίσουν τη ροή ηλεκτρικού ρεύματος από άλλα μέρη ενός ηλεκτρικού ηλιακού κυκλώματος. Όταν χρησιμοποιούνται με ένα φωτοβολταϊκό ηλιακό πάνελ, αυτοί οι τύποι διόδων πυριτίου αναφέρονται γενικά ως διάοδοι αποκλεισμού. Για παράδειγμα τις νυχτερινές ώρες όταν τα φ/β πάνελ δεν διεγείρονται από την ηλιακή ακτινοβολία, η τάση στα άκρα τους θα βρίσκεται σε χαμηλότερο δυναμικό απ' ότι η τάση στους συσσωρευτές του συστήματος. Αυτό θα είχε σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία ανάστροφου ρεύματος από τους συσσωρευτές προς τα πάνελ, με αποτέλεσμα να αποφορτίζεται η μπαταρία κάθε βράδυ. Αυτό το πρόβλημα αντιμετωπίζεται με τις διάόδους φραγής.

Οι διάοδοι παράκαμψης χρησιμοποιούνται παράλληλα με μια ή περισσότερες κυψέλες για να αποτρέψουν την υπερθέρμανση του ρεύματος (ή των ρευμάτων) που ρέει από τα καλά εκτεθειμένα στο ηλιακό φως ηλιακά κελιά και την καύση των ασθενέστερων ή μερικώς σκιασμένων ηλιακών κελιών, παρέχοντας μια διαδρομή ρεύματος γύρω από το κακό κύτταρο. Οι διάοδοι φραγής χρησιμοποιούνται διαφορετικά από τις διάόδους παράκαμψης. Οι διάοδοι παράκαμψης στα φ/β πάνελ συνδέονται "παράλληλα" με μια φωτοβολταϊκή κυψέλη ή πάνελ για να παρακάμπτουν το ρεύμα γύρω από αυτό, ενώ οι διάοδοι φραγής συνδέονται σε "σειρά" με τα φωτοβολταϊκά πάνελ για να εμποδίζουν τη ροή ρεύματος πίσω σε αυτά. Οι διάοδοι φραγής είναι επομένως διαφορετικές από τις διάόδους παράκαμψης, αν και στις περισσότερες περιπτώσεις η διάοδος είναι φυσικά η ίδια, αλλά εγκαθίστανται διαφορετικά και εξυπηρετούν διαφορετικό σκοπό.

3.5 Βασικές τεχνικές λειτουργίας και ελέγχου

Για τη σωστή και ασφαλή λειτουργία ενός φ/β συστήματος είτε είναι οικιακό είτε κάποια μεγάλη μονάδα παραγωγής χρησιμοποιούνται συγκεκριμένες τεχνικές και διατάξεις. Χωρίζονται σε τρία επίπεδα ανάλογα με το πότε αρχίζουν να ισχύουν. Αυτές οι τεχνικές συνεισφέρουν με διάφορους τρόπους όπως ο απομακρυσμένος έλεγχος του συστήματος, η μεγιστοποίηση της ισχύος παραγωγής και άλλα τα οποία θα αναλύσουμε στη συνέχεια.



Εικόνα 30 Βασικές τεχνικές λειτουργίας και ελέγχου

3.5.1 Ελεγκτές πρώτου επιπέδου

- Έλεγχος ρεύματος και τάσης:

Για τον έλεγχο ρεύματος και τάσης χρησιμοποιείται συνήθως μια στρατηγική έλεγχου δύο βρόγχων. Προϋπόθεση αυτής της δομής είναι η αποσύνδεση της δυναμικής απόκρισης μεταξύ των δύο βρόγχων. Ο εσωτερικός βρόγχος πρέπει να είναι ταχύτερος από τον εξωτερικό. Η συνήθης δομή είναι να υπάρχει ένας εσωτερικός και ένας εξωτερικός βρόγχος τάσης. Οι ελεγκτές PI χρησιμοποιούνται συνήθως και στους δύο βρόχους έλεγχου, αλλά έχουν μειονεκτήματα όπως περιορισμούς στη ρύθμιση της τάσης, συγκρούσεις μεταξύ των βρόγχων έλεγχου και μικρές περιοχές ευστάθειας. Για να βελτιωθεί η απόδοση της στρατηγικής αυτής, έχουν προταθεί ισχυροί μη γραμμικοί ελεγκτές. Πρόσφατες εργασίες έχουν ασχοληθεί με διάφορες τεχνικές έλεγχου σε ελεγκτές δύο βρόγχων, όπως: ενεργός απόρριψη διαταραχών και ελεγκτές PI, έλεγχος βασισμένος στην παθητικότητα, προβλεπτικός έλεγχος, έλεγχος πτώσης και προσαρμοστικοί ελεγκτές.

- Μέθοδοι εύρεσης Maximum Power Point (MPPT):

Προκειμένου να επιτευχθεί η μέγιστη διαθέσιμη ισχύς από ένα φωτοβολταϊκό σύστημα και να ενισχυθεί η αποδοτικότητα της εγκατάστασης, χρησιμοποιούνται μέθοδοι MPPT όπως αναφερθήκαμε παραπάνω. Οι πιο δημοφιλείς συμβατικές μέθοδοι MPPT σε πλήρεις μεθόδους είναι η διαταραχή και παρατήρηση (P&O), η αυξητική αγωγιμότητα, η κλασματική τάση

ανοικτού κυκλώματος και το κλασματικό ρεύμα βραχυκύκλωσης. Αυτοί οι αλγόριθμοι είναι πολύ δημοφιλείς λόγω της απλότητας και της γρήγορης σύγκλισης. Τα τελευταία χρόνια έχουν αναφερθεί μέθοδοι MPPT που βασίζονται σε ευφυείς τεχνικές όπως η βελτιστοποίηση σμήνους σωματιδίων (PSO), οι γενετικοί αλγόριθμοι (GA), ο ασαφής έλεγχος, ο αλγόριθμος προσομοιωμένης αν όπτησης, τα νευρωνικά δίκτυα και ο αλγόριθμος firefly [20]. Οι ευφυείς αλγόριθμοι έχουν μειονεκτήματα όπως η πολύπλοκη υλοποίηση και η δυσκολία στην επιλογή αρχικού σημείου [21]. Η τρέχουσα πρόκληση είναι η εισαγωγή στιβαρών και αξιόπιστων μεθόδων MPPT. Οι ερευνητικοί άξονες που εξετάζονται σε πρόσφατες δημοσιεύσεις εστιάζουν στις συνθήκες μερικής σκίασης και στις βελτιωμένες κλασικές τεχνικές [22].

- *Συγχρονισμός:*

Ο συγχρονισμός είναι θεμελιώδους σημασίας για τον έλεγχο των μετατροπέων που είναι συνδεδεμένοι στο δίκτυο. Συνίσταται στη σύνδεση των παραγόμενων σημάτων με τις ίδιες παραμέτρους πλάτους, φάσης και συχνότητας του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας. Στη διαδικασία αυτή χρησιμοποιούνται γενικά τεχνικές PLL (**Permutation of the Last Layer**) για την εκτέλεση του συγχρονισμού. Η αρχή λειτουργίας του PLL είναι ο συντονισμός της τάσης του αντιστροφέα με μια τάση αναφοράς που μετράται στο PCC (**Point of common coupling**). Ανάλογα με την τεχνική που χρησιμοποιείται, οι αλγόριθμοι PLL μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής: σύγχρονο πλαίσιο αναφοράς, γενικευμένος ολοκλήρωσης δεύτερης τάξης, τετραγωνικός PLL και ενισχυμένος PLL. Μια άλλη εναλλακτική λύση είναι οι αλγόριθμοι συγχρονισμού που δεν μετρούν την τάση του δικτύου. Αυτοί βασίζονται σε σχήματα εικονικής ροής, στιγμιαίας ισχύος και παρατηρητή. Γενικά, οι κλασικές τεχνικές PLL δεν επιτυγχάνουν καλή ανίχνευση της γωνίας φάσης όταν τα δίκτυα τάσης έχουν μεγάλες διακυμάνσεις πλάτους και φάσης. Απαιτούνται ανθεκτικές τεχνικές PLL για συνθήκες ασθενών δικτύων. Όταν δεν υπάρχουν ιδανικές συνθήκες στο PCC οι τεχνικές χωρίς αισθητήρες είναι κατάλληλες, αν και οι υβριδικοί αλγόριθμοι PLL μπορεί να οδηγήσουν σε καλή απόδοση. Το ασθενές πλέγμα είναι μια πρόκληση που προσεγγίζεται ευρέως. Επιπλέον, σε πρόσφατες εργασίες μελετώνται καταστάσεις όπως οι ανισοροπίες και τα σφάλματα δικτύου.

3.5.2 Ελεγκτές δεύτερου επιπέδου

- *Ποιότητα ισχύος:*

Για να επιτευχθεί ποιότητα ισχύος σύμφωνα με τις προδιαγραφές, οι δομές ελέγχου για τους μετατροπείς στα φωτοβολταϊκά συστήματα πρέπει να υιοθετούν αλγόριθμους αντιστάθμισης αρμονικών. Το πρότυπο IEEE Std 519 συνιστά αρμονική παραμόρφωση μικρότερη από 5%. Οι αρμονικές οφείλονται στη μη γραμμική συμπεριφορά των στοιχείων που συνδέονται στο δίκτυο ισχύος και παράγουν ανεπιθύμητα φαινόμενα τόσο στο δίκτυο όσο και στα συνδεδεμένα φορτία. Για την άμβλυνση αυτών των φαινομένων εφαρμόζονται ενέργειες ελέγχου που μειώνουν τις αρμονικές ρεύματα που εγγέονται στο δίκτυο. Η απλούστερη στρατηγική είναι η χρήση παθητικών φίλτρων σχεδιασμένων για τις συχνότητες που πρέπει να εξαλειφθούν. Μια καταλληλότερη στρατηγική είναι η χρήση ενεργών φίλτρων που εγγέουν ρεύματα αντιστάθμισης για να ακυρώσουν την επίδραση των αρμονικών. Υπάρχουν επίσης φίλτρα που συνδυάζουν ενεργές και παθητικές τεχνολογίες, γνωστά ως υβριδικά φίλτρα. Υπάρχουν δύο στρατηγικές για την ενεργό αντιστάθμιση: μέθοδοι που βασίζονται στην ανίχνευση αρμονικών στο φορτίο και η επιλεκτική αντιστάθμιση αρμονικών. Για την ανίχνευση του αρμονικού περιεχομένου στο PCC χρησιμοποιούνται στρατηγικές αντιστάθμισης αρμονικών όπως η στιγμιαία ισχύς, η συντηρητική θεωρία ισχύος και η SOGI. Η δεύτερη στρατηγική είναι η επιλεκτική αντιστάθμιση αρμονικών, κατά την οποία οι ελεγκτές συντονίζονται στην αρμονική που πρέπει να εξαλειφθεί. Η μέθοδος του διακριτού

μετασχηματισμού Fourier (DFT) εφαρμόζεται συνήθως για την ανίχνευση του αρμονικού περιεχομένου προς αντιστάθμιση. Επιπλέον, οι πρώτες αρμονικές μπορούν να ανιχνευθούν λαμβάνοντας υπόψη μια στρατηγική αντιστάθμισης και ένα χαμηλοπερατό φίλτρο (LPF)

- *Νησιδοποίηση:*

Η νησιδοποίηση είναι μια απαιτούμενη λειτουργία των συστημάτων που συνδέονται με το δίκτυο. Στόχος είναι η αποσύνδεση των ηλιακών μονάδων κατά τη διάρκεια διακοπών ρεύματος του δικτύου. Η αποσύνδεση απομονώνει πιθανά προβλήματα για την αποφυγή ζημιών στα φωτοβολταϊκά στοιχεία και προάγει ασφαλείς συνθήκες για την εκτέλεση συντήρησης. Οι προτεινόμενες τεχνικές ταξινομούνται ως ενεργητικές ή παθητικές. Στις ενεργητικές, εφαρμόζεται μια διαταραχή στο δίκτυο, ενώ στις παθητικές, οι ηλεκτρικές μεταβλητές αναλύονται στο PCC

- *Υποστήριξη δικτύου:*

Η πρακτική εμπειρία δείχνει ότι με τη μεγάλη διοχέτευση της φωτοβολταϊκής παραγωγής σε ένα δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας εμφανίζονται περισσότερες προκλήσεις και προβλήματα. Ως εκ τούτου, είναι απαραίτητο να εφαρμοστούν λειτουργίες υποστήριξης του δικτύου στους βρόγχους ελέγχου. Τα συνδεδεμένα στο δίκτυο φωτοβολταϊκά συστήματα πρέπει να ικανοποιούν διάφορες απαιτήσεις για να συμβάλλουν στην ομαλοποίηση της λειτουργίας του δικτύου υπό διαταραχές. Οι ελάχιστες απαιτήσεις είναι οι συνθήκες τάσης, συχνότητας και άεργου ισχύος. Οι κανονισμοί αυτοί επιβάλλονται από τους κώδικες δικτύου για τη διατήρηση της σταθερότητας και της αξιοπιστίας του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας. Σύμφωνα με τους κώδικες δικτύου, τα φωτοβολταϊκά συστήματα πρέπει να είναι σε θέση να παραμένουν συνδεδεμένα και να έχουν δυνατότητες αντιμετώπισης σφαλμάτων. Έχουν προταθεί διάφορα ισχυρά σχήματα ελέγχου για τη συχνότητα και την τάση για την αντιμετώπιση των ζητημάτων δυναμικής του δικτύου. Το αποτέλεσμα στο δίκτυο είναι η ευέλικτη έγχυση ενεργού και άεργου ισχύος ανάλογα με τις συνθήκες του δικτύου.

3.5.3 Ελεγκτές τρίτου επιπέδου

- *Ενεργός περιορισμός ισχύος:*

Ο περιορισμός της ενεργού ισχύος συμβάλλει στην αντιμετώπιση των διακυμάνσεων της συχνότητας και της τάσης ως αποτέλεσμα της μεγάλης διείσδυσης των φωτοβολταϊκών. Σύμφωνα με το σημείο λειτουργίας, οι αλγόριθμοι ελέγχου περιορίζουν τη μέγιστη ισχύ που μπορεί να εγγεί το φ/β σύστημα στο δίκτυο. Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται είναι ο άμεσος έλεγχος ισχύος, ο περιορισμός ρεύματος και οι τροποποιημένες μέθοδοι MPPT. Στις μεθόδους άμεσου ελέγχου ισχύος και περιορισμού ρεύματος, τα ΦΒ συστήματα πρέπει να διαθέτουν εφεδρική ικανότητα. Τα ESS (**Energy Storage System**) συμβάλλουν στην ευέλικτη λειτουργία για την αποθήκευση ή την απελευθέρωση ενέργειας ισχύος. Η μέθοδος άμεσου ελέγχου ισχύος βασίζεται σε ρυθμίσεις, στις οποίες η οριακή ισχύς παρακολουθείται από ελεγκτές ισχύος. Ομοίως, μια ρύθμιση της παραγωγής φ/β μπορεί να υλοποιηθεί μέσω ενός βρόγχου ελέγχου ρεύματος με αναφορά ρεύματος ανάλογη της οριακής ισχύος. Αυτή η μέθοδος είναι γνωστή ως περιορισμός ρεύματος. Οι μέθοδοι άμεσου ελέγχου ισχύος και περιορισμού ρεύματος λειτουργούν ανεξάρτητα από τις μεθόδους MPPT. Όμως, οι τροποποιημένες μέθοδοι MPPT μπορούν επίσης να περιορίσουν την ενεργό ισχύ. Στις μέρες μας, αυτή η εναλλακτική λύση αποτελεί σημαντικό επίκεντρο της προσοχής. Αυτά τα συστήματα ελέγχου μπορούν να λειτουργούν σε λειτουργία MPPT ή σε λειτουργία παραγωγής σταθερής ισχύος.

- *Συστήματα αποθήκευσης ενέργειας:*

Η πρόσθετη ενέργεια μπορεί να αποθηκευτεί κατά τη διάρκεια της ημέρας και να χρησιμοποιηθεί τη νύχτα για την τροφοδοσία κρίσιμων φορτίων ή για την υποστήριξη του δικτύου. Η αποθηκευμένη ενέργεια είναι σημαντική για τον εύλεκτο έλεγχο της ροής ισχύος, διότι με την κατάλληλη χρήση μειώνει τις απώλειες, την ισχύ στις γραμμές διανομής, την αντίστροφη ροή ενέργειας και υποστηρίζει την τάση και την άεργο ισχύ. Σε πρόσφατες δημοσιεύσεις μπορούν να εντοπιστούν δύο κύριοι στόχοι σχετικά με τα ESS. Ο πρώτος συνίσταται στη βέλτιστη διαστασιολόγηση. Επιπλέον, ελαχιστοποιείται ο προγραμματισμός της φόρτισης/εκφόρτισης. Ο βέλτιστος έλεγχος της φόρτισης/εκφόρτισης των ESS είναι ο δεύτερος στόχος. Γενικά, πρέπει να εφαρμόζονται περιορισμοί στους νόμους ελέγχου για τον περιορισμό της φόρτισης/εκφόρτισης του ESS και την αύξηση της διάρκειας ζωής του. Θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι το κόστος επένδυσης του ESS είναι υψηλό και αποτελεί προτεραιότητα η επιμήκυνση του χρόνου λειτουργίας. Συνήθως, έχουν χρησιμοποιηθεί ελεγκτές PI για τον έλεγχο φόρτισης/εκφόρτισης των ESS. Αλλά λόγω των μειονεκτημάτων τους, έχουν προταθεί μη γραμμικοί ελεγκτές.

- *Απομακρυσμένη παρακολούθηση (Monitoring):*

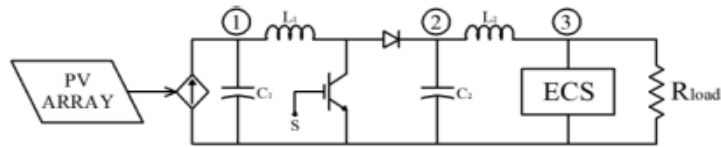
Για την επίτευξη καλύτερης απόδοσης από τα φωτοβολταϊκά συστήματα και την αύξηση του χρόνου ζωής του εξοπλισμού, η χρήση λογισμικού παρακολούθησης και ελέγχου έχει γίνει δημοφιλής. Τα εργαλεία λογισμικού είναι υπεύθυνα για την απόκτηση, την οπτικοποίηση και την αποθήκευση δεδομένων. Αυτό το λογισμικό μπορεί να περιλαμβάνει έξυπνες λειτουργίες για τη διάγνωση και την εκτίμηση της υποβάθμισης των ηλιακών συλλεκτών. Στη διαδικασία διάγνωσης χρησιμοποιούνται τεχνικές επεξεργασίας δεδομένων και έξυπνοι αλγόριθμοι. Οι τεχνικές επεξεργασίας δεδομένων που χρησιμοποιούνται συνήθως στην παρακολούθηση φωτοβολταϊκών συστημάτων περιλαμβάνουν νευρωνικά δίκτυα και μηχανική μάθηση.

- *Πρόβλεψη ισχύος:*

Η παραγωγή ενέργειας από φωτοβολταϊκά εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις καιρικές συνθήκες. Συνεπώς, οι τεχνικές πρόβλεψης είναι απαραίτητες για τη μείωση της ανισορροπίας μεταξύ της αναμενόμενης ισχύος και της πραγματικής παραγωγής ισχύος και την υποστήριξη της λειτουργίας του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Τα μοντέλα πρόβλεψης μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κατηγορίες: έμμεσα και άμεσα μοντέλα. Στα έμμεσα μοντέλα πρόβλεψης, μια πρόβλεψη καιρού αποτελεί την είσοδο των λογισμικών προσομοίωσης φωτοβολταϊκών συστημάτων, τα οποία παρέχουν την πρόβλεψη ισχύος. Εν τω μεταξύ, τα άμεσα μοντέλα χρησιμοποιούν άμεσα ιστορικά δεδομένα του καιρού και της παραγωγής ενέργειας από φωτοβολταϊκά για να πάρουν την πρόβλεψη. Οι πιο συνηθισμένες μέθοδοι πρόβλεψης για την παραγωγή φωτοβολταϊκών είναι τα μοντέλα που βασίζονται στην τεχνητή νοημοσύνη [79][80]. Διάφορες τεχνικές τεχνητής νοημοσύνης είναι το τεχνητό νευρωνικό δίκτυο (ANN), η μηχανή διανυσμάτων υποστήριξης (SVM), η μηχανική μάθηση (ML) και οι παλινδρομικές μέθοδοι. Πρόσθετες κατηγορίες είναι τα στατιστικά, τα φυσικά μοντέλα και τα υβριδικά μοντέλα.

3.6 Πυκνωτής στην έξοδο του φ/β συστήματος

Το ρεύμα εξόδου των φ/β στοιχείων εξαρτάται από την ηλιακή ακτινοβολία και την θερμότητα όπως είδαμε παραπάνω. Έτσι, κατά τη διάρκεια της ημέρας η ισχύς εξόδου θα έχει κάποιες διακυμάνσεις με το μέγεθος αυτών των διακυμάνσεων να εξαρτάται από το πόσο μεγάλη είναι αυτή η μεταβολή, κυρίως της ηλιακής ακτινοβολίας, αλλά και της θερμότητας μέσα στη μέρα. Αυτή η κατάσταση δεν πρέπει να υφίσταται, ιδίως όταν μιλάμε για διασυνδεδεμένο φ/β με το δίκτυο. Για την αντιμετώπιση αυτού το προβλήματος τοποθετείται παράλληλα με τα φ/β στοιχεία μια διάταξη πυκνωτών για την εξομάλυνση της εξόδου.



Εικόνα 31 Η έξοδος τους φωτοβολταϊκού συστήματος με πυκνωτή στην έξοδο

3.7 Σύστημα προστασίας ανθρώπων και εγκαταστάσεων

Στα φ/β συστήματα δεν θα μπορούσαν να λείπουν διατάξεις ασφαλής λειτουργίας για τους ανθρώπους και για τις ίδιες τις εγκαταστάσεις. Τα συστήματα προστασίας στα φ/β συστήματα έχουν σχεδιαστεί για να προστατεύουν το σύστημα από πιθανούς κινδύνους και βλάβες που θα μπορούσαν να προκαλέσουν ζημιά στον εξοπλισμό ή να θέσουν σε κίνδυνο ανθρώπους και περιουσίες. Ορισμένα από τα συστήματα προστασίας που συναντώνται συνήθως σε φωτοβολταϊκά συστήματα περιλαμβάνουν:

- *Προστασία από υπερένταση:* Οι συσκευές προστασίας από υπερένταση, όπως οι ασφάλειες ή οι διακόπτες κυκλώματος, χρησιμοποιούνται για να αποτρέψουν τη ροή υπερβολικού ρεύματος μέσω του φ/β συστήματος, η οποία θα μπορούσε να οδηγήσει σε υπερθέρμανση και βλάβη.
- *Προστασία από σφάλματα γείωσης:* Οι συσκευές προστασίας από σφάλματα γείωσης χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση και τη διακοπή των σφαλμάτων γείωσης, τα οποία συμβαίνουν όταν ένας αγωγός που φέρει ρεύμα έρχεται σε επαφή με μια γειωμένη επιφάνεια ή αγωγό. Τα σφάλματα γείωσης μπορεί να προκαλέσουν κινδύνους ηλεκτροπληξίας και ζημιές στο φ/β σύστημα.
- *Προστασία από υπερτάσεις:* Οι συσκευές προστασίας από υπερτάσεις χρησιμοποιούνται για την προστασία του φωτοβολταϊκού συστήματος από υπερτάσεις τάσης που προκαλούνται από κεραυνούς, διαταραχές του δικτύου κοινής ωφέλειας ή άλλες πηγές ηλεκτρικών παρεμβολών.
- *Διακόπτες αποσύνδεσης:* Οι διακόπτες αποσύνδεσης χρησιμοποιούνται για την απομόνωση του φωτοβολταϊκού συστήματος από το ηλεκτρικό δίκτυο ή άλλες πηγές ηλεκτρικής ενέργειας για λόγους συντήρησης ή ασφάλειας.
- *Συστήματα παρακολούθησης και ελέγχου:* Τα συστήματα παρακολούθησης και ελέγχου χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση της απόδοσης του φωτοβολταϊκού συστήματος, την ανίχνευση σφαλμάτων ή βλαβών και τον έλεγχο της λειτουργίας του συστήματος για τη βελτιστοποίηση της απόδοσης και της ασφάλειας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΕΡΕΥΝΑ ΥΛΙΚΩΝ

Σε αυτό το κεφάλαιο θα δούμε αναλυτικά τα υλικά που θα χρησιμοποιήσουμε για το σύστημά μας. Θα συγκρίνουμε διάφορα υλικά της αγοράς μεταξύ τους και θα καταλήξουμε σε αυτά τα οποία ταιριάζουν στις δικές μας ανάγκες. Τα υλικά αυτά είναι τα φ/β πάνελ, ο έξυπνος inverter, οι συστοιχία μπαταριών και τα καλώδια που θα χρησιμοποιήσουμε.

4.1 Φωτοβολταϊκά πλαίσια

Ξεκινώντας με τα φ/β πάνελ, τα οποία είναι το θεμέλιο υλικό του συστήματος καθώς συλλέγουν την ηλιακή ακτινοβολία και καθιστούν όλο το σύστημα εφικτό, θα δούμε μερικά μοντέλα από τέσσερις από τις πιο διαδεδομένες εταιρίες: Sunpower, Trina Solar, Qcells και REC solar.

Τα φ/β πάνελ της Sunpower είναι ποιοτικά, μονοκρυσταλλικά με χαμηλό ρεύμα λειτουργίας. Συνεπώς για να παράγει σύμφωνα με την ονομαστική ισχύ το πάνελ λειτουργεί με υψηλότερη τάση, εξισορροπώντας έτσι τη διαφορά με το ρεύμα. Αυτή η συνθήκη λειτουργίας μας συμφέρει για το λόγο ότι θα χρειαστούμε καλώδια μικρότερης διατομής, οπότε πιο οικονομικά.

Sunpower				
Μοντέλο	SPR-MAX3-375	SPR-MAX3-390	SPR-MAX3-400	SPR-MAX3-420
Όνομ. ισχύ (P _{nom})	375 W	390 W	400 W	420 W
Ανοχή ισχύος	+5/%	+5/%	+5/%	+5/%
Απόδοση πάνελ	21.2 %	22.1 %	22.6 %	22.2 %
Όνομ. τάση (V _{mpp})	64.0 V	65 V	65.8 V	67.7 V
Όνομ. ρεύμα (I _{mpp})	5.86 A	6.00 A	6.08 A	6.20 A
Τάση ανοιχτού κυκλ. (V _{oc})	75.5 V	75.5 V	75.6 V	80.5 V
Ρεύμα βραχυκύκλωσης (I _{sc})	6.30 A	6.56 A	6.58 A	6.32 A
Μέγιστη τάση συστήματος (V)	1000 V IEC	1000 V IEC	1000 V IEC	1000 V IEC
Θερμ. λειτουργίας	-40°C to +85°C	-40°C to +85°C	-40°C to +85°C	-40°C to +85°C
Είδος κυψελών	104 Mono	104 Mono	104 Mono	112 Mono
Διαστάσεις (mm)	1690x1046x40	1690x1046x40	1690x1046x40	1812x1046x40
Βάρος (kg)	19 kg	19 kg	19 kg	21.2 kg
Εγγύηση	25 χρόνια	25 χρόνια	25 χρόνια	25 χρόνια

Πίνακας 1 Χαρακτηριστικά πάνελ της εταιρίας Sunpower

Μία ακόμα ποιοτική λύση είναι και η Trina Solar, η οποία έχει αρχή λειτουργίας διαφορετική από τη προηγούμενη, καθώς το ρεύμα λειτουργίας είναι μεγαλύτερο και η τάση σε χαμηλότερο επίπεδο. Με την επιλογή αυτών των φ/β πάνελ, μπορούμε να αυξήσουμε σε ποσότητα τις εισόδους των αντιστροφέων, λόγω της χαμηλότερης τάσης λειτουργίας των πάνελ και σε συνδυασμό με την μέγιστη τάση συστήματος, η οποία φτάνει τα 1500 V να δημιουργήσουμε μεγάλα συστήματα.

Trina Solar				
Μοντέλο	TSM-DD06M.05	TSM-DE06X.05	DE09C.07	DE09.05
Ονομ. ισχύ (P_{nom})	320 W	375 W	390 W	400 W
Ανοχή ισχύος	+5/%	+5/%	+5/%	+5/%
Απόδοση πάνελ	19%	20.3 %	20.3 %	20.8 %
Ονομ. τάση (V_{mpp})	33.4 V	37.6 V	33.8 V	34.2 V
Ονομ. ρεύμα (I_{mpp})	9.58 A	9.98 A	11.54 A	11.7 A
Τάση ανοιχτού κυκλ. (V_{oc})	40.3 V	45.3 V	40.8 V	41.2 V
Ρεύμα βραχυκύκλωσης (I_{sc})	10.20 A	10.45 A	12.14 A	12.28 A
Μέγιστη τάση συστήματος (V)	1000 V IEC	1500 V IEC	1500 V IEC	1500 V IEC
Θερμ. λειτουργίας	-40°C to +85°C	-40°C to +85°C	-40°C to +85°C	-40°C to +85°C
Είδος κυψελών	120 Mono	132 Mono	120 Mono	120 Mono
Διαστάσεις (mm)	1690x996x35	1852x996x35	1754x1096x30	1754x1096x30
Βάρος (kg)	18 kg	19.7 kg	21 kg	21 kg
Εγγύηση	25 χρόνια	25 χρόνια	25 χρόνια	25 χρόνια

Πίνακας 2 Χαρακτηριστικά πάνελ της εταιρίας Trina Solar

Η Qcells είναι μια εξίσου πολύ καλή επιλογή λόγω της ποιότητας και της υποστήριξης που παρέχει. Έχει πολύ καλές αποδόσεις στα πάνελ της και η λειτουργία της βασίζεται και εδώ στο υψηλό ρεύμα με χαμηλή τάση.

Qcells					
Μοντέλο	Q.TRON G1+	BLK-	Q.TRON -G1+	M-G11S+	ML-G11S
Ονομ. ισχύ (P_{nom})	370 W		380 W	400 W	490 W
Ανοχή ισχύος	+5/%		+5/%	+5/%	+5/%
Απόδοση πάνελ	20.6 %		21.2 %	20.5 %	20.7 %
Ονομ. τάση (V_{mpp})	35.39 V		35.93 V	30.4 V	37.23 V
Ονομ. ρεύμα (I_{mpp})	10.45 A		10.58 A	13.16 A	13.16 A
Τάση ανοιχτού κυκλ. (V_{oc})	42.52 V		42.59 V	37.06 V	45.3 V
Ρεύμα βραχυκύκλωσης (I_{sc})	11.05 A		11.12 A	13.88 A	13.88 A
Μέγιστη τάση συστήματος (V)	1000 V IEC		1500 V IEC	1500 V IEC	1500 V IEC
Θερμ. λειτουργίας	-40°C to +85°C		-40°C to +85°C	-40°C to +85°C	-40°C to +85°C
Είδος κυψελών	120 Mono		120 Mono	108 Mono	132 Mono
Διαστάσεις (mm)	1717x1045x32		1717x1045x32	1722x1134x30	2092x1134x30
Βάρος (kg)	19.9 kg		19.7 kg	21.1 kg	25.7 kg
Εγγύηση	25 χρόνια		25 χρόνια	25 χρόνια	25 χρόνια

Πίνακας 3 Χαρακτηριστικά πάνελ της εταιρίας Qcells

Τέλος η REC Solar είναι από τις λίγες εταιρίες που έχουν κυψέλες ετεροεπαφής συγκρίσιμες με τις μονοκρυσταλλικές. Γενικά βλέπουμε ότι δεν υπάρχουν πολύ μεγάλες διαφορές στα πάνελ, συνεπώς η επιλογή γίνεται πάντα ανάλογα με τις ανάγκες. Στη δική μας τη μελέτη καταλήξαμε στην εταιρία Trina Solar και συγκεκριμένα στο DE09.05. Αυτό γιατί παρόλο που έχουμε περιορισμένο χώρο και θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε τα φ/β πάνελ που λειτουργούν με χαμηλότερο ρεύμα, οι υψηλές τάσεις λειτουργίας δημιουργούν την ανάγκη για παραπάνω από έναν αντιστροφέα λόγω της μέγιστης που μπορούν να διαχειριστούν.

REC Solar				
Μοντέλο	Twinpeak 4	ALPHA PURE	Twinpeak 5	ALPHA PURE-R
Όνομ. ισχύ (Pnom)	370 W	400 W	410 W	430 W
Ανοχή ισχύος	+5/%	+5/%	+5/%	+5/%
Απόδοση πάνελ	20.3 %	21.1%	20.8 %	22.3 %
Όνομ. τάση (Vmp)	33.3 V	40.6 V	38.3 V	50.5 V
Όνομ. ρεύμα (Impp)	10.58 A	9.64 A	10.67 A	8.52 A
Τάση ανοιχτού κυκλ. (Voc)	40.3 V	48.6 V	45.1 V	59.7 V
Ρεύμα βραχυκύκλωσης (Isc)	11.1 A	10.39 A	11.43 A	8.91 A
Μέγιστη τάση συστήματος (V)	1000V	1000 V IEC	1000 V IEC	1000 V IEC
Θερμ. λειτουργίας	-40°C to +85°C	-40°C to +85°C	-40°C to +85°C	-40°C to +85°C
Είδος κυψελών	120 Mono	132 Heterojunction	132 Mono	80 Heterojunction
Διαστάσεις (mm)	1755x1040x30	1821x1016x30	1899x1040x30	1730x1118x30
Βάρος (kg)	20 kg	20.5 kg	21.6 kg	21.5 kg
Εγγύηση	25 χρόνια	25 χρόνια	25 χρόνια	25 χρόνια

Πίνακας 4 Χαρακτηριστικά πάνελ της εταιρίας REC Solar

4.2 Αντιστροφέας και ρυθμιστής φόρτισης

Παρόλο που είναι 2 διαφορετικές διατάξεις οι οποίες χρειάζονται για ένα σύστημα αποθήκευσης ενέργειας (ESS), υπάρχουν στην αγορά οι “έξυπνοι” inverter, οι οποίοι συνδυάζουν αντιστροφέα και μετατροπέα σε μια μόνο συσκευή. Επίσης έχουν ανεπτυγμένες τεχνολογίες και συστήματα με τα οποία μπορούν να διαχειρίζονται όλες τις παροχές ενέργειας και να παρέχουν τη μέγιστη δυνατή εξοικονόμηση ενέργειας. Πλέον είναι οι πιο διαδεδομένοι για έξυπνα συστήματα οικιακά και επαγγελματικά και για αυτό το λόγο θα χρησιμοποιήσουμε κάποιον τέτοιου είδους. Θα μελετήσουμε αντιστροφέας από τέσσερις εταιρίες: *SMA*, *Huawei*, *Fronius* και *Sungrow*.

SMA Sunny Tripower Smart Energy:



Εικόνα 32 Αντιστροφέας από την εταιρία SMA

Η εταιρία SMA ιδρύθηκε το 1981 και αποτελεί μια από τις πιο διαδεδομένες εταιρίες παροχής αντιστροφέων, λόγω της εμπειρίας της στο χώρο και της αξιοπιστίας της. Διαθέτει ανεπτυγμένες τεχνολογίες όπως το SMA ShadeFix το οποίο εγγυάται καλή απόδοση ακόμα και σε συννεφιά ή καταστάσεις σκίασης, και το SMA Smart Connected το οποίο σε περίπτωση βλάβης γνωστοποιεί στην εταιρία αμέσως με όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για να γίνει εύκολη η αναγνώριση του σφάλματος και η αντικατάσταση του αντιστροφέα.

Technical Data	Sunny Tripower 15000TL	Sunny Tripower 20000TL	Sunny Tripower 25000TL
Input (DC)			
Max. generator power	27000 W _p	36000 W _p	45000 W _p
DC rated power	15330 W	20440 W	25550 W
Max. input voltage	1000 V	1000 V	1000 V
MPP voltage range / rated input voltage	240 V to 800 V / 600 V	320 V to 800 V / 600 V	390 V to 800 V / 600 V
Min. input voltage / start input voltage	150 V / 188 V	150 V / 188 V	150 V / 188 V
Max. input current input A / input B	33 A / 33 A	33 A / 33 A	33 A / 33 A
Max. DC short-circuit current input A/input B	43 A / 43 A	43 A / 43 A	43 A / 43 A
Number of independent MPP inputs / strings per MPP input	2 / A:3; B:3	2 / A:3; B:3	2 / A:3; B:3
Output (AC)			
Rated power (at 230 V, 50 Hz)	15000 W	20000 W	25000 W
Max. AC apparent power	15000 VA	20000 VA	25000 VA
AC nominal voltage	3 / N / PE; 220 V / 380 V 3 / N / PE; 230 V / 400 V 3 / N / PE; 240 V / 415 V		
AC voltage range	180 V to 280 V		
AC grid frequency / range	50 Hz / 44 Hz to 55 Hz 60 Hz / 54 Hz to 65 Hz		
Rated power frequency / rated grid voltage	50 Hz / 230 V		
Max. output current / Rated output current	29 A / 21.7 A	29 A / 29 A	36.2 A / 36.2 A
Power factor at rated power / Adjustable displacement power factor	1 / 0 overexcited to 0 underexcited		
THD	≤ 3%		
Feed-in phases / connection phases	3 / 3		
Efficiency			
Max. efficiency / European Efficiency	98.4% / 98.0%	98.4% / 98.0%	98.3% / 98.1%

Πίνακας 5 Χαρακτηριστικά αντιστροφέα SMA

Fronius Symo GEN24 Plus:



Εικόνα 33 Αντιστροφέας από την εταιρία Fronius

INPUT DATA	FRONIUS ECO 25.0-3-S	FRONIUS ECO 27.0-3-S
Max. input current ($I_{dc\ max}$)	44.2 A	47.7 A
Max. array short circuit current	66.3 A	71.6 A
Min. input voltage ($U_{dc\ min}$)		580 V
Feed-in start voltage ($U_{dc\ start}$)		650 V
Nominal input voltage ($U_{dc\ n}$)		580 V
Max. input voltage ($U_{dc\ max}$)		1,000 V
MPP voltage range ($U_{mpp\ min} - U_{mpp\ max}$)		580 - 850 V
Number of MPP trackers		1
Number of DC connections		6
OUTPUT DATA	FRONIUS ECO 25.0-3-S	FRONIUS ECO 27.0-3-S
AC nominal output ($P_{ac,n}$)	25,000 W	27,000 W
Max. output power	25,000 VA	27,000 VA
AC output current ($I_{ac\ nom}$)	36.1 A	39.0 A
Grid connection (voltage range)		3-NPE 380 V / 220 V or 3-NPE 400 V / 230 V (+20 % / - 30 %)
Frequency (frequency range)		50 Hz / 60 Hz (45 - 65 Hz)
Total harmonic distortion		< 2.0 %
Power factor ($\cos\ \varphi_{ac,r}$)		0 - 1 ind. / cap.
GENERAL DATA	FRONIUS ECO 25.0-3-S	FRONIUS ECO 27.0-3-S
Dimensions (height x width x depth)		725 x 510 x 225 mm
Weight		35.7 kg
Degree of protection		IP 66
Protection class		1
Overvoltage category (DC / AC) ²⁾		2 / 3
Night-time consumption		< 1 W
Inverter concept		Transformerless
Cooling		Regulated air cooling
Installation		Indoor and outdoor installation
Ambient temperature range		-25 - +60 °C
Permitted humidity		0 to 100 %
Max. altitude		2,000 m
DC connection technology		6x DC+ and 6x DC- screw terminals 2.5 - 16 mm ²
AC connection technology		5-pole AC screw terminals 2.5 - 16 mm ²
Certificates and compliance with standards	ÖVE / ÖNORM E 8001-4-712, DIN V VDE 0126-1-1/A1, VDE AR N 4105, IEC 62109-1/-2, IEC 62116, IEC 61727, AS 3100, AS 4777-2, AS 4777-3, CER 06-190, G83/2, G59/3, UNE 206007-1, SI 4777, CEI 0-16, CEI 0-21	

Πίνακας 6 Χαρακτηριστικά αντιστροφέα Fronius

Άλλη μια ποιοτική λύση είναι η Fronius, η οποία λειτουργεί για 75 χρόνια, με τη σειρά Symo GEN24 Plus. Το Fronius Symo GEN24 Plus είναι συμβατό με την ηλιακή μπαταρία Fronius καθώς και με συσκευές αποθήκευσης άλλων κατασκευαστών,

όπως η LG Chem ή η BYD, και επομένως ο ιδανικός υβριδικός μετατροπέας. Η έξυπνη τεχνολογία Multi Flow επιτρέπει την εναλλασσόμενη και συνεχή σύζευξη της αποθήκευσης μπαταριών. Επιπλέον, τα φορτία τροφοδοτούνται ταυτόχρονα με τη φόρτιση της μπαταρίας - ακόμη και σε λειτουργία εφεδρικής τροφοδοσίας.

Huawei Sun2000/KTL-M5:



Εικόνα 34 Αντιστροφέας από την εταιρία Huawei

Technical Specification	SUN2000 -12KTL-M5	SUN2000 -15KTL-M5	SUN2000 -17KTL-M5	SUN2000 -20KTL-M5	SUN2000 -25KTL-M5
Efficiency					
Max. efficiency	98.4%	98.4%	98.4%	98.4%	98.4%
European weighted efficiency	97.9%	98.0%	98.1%	98.1%	98.2%
Input					
Recommended max. PV power ¹	18,000 Wp	22,500 Wp	25,500 Wp	30,000 Wp	37,500 Wp
Max. input voltage ²	1100 V				
Full-load MPPT voltage range	370 ~ 800 V	410 ~ 800 V	440 ~ 800 V	480 ~ 800 V	530 ~ 800 V
MPPT operating voltage range ³	200 ~ 1000 V				
Start-up voltage	200 V				
Rated input voltage	600 V				
Max. input current per MPPT	30 A (two-string)/20 A (single string)				
Max. short-circuit current	40 A				
Number of MPP trackers	2				
Max. number of inputs	4				
Output					
Grid connection	Three-phase				
Rated output power	12,000 W	15,000 W	17,000 W	20,000 W	25,000 W
Max. apparent power	13,200 W	16,500 VA	18,700 VA	22,000 VA	27,500 VA
Rated output voltage	220 V AC/380 V AC, 230 V AC/400 V AC, 239.6 V AC/415V AC, 3W + N + PE				
Rated AC grid frequency	50 Hz/60 Hz				
Max. output current	18.2 A/380 V AC	25.2 A/380 V AC	28.6 A/380 V AC	33.6 A/380 V AC	42.0 A/380 V AC
	17.3 A/400 V AC	23.9 A/400 V AC	27.1 A/400 V AC	31.9 A/400 V AC	39.9 A/400 V AC
	16.7 A/415 V AC	23.1 A/415 V AC	26.1 A/415 V AC	30.8 A/415 V AC	38.5 A/415 V AC
Adjustable power factor	0.8 leading ... 0.8 lagging				
Max. total harmonic distortion	≤ 3%				

Πίνακας 7 Χαρακτηριστικά αντιστροφέα Huawei

Η εταιρεία Huawei ιδρύθηκε το 1987 ως μια εταιρεία τηλεπικοινωνιών. Αργότερα επεκτάθηκε για να παρέχει περισσότερες υπηρεσίες και μια από αυτές είναι η ΑΠΕ με τη παραγωγή αντιστροφέων για φ/β συστήματα. Πλέον είναι μια από τις πιο αξιόπιστες και διαδεδομένες εταιρίες εμπορίας αντιστροφέων.

Sungrow SG/RT:



Εικόνα 35 Αντιστροφέας από την εταιρία Sungrow

Type designation	SG25CX-SA
Input (DC)	
Max. PV input voltage	1100 V
Min. PV input voltage / Startup input voltage	200 V / 250 V
Nominal PV input voltage	400 V
MPP voltage range	200 V – 1000 V
MPP voltage range for nominal power	400 V – 850 V
No. of independent MPP inputs	3
Max. number of PV strings per MPPT	2
Max. PV input current	78 A
Max. DC short-circuit current	120 A
Output (AC)	
AC output power	27.5 kVA @ 35 °C / 25 kVA @ 45 °C
Max. AC output current	72.2 A
Nominal AC voltage	3 / N / PE, 127 / 220 V
AC voltage range	165 – 290 V
Nominal grid frequency / Grid frequency range	50 Hz / 45 – 55 Hz, 60 Hz / 55 – 65 Hz
THD	< 3 % (at nominal power)
DC current injection	< 0.5 % I _n
Power factor at nominal power / Adjustable power factor	> 0.99 / 0.8 leading – 0.8 lagging
Feed-in phases / connection phases	3 / 3
Efficiency	
Max. efficiency / Euro. Efficiency	97.5% / 97.2%

Πίνακας 8 Χαρακτηριστικά αντιστροφέα Sungrow

Τέλος η εταιρία Sungrow η οποία ιδρύθηκε το 1997 με σκοπό την έρευνα και ανάπτυξη φ/β αντιστροφέων. Έχει διαθέσει στο εμπόριο τη μεγαλύτερη συνολική χωρητικότητα φ/β αντιστροφέων καθώς μπορεί να καλύψει με τα προϊόντα της όλες τις ανάγκες που υπάρχουν στην αγορά.

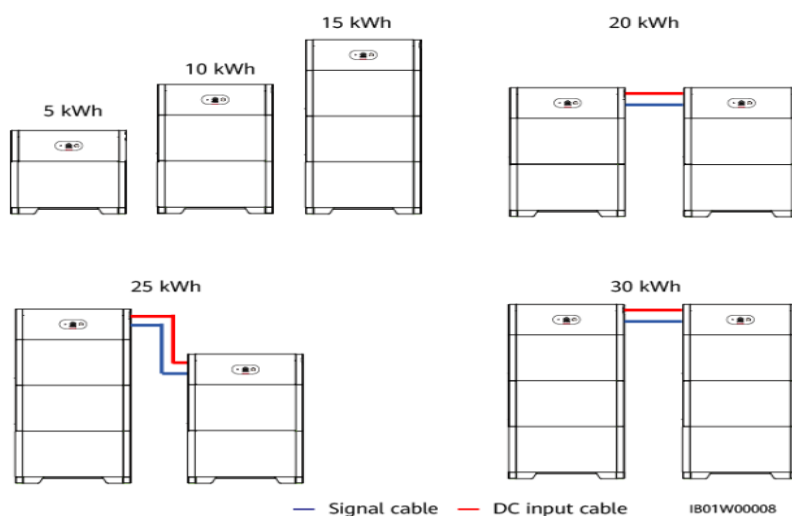
Γενικά οι δυνατότητες και τα χαρακτηριστικά διαφέρουν στο ελάχιστο από εταιρία σε εταιρία, εννοώντας ότι μπορεί ο κάθε παραπάνω αντιστροφέας να καλύψει τις ανάγκες μας. Παρόλα αυτά εμείς θα χρησιμοποιήσουμε τον Huawei Sun2000/25KTL-M5 διότι η Huawei έχει κάνει αισθητή την παρουσία της στην Ελλάδα στον τομέα της ηλιακής ενέργειας και διαθέτει γρήγορη και αποτελεσματική εξυπηρέτηση πελατών.

4.3 Συστοιχία μπαταριών




Η μελέτη της συστοιχίας είναι η πιο σημαντική έτσι ώστε να δουλεύει το σύστημα αποτελεσματικά και αδιάλειπτα. Σε ένα αυτόνομο σύστημα για παράδειγμα, εάν γίνει μια μελέτη και στοιχηθεί ένα σύστημα μικρότερων δυνατοτήτων το οποίο δεν επαρκεί για να τροφοδοτήσει τις ημερήσιες καταναλώσεις, τότε οι μπαταρίες συνεχώς θα αποφορτίζονται πλήρως και πολύ πιθανόν να μην μπορούν να τροφοδοτηθούν οι καταναλώσεις μέσα στη μέρα. Αυτό το φαινόμενο γίνεται ολοένα και πιο συχνό τους χειμερινούς μήνες. Στην αντίθετη περίπτωση που θα στοιχηθεί σύστημα μπαταριών μεγαλύτερης χωρητικότητας, οι μπαταρίες δεν θα μπορούν να φορτίσουν πλήρως λόγω της μεγάλης χωρητικότητας οπότε θα μειωθούν δραματικά οι κύκλοι ζωής τους. Επιπλέον, το κόστος θα είναι πολύ μεγαλύτερο χωρίς να έχουμε τη σωστή λειτουργία.

Ένα πολύ ισχυρό πλεονέκτημα του υβριδικού είναι η επίλυση των παραπάνω. Σε ένα υβριδικό σύστημα λόγω της υποβοήθησης του δικτύου ηλεκτροδότησης, οι μπαταρίες φορτίζονται είτε από το δίκτυο είτε από φωτοβολταϊκά, συνεπώς έχουν μια συνεχόμενη φόρτιση και μειώνεται δραματικά ο κίνδυνος πλήρους αποφόρτισης. Επίσης τους χειμερινούς μήνες το δίκτυο αναλαμβάνει τη τροφοδοσία της κατανάλωσης απαλείφοντας έτσι το μεγαλύτερο βάρος των συσσωρευτών.

Μια ιδιαιτερότητα των έξυπνων αντιστροφών είναι ότι συνήθως χρειάζονται συγκεκριμένους τύπους συσσωρευτών για να λειτουργήσουν σωστά, κάτι που ισχύει για την δική μας περίπτωση. Συνεπώς θα χρησιμοποιήσουμε τους συσσωρευτές Huawei Luna 2000:



Εικόνα 36 Συστοιχία μπαταριών

	LUNA2000-5-S0	LUNA2000-10-S0	LUNA2000-15-S0
Technical Specification			
Power module	LUNA2000-5KW-C0		
Number of power modules	1		
Battery module	LUNA2000-5-E0		
Battery module energy	5 kWh		
Number of battery Modules	1	2	3
Battery usable energy ¹	5 kWh	10 kWh	15 kWh
Max. output power	2.5 kW	5 kW	5 kW
Peak output power	3.5 kW, 10 s	7 kW, 10 s	7 kW, 10 s
Dimension (W*D*H)	670 * 150 * 600 mm (26.4 * 5.9 * 23.6 inch)	670 * 150 * 960 mm (26.4 * 5.9 * 37.8 inch)	670 * 150 * 1320 mm (26.4 * 5.9 * 60.0 inch)
Weight (Floor stand toolkit included)	63.8 kg (140.7 lb)	113.8 kg (250.9 lb)	163.8 kg (361.1 lb)
Installation	Floor stand (standard), Wall mount (optional)		
Operating temperature	-20°C ~ +55°C (-4°F ~ 131°F) ²		
Environment	Indoor / Outdoor		
Cooling	Natural convection		
Protection rating	IP 66		
Noise emission	<29 dB		
Cell technology	Lithium-iron phosphate (LiFePO4)		
Scalability	Max. 2 systems in parallel operation		
Compatible inverters	SUN2000-2/3/3.68/4/4.6/5/6KTL-L1, SUN2000-3/4/5/6/8/10KTL-M0 ⁴ , SUN2000-3/4/5/6/8/10KTL-M1		

Πίνακας 9 Τεχνικά Χαρακτηριστικά συστοιχίας μπαταριών

Για τη λειτουργία του parking χρειαζόμαστε 25kWh ενέργειας για μισή ώρα. Αυτό πρακτικά σημαίνει το μισό:

$$25kWh \div 2 = 12.5 kWh$$

Αρα θα χρησιμοποιήσουμε το LUNA2000-15-S0 καθώς διαθέτει 3 μονάδες και μπορεί να μας παρέχει 15kWh ενέργειας, η οποία μας καλύπτει.

4.4 Αναλώσιμα υλικά εγκατάστασης

Τα καλώδια είναι μονωμένοι αγωγοί μέσω από τους οποίους επιτυγχάνεται η μεταφορά του ρεύματος. Η διατομή που θα επιλεγθεί πρέπει να είναι κατάλληλη έτσι ώστε να γίνεται η μεταφορά του ρεύματος με ασφάλεια και χωρίς να υπάρχει κίνδυνος να καεί κάποιο εξάρτημα από τυχόν δυσλειτουργίες. Επιπλέον θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε ασφάλειες για να απομονώσουμε τα φ/β πάνελ με το σύστημα του αντιστροφέα για να αποφύγουμε κάποιο σφάλμα ρεύματος η διαρροής που ξεκινάει από τα φ/β πάνελ έτσι ώστε να μην δημιουργήσουμε πρόβλημα στην υπόλοιπη εγκατάσταση. Για να υπολογίσουμε το μέγεθος ασφάλειας θα πρέπει να πολλαπλασιάσουμε το ρεύμα βραχυκύκλωσης (I_{sc}) των φ/β πάνελ της εγκατάστασης με τον αριθμό 1.25 για να δώσουμε ανοχή στο ρεύμα:

$$I_{FUSE} = 12.28 A \times 1.25 = 15.35 A$$

Επομένως θα χρησιμοποιήσουμε μια ασφάλεια για κάθε string με φ/β πάνελ του συστήματος. Διαλέγουμε 16 A ασφάλεια για το λόγο ότι υπάρχουν ασφάλειες με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά στην αγορά. Συνεπώς θα χρησιμοποιήσουμε την αμέσως μεγαλύτερη ασφάλεια για να καλύψουμε 8.225 A που υπολογίσαμε παραπάνω. Στη συνέχεια θα πρέπει να υπολογίσουμε τη διατομή του καλωδίου, λαμβάνοντας υπόψιν την πτώση τάσης και τον παράγοντα μείωσης απόδοσης.



Εικόνα 37 Ασφάλεια 16A

$$I_{CABLE} = I_{FUSE} \div 0.8 = 19.2 A$$

Υπολογίζουμε ότι το καλώδιο θα πρέπει να αντέχει 19.2 A μεταφορά ρεύματος. Σύμφωνα με τους κανόνες και τα πρότυπα καλωδίων χρειαζόμαστε καλώδιο διατομής 5mm τουλάχιστον, οπότε θα χρησιμοποιήσουμε το παρακάτω:



Εικόνα 38 Καλώδιο ρεύματος

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ:

- Ονομαστική τάση DC: AC- 1.0KV; DC 1.5KV
- Μέγιστη τάση: AC- 1.2KV; DC- 1.8KV
- Δοκιμαστική τάση: AC- 6.5KV για 5 min; DC- 15KV για 5min
- Μέγιστη θερμοκρασία βραχυκυκλώματος: +250 °C για 5s
- Λειτουργία σε όρια θερμοκρασίας: -40 έως +90°C

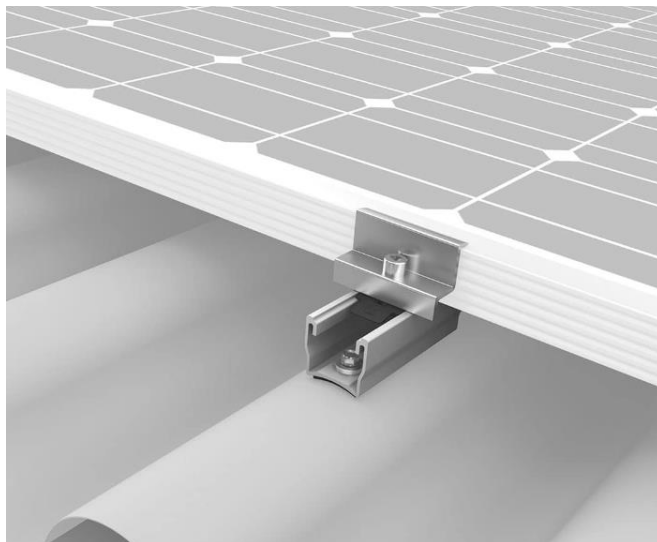
Τα βύσματα που χρειάζονται για την σύνδεση των στοιχείων μεταξύ τους ονομάζονται mc4 connectors. Τα φ/β πάνελ έρχονται εργοστασιακά τερματισμένα με αυτά τα βύσματα καθώς και οι αντιστροφείς έχουν υποδοχές που δέχονται μόνο τους συγκεκριμένους ακροδέκτες. Είναι ο πλέον κατάλληλος τρόπος σύνδεσης καθώς επιτυγχάνεται πολύ ισχυρή και στεγανή σύνδεση των αγωγών, η οποία αντέχει στις δύσκολες καιρικές συνθήκες και φυσικά στην πάροδο των χρόνων λειτουργίας.



Εικόνα 39 MC4 connectors

Για την στήριξη των πάνελ στη στέγη θα χρησιμοποιήσουμε εξαρτήματα και υλικά της εταιρίας K2 Systems καθώς είναι αρκετά αξιόπιστα και σαν εταιρία κατασκευής πλαισίων στήριξης έχει πολύ μεγάλη εμπειρία στο χώρο.

Για την ακρίβεια θα χρειαστούμε βάση στήριξης στη λαμαρίνα καθώς και clamps ενδιάμεσα και τερματικά μαζί με κοχλίες για να τα σταθεροποιήσουμε όλα μαζί στη βιομηχανική στέγη. Στη παρακάτω εικόνα φαίνεται ακριβώς πως θα στηρίζεται το πάνελ.



Εικόνα 40 Βάση στήριξης πάνελ σε οροφή

Επιπλέον θα χρειαστούμε σωλήνα ηλεκτρολογικό για την προστασία των καλωδίων από τη τριβή και τις αντίξοες καιρικές συνθήκες. Η διάμετρος του σωλήνα θα υπολογιστεί ανάλογα με τη διάμετρο καλωδίων που θα εμπεριέχει. Εμείς θα έχουμε 4 καλώδια από τις δύο σειρές των φ/β πάνελ και ένα για το κύκλωμα της γείωσης. Από τη στιγμή που θα έχουμε 5mm καλώδια τότε η συνολική διάμετρος θα είναι:

$$5 \times 5mm = 25mm$$

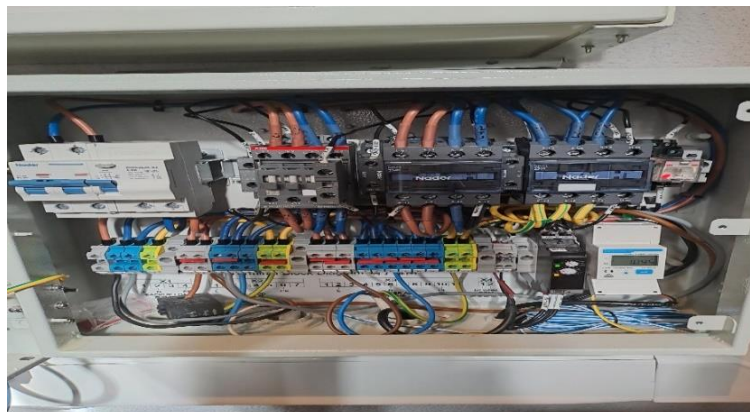
Συνεπώς θα χρησιμοποιήσουμε το αμέσως μεγαλύτερο σωλήνα σε διάμετρο όπου είναι στα 32mm. Και συγκεκριμένα στην εταιρία Kounidis η οποία έχει τεράστια γκάμα από σωλήνες οι οποίοι μπορούν να καλύψουν κάθε ανάγκη.



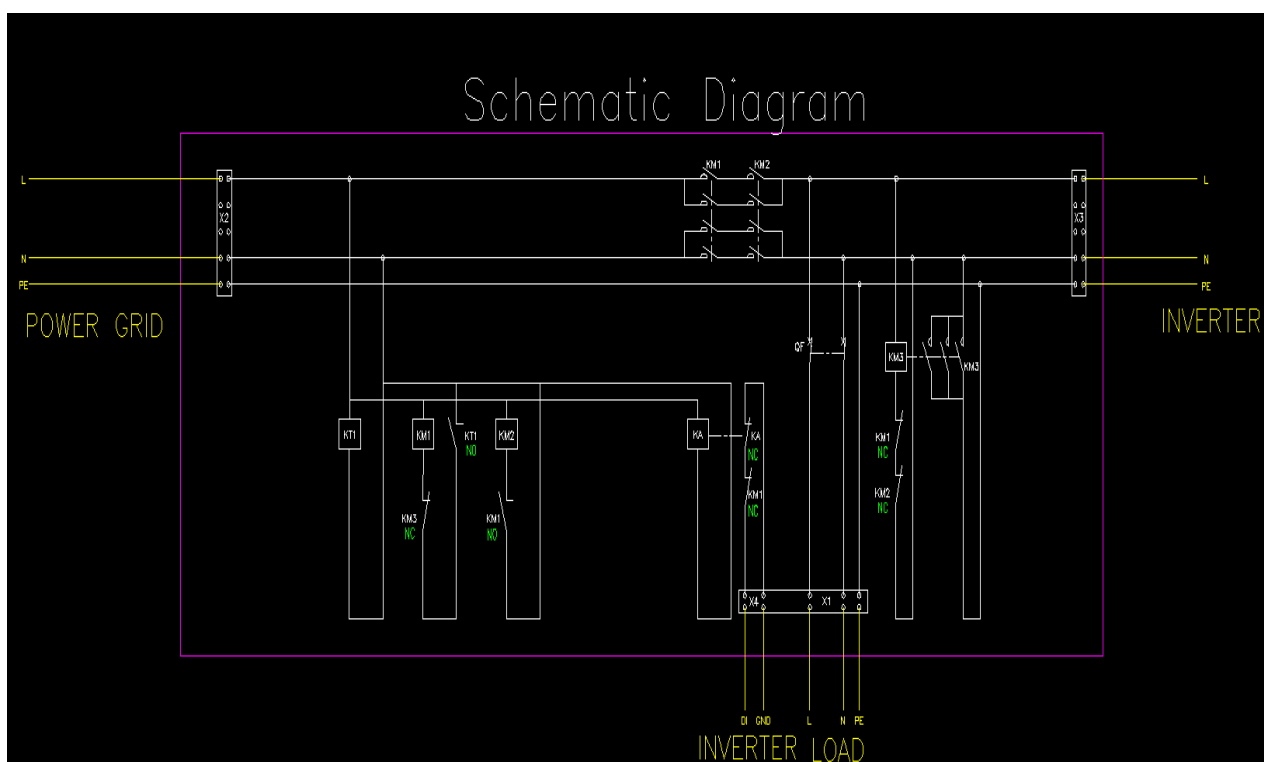
Εικόνα 41 Σωλήνας διαμέτρου φ32 για την επικάλυψη του καλωδίου

4.5 Huawei Backup Box

Το Backup Box χρησιμοποιείται σε ένα σύστημα φ/β σταθμού σε στέγη για τον έλεγχο του μετατροπέα σε κατάσταση σύνδεσης με το δίκτυο ή εκτός δικτύου. Παρακάτω θα δούμε το σχηματικό του και μια σύντομη σύνοψη του πώς λειτουργεί:



Εικόνα 42 Backup Box από την εταιρία Huawei



Εικόνα 43 Σχηματικό διάγραμμα του Backup Box

Συνοπτικά η αρχή λειτουργίας του συστήματος:

- Το **KA** είναι ένα ρελέ με μια σύνδεση Normally Closed. Ανοίγει τη γραμμή μεταξύ DI και GND (που πηγαίνει στη θύρα com του μετατροπέα) όταν υπάρχει δίκτυο.

Λειτουργεί σαν διάυλος επικοινωνίας με τον μετατροπέα και τον ενημερώνει εάν υπάρχει δίκτυο ή όχι.

- Το **KT1** είναι ένας χρονοδιακόπτης καθυστέρησης ενεργοποίησης που ενεργοποιεί το KM1 αφού το δίκτυο είναι ενεργοποιημένο για τη ρυθμισμένη καθυστέρηση (1 sec).
- ο **KM1** είναι μια επαφή με 4x Normally Open και 2x Normally Closed επαφές . Καθοδηγούμενος από τον KT1, 1 δευτερόλεπτο μετά την αποκατάσταση του δικτύου κλείνει τις συνδέσεις μεταξύ του μετατροπέα και του δικτύου (2 για το L και 2 για το N για υψηλότερο ρεύμα), ενεργοποιεί τον KM2, καθώς και ανοίγει τη γραμμή DI (σε περίπτωση βλάβης του KT1). Η κύρια λειτουργία είναι η αποσύνδεση του μετατροπέα από το δίκτυο όταν είναι εκτός λειτουργίας και η σύνδεσή του μετά από 1 δευτερόλεπτο όταν το δίκτυο είναι εντός λειτουργίας.
- Ο **KM2** είναι μια παρόμοια επαφή με τον KM1. Καθοδηγούμενος από τον KM1 κλείνει 1 δευτερόλεπτο μετά την αποκατάσταση του δικτύου τις συνδέσεις μεταξύ του μετατροπέα και του δικτύου. Κύρια λειτουργία είναι η ασφαλής αποσύνδεση του μετατροπέα από το δίκτυο σε περίπτωση αστοχίας του KM1.
- Ο **KM3** είναι μια επαφή της οποίας η κύρια λειτουργία είναι η σύνδεση PE με τον ουδέτερο με βάση τις απαιτήσεις της χώρας. Στις ευρωπαϊκές χώρες όπου το PE δεν συνδέεται με τον ουδέτερο δεν χρησιμοποιείται.
- Το **QF** είναι ένας διακόπτης εναλλασσόμενου ρεύματος για τη σύνδεση/αποσύνδεση του φορτίου

Τέλος η γραμμή DI προς GND είναι η μόνη ανατροφοδότηση προς τον αντιστροφέα. Η γραμμή είναι κλειστή όταν το δίκτυο είναι εκτός και ανοιχτή όταν το δίκτυο είναι λειτουργικό.

4.6 Huawei Smart Power Sensor

Ο έξυπνος αισθητήρας ισχύος της Huawei είναι ειδικά σχεδιασμένος για το φωτοβολταϊκό σύστημα, ώστε να είναι ένας νέος έξυπνος αισθητήρας ισχύος, σε συνδυασμό με μέτρηση και επικοινωνία, που εφαρμόζεται κυρίως στη μέτρηση ηλεκτρικής ποσότητας, συμπεριλαμβανομένης της τάσης, του ρεύματος, ισχύος, συχνότητας, συντελεστή ισχύος, ενεργού ενέργειας κ.λπ. στο ηλεκτρικό κύκλωμα.

Ο αισθητήρας μπορεί να μετατρέψει το σήμα τάσης και ρεύματος σε σήμα που μπορεί να ανιχνευθεί από τον ελεγκτή μέσω του κυκλώματος δειγματοληψίας, ο οποίος θα το υπολογίσει και θα το μετατρέψει σε ενέργεια, ισχύ, συντελεστή ισχύος και άλλα ηλεκτρικά μεγέθη υπολογίζοντας τα σήματα στο κύκλωμα δειγματοληψίας, μεταφέροντας τα στους χρήστες μέσω επικοινωνίας και εν τω μεταξύ θα αποθηκεύσει τα δεδομένα στο κύκλωμα αποθήκευσης.

Με λίγα λόγια όταν υπάρχει ζήτηση από το δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας για την κατανάλωση μας επικοινωνεί με το κεντρικό εγκέφαλο του συστήματος (Inverter) και ανάλογα με την χωρητικότητα της συστοιχίας μπαταριών και την παραγωγή ισχύος των φ/β πάνελ, χρησιμοποιεί και τις τρεις παροχές ενέργειας για την τροφοδοσία, συνεπώς χρειαζόμαστε λιγότερη ενέργεια από το δίκτυο με αποτέλεσμα την εξοικονόμηση ενέργειας από το δίκτυο διανομής.



Εικόνα 44 Huawei Smart Power Sensor

4.7 Βελτιστοποίηση και παρακολούθηση

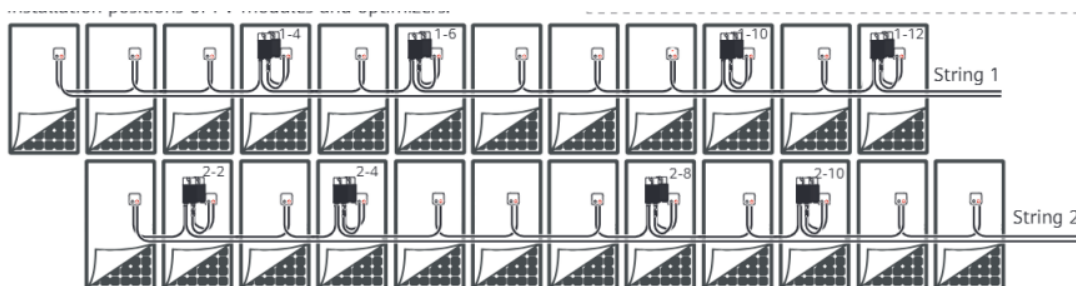
Στην περίπτωση των φ/β εγκαταστάσεων η εργασία δεν τελειώνει στην εγκατάσταση. Για την ακρίβεια δημιουργείται μια σχέση μεταξύ του εγκαταστάτη και του εκμεταλλεόμενου. Επιπλέον οι εταιρίες δίνουν εγγυήσεις για 10 χρόνια τουλάχιστον και τα συμβόλαια των εταιριών παροχής ηλεκτροδότησης γίνονται για 15 και 20 χρόνια. Αυτό δημιουργεί την ανάγκη για παρακολούθηση τυχόν βλαβών και δυσλειτουργιών καθώς και την επέμβαση για βελτιστοποίηση. Στο δικό μας σύστημα θα χρησιμοποιήσουμε τους Huawei Smart PV Optimizers για βελτιστοποίηση του συστήματος και ένα Huawei Smart Dongle για την παρακολούθηση του συστήματος μέσω της εφαρμογής Huawei Fusion Solar.

- Huawei Smart PV Optimizers:

Με την πάροδο των χρόνων τα φ/β πάνελ χάνουν απόδοση λόγω παλαιότητας. Στα συστήματα με φ/β συστοιχίες ένα γενικό πρόβλημα είναι ότι η απόδοση ολόκληρης της συστοιχίας περιορίζεται από τον λιγότερο αποδοτικό πάνελ. Η κύρια λειτουργία των Smart PV Optimizers της Huawei είναι να μεγιστοποιούν τη συγκομιδή ενέργειας από κάθε μεμονωμένο πάνελ σε μια φωτοβολταϊκή συστοιχία, συνεπώς μειώνεται δραματικά αυτό το πρόβλημα.



Εικόνα 45 Βελτιστοποιητής



Εικόνα 46 Παράδειγμα σύνδεσης με βελτιστοποιητή

Ενδεικτικά μέσω του datasheet των optimizer βλέπουμε πως συνδέονται στη συστοιχία. Δεν θα χρησιμοποιηθούν από την αρχή στο σύστημα αλλά στη πορεία εφόσον δημιουργηθεί κάποιο πρόβλημα σε φ/β πάνελ.

- Smart Dongle

Το Smart Dongle είναι ένας αντάπτορας-συσκευή που επιτρέπει στους χρήστες να συνδέονται στο διαδίκτυο χρησιμοποιώντας δίκτυα κινητής τηλεφωνίας 4G. Έχει σχεδιαστεί για να παρέχει ασύρματη συνδεσιμότητα σε συσκευές. Μέσω αυτού επιτυγχάνεται η επικοινωνία του συστήματος στην εφαρμογή Huawei Fusion Solar.



Εικόνα 47 Smart Dongle

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΜΕΛΕΤΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Σε αυτό το κεφάλαιο θα δούμε όλες τις απαραίτητες παραμέτρους που χρειαζόμαστε για να δημιουργήσουμε τη βέλτιστη δυνατή εγκατάσταση του συστήματός μας:

1. Τοποθεσία (Γεωγραφικές συντεταγμένες)
2. Απαιτούμενες γωνίες
3. Ώρες αιχμής του ήλιου (P.S.H)
4. Απόσταση μεταξύ των φ/β πάνελ (για αποφυγή σκίασης)
5. Αριθμός των πάνελ
6. Μέγεθος αντιστροφέα

5.1 Υπολογισμός κλίσης και προσανατολισμού

Το σύστημα μας θα γίνει στη Θέρμη Θεσσαλονίκης, στη κεντρική Μακεδονία. Θα βρούμε τη κλίση και το προσανατολισμό των φ/β πάνελ βρίσκοντας τις γωνίες στις οποίες αναφερθήκαμε στο 2^ο κεφάλαιο. Με τη βοήθεια του Google Maps θα βρούμε τις συντεταγμένες της περιοχής οι οποίες είναι:

$$40^{\circ}32'56.9''N \ 23^{\circ}00'23.9''E$$

Με 40° γεωγραφικό πλάτος και 23° γεωγραφικό μήκος. Η μελέτη μας θα γίνει για διασυνδεδεμένο σύστημα, συνεπώς θα κοιτάζουμε κλίση και προσανατολισμό που θα μας δίνουν όσο το δυνατόν περισσότερη ενέργεια κατά τη διάρκεια του έτους. Ένας λόγος είναι επίσης ότι δεν χρειάζεται να λάβουμε υπόψιν καταναλώσεις διότι θα παρέχονται από το δίκτυο ηλεκτροδότησης. Γνωρίζουμε πως η 21^η Ιουνίου είναι η μεγαλύτερη μέρα του έτους, οπότε μέσω της σελίδας EARTH DATA της NASA θα βρούμε τον αριθμό ημέρας εκείνης της ημερομηνίας. Επομένως θα χρησιμοποιήσουμε αυτό τον αριθμό για να βρούμε τη γωνία μεταξύ του άξονα του σύμπαντος και του άξονα της γης (δ):

$$(1): \delta = 23.5 \times \sin \left[\frac{360}{365} (284 + d) \right], \text{ άρα } \delta = 23.49$$

όπου d= αριθμός μέρας στο έτος, για 21^η Ιουνίου είναι 172

Στη συνέχεια θα βρούμε τη γωνία μεταξύ των ακτινών του ήλιου και του οριζόντιου επιπέδου (α):

$$(2): \alpha = 90 - \phi + \delta, \text{ άρα } \alpha = 73.49$$

όπου ϕ είναι το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής και στη συνέχεια θα βρούμε τη γωνία μεταξύ του φ/β πάνελ και του οριζόντιου επιπέδου (b) από το τύπο:

$$(3): b = 90 - \alpha, \text{ άρα } b = 16.51^{\circ}.$$

Η κλίση που υπολογίσαμε δεν είναι βολική για εγκατάσταση, συνεπώς, σε τέτοιες περιπτώσεις, συνηθίζεται η στρογγυλοποίηση σε μία από τις standard τιμές οι οποίες είναι πολλαπλάσια του 5 (15,20,25,30, κ.τ.λ.), καθώς η διαφορά στην απόδοση είναι μηδαμινή. Οπότε θα χρησιμοποιήσουμε $b=20^{\circ}$.

Ο προσανατολισμός παίζει πιο σημαντικό ρόλο από τη κλίση αλλά είναι αρκετά πιο εύκολο να βρεθεί διότι βασίζεται σε ένα κανόνα: Ο προσανατολισμός είναι πάντα ανάποδος από το ημισφαίριο στο οποίο βρίσκεται η περιοχή (βόρειο ή νότιο). Στη περίπτωση μας, μιας και είμαστε στο βόρειο ημισφαίριο θα έχουμε νότιο προσανατολισμό και όπως υπολογίσαμε παραπάνω 20° γωνία των φ/β πάνελ με το επίπεδο της γης.

5.2 Υπολογισμός ηλιακής ακτινοβολίας

Ο υπολογισμός της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στα φ/β πάνελ χρειάζεται για να μπορέσουμε να καταλάβουμε και να υπολογίσουμε την ενέργεια που θα παράγει το σύστημά μας. Αρχικά θα πρέπει να βρούμε την παγκόσμια κεκλιμένη ακτινοβολία (S_m), αυτή η ακτινοβολία είναι η ωφέλιμη, η οποία προσπίπτει πάνω στο πάνελ. Στη παρακάτω εικόνα βλέπουμε την $S_{incident}$, την γενική ακτινοβολία που προσπίπτει στο φ/β πάνελ, την S_{module} δηλαδή την κάθετη ακτινοβολία που προσπίπτει σε αυτό και την $S_{horizontal}$ την οριζόντια ακτινοβολία που προσπίπτει στην επιφάνεια της γης. Από τη τριγωνομετρία γνωρίζουμε ότι οι παρακάτω γωνίες α και β αντίστοιχα είναι ίσες μεταξύ τους, οπότε δημιουργούνται δύο νοητά τρίγωνα ορθής γωνίας.



Εικόνα 48 Ηλιακή ακτινοβολία

Από αυτά τα τρίγωνα μπορούμε να εξάγουμε τους παρακάτω τύπους:

$$(4): S_H = S_{inc} \times \sin(\alpha) \text{ και}$$

$$(5): S_m = S_{inc} \times \sin(\alpha + \beta)$$

Εάν λύσουμε την (4) ως προς S_{inc} έχουμε: $S_{inc} = \frac{S_H}{\sin(\alpha)}$ και την αντικαταστήσουμε στην (5) έχουμε την:

$$(6): S_m = \frac{S_H \times \sin(\alpha + \beta)}{\sin(\alpha)}$$

5.3 Ωρες αιχμής του ήλιου

Ο όρος S_H όπως είπαμε είναι η οριζόντια ακτινοβολία που προσπίπτει στην επιφάνεια της γης και είναι μελετημένος από τη NASA, συνεπώς στις βάσεις δεδομένων της μπορούμε ανά πάσα στιγμή να την βρούμε για όποια περιοχή ενδιαφερόμαστε. Έτσι μπορούμε να βρούμε τον όρο S_m που μας δείχνει πόσες ώρες στη μέρα έχουμε κάθετη ακτινοβολία στα φ/β πάνελ, με σκοπό να βρούμε το μέσο όρο ωρών ηλιακής πρόσπτωσης στα φ/β πάνελ μας ανά το έτος. Για να το καταφέρουμε αυτό θα πρέπει να βρούμε τον όρο S_H και S_m για κάθε 21^η του μήνα (δηλαδή το πόσες ώρες ακτινοβολεί ο ήλιος προς το έδαφος) και για κάθε μήνα να βρούμε τον όρο S_m . Στη συνέχεια μέσω της (3) θα βρούμε τις τιμές των S_m και θα καταλήξουμε στο μέσο όρο κάθετης ακτινοβολίας ημερησίως για όλο το έτος:

21 ^η	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
S_H	1.89	2.65	3.65	4.57	5.52	6.64	6.60	5.93	4.62	2.91	1.93	1.52
S_m	1.37	1.93	2.66	3.32	4.02	4.83	4.80	4.31	3.36	2.12	1.41	1.12
M.O: 2.93												

Πίνακας 10 Μέσος όρος ακτινοβολίας

Οπότε σύμφωνα με τους υπολογισμούς μας ο μέσος όρος κάθετης ακτινοβολίας στο έτος είναι περίπου 3 ώρες ημερησίως για την περιοχή της εγκατάστασής μας.

5.4 Υπολογισμός απόστασης και πλήθους των φ/β πλαισίων

Στη συνέχεια θα υπολογίσουμε την απόσταση που θα πρέπει να έχουν τα φ/β πάνελ, κάτι το οποίο είναι απαραίτητο για να ικανοποιηθούν δύο συνθήκες. Η πρώτη είναι η αποφυγή σκίασης και η δεύτερη είναι επαρκής χώρος για να καλυφθεί ο αριθμός των φ/β πάνελ μας. Παρόμοια με τον υπολογισμό των γωνιών, έτσι και εδώ θα πρέπει να λάβουμε υπόψιν μας μια συγκεκριμένη μέρα. Εδώ όμως θα λάβουμε υπόψιν την 21^η Δεκεμβρίου, τη μεγαλύτερη νύχτα, διότι εισάγει τη περισσότερη σκίαση. Αρχικά θα πρέπει να βρούμε την γωνία δ για την 21^η Δεκεμβρίου από τον τύπο:

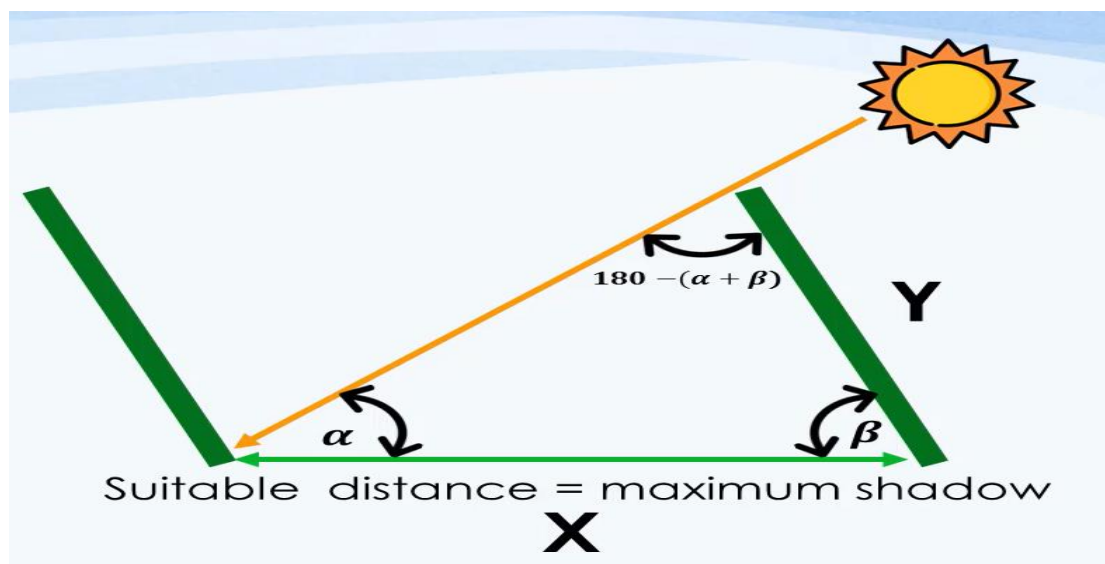
$$\delta = 23.5 \times \sin \left[\frac{360}{365} (284 + d) \right] = 22.15$$

και στη συνέχεια θα υπολογίσουμε την γωνία του ήλιου και του οριζόντιου επιπέδου για εκείνη την ημέρα:

$$\alpha = 90 - \phi + \delta = 72.15$$

Συνεπώς από την παρακάτω εικόνα μπορούμε να εξάγουμε έναν τύπο ο οποίος συνδυάζει το μήκος του κάθε φ/β πάνελ (Y) και την απόσταση που πρέπει να υπάρχει μεταξύ τους για αποφυγή σκίασης (X):

$$(7): \frac{X}{\sin(180 - a + b)} = \frac{Y}{\sin(a)}$$



Εικόνα 49 Υπολογισμός της απόστασης των πάνελ

Οπότε μπορούμε να βρούμε την απόσταση X γνωρίζοντας τον αριθμό $b=20^\circ$:

$$X = \frac{\sin(180 - a + b) \times Y}{\sin(a)} = 0.95 \mu$$

Συνεπώς θα πρέπει να υπάρχει απόσταση περίπου ενός μέτρου για την αποφυγή σκίασης.

Έχοντας βρει την ελάχιστη απόσταση για αποφυγή σκίασης πρώτα πρέπει να υπολογίσουμε τον χώρο που καταλαμβάνει κάθε φ/β πάνελ ξεχωριστά και έπειτα υπάρχουν δύο περιπτώσεις. Η πρώτη είναι υπολογισμός με βάση την παραγωγή ενέργειας που χρειαζόμαστε και χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις που δεν υπάρχει περιορισμός στον απαιτούμενο χώρο, ενώ η δεύτερη είναι υπολογισμός με βάση τον διαθέσιμο χώρο που υπάρχει. Στη δική μας περίπτωση έχουμε 30 τ.μ. διαθέσιμο χώρο οπότε θα χρησιμοποιήσουμε την δεύτερη περίπτωση.

$$(8): \text{single panel area} = \text{panel width} \times \text{panel height} = 1.922\text{m}$$

Συνεπώς η περιοχή που καταλαμβάνει το κάθε φ/π πάνελ είναι: 0.9937τ.μ. , δηλαδή 1 τ.μ. και το πλήθος των φ/β πάνελ θα βρεθεί από τον παρακάτω τύπο διαιρώντας τον συνολικό διαθέσιμο χώρο με το χώρο που καταλαμβάνει ένα φ/β πάνελ:

$$(9): \text{number of panels} = \frac{\text{total panels area}}{\text{single panel area}} = \frac{30\text{τ.μ.}}{1.922\text{τ.μ.}} = 14$$

5.5 Υπολογισμός μεγέθους αντιστροφέα

Αφού έχουμε τελειώσει τη μελέτη των φ/β πάνελ στη συνέχεια πρέπει να βρούμε το μέγεθος του αντιστροφέα που θα χρησιμοποιήσουμε. Αρχικά θα υπολογίσουμε τη μέγιστη παραγωγή ισχύος που μπορεί να μας παράγει η φ/β μας γεννήτρια κατά STC, κάτι που μπορούμε πολύ εύκολα να κάνουμε αφού έχουμε επιλέξει τα DE09.05 φ/β πάνελ και θα χρησιμοποιήσουμε 15 από αυτά:

$$(10): \text{station power} = \text{numer of panels} \times \text{single panel power} = 14 \times 400 = 5600 \text{ Wp}$$

Συνεπώς θα χρειαστούμε έναν αντιστροφέα ο οποίος θα παράγει 5600 Wp, κάτι που μας παρέχει η εταιρία Huawei. Από τη στιγμή που έχουμε να τοποθετήσουμε 14 φ/β πάνελ θα βάλουμε τα 7 στη νότια μεριά του κτηρίου και τα υπόλοιπα 7 στην βόρεια κάτι που σημαίνει ότι τα δεύτερα θα έχουν βόρειο προσανατολισμό. Αυτή η συνθήκη δημιουργεί την ανάγκη για δύο διαφορετικούς MPPT σε έναν αντιστροφέα διότι μέσα στη μέρα τα πάνελ ανάλογα με το προσανατολισμό θα έχουν και διαφορετικές παραγωγές, οι οποίες θα πρέπει να είναι ανεξάρτητες για να μην ρίχνουν η μια την άλλη. Επιπλέον η μέγιστη τάση που μπορεί να δεχτεί ο αντιστροφέας σε κάθε MPPT είναι 1100V. Η μέγιστη τάση που μας δίνουν τα 7 φ/β πάνελ είναι:

$$(11): V_{MAX} = 41.2 \times 7 = 288 \text{ V}$$

Είναι αρκετά κάτω από τη μέγιστη του αντιστροφέα σε κάθε είσοδο, πράγμα που σημαίνει ότι δεν διατρέχουμε κανένα κίνδυνο και το σύστημά μας μπορεί να ανταπεξέλθει σε αυτό το συνδυασμό των πάνελ. Επιπλέον επιλέγοντας το συγκεκριμένο μετατροπέα, ο οποίος διαθέτει 4 DC εισόδους για να εισάγουμε strings, έχουμε επιπλέον κενές θέσεις για μια μελλοντική αύξηση της ενέργειας σε περίπτωση επέκτασης της οροφής.

5.6 Έρευνα αγοράς και υπολογισμός κόστους

Η έρευνα αγοράς για μια κατασκευή αποτελεί έναν σημαντικό παράγοντα ανέγερσης του έργου καθώς σχετίζεται με τη ποιότητα και το κόστος κατασκευής. Με λίγα λόγια κάνοντας σωστό σχεδιασμό καταφέρνουμε να φέρουμε το έργο στα μέτρα μας όσο αφορά τη ποιότητα κατασκευής και το συνολικό κόστος του. Αυτό που ψάχνουμε σε γενικές γραμμές είναι υψηλή

ποιότητα εξυπηρέτησης καθώς και άμεση ανταπόκριση σε περίπτωση εγγύησης μετά την αγορά και όλα αυτά σε λογικά πλαίσια τιμών. Παρακάτω θα δούμε λίγο αναλυτικά κάποιες εταιρίες και θα καταλήξουμε από που θα προμηθευτούμε τα υλικά, για ποιο λόγο καθώς και το πόσο θα κοστίσει.

1. Φ/Β ΠΑΝΕΛ:

ΕΤΑΙΡΙΑ	Φ/Β ΠΑΝΕΛ	ΚΟΣΤΟΣ ΤΜΧ	ΚΟΣΤΟΣ ΓΙΑ 14
SMART COVER	TSM DE09-05	182 €	2.548 €
SECOND SOL	TSM DE09-05	154,05 €	2.156,7 €
SOLAR STORE	TSM DE09-05	184 €	2.576 €

Πίνακας 11 Τιμοκατάλογος Φ/Β πάνελ

Οι παραπάνω εταιρίες είναι εδραιωμένες για πολλά χρόνια στο τομέα των φωτοβολταϊκών και έχουν κάνει μια αξιόλογη πορεία στα χρόνια. Η πρώτη βρίσκεται στην Ελλάδα και συγκεκριμένα πολύ κοντά στη Θεσσαλονίκη ενώ οι άλλες 2 βρίσκονται στην Ευρώπη. Η εταιρία Smart Cover στα φ/β πάνελ προσφέρει μια έξτρα έκπτωση ανά τεμάχιο εάν προμηθευτούμε πάνω από 6. Η νέα τιμή ανέρχεται στα 167 € ανά τεμάχιο δηλαδή 2338 € συνολικό κόστος για τα φ/β πάνελ και σε συνδυασμό με τη πολυετή εμπειρία και την άμεση εξυπηρέτηση λόγω του ότι είναι πολύ κοντά στη τοποθεσία του έργου θα επιλέξουμε την συγκεκριμένη εταιρία για προμήθεια.

2. ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑΣ:

ΕΤΑΙΡΙΑ	ΜΟΝΤΕΛΟ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑ	ΚΟΣΤΟΣ
MG-SOLAR	HUAWEI SUN2000 25KTL-M1	2.798.46€
AENAOS SHOP	HUAWEI SUN2000 25KTL-M1	2.986.30€
SMART COVER	HUAWEI SUN2000 25KTL-M1	2.512,94 €

Πίνακας 12 Τιμοκατάλογος αντιστροφέων

Για την επιλογή του αντιστροφέα το βασικότερο που θα πρέπει να λάβουμε υπόψιν είναι η εξυπηρέτηση σε περίπτωση εγγύησης ειδάλως μένει εκτεθειμένη όλη η εγκατάσταση. Συνεπώς και για την περίπτωση του αντιστροφέα θα απευθυνθούμε στην εταιρία Smart Cover, λόγω της άμεσης επικοινωνίας.

3. ΣΥΣΤΟΙΧΙΑ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ:

ΕΤΑΙΡΙΑ	ΜΟΝΤΕΛΟ ΜΠΑΤΑΡΙΑΣ	ΚΟΣΤΟΣ
PV SHOP	LUNA SUN2000 15KWH	3.615,31 €
SMART COVER	LUNA SUN2000 15KWH	4,061 €
MG SOLAR	LUNA SUN2000 15KWH	3.159,30€

Πίνακας 13 Τιμοκατάλογος συστοιχίας μπαταριών

Στη περίπτωση της συστοιχία μπαταριών διακρίνουμε μια διαφορά στη τιμή καθώς η εταιρία που θα προμηθευτούμε τα υπόλοιπα έχει το μεγαλύτερο κόστος. Παρόλα αυτά εμείς θα προμηθευτούμε τη συστοιχία από την ίδια εταιρία λόγω και πάλι της άμεσης ανταπόκρισης σε περίπτωση χρήσης της εγγύησης, ελπίζοντας ότι θα γίνει επιπλέον έκπτωση δεδομένου ότι προμηθευόμαστε τα βασικά υλικά μας από την ίδια εταιρία.

4. HUAWEI BACKUP BOX και SMART POWER SENSOR:

Τέλος για τις δύο αυτές συσκευές θα απευθυνθούμε στην Smart Cover διότι η τιμή κυμαίνεται σε πολύ καλά πλαίσια κοστίζοντας 949 € το Backup box και 166.94 € ο smart power sensor, συνολικά **1.115,94 €**.

5. Αναλώσιμα υλικά εγκατάστασης:

Για τα αναλώσιμα υλικά οι πιο εδραιωμένες εταιρίες με τη μεγαλύτερη γκάμα υλικών είναι οι TEXNOMAT και ΚΑΥΚΑΣ. Οι τιμές κυμαίνονται στα ίδια πλαίσια και στις δυο εταιρίες όπως και η διαθεσιμότητα, πράγμα που σημαίνει ότι δεν υπάρχει κάποιος ιδιαίτερος λόγος να επιλέξουμε κάποια συγκεκριμένη για τα υλικά μας. Παρόλα αυτά θα επιλέξουμε την TEXNOMAT για το λόγο ότι έχουμε προμηθευτεί και άλλη φορά από εκεί.

- Καλώδιο:

Από τη στιγμή που τα πάνελ θα είναι σε σειρά και θα συνδεθούν μεταξύ τους, μειώνουμε την ανάγκη για έξτρα καλώδιο, συνεπώς θα χρειαστούμε καλώδιο solar μόνο για τις παροχές του αντιστροφέα προς τα δυο string. Η απόσταση από τα φ/β πάνελ μέχρι τον αντιστροφέα στον πιο κάτω όροφο είναι γύρω στα 20 μέτρα, συνεπώς θα χρειαστούμε για το κάθε string 20 μέτρα μαύρο και 20 μέτρα κόκκινο. Συνολικά χρειαζόμαστε 80 μέτρα, εμείς όμως θα προμηθευτούμε 100 για να έχουμε ένα ελάχιστο πλεόνασμα για παν ενδεχόμενο. Η τιμή του είναι 1.18 € ανά μέτρο συνεπώς:

$$\text{κόστος καλωδίου} = 1.18 \times 100 = 118 \text{ €}$$

- MC4 Connectors:

Για τον ίδιο λόγο με παραπάνω θα χρειαστούμε connectors μόνο για τα καλώδια παροχής. Συνεπώς θα προμηθευτούμε με 10 connectors για να έχουμε 2 εφεδρικούς. Η τιμή του κάθε connector είναι 1.67 € οπότε:

$$\text{κόστος mc4} = 1.67 \times 10 = 16.7 \text{ €}$$

- Σωλήνας spiral για προστασία καλωδίων:

Θα χρειαστούμε σωλήνα για τη προστασία των παροχηκών καλωδίων από τη φθορά και τη βροχή. Κάθε ζευγάρι καλωδίου θα χρειαστεί 20 μέτρα για να προστατευτεί τόσο στη ταράτσα όσο και εντός τοίχων προστατεύεται ο άνθρωπος σε περίπτωση επαφής. Θα προμηθευτούμε 10 έξτρα μέτρα για να έχουμε εφεδρικά και το μέτρο κοστίζει 1,80 € άρα:

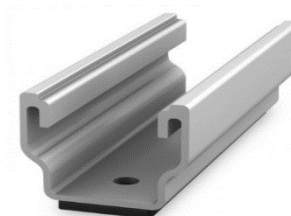
$$\text{κόστος spiral} = 1,80 \times 50 = 90 \text{ €}$$

6. Υλικά στήριξης σε βιομηχανική στέγη:

- K2 Multirail 10:

Θα χρειαστούμε 32 συνδέσμους ένωσης των πάνελ για κάθε γωνία σε τιμή τεμαχίου 3,77 €, δηλαδή:

$$\text{κοστος multirail} = 3,77 \times 32 = 120,64 \text{ €}$$



Εικόνα 50 Σύνδεσμος ένωσης πάνελ

- Κοχλίες με ροδέλα στεγανοποίησης:

Κάθε σύνδεσμος multirail βιδώνεται στη λαμαρίνα με 2 κοχλίες συνεπώς χρειαζόμαστε 64 και η τιμή του τεμαχίου ανέρχεται στα 0.6 € οπότε:

$$\text{κόστος κοχλία} = 64 \times 0.6 = 38,4 \text{ €}$$



Εικόνα 51 Κοχλίας με ροδέλα στεγανοποίησης

- Τεμάχια στήριξης των πάνελ (Πλευρικά και ενδιάμεσα):

Θα χρειαστούμε 8 πλευρικά τεμάχια για να στηρίξουμε τα 4 πάνελ που βρίσκονται στην αρχή και στο τέλος των string και 24 ενδιάμεσα τα οποία θα συνδέουν τα πάνελ μεταξύ τους. Στο σύνολο χρειαζόμαστε 32. Η τιμή είναι η ίδια και για τα 2 στα 2 €:

$$\text{κόστος clamps: } 32 \times 2 = 64\text{€}$$



Εικόνα 52 Τεμάχιο στήριξης πάνελ

- Inox περικόχλιο με πτερύγιο και inox κοχλίας Allen:

Το περικόχλιο μαζί με το κοχλία βιδώνουν στα τεμάχια στήριξης για να σταθεροποιήσουν τα φ/β πάνελ στη στέγη. Θα χρειαστούμε 32 από το καθένα καθώς έχουμε 32 τεμάχια στήριξης. Ο κοχλίας ανά τεμάχιο κοστίζει 0,7€ ενώ το περικόχλιο 1,5€ συνεπώς:

$$\text{κόστος Allen} = 0,7 \times 32 = 22,4 \text{ €}$$

$$\text{κόστος περικόχλιου} = 1,5 \times 32 = 48 \text{ €}$$



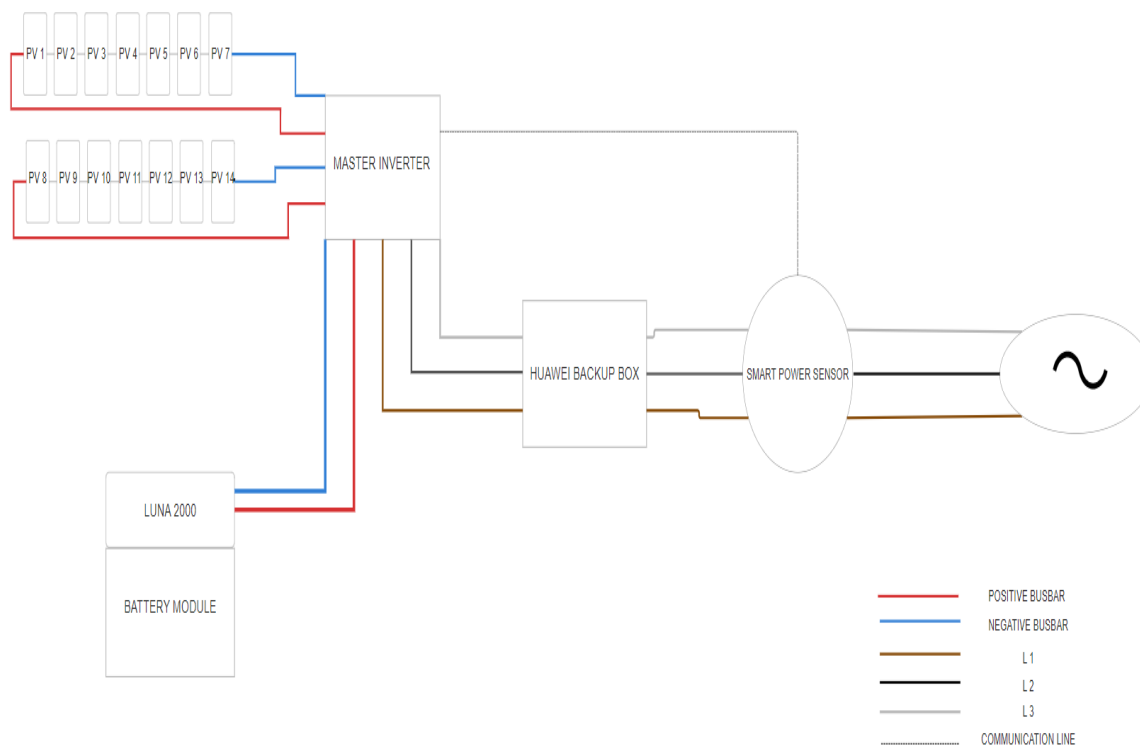
Εικόνα 53 Περικόχλιο με πτερύγιο και κοχλίας Allen

Τα υλικά στήριξης θα προμηθευτούν από την εταιρία Smart Cover εκτός από το K2 Multirail 10 το οποίο θα προμηθευτούμε από την εταιρία K2. Το συνολικό κόστος του έργου ανέρχεται στα:

$$\text{κόστος έργου} = 10.546,02\text{€}$$

5.7 Ηλεκτρολογικό σχέδιο εγκατάστασης

Παρακάτω θα δούμε το ηλεκτρολογικό σχέδιο της εγκατάστασης.



Εικόνα 54 Ηλεκτρολογικό σχέδιο της εγκατάστασης

Ο έξυπνος αισθητήρας ισχύος διαθέτει μια συνεχόμενη και αδιάλειπτη επικοινωνία με τον αντιστροφέα με σκοπό το συνεχή έλεγχο της ανάγκης ενέργειας για την κατανάλωση και την φόρτιση της μπαταρίας. Ο αντιστροφέας με τις πληροφορίες που λαμβάνει ρυθμίζει σε πραγματικό χρόνο, πόση ενέργεια θα χρειαστεί από το δίκτυο ηλεκτροδότησης ενώ αξιοποιεί παράλληλα την ενέργεια της συστοιχίας φ/β και αν χρειαστεί την ενέργεια της μπαταρίας. Με αυτό το τρόπο καταφέρνει να αξιοποιεί πλήρως την ενέργεια από τις ανανεώσιμες πηγές που διαθέτουμε και να χρησιμοποιεί όσο το δυνατόν λιγότερο το δίκτυο ηλεκτροδότησης για τη μέγιστη εξοικονόμηση ενέργειας. Επιπλέον έχει τη δυνατότητα να φορτίζει τη συστοιχία μπαταριών μέσω του δικτύου όταν δεν υπάρχει μεγάλη ζήτηση, κυρίως τις νυχτερινές ώρες, καθώς η τιμή αγοράς της kWh είναι αρκετά χαμηλότερη και να χρησιμοποιεί τις μπαταρίες στις περιπτώσεις που υπάρχει μεγάλη ζήτηση, δηλαδή υψηλότερη τιμή kWh.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΣΒΕΣΗ

Σε αυτό το κεφάλαιο έχοντας τελειώσει με την επιλογή των υλικών και τη μελέτη της εγκατάστασης θα κάνουμε μια γενική σύγκριση, σε θεωρητικές τιμές, τιμές προσομοίωσης στο πρόγραμμα PVSystem, καθώς και υπολογισμό απόσβεσης του κόστους του έργου με τη πάροδο των χρόνων. Για τον υπολογισμό των θεωρητικών τιμών θα πρέπει να υπολογίσουμε την ενέργεια που παράγει το σύστημα για κάθε μήνα. Αυτό θα το υπολογίσουμε λαμβάνοντας υπόψη την τιμή S_h για το κάθε μήνα. Η συνολική ισχύς των φ/β πάνελ του συστήματός μας είναι:



Εικόνα 55 Στατιστική μελέτη για την απόσβεση

$$P_{ολ} = N. of panels \times P_{nom} = 5600 W_p$$

Συνεπώς για να βρούμε την συνολική παραγωγή ενέργειας για το κάθε μήνα θα πρέπει να πολλαπλασιάσουμε την συνολική παραγόμενη ισχύ $P_{ολ}$ με τη κάθετη ακτινοβολία του ήλιου (S_h) και τον αριθμό των ημερών του μήνα από το τύπο:

$$E_{month} = P_{ολ} \times S_{h(month)} \times N_{days(month)}$$

Από τη στιγμή που έχουμε τις θεωρητικές τιμές παραγωγή για το κάθε μήνα μπορούμε να

ΜΗΝΑΣ	S_h	ΗΜΕΡΕΣ ΜΗΝΑ	$E_{month}(W_h)$
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	1,89	31	328.104
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	2,65	28	415.520
ΜΑΡΤΙΟΣ	3,65	31	633.640
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	4,57	30	767.760
ΜΑΙΟΣ	5,52	31	958.272
ΙΟΥΝΙΟΣ	6,64	30	1.115.520
ΙΟΥΛΙΟΣ	6,60	31	1.145.760
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	5,93	31	1.029.448
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	4,62	30	776.160
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	2,91	31	505.176
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	1,93	30	324.240
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	1,52	31	263.872

βρούμε την συνολική ετήσια παραγωγή από το παρακάτω άθροισμα:

$$E_{year} = \sum E_{month} = 8.263,472 \text{ kWh}$$

Εκτός από θεωρητικό υπολογισμό έχουμε κάνει και μια προσομοίωση του συστήματος στο πρόγραμμα PVsyst, το οποίο κάνει πολύ αναλυτική προσομοίωση και είναι αρκετά ευέλικτο σχετικά με τις παραμέτρους που μπορούμε να εισάγουμε για το σύστημά μας.



Εικόνα 56 Λογότυπο της εφαρμογής προσομοίωσης

Εισάγουμε τα ακριβή μοντέλα φ/β πάνελ αντιστροφέα και συστοιχίας μπαταριών, καθώς την ακριβή γεωγραφική τοποθεσία μέσω συντεταγμένων και το πρόγραμμα μας έδωσε μια πλήρη αναφορά την οποία θα δούμε παρακάτω:

PVsyst - Simulation report

Grid-Connected System

Project: Πτυχιακη

Variant: New simulation variant

No 3D scene defined, no shadings

System power: 5.60 kWp

Thémi - Greece

Author

Εικόνα 57 Αρχική εικόνα προσομοίωσης



PVsyst V7.4.2
 VCO, Simulation date:
 13/09/23 11:23
 with v7.4.2

Project: Πτυχιακη
 Variant: New simulation variant

Project summary			
Geographical Site Thérmi Greece	Situation		Project settings
	Latitude	40.54 °N	Albedo
	Longitude	23.02 °E	
	Altitude	35 m	
	Time zone	UTC+2	
Meteo data Thérmi Meteonorm 8.1 (1992-2006), Sat=5% - Synthetic			

System summary			
Grid-Connected System	No 3D scene defined, no shadings		
PV Field Orientation	Near Shadings	User's needs	
Fixed plane	No Shadings	Unlimited load (grid)	
Tilt/Azimuth	20 / 0 *		
System information			
PV Array		Inverters	
Nb. of modules	14 units	Nb. of units	1 unit
Pnom total	5.60 kWp	Pnom total	6.00 kWac
		Pnom ratio	0.933

Results summary			
Produced Energy	8148.92 kWh/year	Specific production	1455 kWh/kWp/year
		Perf. Ratio PR	84.38 %

Table of contents	
Project and results summary	2
General parameters, PV Array Characteristics, System losses	3
Main results	4
Loss diagram	5
Predef. graphs	6
Single-line diagram	7

Εικόνα 58 Δεδομένα προσομοίωσης



PVsyst V7.4.2
VC0, Simulation date:
13/09/23 11:23
with v7.4.2

General parameters		
Grid-Connected System	No 3D scene defined, no shadings	
PV Field Orientation	Sheds configuration	Models used
Orientation	No 3D scene defined	Transposition Perez
Fixed plane		Diffuse Perez, Meteonorm
Tilt/Azimuth 20 / 0 °		Circumsolar separate
Horizon	Near Shadings	User's needs
Free Horizon	No Shadings	Unlimited load (grid)

PV Array Characteristics			
PV module		Inverter	
Manufacturer Generic		Manufacturer Generic	
Model TSM-DE09-08-405		Model SUN2000-6KTL-M1-380V	
(Custom parameters definition)		(Original PVsyst database)	
Unit Nom. Power 400 Wp		Unit Nom. Power 6.00 kWac	
Number of PV modules 14 units		Number of inverters 2 * MPPT 50% 1 unit	
Nominal (STC) 5.60 kWp		Total power 6.0 kWac	
Modules 2 Strings x 7 In series		Operating voltage 140-980 V	
At operating cond. (50°C)		Max. power (=>47°C) 6.60 kWac	
Pmpp 5.16 kWp		Pnom ratio (DC:AC) 0.93	
U mpp 220 V		No power sharing between MPPTs	
I mpp 23 A			
Total PV power		Total inverter power	
Nominal (STC) 6 kWp		Total power 6 kWac	
Total 14 modules		Number of inverters 1 unit	
Module area 26.9 m²		Pnom ratio 0.93	

Array losses								
Thermal Loss factor	DC wiring losses	Module Quality Loss						
Module temperature according to irradiance	Global array res. 155 mΩ	Loss Fraction	-0.8 %					
Uc (const) 20.0 W/m²K	Loss Fraction 1.5 % at STC							
Uv (wind) 0.0 W/m²K/m/s								
Module mismatch losses								
Loss Fraction 2.0 % at MPP								
IAM loss factor								
Incidence effect (IAM): Fresnel, AR coating, n(glass)=1.526, n(AR)=1.290								
0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.999	0.987	0.962	0.892	0.816	0.681	0.440	0.000

Εικόνα 59 Γενικοί παράμετροι, Χαρακτηριστικά συστοιχίας φωτοβολταϊκών, απώλειες

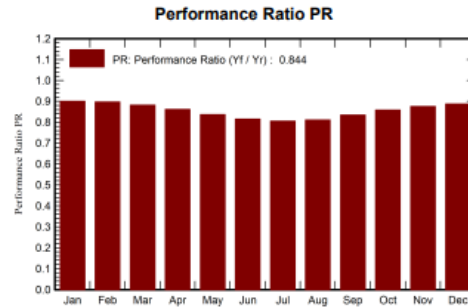
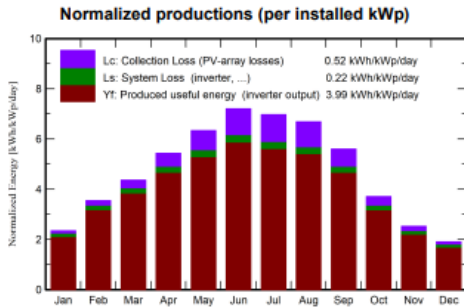


PVsyst V7.4.2

VC0, Simulation date:
13/09/23 11:23
with v7.4.2

Main results

System Production
Produced Energy 8148.92 kWh/year
Specific production 1455 kWh/kWp/year
Perf. Ratio PR 84.38 %



Balances and main results

	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	PR
	kWh/m ²	kWh/m ²	°C	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh	kWh	ratio
January	53.3	31.30	3.76	72.9	70.7	392	367.4	0.900
February	76.9	37.13	5.95	99.4	97.1	528	499.4	0.897
March	117.6	63.85	9.90	135.4	132.1	705	688.9	0.882
April	149.6	71.16	14.17	162.9	159.2	827	785.6	0.861
May	192.7	84.40	20.23	196.4	191.6	967	920.3	0.837
June	216.4	78.89	25.31	216.2	211.2	1037	987.4	0.816
July	214.4	77.59	28.29	216.2	211.0	1025	975.1	0.805
August	194.0	74.65	27.80	207.3	202.7	989	941.5	0.811
September	145.2	52.25	21.17	168.1	164.5	827	785.9	0.835
October	93.3	46.77	15.87	114.9	112.3	584	552.4	0.858
November	56.4	30.73	10.73	75.7	73.7	396	371.5	0.876
December	43.4	26.79	5.61	59.1	57.4	315	293.6	0.887
Year	1553.3	675.54	15.79	1724.6	1683.6	8592	8148.9	0.844

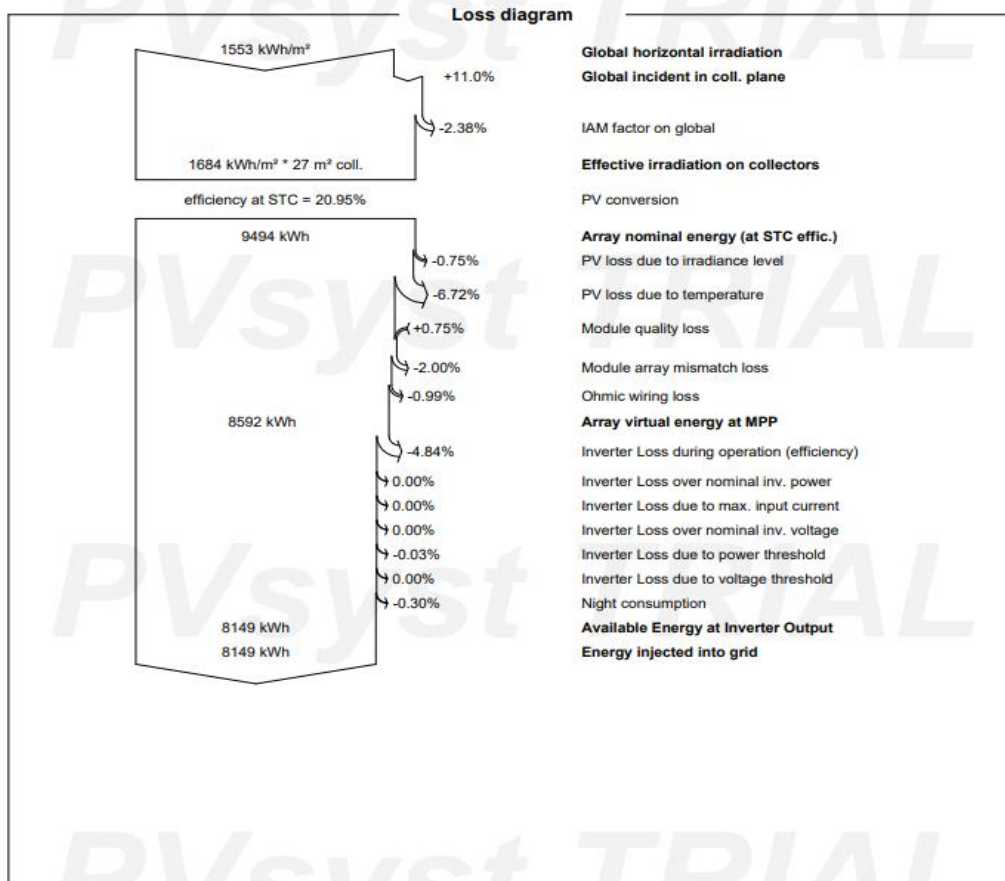
Legends

GlobHor Global horizontal irradiation
DiffHor Horizontal diffuse irradiation
T_Amb Ambient Temperature
GlobInc Global incident in coll. plane
GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings
EArray Effective energy at the output of the array
E_Grid Energy injected into grid
PR Performance Ratio



PVsyst V7.4.2
VC0, Simulation date:
13/09/23 11:23
with v7.4.2

Project: Πτυχιακή
Variant: New simulation variant

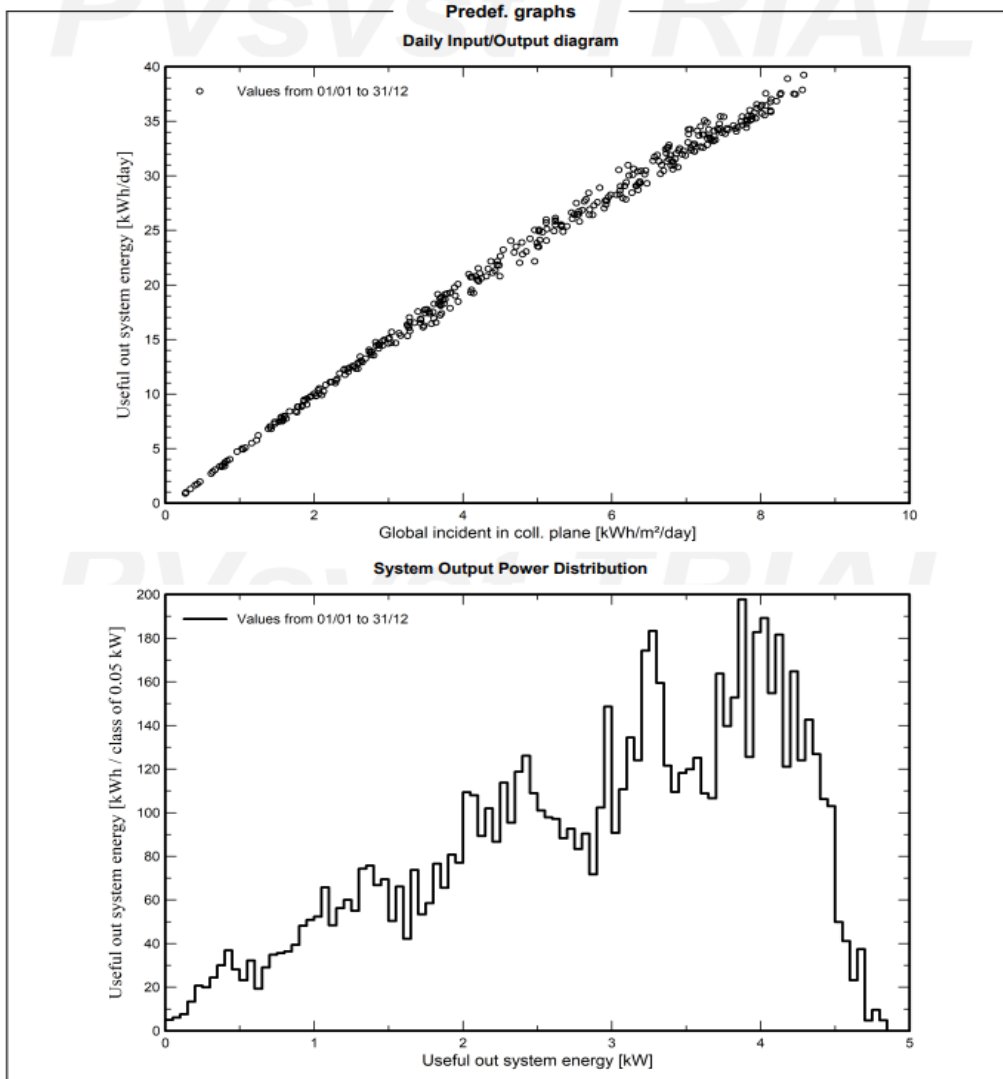


Εικόνα 61 Διάγραμμα απωλειών



PVsyst V7.4.2
VC0, Simulation date:
13/09/23 11:23
with v7.4.2

Project: Πτυχιακή
Variant: New simulation variant

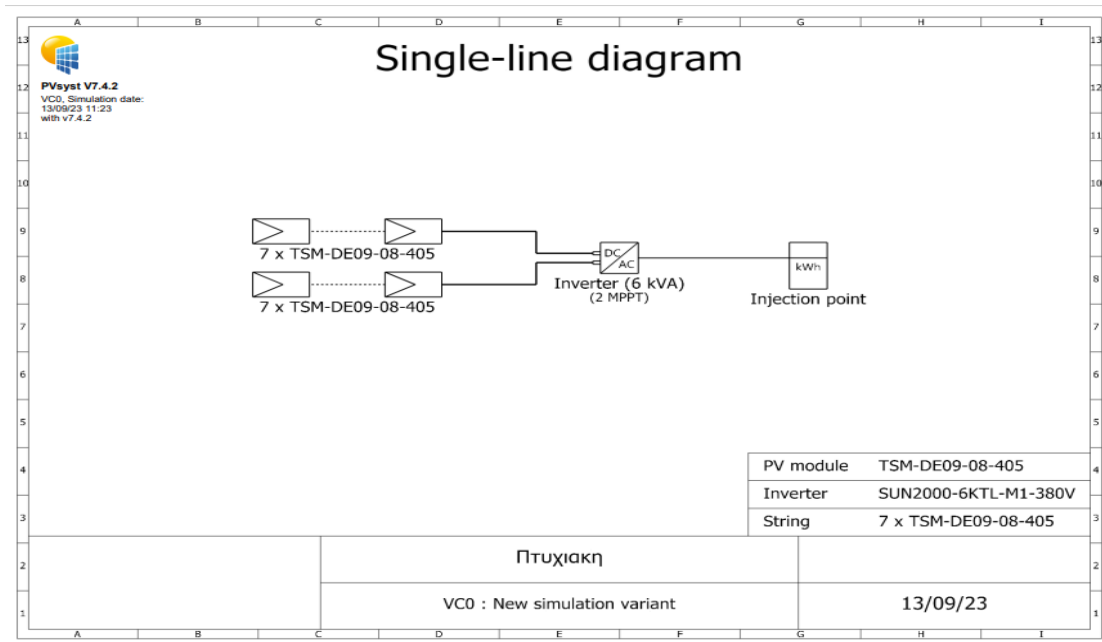


13/09/23

PVsyst Evaluation mode

Page 6/7

Εικόνα 62 Διαγράμματα αποτελεσμάτων



Εικόνα 63 Μονογραμμικό διάγραμμα

Οι θεωρητικές τιμές της συνολικής ενέργειας που υπολογίσαμε είναι πολύ κοντά στις τιμές της προσομοίωσης για την ακρίβεια:

$$E_{dif} = E_{total} - E_{grid} = 8.263,472 - 8.148,9 = 114,574 \text{ kWh}$$

Το τελευταίο κομμάτι της μελέτης έχει να κάνει με την απόσβεση του συστήματος συγκριτικά με το κεφάλαιο που δαπανήθηκε. Αρχικά θα βρούμε τη μέση τιμή ετήσιας παραγωγής ανάμεσα στη θεωρητική τιμή και της προσομοίωσης:

$$E = \frac{E_{total} + E_{grid}}{2} = 8.206,186$$

Στη δική μας περίπτωση, ενός συστήματος net-metering παρότι δεν μπορούμε να πουλήσουμε τη δική μας παραγωγή μέσω του συμψηφισμού αυτό που καταφέρνουμε είναι να παράγουμε τη δική μας ενέργεια, συνεπώς καταφέρνουμε να απαλλαγούμε από την αγορά της kWh για όση ενέργεια καταφέρνουμε να παράγουμε. Η τιμή της κιλοβατώρας για αγορά ανέρχεται στα 0,17 € ανά kWh, συνεπώς:

$$income = E \times 0,17 = 1.395 \text{ €}$$

Οπότε μπορούμε να υπολογίσουμε τα χρόνια στα οποία θα γίνει απόσβεση του κόστους του έργου με τη παρακάτω διαίρεση:

$$years = \frac{\text{κοστος εργου}}{income} = 7,5$$

Με αυτό το τρόπο καταφέρνουμε να κάνουμε μια μελλοντική επένδυση η οποία εκτός από παροχή ενέργειας σε περίπτωση βλάβης του δικτύου ηλεκτροδότησης, μας παρέχει έναν

έξυπνο και ευέλικτο τρόπο να ελέγχουμε και να φέρνουμε στα μέτρα μας την κατανάλωση από το δίκτυο ηλεκτροδότησης παράγοντας παράλληλα τη δική μας ενέργεια.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο σκοπός της πτυχιακής εργασίας ήταν η μελέτη ενός συστήματος παροχής ενέργειας 25kW με χρήση φωτοβολταϊκών σε στέγη για τη κάλυψη των αναγκών ενός αυτόματου σταθμού στάθμευσης αυτοκινήτων. Η δέσμευση χώρου στα 30 τ.μ. δυσκόλεψαν τα πράγματα καθώς ένα μειονέκτημα που έχει η ηλιακή ενέργεια είναι ότι πρέπει να δαπανηθεί μεγάλος όγκος χώρου για να υπάρχει αφθονία. Επιπλέον όπως αναλύσαμε την ηλιακή ενέργεια βγήκαμε στο συμπέρασμα ότι οι ώρες παροχής ηλιακής ακτινοβολίας είναι αρκετά περιορισμένες (5 ώρες το καλοκαίρι και 2,5 ώρες το χειμώνα). Υπολογίσαμε το κόστος εγκατάστασης και βρήκαμε ότι θα χρειαστούμε 6 χρόνια λειτουργίας για την απόσβεση, κάτι που είναι πολύ θετικό αν σκεφτούμε ότι και τα πρώτα 6 χρόνια είμαστε καλυμμένοι από βλάβες δικτύου ηλεκτροδότησης. Συνεπώς καταλήγουμε στο γενικό συμπέρασμα ότι παρόλες τις απώλειες που υπάρχουν στα συστήματα που αξιοποιούν την ηλιακή ενέργεια, ακόμα και έτσι καταφέρνουμε να έχουμε το πλήρη έλεγχο της παραγωγής και κατανάλωσης της ενέργειας μας χρησιμοποιώντας μια από τις πιο καθαρές και άφθονες στο χρόνο πηγές ενέργειας.

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1 «Πηγές Ενέργειας».....	9
Εικόνα 2 «Λιγνίτης».....	10
Εικόνα 3 « Το σήμα της Πυρηνικής Ενέργειας».....	10
Εικόνα 4 «Εξαγωγή Πετρελαίου»	11
Εικόνα 5 « Εργοστάσιο Φυσικού Αερίου».....	12
Εικόνα 6 « Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας».....	12
Εικόνα 7 « Παράδειγμα Αιολικής ενέργειας».....	13
Εικόνα 8 « Τεχνητό φράγμα για υδραυλική ενέργεια».....	14
Εικόνα 9 « Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο».....	16
Εικόνα 10 « Φωτοβολταϊκή κυψέλη».....	17
Εικόνα 11 « Φωτοβολταϊκό πλαίσιο».....	17
Εικόνα 12 « Σύνδεση φωτοβολταϊκών σε σειρά».....	19
Εικόνα 13 « Παράλληλη σύνδεση φωτοβολταϊκών».....	20
Εικόνα 14 « Γράφημα μέγιστου σημείου ισχύος MPPT».....	23
Εικόνα 15 « Κλίση φωτοβολταϊκού Πάνελ».....	24
Εικόνα 16 « Γράφημα επίδοσης φωτοβολταϊκού με βάση την ώρα της ημέρας.....	25
Εικόνα 17 « Μπλοκ διάγραμμα υβριδικού ηλιακού συστήματος»... ..	26
Εικόνα 18 « Λειτουργία υβριδικού φωτοβολταϊκού».....	27
Εικόνα 19 « Διαμόρφωση Πλάτους Παλμού (PMW)».....	29
Εικόνα 20 « Γράφημα MPPT».....	29
Εικόνα 21 « Γράφημα εκφόρτισης της μπαταρίας».....	33
Εικόνα 22 « Τάσης λειτουργίας».....	33
Εικόνα 23 « Αντιστροφείς».....	34
Εικόνα 24 « Έξοδος μετατροπέα καθαρού ημιτονικού κύματος».....	35
Εικόνα 25 « Έξοδος μετατροπέα τροποποιημένου ημιτονικού κύματος».....	35
Εικόνα 26 « Έξοδος αντιστροφέα τετραγωνικού παλμού».....	36
Εικόνα 27 « Σύνδεση πάνελ (σε σειρά) με τον αντιστροφέα».....	36
Εικόνα 28 « Πάνελ συνδεδεμένα με μικρό-αντιστροφέα».....	37
Εικόνα 29 « Απεικόνιση διάταξης bypass & blocking».....	38

Εικόνα 30 « Βασικές τεχνικές λειτουργίας και ελέγχου».....	39
Εικόνα 31 « Η έξοδος του φωτοβολταϊκού συστήματος με πυκνωτή στην έξοδο».....	43
Εικόνα 32 « Αντιστροφέας από την εταιρία SMA».....	47
Εικόνα 33 « Αντιστροφέας από την εταιρία Fronius».....	48
Εικόνα 34 « Αντιστροφέας από την εταιρία Huawei».....	49
Εικόνα 35 « Αντιστροφέας από την εταιρία Sungrow».....	51
Εικόνα 36 « Συστοιχία μπαταριών».....	52
Εικόνα 37 « Ασφάλεια 16A».....	54
Εικόνα 38 « Καλώδιο ρεύματος».....	54
Εικόνα 39 « MC4 connectors».....	54
Εικόνα 40 « Βάση στήριξης πάνελ σε οροφή».....	55
Εικόνα 41 « Σωλήνας διαμέτρου φ32 για επικάλυψη καλωδίου».....	55
Εικόνα 42 « Backup Box από την εταιρία Huawei».....	56
Εικόνα 43 « Σχηματικό διάγραμμα της εγκατάστασης».....	57
Εικόνα 44 « Huawei Smart Power Sensor».....	59
Εικόνα 45 « Βελτιστοποιητής».....	58
Εικόνα 46 « Παράδειγμα σύνδεσης με βελτιστοποιητή».....	59
Εικόνα 47 « Smart Dongle».....	59
Εικόνα 48 « Ηλιακή ακτινοβολία».....	61
Εικόνα 49 «Υπολογισμός απόστασης των πάνελ».....	62
Εικόνα 50 « Σύνδεσμος ένωσης πάνελ».....	65
Εικόνα 51 « Κοχλίας με ροδέλα στεγανοποίησης».....	66
Εικόνα 52 « Τεμάχιο στήριξης πάνελ».....	66
Εικόνα 53 « Περικόχλιο με πτερύγιο και κοχλίας Allen».....	66
Εικόνα 54 « Ηλεκτρολογικό σχέδιο εγκατάστασης».....	67
Εικόνα 55 « Στατιστική μελέτη και απόσβεση».....	68
Εικόνα 56 «Λογότυπο της εφαρμογής προσομοίωσης».....	69
Εικόνα 57 « Αρχική εικόνα προσομοίωσης».....	70
Εικόνα 58 « Δεδομένα προσομοίωσης».....	71
Εικόνα 59 « Γενικοί παράμετροι, Χαρακτηριστικά συστοιχίας φωτοβολταϊκών και απώλειες».....	72

Εικόνα 60 « Κύρια αποτελέσματα».....	73
Εικόνα 61 « Διάγραμμα απωλειών».....	74
Εικόνα 62 « Διαγράμματα αποτελεσμάτων».....	75
Εικόνα 63 « Μονόγραμμα διάγραμμα».....	76

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1 « Χαρακτηριστικά των πάνελ της εταιρίας Sunpower».....	45
Πίνακας 2 «Χαρακτηριστικά των πάνελ της εταιρίας Trina solar».....	46
Πίνακας 3 «Χαρακτηριστικά των πάνελ της εταιρίας Qcells».....	47
Πίνακας 4 « Χαρακτηριστικά των πάνελ της εταιρίας REC Solar».....	47
Πίνακας 5 « Χαρακτηριστικά αντιστροφέα SMA».....	49
Πίνακας 6 « Χαρακτηριστικά αντιστροφέα Fronius».....	50
Πίνακας 7 « Χαρακτηριστικά αντιστροφέα Huawei».....	52
Πίνακας 8 « Χαρακτηριστικά αντιστροφέα Sungrow».....	53
Πίνακας 9 « Τεχνικά χαρακτηριστικά συστοιχίας μπαταριών».....	54
Πίνακας 10 «Μέσος όρος ακτινοβολίας».....	64
Πίνακας 11 « Τιμοκατάλογος Φ/Β πάνελ».....	66
Πίνακας 12 « Τιμοκατάλογος Αντιστροφέων».....	66
Πίνακας 13 « Τιμοκατάλογος συστοιχίας μπαταριών».....	66
Πίνακας 14 « Συνολική παραγωγή ανά μήνα».....	70

Βιβλιογραφία

Βιομάζα : <http://www.allaboutenergy.gr/Biomaza.html> ,

<https://www.certh.gr/dat/D26D45EC/file.pdf>

Κύριες Πηγές Ενέργειας : https://el.wikipedia.org/wiki/Πηγή_ενέργειας

Λιγνίτης : <http://www.orykta.gr/oryktes-protos-yles-tis-ellados/latomika-orykta/30-syntomes-perigrafes-orykton/94-lignitis>

Πυρηνική Ενέργεια : https://www.europarl.europa.eu/ftu/pdf/el/FTU_2.4.10.pdf

Πετρέλαιο : <http://www.allaboutenergy.gr/Petroleum.html>

Φυσικό Αέριο : <http://www.allaboutenergy.gr/NaturalGas.html>

<https://www.energia.gr/article/198082/germania-apo-ape-to-483-ths-hlektrikhs-energeias-poy-parhthh-to-2022>

<https://ypen.gov.gr/energeia/ape/technologies/geothermia/>

<https://blogs.e-me.edu.gr/hive-d2-protovathmia-ekpaidefsi-1759/υδραυλική-ενέργεια/>

<https://helapco.gr/en/greek-pv-market-investment-opportunities/>

Φωτοβολταϊκό φαινόμενο https://energyeducation.ca/encyclopedia/Photovoltaic_effect

Πάνελ μέρη εικόνα

<https://www.eco2day.gr/%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CF%8A%CE%BA%CE%AC-%CF%80%CE%AC%CE%BD%CE%B5%CE%BB/>

Ενθυλάκωση

[https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S235284782100068X#:~:text=Encapsulate%3A%20PV%20cells%20as%20mounted,vinyl%20acetate%20\(EVA\)%20film.](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S235284782100068X#:~:text=Encapsulate%3A%20PV%20cells%20as%20mounted,vinyl%20acetate%20(EVA)%20film.)

Τύποι πάνελ <https://aurorasolar.com/blog/solar-panel-types-guide/#:~:text=The%204%20Main%20Types%20of,%2C%20and%20thin%2Dfilm%20panels.>

<https://aurorasolar.com/blog/solar-panel-types-guide/#:~:text=The%204%20Main%20Types%20of,%2C%20and%20thin%2Dfilm%20panels.>

Τρόποι σύνδεσης πάνελ <https://www.alternative-energy-tutorials.com/solar-power/connecting-solar-panels-together.html#:~:text=For%20parallel%20connected%20solar%20panels,to%20your%20regulator%20and%20batteries.>

<https://www.alternative-energy-tutorials.com/solar-power/connecting-solar-panels-together.html#:~:text=For%20parallel%20connected%20solar%20panels,to%20your%20regulator%20and%20batteries.>

Τύποι συστημάτων <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/2014/5/4/how-solar-works>

pros and cons <https://mosolarapps.com/the-eight-pros-and-four-cons-of-solar-photovoltaic-cells/>

MPPT εικόνες https://www.researchgate.net/figure/Characteristic-curves-of-MPPT-a-power-voltage-curve-and-b-current-voltage-curve_fig7_278728718

efficiency <https://corporate.enelx.com/en/question-and-answers/are-solar-panels-energy-efficient>

Γενικά υβριδικού <https://na.panasonic.com/us/green-living/what-hybrid-solar-system-how-does-it-work-guide>

hybrid διάγραμμα

https://www.google.com/search?q=hybrid+solar+system+wo&rlz=1C1GCEU_elGR1043GR1043&sxsrf=APwXEddWmRsXhCLZcni3ryvtAVEn0fJJRA:1680161710893&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKewjTpcWPkoP-AhUxSvEDHTdQBbcQ_AUoAXoECAEQAw&biw=1536&bih=714&dpr=1.25#imgrc=kXDQ7PzcWsbmhM

thin film panel <https://www.ecowatch.com/solar/thin-film-solar-panels>

PWM εικόνα <https://www.thomsonlinear.com/en/support/tips/what-is-pwm>

βάθος εκφόρτισης εικόνα

https://www.google.com/search?q=depth+of+discharge&tbm=isch&ved=2ahUKEwiV54OGzIP-AhXQCuwKHdzTBmAQ2-cCegQIABAA&oq=depth+of+discharge&gs_lcp=CgNpbWcQAzoECCMQJ1CUAVjOBGCuDmgAcAB4AIABc4gBuAOSAQMwLjSYAQCgAQGqAQtn3Mtd2l6LWltZ8ABAQ&sclient=img&ei=bHglZjWBDNCV5AfcP5uABg&bih=714&biw=1536&rlz=1C1GCEU_elGR1043GR1043#imgrc=UgMe7NVaAcyZeM

Χωρητικότητα μπαταρίας <https://www.pveducation.org/pvcdrom/battery-characteristics/battery-capacity>

Βάθος εκφορτισης <https://federalbatteries.com.au/news/what-depth-discharge-and-why-it-so-important#:~:text=Depth%20of%20Discharge%20is%20defined,normally%20expressed%20as%20a%20percentage.>

τάση λειτουργίας

https://www.google.com/search?q=voltage+chart&rlz=1C1GCEU_elGR1043GR1043&oq=voltage+chart&aqs=chrome..69i57j0i512j0i22i3015j69i65.6708j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8#imgrc=O1nPMjMeB3PBBM

διαφορές ανοικτού κλειστού τύπου μπαταρίες

https://www.everybattery.com.au/deep_cycle_batteries_flooded_or_sealed.php

δομή κελιού https://energyeducation.ca/encyclopedia/Photovoltaic_cell

επίπεδα ελέγχου <https://encyclopedia.pub/entry/5867>

καθαρό ημίτονο

https://www.google.com/search?q=pure+sine+wave&rlz=1C1GCEU_elGR1043GR1043&sxsrf=APwXEdfZxpC9hzTNe5epvcxcu_I0JHmurA:1680270487708&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKewiYha-sp4b-AhWDUaQEHSUfC-YQ_AUoAnoECAEQBA&biw=1536&bih=656&dpr=1.25#imgrc=HSHTViJHXICzYM

solar inverters: https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_inverter

Εικόνες inverter: <https://instylesolar.com/blog/micro-inverters-vs-dc-optimisers/>

δίοδοι <https://www.electronics-tutorials.ws/diode/bypass-diodes.html>

βάση δεδομένων nasa <https://power.larc.nasa.gov/>

SMA εικόνα + datasheet

https://www.google.com/search?q=sma+sunny+tripower+smart+energy+10.0&tbm=isch&ved=2ahUKewij1PKzqZ-AhUji_0HHT6_DaIQ2-cCegQIABAA&oq=sma+sunny+tripower+smart&gs_lcp=CgNpbWcQARgBMgcIABAYEIAEMgcIABAYEIAEOgQIIxAnOgUIABCABDoGCAAQBxAcOgQIABAEULoCWikSYPAcaABwAHgAgAGHAYgB-AaSAQMwLjeYAQCgAQGqAQtn3Mtd2l6LWltZ8ABAQ&sclient=img&ei=MQI0ZOP3MaOW9u8Pvv62kAo&bih=714&biw=1536&rlz=1C1GCEU_elGR1043GR1043#imgrc=pCFX61Q4pn0AjM

82

Εικόνα Fronius

https://www.google.com/search?rlz=1C1GCEU_elGR1043GR1043&sxsrf=APwXEdeVQmeS7eEvd8WQDKFU4OUKO56wJQ:1683699520518&q=fronius+gen24+plus+hybrid+inverter+datasheet&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwjWttC-jer-AhWSQ_EDHQhTAmS00pQJegQICxAB&biw=1536&bih=656&dpr=1.25#imgsrc=yx0G6VPn48AkM

Luna εικόνα:

https://www.google.com/search?q=luna+2000&rlz=1C1GCEU_elGR1043GR1043&sxsrf=APwXEdfgi0ZXFzVizCGaCnEWa4dkbXnu8Q:1686554008382&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwjfmcGkl73_AhU7SvEDHQQ3D1AQ_AUoAXoECAIQAw&biw=1536&bih=714&dpr=1.25#imgsrc=fnlqKj9RrB3LM

mc4 connectors [https://gr.rsdelivers.com/en/product/staubli/320078p0001320079p0001/staubli-female-male-panel-mount-mc4-connector-csa/7947243?cm_mmc=GR-PLA-DS3A--google--CSS_GR_GR_Connectors_Whoop--\(GR:Whoop!\)+Solar+Connectors--&matchtype=&pla-402263397000&s_kwcid=AL!14853!3!creative%7d!!!g!402263397000!&gclid=CjwKCAjw-b-kBhB-EiwA4fvKrBGUvnTgQhJAh_MnK7gY4fyBzcX7EmbbuH9ISZmSjsKZvUT7jEIEoRoCLEAQAvD_BwE&gclsrc=aw.ds](https://gr.rsdelivers.com/en/product/staubli/320078p0001320079p0001/staubli-female-male-panel-mount-mc4-connector-csa/7947243?cm_mmc=GR-PLA-DS3A--google--CSS_GR_GR_Connectors_Whoop--(GR:Whoop!)+Solar+Connectors--&matchtype=&pla-402263397000&s_kwcid=AL!14853!3!creative%7d!!!g!402263397000!&gclid=CjwKCAjw-b-kBhB-EiwA4fvKrBGUvnTgQhJAh_MnK7gY4fyBzcX7EmbbuH9ISZmSjsKZvUT7jEIEoRoCLEAQAvD_BwE&gclsrc=aw.ds)

Σωλήνες spiral: <https://www.skroutz.gr/s/33400076/Kouvidis-%CE%97%CE%BB%CE%B5%CE%BA%CF%84%CF%81%CE%BF%CE%BB%CE%BF%CE%B3%CE%B9%CE%BA%CF%8C%CF%82-%CE%A3%CF%89%CE%BB%CE%AE%CE%BD%CE%B1%CF%82-%CE%BC%CE%B5-%CE%94%CE%B9%CE%AC%CE%BC%CE%B5%CF%84%CF%81%CE%BF-32mm-2005032.html>

<https://taxidistignosi.wordpress.com/2014/10/06/%CF%86%CF%85%CF%83%CE%B9%CE%BA%CE%B7-%CE%BA%CE%B5%CF%86-%CE%B5%CE%BD%CE%B5%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1-%CE%B1%CE%BD%CE%B1%CE%BD%CE%B5%CF%89%CF%83%CE%B9%CE%BC%CE%B5%CF%83-%CE%BA%CE%B1%CE%B9-%CE%BC/>