



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΕΛΕΤΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ

ΑΓΓΕΛΗΣ ΣΤΑΥΡΟΣ, ΑΜ: 7794

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΣΧΟΪΝΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2023

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή

Πάτρα, Ημερομηνία:

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

1. _____, Υπογραφή:
2. _____, Υπογραφή:
3. _____, Υπογραφή:

Υπεύθυνη Δήλωση Φοιτητή

Βεβαιώνω ότι είμαι συγγραφέας αυτής της εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης έχω αναφέρει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επίσης βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά ειδικά για τη συγκεκριμένη εργασία.

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή Αγγελή Σταύρου που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου, μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημόσιου δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσής τους διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος και για όλο το χρόνο διάρκειας των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο για μελέτη και ανάγνωση δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, αποθήκευση, πώληση, εμπορική χρήση, μετάδοση, διανομή, έκδοση, εκτέλεση, «μεταφόρτωση» (downloading), «ανάρτηση» (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού. Ο συγγραφέας/δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών του δικαιωμάτων.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη ενός φωτοβολταϊκού πάρκου ισχύος 500KW. Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια αναφορά στους παράγοντες σχεδιασμού ενός ΦΒ πάρκου. Ακολουθεί το δεύτερο κεφάλαιο, όπου αναλύεται η λειτουργία και τα είδη των μετατροπέων και κατόπιν στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται κάποια τεχνικά ζητήματα που αφορούν τη λειτουργία των ΦΒ πάνελ. Τέλος στο τέταρτο και τελευταίο κεφάλαιο πραγματοποιείται η ηλεκτρολογική μελέτη και η μελέτη χωροθέτησης του φωτοβολταϊκού πάρκου.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	I
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	III
ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	VI
ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	VII
ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ	VIII
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	VIII
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΝΟΣ ΦΒ ΠΑΡΚΟΥ	1
1.1 Διάταξη και σκίαση	2
1.1.1 Γωνία κλίσης.....	2
1.1.2 Διαμόρφωση Φ/Β μονάδας.....	2
1.1.3 Διάστιχο μεταξύ σειρών	2
1.1.4 Προσανατολισμός	3
1.2 Επιλογή τεχνολογίας ΦΒ πάνελ	3
1.2.1 Ηλιακά πάνελ	3
1.3 Μετατροπείς	3
1.4 Μετασχηματιστές	4
1.5 Μπαταρίες	5
1.6 Ελεγκτές φόρτισης	6
1.7 Κατασκευές Συναρμολόγησης.....	6
1.8 Ηλεκτρολογικός Σχεδιασμός.....	6
1.8.1 Σύστημα DC	6
1.8.2 Καλωδίωση AC.....	7
1.8.3 Διακόπτης AC	7
1.9 Διαστασιολόγηση και επιλογή μετασχηματιστών.....	7

1.10	Υποσταθμός	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - Φ/Β ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ		9
2.1	Ο κατάλληλος μετατροπέας για κάθε εγκατάσταση	9
2.2	Λειτουργίες του Φ/Β μετατροπέα	10
2.3	Διαφορετικοί τύποι ηλιακών μετατροπέων	13
2.3.1	Κεντρικός ηλιακός μετατροπέας	13
2.3.1.1	Πλεονεκτήματα του κεντρικού ηλιακού μετατροπέα	14
2.3.1.2	Μειονεκτήματα του κεντρικού ηλιακού μετατροπέα	14
2.3.2	Ηλιακός μετατροπέας στοιχειοσειράς	15
2.3.2.1	Πλεονεκτήματα του ηλιακού μετατροπέα σειράς	16
2.3.2.2	Μειονεκτήματα του ηλιακού μετατροπέα σειράς;	17
2.3.3	Ηλιακός μικρό μετατροπέας	17
2.3.4	Βελτιστοποιητές ισχύος	18
2.3.4.1	Πλεονεκτήματα των βελτιστοποιητών ισχύος	18
2.3.4.2	Μειονεκτήματα των βελτιστοποιητών ισχύος	19
2.4	Υβριδικοί μετατροπέες	19
2.4.1.1	Πλεονεκτήματα υβριδικού μετατροπέα	20
2.5	Παράγοντες που επηρεάζουν τη ζωή ενός ηλιακού μετατροπέα	21
2.5.1	Διάρκεια ζωής εξαρτημάτων	21
2.5.2	Παράγοντες Σχεδιασμού	22
2.5.3	Συνολικοί παράγοντες	23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΤΑ ΗΛΙΑΚΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ		24
3.1	Μια σύντομη επισκόπηση	24
3.2	Συστήματα διασυνδεδεμένα με το δίκτυο και συστήματα εκτός δικτύου	24
3.3	Υπολογισμός μέγεθους των ηλιακών φωτοβολταϊκών συστημάτων ...	26

3.4	Διαστασιολόγηση συστημάτων που συνδέονται με το δίκτυο.....	26
3.5	Διαστασιολόγηση συστημάτων εκτός δικτύου	27
3.6	Ηλιακοί συλλέκτες	27
3.7	Η βέλτιστη γωνία χρήσης για τα πάνελ ηλιακής ενέργειας	28
3.7.1	Τεχνικές πληροφορίες	28
3.7.2	Τρόπος εγκατάστασης των πάνελ	30
3.7.3	Χειμώνας	31
3.7.4	Καλοκαίρι	32
3.7.5	Εγκατάσταση στο βόρειο ημισφαίριο	32
3.7.6	Εγκατάσταση στον Ισημερινό	33
3.7.7	Τεχνικές Παρατηρήσεις	34
3.7.7.1	Ευθυγράμμιση Βορρά - Νότου:.....	34
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 -ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ.....		35
4.1	Φωτοβολταϊκά πλαίσια	35
4.2	Συστήματα στήριξης	36
4.3	Αντιστροφείς (INVERTER).....	38
4.4	Ηλεκτρολογικός έλεγχος ^[11]	39
4.5	Διαστασιολόγηση του πάρκου ^[11]	40
5	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	42

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1	Μεγάλης κλίμακας ΦΒ πάρκο 9 MWp που βρίσκεται κοντά στην πόλη της Καρδίτσας, (https://balkangreenenergynews.com/9-mwp-solar-park-greeces-first-1500-dc-system-put-into-commercial-operation/)	1
Εικόνα 1.2	Κεντρικός μετατροπέας Sunny Central UP χωρητικότητας 4,6 MW της εταιρείας SMA. (https://www.pv-magazine.com/2018/09/21/sma-presents-new-central-inverter-at-rei/) ..	4
Εικόνα 1.3	Μετασχηματιστής και μετατροπέας σε ΦΒ πάρκο (https://avilasolar.com/a-guide-to-large-photovoltaic-powerplant-design/)	5
Εικόνα 1.4	Υποσταθμός σε ΦΒ πάρκο (https://www.pveurope.eu/solar-parks/solar-parks-huawei-builds-first-smart-substation-solar-power-plant-germany)	8
Εικόνα 2.1	Υβριδικός μετατροπέας (https://www.inverter.com/hybrid-solar-inverter-basics-introduction-functions-and-advantages)	19
Εικόνα 3.1	Δομή ηλιακού πάνελ (https://solardesignguide.com/an-introduction-to-solar-pv-systems/)	27
Εικόνα 3.2	Διαφορετικοί τύποι ηλιακών πάνελ. (https://solardesignguide.com/an-introduction-to-solar-pv-systems/) ...	28
Εικόνα 3.3	Μια νυχτερινή φωτογραφία ενός ηλιακού πάνελ που χρησιμοποιείται για την τροφοδοσία μιας πινακίδας "SLOW To 30km". (https://calgary.rasc.ca/solarpanels.htm)	32
Εικόνα 4.1	Το φωτοβολταϊκό πλαίσιο Sharp NU-JD 450Wp μονοκρυσταλλικού πυριτίου (https://www.mipesun.gr/%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CE%B9%CE%BA%CE%B1-%CF%80%CE%B1%CE%BD%CE%B5%CE%BB/%CE%BC%CE%BF%CE%BD%CE%BF%CE%BA%CF%81%CF%85%CF%83%CF%84%CE%B1%CE%BB%CE%BB%CE%B9%CE%BA%CE%B1/sharp-nu-jd-440wp.htm) ..	35
Εικόνα 4.2	Τα τραπέζια πάω στα οποία θα τοποθετηθούν τα πάνελ (https://evagsolar.gr/%CE%B2%CE%AC%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82%CF%83%CF%84%CE%AE%CF%81%CE%B9%CE%BE%CE%B7%CF%82%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CF%8A%CE%BA%CF%8E%CE%BD/)	37
Εικόνα 4.3	Το τραπέζι στήριξης (https://evagsolar.gr/%CE%B2%CE%AC%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82%CF%83%CF%84%CE%AE%CF%81%CE%B9%CE%BE%CE%B7%CF%82%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CF%8A%CE%BA%CF%8E%CE%BD/)	37

F%82%CF%83%CF%84%CE%AE%CF%81%CE%B9%CE%BE%CE%B7
%CF%82%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%
BB%CF%84%CE%B1%CF%8A%CE%BA%CF%8E%CE%BD/)38

Εικόνα 4.4 Ο αντιστροφέας Sunny Central 630CP (<https://kaco-newenergy.com/index.php?eID=dumpFile&t=f&f=10164&token=189dc89caafe085459c3ebd9c65eeb21e65842b9>)39

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 2.1	Διασύνδεση	κεντρικού	μετατροπέα	
(http://www.inverter.com)				14
Σχήμα 2.2	Διασύνδεση	μετατροπέων	στοιχειοσειράς	με το ηλεκτρικό δίκτυο
(http://www.inverter.com)				16
Σχήμα 2.3	Διασύνδεση	micro inverter	σ	κάθε πάνελ
(https://greenridgesolar.com/types-of-solar-inverters/)				17
Σχήμα 2.4	Διασύνδεση		βελτιστοποιητών	ισχύος
(https://greenridgesolar.com/types-of-solar-inverters/)				18
Σχήμα 3.1	Διασυνδεδεμένο	Φωτοβολταϊκό	σύστημα	
(https://solardesignguide.com/an-introduction-to-solar-pv-systems/)				25
Σχήμα 3.2	Μη	διασυνδεδεμένο	φωτοβολταϊκό	σύστημα
(https://solardesignguide.com/an-introduction-to-solar-pv-systems/)				25
Σχήμα 3.3	Τοποθέτηση	ηλιακού πάνελ	με βάση τον προσανατολισμό	
(https://www.prostarsolar.net/article/how-to-set-solar-panel-angle-to-sun.html)				29
Σχήμα 3.4	Η γωνία κλίσης	εξαρτάται από τη θέση του ήλιου	σε κάθε περιοχή της γης	
(https://www.prostarsolar.net/article/how-to-set-solar-panel-angle-to-sun.html)				29
Σχήμα 3.5	Τοποθέτηση	πάνελ	στο βόρειο ημισφαίριο	
(https://calgary.rasc.ca/solarpanels.ht)				33
Σχήμα 3.6	Τοποθέτηση	πάνελ	στο νότιο ημισφαίριο	
(https://calgary.rasc.ca/solarpanels.htm)				33
Σχήμα 4.1	Η διάταξη των πάνελ	πάνω στο τραπέζι		
				37
Σχήμα 4.2	Διασύνδεση των πάνελ	με τον αντιστροφέα		
				40
Σχήμα 4.3	Η γωνία τοποθέτησης των πάνελ			
				40
Σχήμα 4.4	Υπολογισμός της απόστασης	μεταξύ	διαδοχικών	
τραπεζι΄ψν				41

ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 3.1 Η βέλτιστη γωνία ηλιακού πάνελ αυξάνεται με το γεωγραφικό πλάτος(https://www.prostarsolar.net/article/how-to-set-solar-panel-angle-to-sun.html).....	30
--	----

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 4-1 Ηλεκτρικά και μηχανικά χαρακτηριστικά του πάνελ	36
Πίνακας 4-2 Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του αντιστροφέα (https://kaco-newenergy.com/index.php?eID=dumpFile&t=f&f=10164&token=189dc89caafe085459c3ebd9c65eeb21e65842b9)	38

1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΝΟΣ ΦΒ ΠΑΡΚΟΥ

Ο σχεδιασμός ενός φωτοβολταϊκού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής είναι μια προσπάθεια που απαιτεί εξειδικευμένες τεχνικές γνώσεις και εμπειρία. Υπάρχουν πολλοί παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη για να επιτευχθεί η καλύτερη δυνατή ισορροπία μεταξύ απόδοσης και κόστους.

Όλες οι αποφάσεις σχετικά με τη μηχανική ενός μεγάλου ηλιακού φωτοβολταϊκού συστήματος πρέπει να λαμβάνονται προσεκτικά υπόψη, έτσι ώστε οι αρχικές αποφάσεις που λαμβάνονται με γνώμονα την εξοικονόμηση κόστους να μην έχουν ως αποτέλεσμα μεγαλύτερο κόστος συντήρησης και μειωμένη απόδοση αργότερα στη διάρκεια ζωής του συστήματος. Γενικά, οι αποφάσεις σχετικά με τη διάταξη και το δυναμικό σκίασης, τη γωνία κλίσης και τον προσανατολισμό του πίνακα και τη διαμόρφωση της φωτοβολταϊκής μονάδας είναι οι πιο κρίσιμες για την επίτευξη της βέλτιστης ισορροπίας κόστους και απόδοσης [1]



Εικόνα 1.1 Μεγάλης κλίμακας ΦΒ πάρκο 9 MWp που βρίσκεται κοντά στην πόλη της Καρδίτσας, (<https://balkangreenenergynews.com/9-mwp-solar-park-greeces-first-1500-dc-system-put-into-commercial-operation/>)

1.1 Διάταξη και σκίαση

Συγκεκριμένες συνθήκες τοποθεσίας επηρεάζουν τις γενικές αποφάσεις διάταξης, όπως η απόσταση σειρών και η συνολική διάταξη των συστοιχιών ηλιακής ενέργειας. Η διάταξη πρέπει πάντα να σχεδιάζεται με τέτοιο τρόπο ώστε να μειώνεται όσο το δυνατόν περισσότερο η ηλεκτρική καταπόνηση του καλωδίου, γεγονός που με τη σειρά του μειώνει τις ηλεκτρικές απώλειες. [1]

1.1.1 Γωνία κλίσης

Κάθε τοποθεσία έχει τη δική της ιδανική γωνία κλίσης που μεγιστοποιεί την ετήσια έκθεση στον ήλιο με βάση το γεωγραφικό πλάτος της τοποθεσίας. Για πάνελ σταθερής κλίσης, η βέλτιστη γωνία μπορεί να χρειαστεί να ρυθμιστεί λόγω παραγόντων όπως η ρύπανση, η σκίαση και η εποχιακή κατανομή ακτινοβολίας. Όσο πιο ψηλά έχουν κλίση τα πάνελ, τόσο περισσότερο θα καθαρίζονται από τη βροχή αλλά και τόσο περισσότερο θα σκιάζουν τα πάνελ σε σειρές πίσω τους. [1]

1.1.2 Διαμόρφωση Φ/Β μονάδας

Η διαμόρφωση της φωτοβολταϊκής μονάδας αναφέρεται στο εάν μεμονωμένα πάνελ είναι τοποθετημένα σε οριζόντιο ή κατακόρυφο προσανατολισμό, καθώς και στο πώς συνδέονται μεταξύ τους (σε σειρά ή παράλληλα). Και οι δύο προσανατολισμοί έχουν πλεονεκτήματα όσον αφορά τη μείωση της σκίασης σε διαφορετικές καταστάσεις. [1]

1.1.3 Διάστιχο μεταξύ σειρών

Η ιδανική απόσταση σειρών θα είναι ένας συμβιβασμός μεταξύ της μείωσης της σκίασης μεταξύ των σειρών, της όσο το δυνατόν μεγαλύτερης μείωσης των διαδρομών των καλωδίων, της διατήρησης χαμηλών απωλειών ενέργειας και της διατήρησης της συνολικής περιοχής του σταθμού ηλεκτροπαραγωγής σε λογικά όρια.

Ο γενικός εμπειρικός κανόνας για τον προσδιορισμό της αποδεκτής απόστασης μεταξύ των σειρών είναι η διάταξη των φωτοβολταϊκών

μονάδων με τρόπο που να μην επιτρέπει σκίαση το μεσημέρι στο χειμερινό ηλιοστάσιο. [1]

1.1.4 Προσανατολισμός

Στο βόρειο ημισφαίριο, ο βέλτιστος προσανατολισμός για όλα τα πάνελ είναι ο πραγματικός νότος. Ωστόσο, σε ορισμένες αγορές όπου ενθαρρύνεται η παραγωγή ενέργειας σε περιόδους αιχμής ζήτησης, μπορεί να είναι πιο επωφελές από οικονομική άποψη να προσανατολιστούν τα πάνελ που βλέπουν νοτιοδυτικά για να παράγουν τη μεγαλύτερη ισχύ το απόγευμα. [1]

1.2 Επιλογή τεχνολογίας ΦΒ πάνελ

Φυσικά, η τεχνολογία που επιλέγεται για τη φωτοβολταϊκή μονάδα παραγωγής ενέργειας θα έχει αντίκτυπο στο τελικό αποτέλεσμα λόγω παραγόντων όπως η ποιότητα και η μακροζωία, το αρχικό κόστος και το κόστος συντήρησης, η προστασία της εγγύησης, η βαθμολογία απόδοσης κ.λπ. [1]

1.2.1 Ηλιακά πάνελ

Όλα τα φωτοβολταϊκά πλαίσια (ηλιακά πάνελ) θα πρέπει να είναι πιστοποιημένα σύμφωνα με τα πρότυπα IEC, CE και UL. Πέρα από αυτό, τα πλαίσια θα πρέπει να αξιολογούνται με βάση τις ακόλουθες μετρήσεις: ποιότητα, απόδοση, ανοχή ισχύος, συντελεστής θερμοκρασίας, μείωση απόδοσης, διόδους παράκαμψης, όροι εγγύησης, μέγιστη τάση συστήματος και οποιεσδήποτε άλλες ανησυχίες για συγκεκριμένες εγκαταστάσεις ή απαιτήσεις. [1]

1.3 Μετατροπείς

Υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τύποι μετατροπέων, επομένως οι τοπικές συνθήκες της τοποθεσίας και η φύση των άλλων στοιχείων του συστήματος θα πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά την επιλογή του καλύτερου τύπου μετατροπέα. Οι παράγοντες που πρέπει να εξεταστούν περιλαμβάνουν την απόδοση μετατροπής DC σε AC, την τάση εισόδου

και το φορτίο DC, τη μέση θερμοκρασία και υψόμετρο τοποθεσίας, την αξιοπιστία του προϊόντος, τη δυνατότητα συντήρησης και το συνολικό κόστος. [1]



Εικόνα 1.2 Κεντρικός μετατροπέας Sunny Central UP χωρητικότητας 4,6 MW της εταιρείας SMA. (<https://www.pv-magazine.com/2018/09/21/sma-presents-new-central-inverter-at-rei/>)

1.4 Μετασχηματιστές

Υπάρχουν δύο κύριοι τύποι μετασχηματιστών που είναι κατάλληλοι για ηλιακούς σταθμούς: οι μετασχηματιστές διανομής και οι μετασχηματιστές δικτύου. Οι μετασχηματιστές διανομής βοηθούν στην αύξηση της τάσης εξόδου για το σύστημα συλλογής εγκαταστάσεων και εάν η εγκατάσταση είναι συνδεδεμένη σε δίκτυο διανομής, η ισχύς μπορεί να εξαχθεί απευθείας στο δίκτυο. Εάν η εγκατάσταση είναι συνδεδεμένη σε δίκτυο μεταφοράς, οι μετασχηματιστές δικτύου μπορούν να αυξήσουν ακόμη περισσότερο την τάση εξόδου. [1]



Εικόνα 1.3 Μετασχηματιστής και μετατροπέας σε ΦΒ πάρκο(<https://avilasolar.com/a-guide-to-large-photovoltaic-powerplant-design/>)

1.5 Μπαταρίες

Η συμπερίληψη μπαταριών σε ένα ηλιακό φωτοβολταϊκό σύστημα επιτρέπει στην ενέργεια που παράγεται από τα ηλιακά πάνελ να αποθηκεύεται για χρήση μετά τη δύση του ηλίου. Απαιτούνται σχεδόν πάντα σε ένα σύστημα εκτός δικτύου (εκτός εάν υπάρχει διαθέσιμο άλλο εφεδρικό αντίγραφο, όπως μια γεννήτρια ντίζελ), ωστόσο, υπάρχουν επίσης διάφοροι λόγοι για τους οποίους μπορεί να είναι επιθυμητό να τα συμπεριληφθούν και σε συστήματα που συνδέονται με το δίκτυο[2]

- Για να επιτρέπεται στο σύστημα να λειτουργεί κατά τη διάρκεια διακοπών δικτύου (τα συστήματα χωρίς μπαταρία δεν θα λειτουργούν κατά τη διάρκεια διακοπής λειτουργίας, ακόμη και αν λάμπει ο ήλιος).
- Εάν οι τοπικοί νόμοι κοινής ωφέλειας ή της πολιτείας δεν επιτρέπουν την τροφοδοσία ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο.
- Για να πωληθεί η ηλεκτρική ενέργεια πίσω στο δίκτυο όταν οι τιμές του ρεύματος είναι υψηλότερες, και πάλι ανάλογα με τους τοπικούς νόμους κοινής ωφέλειας ή της πολιτείας.

1.6 Ελεγκτές φόρτισης

Οι ελεγκτές φόρτισης χρησιμοποιούνται όταν συμπεριλαμβάνονται μπαταρίες στο σύστημα. Ελέγχουν την ισχύ που πηγαίνει στις μπαταρίες και μπορεί επίσης να παρέχουν τις ακόλουθες λειτουργίες[2]

- Αποτροπή υπερφόρτισης ή υπερβολικής αποφόρτισης των μπαταριών.
- Αποτροπή της αποφόρτισης των μπαταριών τη νύχτα μέσω των ηλιακών συλλεκτών.
- Παρακολούθηση των μπαταριών και των ηλιακών συλλεκτών.

1.7 Κατασκευές Συναρμολόγησης

Υπάρχουν διάφοροι τύποι συστημάτων στερέωσης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για φωτοβολταϊκούς σταθμούς, όπως δομές στήριξης σταθερής κλίσης, δομές παρακολούθησης μονού ή διπλού άξονα, δομές στήριξης θαλάσσιου επιπέδου που αποτρέπουν τη διάβρωση κ.λπ. [1]

1.8 Ηλεκτρολογικός Σχεδιασμός

Ο ηλεκτρικός σχεδιασμός μιας μονάδας ηλεκτροπαραγωγής θα πρέπει να εξετάζεται κατά περίπτωση, καθώς κάθε τοποθεσία έχει μοναδικούς περιορισμούς και παραμέτρους. [1]

1.8.1 Σύστημα DC

Ένα σύστημα DC (συνεχούς ρεύματος) αποτελείται από τα ακόλουθα στοιχεία: συστοιχίες φωτοβολταϊκών μονάδων, καλώδια DC, βύσματα σύνδεσης DC, κουτιά διακλάδωσης ή συνδυασμού, συσκευές προστασίας και γείωση. Όλα τα εξαρτήματα DC θα πρέπει να αξιολογούνται για θερμικά όρια και όρια τάσης με βάση τα δεδομένα των κατασκευαστών. [1]

1.8.2 Καλωδίωση AC

Τα συστήματα καλωδίωσης πρέπει να σχεδιάζονται έτσι ώστε να παρέχουν έναν ασφαλή και οικονομικά αποδοτικό τρόπο μετάδοσης της ισχύος AC από τους μετατροπείς στους μετασχηματιστές και πέρα από αυτό. Τα καλώδια πρέπει να ονομάζονται για την κατάλληλη τάση του συστήματος, λαμβάνοντας υπόψη τα ρεύματα λειτουργίας και τα πιθανά ρεύματα βραχυκυκλώματος. [1]

1.8.3 Διακόπτης AC

Τα συστήματα διακοπών και προστασίας είναι κρίσιμα για την παροχή κατάλληλης ικανότητας αποσύνδεσης, απομόνωσης, γείωσης και προστασίας. Ενδέχεται να είναι απαραίτητος εξοπλισμός διανομής με μεταλλική επένδυση, μόνωση αέρα ή μόνωση αερίου με βάση τις ακριβείς προδιαγραφές του συστήματος. [1]

1.9 Διαστασιολόγηση και επιλογή μετασχηματιστών

Η σύνδεση στο δίκτυο για εμπορικούς σταθμούς ηλιακής ενέργειας είναι συχνά 20 kV ή, επομένως είναι συνήθως απαραίτητο να αυξηθεί η τάση χρησιμοποιώντας έναν ή περισσότερους μετασχηματιστές. Ο τύπος του μετασχηματιστή θα πρέπει να επιλέγεται με βάση την απαιτούμενη χωρητικότητα, τη θέση του εντός του ηλεκτρικού συστήματος και τη φυσική θέση και τις περιβαλλοντικές συνθήκες του χώρου. [1]

1.10 Υποσταθμός

Ο υποσταθμός της μονάδας περιέχει εξοπλισμό όπως μετασχηματιστές XT/MT, συστήματα μεταγωγής MT, συστήματα Εποπτικού Ελέγχου και Απόκτησης Δεδομένων, συστήματα προστασίας και μέτρησης. [1]



Εικόνα 1.4 Υποσταθμός σε ΦΒ πάρκο (<https://www.pneurope.eu/solar-parks/solar-parks-huawei-builds-first-smart-substation-solar-power-plant-germany>)

2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - Φ/Β ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ

Ο μετατροπέας είναι η καρδιά κάθε Φ/Β εγκατάστασης. Μετατρέπει το συνεχές ρεύμα των φωτοβολταϊκών μονάδων σε εναλλασσόμενο ρεύμα συμβατό με το δίκτυο και το τροφοδοτεί στο δημόσιο δίκτυο. Ταυτόχρονα ελέγχει και παρακολουθεί ολόκληρη τη ΦΒ εγκατάσταση. Με αυτόν τον τρόπο, διασφαλίζει ότι οι φωτοβολταϊκές μονάδες λειτουργούν πάντα με τη μέγιστη ισχύ τους που εξαρτάται από την ακτινοβολία και τη θερμοκρασία. Από την άλλη, παρακολουθεί συνεχώς το ηλεκτρικό δίκτυο και είναι υπεύθυνο για την τήρηση διαφόρων κριτηρίων ασφαλείας.[3]

2.1 Ο κατάλληλος μετατροπέας για κάθε εγκατάσταση

Ένας μεγάλος αριθμός φωτοβολταϊκών μετατροπέων είναι διαθέσιμος στην αγορά – αλλά οι συσκευές ταξινομούνται με βάση τρία σημαντικά χαρακτηριστικά: ισχύς, σχεδιασμός που σχετίζεται με το DC και τοπολογία κυκλώματος.[3]

1. Ισχύς

Η διαθέσιμη ισχύς εξόδου ξεκινά από δύο κιλοβάτ και εκτείνεται στην περιοχή μεγαβάτ. Οι τυπικές αποδόσεις είναι 5 kW για ιδιωτικές οικιακές εγκαταστάσεις σε στέγες, 10 – 20 kW για εμπορικές εγκαταστάσεις (π.χ. στέγες εργοστασίων ή αχυρώνων) και 500 – 800 kW για χρήση σε φωτοβολταϊκούς σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

2. Καλωδίωση μονάδας.

Η σχεδίαση που σχετίζεται με το DC αφορά την καλωδίωση των φωτοβολταϊκών μονάδων στον μετατροπέα. Σε αυτό το πλαίσιο, γίνονται διακρίσεις μεταξύ στοιχειοσειρών, πολλαπλών στοιχειοσειρών και κεντρικών μετατροπέων, όπου ο όρος "string" αναφέρεται σε μια σειρά μονάδων συνδεδεμένων σε σειρά. Οι μετατροπείς πολλαπλών στοιχειοσειρών έχουν δύο ή περισσότερες εισόδους στοιχειοσειρών, η καθεμία με τον δικό της ιχνηλάτη MPP (Μέγιστο σημείο ισχύος - maximum power point). Αυτά κάνουν μια ιδιαίτερα λογική επιλογή όταν η Φ/Β γεννήτρια αποτελείται

από διαφορετικά προσανατολισμένες υποπεριοχές ή είναι μερικώς σκιασμένη. Οι κεντρικοί μετατροπείς διαθέτουν μόνο έναν ανιχνευτή MPP παρά τη σχετικά υψηλότερη ισχύ εξόδου. Είναι ιδιαίτερα κατάλληλα για φυτά μεγάλης κλίμακας με ομοιογενή γεννήτρια.

3. Τοπολογία κυκλώματος

Όσον αφορά την τοπολογία κυκλώματος, γίνονται διακρίσεις μεταξύ μονοφασικών και τριφασικών μετατροπέων και μεταξύ συσκευών με και χωρίς μετασχηματιστές. Οι μονοφασικοί μετατροπείς χρησιμοποιούνται συνήθως σε μικρές εγκαταστάσεις, ενώ στις μεγάλες φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις πρέπει να χρησιμοποιείται είτε ένα δίκτυο που αποτελείται από πολλούς μονοφασικούς μετατροπείς είτε από τριφασικούς μετατροπείς λόγω του μη ισορροπημένου φορτίου των 4,6 kVA. Ωστόσο, οι μετασχηματιστές εξυπηρετούν το σκοπό της γαλβανικής απομόνωσης (απαιτείται σε ορισμένες χώρες) και καθιστούν δυνατή τη γείωση της φωτοβολταϊκής μονάδας (απαραίτητη για ορισμένους τύπους μονάδων). Όποτε είναι δυνατόν, ωστόσο, χρησιμοποιούνται μετατροπείς χωρίς μετασχηματιστές. Είναι λίγο μικρότερα και ελαφρύτερα από τις συσκευές μετασχηματιστή και λειτουργούν με υψηλότερη απόδοση.

2.2 Λειτουργίες του Φ/Β μετατροπέα

Οι εργασίες ενός φωτοβολταϊκού μετατροπέα είναι τόσο ποικίλες όσο και απαιτητικές:[3]

1. Μετατροπή χαμηλών απωλειών

Ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά ενός μετατροπέα είναι η απόδοση μετατροπής του. Αυτή η τιμή υποδεικνύει το ποσοστό της ενέργειας που «εισάγεται» ως συνεχές ρεύμα και επανέρχεται με τη μορφή εναλλασσόμενου ρεύματος. Οι σύγχρονες συσκευές μπορούν να λειτουργήσουν με απόδοση περίπου 98 τοις εκατό.

2. Βελτιστοποίηση ισχύος

Η καμπύλη χαρακτηριστικών ισχύος μιας φωτοβολταϊκής μονάδας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ένταση της ακτινοβολίας και τη θερμοκρασία της μονάδας – με άλλα λόγια, από τιμές που αλλάζουν συνεχώς κατά τη διάρκεια της ημέρας. Για το λόγο αυτό, ο μετατροπέας πρέπει να βρίσκει και να παρατηρεί συνεχώς το βέλτιστο σημείο λειτουργίας στην καμπύλη χαρακτηριστικών ισχύος, ώστε να «βγάζει» τη μέγιστη ισχύ από τις φωτοβολταϊκές μονάδες σε κάθε περίπτωση. Το βέλτιστο σημείο λειτουργίας ονομάζεται "σημείο μέγιστης ισχύος" (MPP) και η αναζήτηση και η παρακολούθηση αυτού του MPP ονομάζεται αντίστοιχα "MPP tracking". Η παρακολούθηση MPP είναι εξαιρετικά σημαντική για την παραγωγή ενέργειας μιας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης.

3. Παρακολούθηση και ασφάλιση

Από τη μία πλευρά, ο μετατροπέας παρακολουθεί την ενεργειακή απόδοση της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης και σηματοδοτεί τυχόν προβλήματα. Από την άλλη, παρακολουθεί επίσης το ηλεκτρικό δίκτυο στο οποίο είναι συνδεδεμένο. Έτσι, σε περίπτωση προβλήματος στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, πρέπει να αποσυνδέσει αμέσως τη μονάδα από το δίκτυο για λόγους ασφαλείας ή για να βοηθήσει στην υποστήριξη του δικτύου – ανάλογα με τις απαιτήσεις του τοπικού διαχειριστή του δικτύου. Επιπλέον, στις περισσότερες περιπτώσεις ο μετατροπέας διαθέτει μια συσκευή που μπορεί να διακόψει με ασφάλεια το ρεύμα από τις φωτοβολταϊκές μονάδες. Επειδή οι φωτοβολταϊκές μονάδες είναι πάντα ενεργές όταν πέφτει φως πάνω τους, δεν μπορούν να απενεργοποιηθούν. Εάν το καλώδιο του μετατροπέα αποσυνδεθεί κατά τη λειτουργία, αυτό μπορεί να οδηγήσει σε σχηματισμό επικίνδυνων φωτεινών τόξων, τα οποία δεν σβήνουν λόγω του συνεχούς ρεύματος. Εάν η συσκευή διακοπής είναι ενσωματωμένη απευθείας στον μετατροπέα, οι προσπάθειες εγκατάστασης και καλωδίωσης μειώνονται σημαντικά.

4. Επικοινωνία

Οι διεπαφές επικοινωνίας στον μετατροπέα επιτρέπουν τον έλεγχο και την παρακολούθηση όλων των παραμέτρων, των δεδομένων λειτουργίας και των αποδόσεων. Μπορούν να ανακτηθούν δεδομένα και να οριστούν παράμετροι για τον μετατροπέα μέσω σύνδεσης δικτύου, βιομηχανικού διαύλου πεδίου όπως RS485 ή ασύρματης σύνδεσης. Στις περισσότερες περιπτώσεις, τα δεδομένα ανακτώνται μέσω ενός καταγραφικού δεδομένων, το οποίο συλλέγει και προετοιμάζει τα δεδομένα από πολλούς μετατροπείς και, εάν είναι επιθυμητό, τα μεταδίδει σε μια δωρεάν ηλεκτρονική πύλη δεδομένων.

5. Διαχείριση θερμοκρασίας

Η θερμοκρασία στο περίβλημα του μετατροπέα επηρεάζει επίσης την απόδοση μετατροπής. Εάν ανέβει πολύ, ο μετατροπέας πρέπει να μειώσει την ισχύ του. Σε ορισμένες περιπτώσεις, η διαθέσιμη ισχύς της μονάδας δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί πλήρως. Από τη μία πλευρά, η θέση εγκατάστασης επηρεάζει τη θερμοκρασία – ένα συνεχώς δροσερό περιβάλλον είναι ιδανικό. Από την άλλη πλευρά, εξαρτάται άμεσα από τη λειτουργία του μετατροπέα: ακόμη και μια απόδοση 98 τοις εκατό σημαίνει απώλεια ισχύος δύο τοις εκατό - με τη μορφή θερμότητας. Εάν η ισχύς της εγκατάστασης είναι 10 kW, η μέγιστη θερμική ισχύς εξακολουθεί να είναι 200 W. Επομένως, ένα αποτελεσματικό και αξιόπιστο σύστημα ψύξης για το περίβλημα είναι πολύ σημαντικό. Η βέλτιστη θερμική διάταξη των εξαρτημάτων τους επιτρέπει να διαχέουν τη θερμότητά τους απευθείας στο περιβάλλον, ενώ ολόκληρο το περίβλημα λειτουργεί ως ψύκτρα ταυτόχρονα. Αυτό επιτρέπει στους μετατροπείς να λειτουργούν με τη μέγιστη ονομαστική χωρητικότητα ακόμη και σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος έως και 50°C.

6. Προστασία

Ένα αδιάβροχο περίβλημα, ιδανικά κατασκευασμένο σύμφωνα με την προστασία IP65, επιτρέπει στον μετατροπέα να εγκατασταθεί σε οποιοδήποτε επιθυμητό μέρος σε εξωτερικούς χώρους. Το πλεονέκτημα: όσο πιο κοντά στις μονάδες μπορεί να εγκατασταθεί ο μετατροπέας, τόσο μικρότερη είναι η δαπάνη για τη συγκριτικά ακριβή καλωδίωση DC.

2.3 Διαφορετικοί τύποι ηλιακών μετατροπέων

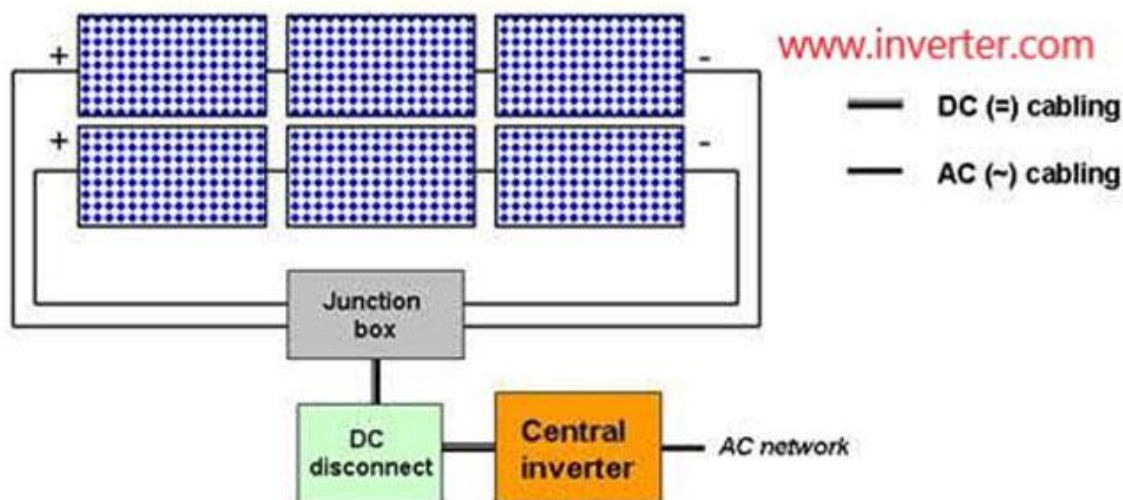
Ο ηλιακός μετατροπέας είναι ο εγκέφαλος του ηλιακού συστήματος. Ο βασικός του ρόλος είναι να μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια συνεχούς ρεύματος που προέρχεται από ηλιακά πάνελ σε χρησιμοποιήσιμη ηλεκτρική ενέργεια εναλλασσόμενου ρεύματος. Εκτός αυτού αναλαμβάνει την ευθύνη να παρακολουθεί και να ελέγχει ολόκληρη τη ΦΒ εγκατάσταση και να παρέχει σημαντικές τεχνικές πληροφορίες στα συνεργεία λειτουργίας και συντήρησης για την επιδιόρθωση σφαλμάτων του συστήματος. Επιπλέον αναλαμβάνει την ευθύνη διαχείρισης του συστήματος μπαταριών . Υπάρχουν 3 διαφορετικοί τύποι ηλιακών μετατροπέων στην αγορά, ως εξής[4]

2.3.1 Κεντρικός ηλιακός μετατροπέας

Είναι ένας ηλιακός μετατροπέας μεγάλης χωρητικότητας που μπορεί να χειριστεί περισσότερες από μία στοιχειοσειρές. Ένας αριθμός ηλιακών στοιχειοσειρών θα συνδεθεί μεταξύ τους μέσω ενός κιβωτίου συνδυαστή και στη συνέχεια, η έξοδος DC του κιβωτίου συνδυασμού θα συνδεθεί στον μετατροπέα. Με την ανάπτυξη της βιομηχανίας ηλιακών κεντρικών μετατροπέων, δεν υπάρχει ανάγκη για το κιβώτιο συνδυασμού καθώς ο μετατροπέας αποκτά περισσότερους από έναν ακροδέκτες εισόδου με την ικανότητα να χειρίζεται διαφορετικές τάσεις εξόδου στοιχειοσειρών.

Ο κεντρικός ηλιακός μετατροπέας τοποθετείται συνήθως κοντά στον κεντρικό ηλεκτρικό πίνακα και σε προστατευμένη περιοχή από τις καιρικές συνθήκες/ Όλοι οι ακροδέκτες DC από τους ηλιακούς συλλέκτες συγκεντρώνονται στην είσοδο του κιβωτίου συνδυασμού και η έξοδος

πηγαίνει στον κεντρικό ηλιακό μετατροπέα, επομένως ο ένας μετατροπέας χειρίζεται όλη την ηλιακή συστοιχία. Στην πλευρά του ηλιακού κεντρικού μετατροπέα DC, η τάση DC θα είναι υψηλή, περίπου 600-1000 VDC και η χωρητικότητα ισχύος του μετατροπέα θα είναι επίσης υψηλή, μπορεί να φτάσει τα 5 MW περίπου.[4]



Σχήμα 2.1 Διασύνδεση κεντρικού μετατροπέα (<http://www.inverter.com>)

2.3.1.1 Πλεονεκτήματα του κεντρικού ηλιακού μετατροπέα

- Αξιόπιστη και αποδεδειγμένη τεχνολογία: Ο κεντρικός ηλιακός μετατροπέας υπάρχει εδώ και πολλά χρόνια και λειτουργεί με μεγάλη αξιοπιστία
- 2. Λιγότερο ακριβός: Σε σύγκριση με άλλους τύπους ηλιακών μετατροπέων, είναι λιγότερο δαπανηρή εγκατάσταση επειδή έχει χαμηλότερα εξαρτήματα και χαμηλότερο κόστος εγκατάστασης λόγω του ενός μετατροπέα.

2.3.1.2 Μειονεκτήματα του κεντρικού ηλιακού μετατροπέα

- Υψηλή επιρροή στην παραγόμενη ισχύ σε περίπτωση σκιασμένων ή αποτυχημένων ηλιακών συλλεκτών: Καθώς οι περισσότεροι ηλιακοί συλλέκτες στο εσωτερικό του συστήματος κεντρικού μετατροπέα συνδέονται σε σειρά, εάν μόνο το 5% των ηλιακών συλλεκτών είναι σκιασμένο ή αστοχήσει για οποιονδήποτε λόγο, θα επηρεάσουν ολόκληρο το σύστημα και χάνεται περίπου το 20% της ισχύος εξόδου του συστήματος.

- Κίνδυνος υψηλής τάσης DC και μόνο ένας μετατροπέας: Η DC τάση φτάνει τα 1000 VDC ή υψηλότερα, γεγονός που είναι επικίνδυνο για τον εγκαταστάτη και τους χειριστές. Επιπλέον, σε περίπτωση βλάβης, χάνεται όλη η ισχύς

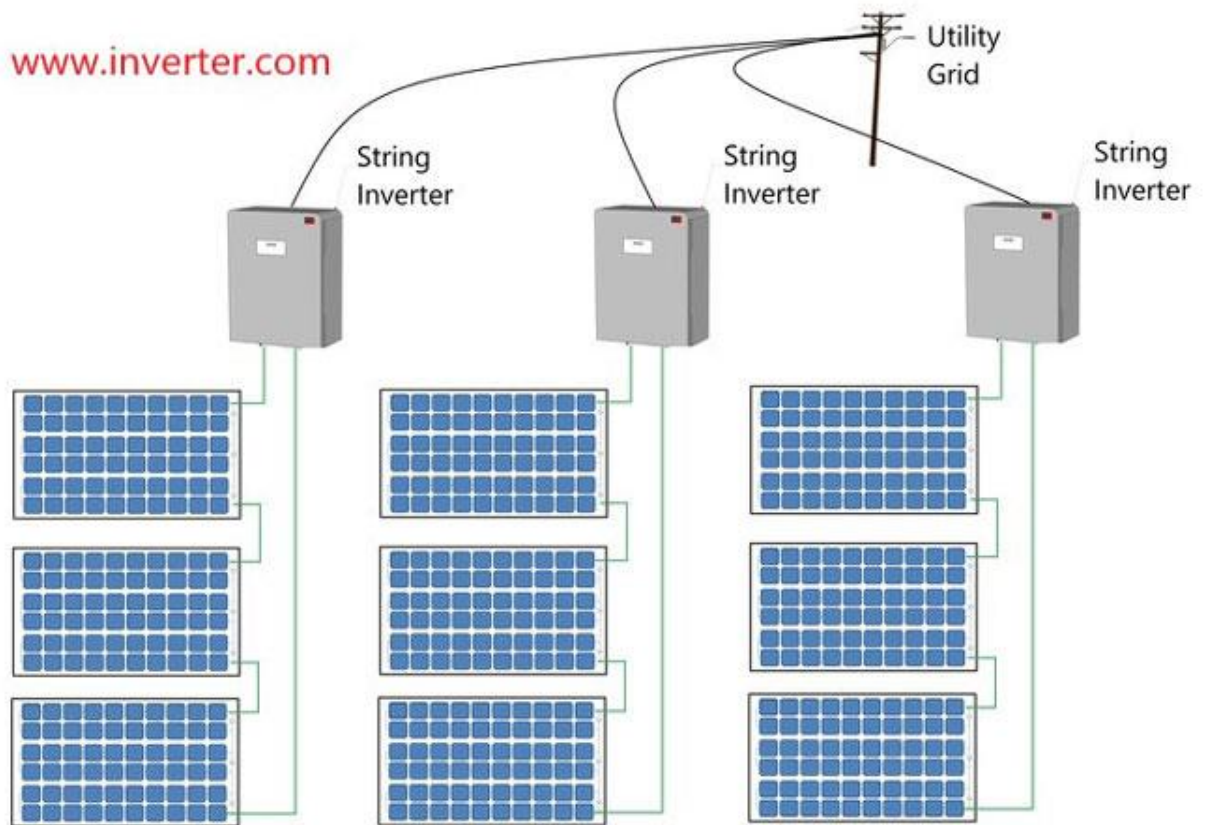
2.3.2 Ηλιακός μετατροπέας στοιχειοσειράς

Η ισχύς αυτού του μετατροπέα είναι χαμηλότερη από τον κεντρικό ηλιακό μετατροπέα, λειτουργεί σε κλίμακα στοιχειοσειρών. Για παράδειγμα, αν έχουμε 30 ηλιακά πάνελ στη συστοιχία, μπορεί να χωριστεί σε 5 σειρές, που σημαίνει 6 ηλιακά πάνελ ανά σειρά. Για κάθε συμβολοσειρά, θα υπάρχει ένας ηλιακός μετατροπέας, επομένως το ηλιακό σύστημα θα έχει πολλαπλούς μετατροπείς στοιχειοσειρών.

Αυτό το σύστημα θα είναι πιο αποδοτικό με υψηλότερη κατανάλωση εναλλασσόμενου ρεύματος από τον κεντρικό ηλιακό μετατροπέα, για 2 λόγους:

- Το σκιασμένο ηλιακό πάνελ θα επηρεάσει την παραγωγή ενέργειας μόνο για μια σειρά και οι άλλες σειρές θα λειτουργούν αποτελεσματικά.
- Μπορούμε να έχουμε διαφορετικό προσανατολισμό για κάθε σειρά, γωνία κλίσης και αζιμούθιο, και έτσι μπορούμε να συλλέξουμε περισσότερη ενέργεια.

Έτσι, το ηλιακό σύστημα μετατροπέα στοιχειοσειρών είναι πιο αποδοτικό και έχει υψηλότερη ενεργειακή απόδοση αλλά είναι πιο ακριβό από το ηλιακό σύστημα κεντρικού μετατροπέα που απαιτεί μόνο έναν μετατροπέα..[4]



Σχήμα 2.2 Διασύνδεση μετατροπέων στοιχειοσειράς με το ηλεκτρικό δίκτυο (<http://www.inverter.com>)

2.3.2.1 Πλεονεκτήματα του ηλιακού μετατροπέα σειράς

Καθώς οι ηλιακοί συλλέκτες συνδέονται σε σειρά και όχι παράλληλα, η τάση θα είναι υψηλή και το ρεύμα θα είναι χαμηλό όπως προαναφέρθηκε, επομένως και οι απώλειες ισχύος θα είναι επίσης χαμηλότερες. Επιπλέον, οι εισοδοί υψηλότερης τάσης DC στον μετατροπέα μειώνουν τις εσωτερικές του απώλειες και βελτιώνουν την απόδοση των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων του.

Καθώς το μεγάλο ηλιακό σύστημα περιλαμβάνει ηλιακούς μετατροπείς πολλαπλών στοιχειοσειρών, η αστοχία ενός μετατροπέα στοιχειοσειρών δεν θα επηρεάσει τη λειτουργία και την απόδοση που λαμβάνεται από άλλους μετατροπείς, επομένως η αξιοπιστία του συνολικού ηλιακού συστήματος θα είναι υψηλότερη.

Επίσης, οι ηλιακοί μετατροπείς στοιχειοσειρών εγκαθίστανται εύκολα και η πολλαπλή παρουσία ηλιακών μετατροπέων στοιχειοσειρών

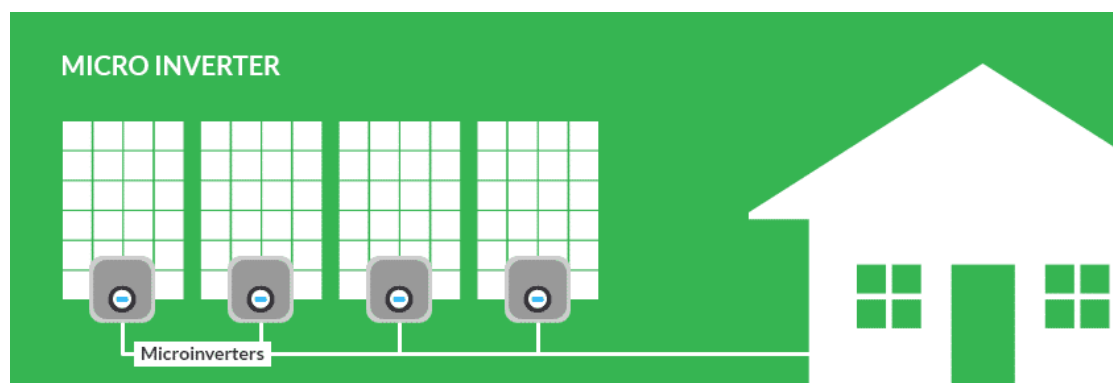
υποστηρίζει εργασίες ελέγχου και παρακολούθησης σε ολόκληρο το ηλιακό σύστημα.[5]

2.3.2.2 Μειονεκτήματα του ηλιακού μετατροπέα σειράς;

Το κύριο μειονέκτημα είναι ότι τα ηλιακά πάνελ εξακολουθούν να είναι συνδεδεμένα σε σειρά, επομένως η σκίαση ή η βλάβη του ηλιακού πάνελ θα επηρεάσει την απόδοση ολόκληρης της σειράς. Επίσης, η χρήση ηλιακών μετατροπέων πολλαπλών στοιχειοσειρών αυξάνει το συνολικό κόστος του ηλιακού συστήματος σε σύγκριση με άλλα συστήματα που λειτουργούν με βάση μόνο έναν ηλιακό μετατροπέα (κεντρικός ηλιακός μετατροπέας).[5]

2.3.3 Ηλιακός μικρό μετατροπέας

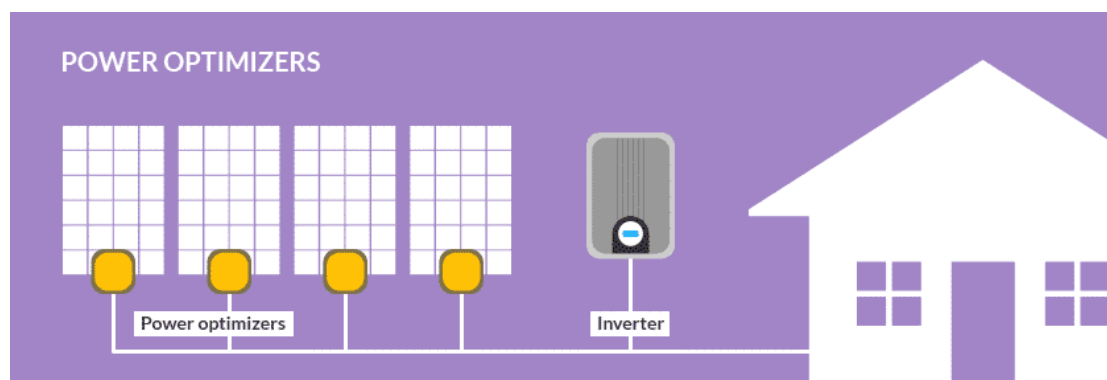
Η ισχύς αυτού του μετατροπέα είναι χαμηλότερη από τον μετατροπέα στοιχειοσειρών, λειτουργεί σε κλίμακα μονάδας. Για κάθε ηλιακό πάνελ, θα υπάρχει μικρο μετατροπέας που θα μετατρέπει το DC σε AC. Φυσικά, αυτό το σύστημα θα είναι πιο αποτελεσματικό από το σύστημα μετατροπέα στοιχειοσειρών, καθώς το σκιασμένο πάνελ δεν θα επηρεάσει άλλα πάνελ, επίσης μπορούμε να κάνουμε διαφορετικό προσανατολισμό για κάθε πάνελ ώστε να μπορούμε να συλλέξουμε περισσότερη ενέργεια. Άρα από το σύστημα είναι πιο αποδοτικό αλλά και πιο ακριβό σε σχέση με τα δύο προηγούμενα.[4]



Σχήμα 2.3 Διασύνδεση micro inverter σε κάθε πάνελ
(<https://greenridgesolar.com/types-of-solar-inverters/>)

2.3.4 Βελτιστοποιητές ισχύος

Οι βελτιστοποιητές ισχύος βρίσκονται στο πίσω μέρος κάθε ηλιακού πάνελ και λειτουργούν σε συνδυασμό με έναν μετατροπέα στοιχειοσειρών για τη μετατροπή DC σε AC. Το κάνουν αυτό ρυθμίζοντας το συνεχές ρεύμα από κάθε πάνελ, στέλνοντας το στον μετατροπέα στοιχειοσειρών για να μετατραπεί σε ηλεκτρισμό εναλλασσόμενου ρεύματος. [4]



Σχήμα 2.4 Διασύνδεση βελτιστοποιητών ισχύος(<https://greenridgesolar.com/types-of-solar-inverters/>)

2.3.4.1 Πλεονεκτήματα των βελτιστοποιητών ισχύος

Επειδή οι βελτιστοποιητές ισχύος μπορούν να ρυθμίσουν την ηλεκτρική ενέργεια συνεχούς ρεύματος που παράγεται από κάθε μεμονωμένο ηλιακό πάνελ, μπορούν να μειώσουν τον αντίκτυπο της σκίασης σε μεμονωμένα πάνελ. Εάν ένα ηλιακό πάνελ είναι μερικώς σκιασμένο, δεν θα υποβαθμίσει την έξοδο ολόκληρης της στοιχειοσειράς όπως με μια απλή εγκατάσταση μετατροπέα στοιχειοσειρών.

Οι βελτιστοποιητές ισχύος έχουν επίσης το πλεονέκτημα ότι επιτρέπουν την παρακολούθηση σε επίπεδο πίνακα, μαζί με παρακολούθηση σε επίπεδο συστήματος χάρη στον μετατροπέα στοιχειοσειρών. Αυτό σημαίνει ότι τυχόν προβλήματα με την ηλιακή έξοδο μπορούν να διαγνωστούν πιο εύκολα, με κάθε ηλιακό πάνελ να παρακολουθείται ξεχωριστά. Επιτρέπει επίσης στον ιδιοκτήτη του σπιτιού να δει ένα πιο λεπτομερές επίπεδο παρακολούθησης.[5]

2.3.4.2 Μειονεκτήματα των βελτιστοποιητών ισχύος

Οι βελτιστοποιητές ισχύος είναι πιο ακριβοί από τη χρήση απλώς ενός μετατροπέα στοιχειοσειρών, αλλά εξακολουθούν να είναι λιγότερο ακριβοί από τους μικρομετατροπείς.

Τα συστήματα βελτιστοποίησης ισχύος απαιτούν επίσης πρόσθετους βελτιστοποιητές ισχύος και πιθανώς πρόσθετους μετατροπείς στοιχειοσειρών, εάν επεκταθεί το σύστημα ηλιακών πάνελ στο μέλλον.[6]

2.4 Υβριδικοί μετατροπείς

Οι υβριδικοί ηλιακοί μετατροπείς είναι μια νέα ηλιακή τεχνολογία που συνδυάζει τα πλεονεκτήματα των παραδοσιακών ηλιακών μετατροπέων και την ευελιξία των μετατροπέων μπαταρίας σε μία μόνο συσκευή. Οι υβριδικοί μετατροπείς είναι μια αναδυόμενη λύση για τους ιδιοκτήτες κατοικιών που θέλουν να εγκαταστήσουν ένα σύστημα ηλιακής ενέργειας που έχει χώρο για μελλοντικές αναβαθμίσεις, συμπεριλαμβανομένου ενός συστήματος αποθήκευσης μπαταριών.

Ένας υβριδικός ηλιακός μετατροπέας είναι μια ενιαία συσκευή που συνδυάζει έναν ηλιακό μετατροπέα και έναν μετατροπέα μπαταρίας για να διαχειρίζεται έξυπνα την ενέργεια από τα ηλιακά πάνελ, τις ηλιακές μπαταρίες και το δίκτυο κοινής ωφέλειας ταυτόχρονα.



Εικόνα 2.1 Υβριδικός μετατροπέας(<https://www.inverter.com/hybrid-solar-inverter-basics-introduction-functions-and-advantages>)

Ένας συμβατικός αντιστροφέας ηλιακού δικτύου μετατρέπει το συνεχές ρεύμα που παράγεται από ένα φωτοβολταϊκό σύστημα σε εναλλασσόμενο ρεύμα. Ένας μετατροπέας μπαταρίας χειρίζεται τη διαδικασία μετατροπής της ισχύος DC που είναι αποθηκευμένη στην ηλιακή μπαταρία σε εναλλασσόμενο ρεύμα..

Συνδυάζοντας αυτές τις λειτουργίες σε μια ενιαία συσκευή, ένας ηλιακός υβριδικός μετατροπέας δικτύου βελτιστοποιεί και βελτιώνει τις λειτουργίες του κλασικού ηλιακού μετατροπέα. Ακόμα καλύτερα, καθώς η διαθέσιμη ποσότητα ηλιακής ενέργειας μπορεί να εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες και την εποχικότητα, ο υβριδικός μετατροπέας μπορεί να αντλήσει ισχύ από το δίκτυο για να φορτίσει το σύστημα αποθήκευσης της μπαταρίας, εάν χρειάζεται.[6]

2.4.1.1 Πλεονεκτήματα υβριδικού μετατροπέα

- **Αμφίδρομη μετατροπή ισχύος DC σε AC:** Για να απελευθερωθεί η ισχύς των πάνελ στο δίκτυο, ο μετατροπέας πρέπει να μετατρέψει την αποθηκευμένη ισχύ συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο ρεύμα. Με έναν υβριδικό μετατροπέα και μπαταρία, μια συσκευή μπορεί να εκπληρώσει και τους δύο ρόλους. Ένας υβριδικός μετατροπέας συνδεδεμένος στο δίκτυο μπορεί να μετατρέψει DC σε AC, αλλά μπορεί επίσης να πάρει εναλλασσόμενο ρεύμα από το δίκτυο και να το μετατρέψει σε DC για αποθήκευση σε μπαταρία για μελλοντική χρήση.
- **Ρύθμιση ισχύος:** Ανάλογα με την ώρα της ημέρας και τα καιρικά μοτίβα, η ηλιακή ενέργεια κυμαίνεται καθώς τα επίπεδα ηλιακού φωτός αυξάνονται και μειώνονται. Ο υβριδικός μετατροπέας ρυθμίζει αυτή την ισχύ για να διασφαλίσει ότι ολόκληρο το σύστημα λειτουργεί εντός των επιθυμητών παραμέτρων.
- **Παρακολούθηση ισχύος:** Οι ηλιακοί υβριδικοί μετατροπέες συνδεδεμένοι στο δίκτυο μπορούν να εξοπλιστούν με λογισμικό παρακολούθησης ηλιακής ενέργειας για τη μέτρηση και την παρακολούθηση του φωτοβολταϊκού συστήματος μέσω μιας

οθόνης ή μιας συνδεδεμένης εφαρμογής smartphone για τον εντοπισμό τυχόν βλαβών.

- **Μεγιστοποίηση ισχύος:** Ένας υβριδικός μετατροπέας με ανιχνευτή σημείου μέγιστης ισχύος (MPPT) ελέγχει την ηλιακή ισχύ εξόδου και τη συσχετίζει με την τάση των μπαταριών. Αυτό επιτρέπει τη βέλτιστη απόδοση ισχύος και μετατρέπει την ισχύ DC στη βέλτιστη τάση για μέγιστη φόρτιση της μπαταρίας. Το MPPT διασφαλίζει ότι το ηλιακό σας σύστημα λειτουργεί αποτελεσματικά κάτω από οποιεσδήποτε συνθήκες, όπως ποικίλες ποσότητες ηλιακού φωτός, θερμοκρασία ηλιακού πάνελ και ηλεκτρικά φορτία.
- **Ανθεκτικότητα ισχύος:** Υπάρχει πάντα πρόσβαση στην τροφοδοσία, ακόμη και κατά τη διάρκεια διακοπής ρεύματος.
- **Εύκολη μετασκευή αποθήκευσης μπαταρίας:** Οι υβριδικοί μετατροπείς έχουν σχεδιαστεί για να ενσωματώνουν χώρο αποθήκευσης ανά πάσα στιγμή, επιτρέποντας τη μη εγκατάσταση μπαταριών από την αρχή, αν δεν υπάρχει η οικονομική δυνατότητα. [6]

2.5 Παράγοντες που επηρεάζουν τη ζωή ενός ηλιακού μετατροπέα

Ως πυρήνας του συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, η διάρκεια ζωής του ηλιακού μετατροπέα επηρεάζει άμεσα την κανονική λειτουργία ενός ολόκληρου σταθμού παραγωγής ενέργειας. Οι παράγοντες που επηρεάζουν άμεσα τη διάρκεια ζωής ενός ηλιακού μετατροπέα όσον αφορά τη διάρκεια ζωής του, το σχεδιασμό και την εγκατάσταση συνολικά, αναλύονται στη συνέχεια[7]

2.5.1 Διάρκεια ζωής εξαρτημάτων

Ο ηλιακός μετατροπέας είναι θεωρητικά ένα τροφοδοτικό μεταγωγής, επομένως τα περισσότερα εξαρτήματά του μπορούν να χωριστούν σε αντιστάσεις, πυκνωτές, διόδους, συσκευές ισχύος (τρανζίστορ IGBT ή MOS), επαγωγές και μετασχηματιστές, αισθητήρες ρεύματος, IC, οπτοζεύκτες, ρελέ κ.λπ.

Η διάρκεια ζωής των αντιστάσεων, των πυκνωτών μπορεί συνήθως να είναι μεγαλύτερη από 20 χρόνια. Οι επαγωγές και οι μετασχηματιστές, εφόσον η θερμοκρασία των πρώτων υλών τους δεν ανεβαίνει, μπορούν να λειτουργήσουν για μεγάλο χρονικό διάστημα χωρίς να είναι αναποτελεσματικά. Οι δίοδοι και οι τριόδοι χαμηλής κατανάλωσης μπορούν να λειτουργήσουν για περισσότερες από 100.000 ώρες. Η μηχανική ζωή του ρελέ είναι συνήθως πάνω από 1 εκατομμύριο φορές και η ηλεκτρική ζωή είναι μεγαλύτερη από 10.000 φορές. Εφόσον η συσκευή ισχύος IGBT ή MOS πληροί τις προδιαγραφές σχεδιασμού, συνήθως δεν λαμβάνεται υπόψη η διάρκεια ζωής. Οι ανεμιστήρες και οι ασφάλειες είναι εύθραυστα εξαρτήματα, τα οποία δεν επηρεάζουν άμεσα τη διάρκεια ζωής του ηλιακού μετατροπέα. Εάν είναι κατεστραμμένα, μπορούν να αντικατασταθούν εγκαίρως. Η διάρκεια ζωής των πυκνωτών χαρτιού είναι περισσότερες από 100.000 ώρες, και η διάρκεια ζωής των ηλεκτρολυτικών πυκνωτών υπολογίζεται συνήθως στους 105°C. Με κάθε πτώση της θερμοκρασίας κατά 10°C, η διάρκεια ζωής διπλασιάζεται. Επομένως, στους ηλιακούς μετατροπέες, το μεγαλύτερο μειονέκτημα των εξαρτημάτων είναι η διάρκεια ζωής των ηλεκτρολυτικών πυκνωτών.

2.5.2 Παράγοντες Σχεδιασμού

Η ποιοτική σχεδίαση είναι βασικό στοιχείο για τη διασφάλιση της μακροζωίας ενός ηλιακού μετατροπέα. Η θερμοκρασία του αέρα είναι ένας από τους κύριους παράγοντες που επηρεάζουν άμεσα τη διάρκεια ζωής των ηλιακών μετατροπέων, ειδικά για εξαρτήματα όπως ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές και οπτοζεύκτες. Κάθε φορά που η θερμοκρασία αυξάνεται κατά 10°C, η διάρκεια ζωής των ηλεκτρολυτικών πυκνωτών μειώνεται στο μισό. Το IGBT συνήθως οδηγείται από έναν οπτικό συζευκτήρα, επομένως η αναποτελεσματικότητα του οπτικού συζεύκτη θα οδηγήσει στην καταστροφή του IGBT.

Όταν το ρελέ διακόπτεται με μηδενικό ρεύμα, η διάρκεια ζωής είναι έως και 1 εκατομμύριο φορές, αλλά με την αύξηση του ρεύματος κατά τη μεταγωγή, η διάρκεια ζωής μειώνεται. Ο ακριβής έλεγχος λογισμικού για

να έχει ο διακόπτης ρελέ μηδενικό ρεύμα είναι ο κύριος παράγοντας για τη διασφάλιση της διάρκειας ζωής του ρελέ.

Το περιβάλλον των ηλιακών μετατροπέων είναι συνήθως σκληρό και επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες, όπως η κακή ποιότητα του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας και τα μεγάλα τοπικά επαγωγικά φορτία. Ένα λάθος στη διασύνδεση μπορεί να προκαλέσει έκρηξη του μηχανήματος.

2.5.3 Συνολικοί παράγοντες

Παρόλο που ο ηλιακός μετατροπέας στοιχειοσειρών έχει βαθμολογία IP65 και μπορεί να εγκατασταθεί σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους, η ποιότητα του περιβάλλοντος εγκατάστασης έχει μεγάλο αντίκτυπο στη διάρκεια ζωής του. Εάν ο ηλιακός μετατροπέας εγκατασταθεί σε περιβάλλον με υψηλή έκθεση στον ήλιο, περιβαλλοντική υγρασία και pH, η διάρκεια ζωής του θα μειωθεί και, ταυτόχρονα, θα προκαλέσει εύκολα υπερθέρμανση του ηλιακού μετατροπέα και μείωση του φορτίου, το οποίο θα επηρεάσει άμεσα την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Επομένως, η επιλογή κατάλληλου περιβάλλοντος εγκατάστασης είναι επίσης ο κύριος παράγοντας για τη διασφάλιση της διάρκειας ζωής του ηλιακού μετατροπέα.

3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΤΑ ΗΛΙΑΚΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Η ηλιακή ενέργεια είναι αυτή τη στιγμή η ταχύτερα αναπτυσσόμενη πηγή ηλεκτρικής ενέργειας στον κόσμο. Καθώς ο όγκος της εγκατεστημένης ηλιακής ενέργειας έχει αυξηθεί, το κόστος έχει μειωθεί δραματικά και τα ηλιακά συστήματα γίνονται προσιτά σε όλο και περισσότερους ανθρώπους.[8]

3.1 Μια σύντομη επισκόπηση

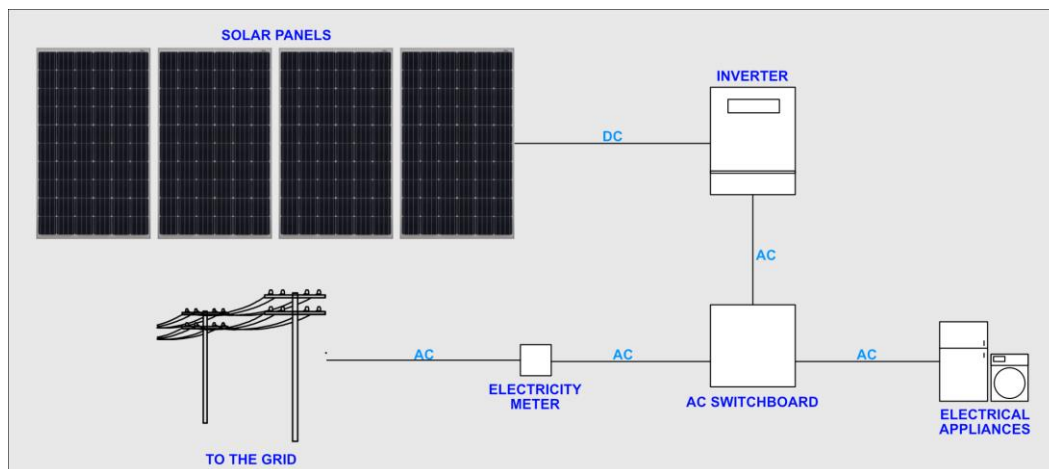
Ο πυρήνας ενός ηλιακού φωτοβολταϊκού συστήματος είναι τα ίδια τα ηλιακά πάνελ. Όταν εκτίθενται στο ηλιακό φως, τα πάνελ παράγουν ηλεκτρισμό συνεχούς ρεύματος (DC).

Τα πάνελ συνδέονται μεταξύ τους μέσω καλωδίων σε στοιχειοσειρές "strings" πριν συνδεθούν σε έναν μετατροπέα. Ο μετατροπέας μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια συνεχούς ρεύματος σε ηλεκτρισμό εναλλασσόμενου ρεύματος (AC) που είναι ο τύπος που χρησιμοποιείται στα σπίτια και στο ηλεκτρικό δίκτυο.[8]

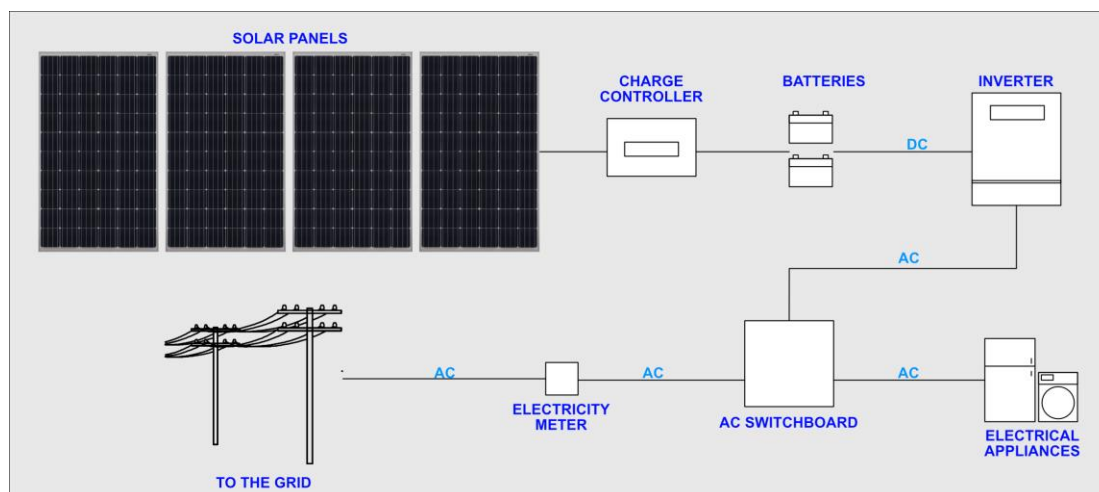
3.2 Συστήματα διασυνδεδεμένα με το δίκτυο και συστήματα εκτός δικτύου

Τα ηλιακά φωτοβολταϊκά συστήματα μπορεί να είναι συνδεδεμένα με δίκτυο ή εκτός δικτύου. Όπως υποδηλώνει το όνομα, στα συνδεδεμένα με το δίκτυο συστήματα ο καταναλωτής εξακολουθεί να είναι συνδεδεμένος με το ηλεκτρικό δίκτυο και αντλεί ηλεκτρισμό από το δίκτυο όταν το φωτοβολταϊκό σύστημα παράγει λιγότερη ηλεκτρική ενέργεια από αυτή που καταναλώνει ο καταναλωτής. Εάν το φωτοβολταϊκό σύστημα παράγει περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια από αυτή που χρειάζεται ο καταναλωτής, τότε μπορεί επίσης να τροφοδοτήσει την περίσσεια ηλεκτρική ενέργεια πίσω στο τοπικό δίκτυο ή να φορτίσει μια μπαταρία για χρήση μετά τη δύση του ηλίου. Το εάν είναι δυνατή ή όχι η τροφοδοσία ηλεκτρικής ενέργειας πίσω στο δίκτυο

εξαρτάται από τους κανόνες της εταιρείας κοινής ωφελείας, της πολιτείας ή της χώρας.



Σχήμα 3.1 Διασυνδεδεμένο Φωτοβολταϊκό σύστημα
(<https://solardesignguide.com/an-introduction-to-solar-pv-systems/>)



Σχήμα 3.2 Μη διασυνδεδεμένο φωτοβολταϊκό σύστημα
(<https://solardesignguide.com/an-introduction-to-solar-pv-systems/>)

Από την άλλη πλευρά, τα συστήματα εκτός δικτύου δεν είναι συνδεδεμένα σε κανένα εξωτερικό δίκτυο και πρέπει να παρέχουν όλη την ισχύ που απαιτείται από τον καταναλωτή, στον οποίο είναι συνδεδεμένο. Προκειμένου να συνεχιστεί η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας τη νύχτα ή κατά τη διάρκεια συννεφιασμένων περιόδων, αυτά τα συστήματα περιλαμβάνουν μπαταρίες για την αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από τα πάνελ. Απαιτούν επίσης έναν ελεγκτή φόρτισης, ο οποίος όπως υποδηλώνει το όνομα, ελέγχει τη φόρτιση των μπαταριών. Επομένως, η ρύθμιση ενός συστήματος εκτός

δικτύου είναι ελαφρώς διαφορετική. Συνήθως θα μοιάζουν με το παρακάτω απλοποιημένο διάγραμμα, ωστόσο αυτό θα διαφέρει ανάλογα με τη ρύθμιση. Για παράδειγμα, συστήματα που χρησιμοποιούν υβριδικούς μετατροπείς ή συστήματα μόνο DC θα έχουν διαφορετικές διατάξεις.[8]

3.3 Υπολογισμός μέγεθους των ηλιακών φωτοβολταϊκών συστημάτων

Τα ηλιακά συστήματα διαστασιολογούνται με βάση τις απαιτήσεις ηλεκτρικής ενέργειας του καταναλωτή, την ποσότητα του διαθέσιμου χώρου, το αν μπορεί ή δεν πρέπει να εξάγεται ισχύς στο δίκτυο και πολλούς άλλους παράγοντες.

Πρώτα είναι απαραίτητο να προσδιορισθεί η αναμενόμενη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας του καταναλωτή. Είτε μέσω προηγούμενων λογαριασμών ηλεκτρικού ρεύματος, είτε αθροίζοντας όλες τις ηλεκτρικές καταναλώσεις και υπολογίζοντας πόσο χρόνο χρησιμοποιείται η καθεμία.

Το επόμενο βήμα είναι να υπολογισθεί το μέγεθος του ηλιακού φωτοβολταϊκού συστήματος που ταιριάζει με τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας, λαμβάνοντας παράλληλα υπόψη τι θα προσφέρει την καλύτερη απόδοση. Ο τρόπος με τον οποίο γίνεται αυτό θα εξαρτηθεί από τον τύπο του συστήματος[8]

3.4 Διαστασιολόγηση συστημάτων που συνδέονται με το δίκτυο

Το μέγεθος των συστημάτων που συνδέονται με το δίκτυο επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από το αν είναι δυνατή η εξαγωγή ηλεκτρικής ενέργειας πίσω στο δίκτυο και το ποσό που πληρώνει η εταιρεία κοινής ωφέλειας για αυτήν την ηλεκτρική ενέργεια. Όταν είναι διαθέσιμη η καθαρή μέτρηση (δηλαδή όταν οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας πληρώνουν για οποιαδήποτε ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που εξάγεται στο δίκτυο), συνήθως διαστασιολογείται το σύστημα έτσι ώστε η ετήσια αναμενόμενη παραγωγή να ταιριάζει με την ετήσια χρήση.

Όταν λαμβάνεται μικρή ή καθόλου αποζημίωση για την ηλεκτρική ενέργεια που εξάγεται πίσω στο δίκτυο, τότε η διαστασιολόγηση πραγματοποιείται με γνώμονα να εξάγεται όσο το δυνατόν λιγότερη ηλεκτρική ενέργεια. [8]

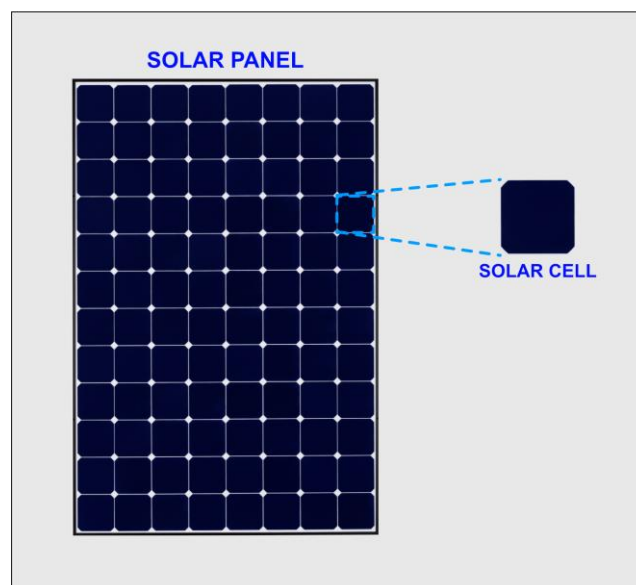
3.5 Διαστασιολόγηση συστημάτων εκτός δικτύου

Τα συστήματα εκτός δικτύου, συμπεριλαμβανομένων των μπαταριών τους, έχουν μέγεθος βάσει της αναμενόμενης χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και του πόσες ημέρες με συνεφιά θα πρέπει να μπορεί να συνεχίσει να λειτουργεί το σύστημα (ημέρες αυτονομίας).

Είναι δυνατό να υπολογιστεί πόση ηλεκτρική ενέργεια αναμένεται να παράγει ένα ηλιακό φωτοβολταϊκό σύστημα σε ένα μέσο έτος, αν και η πραγματική παραγωγή θα διαφέρει από έτος σε έτος ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες[8]

3.6 Ηλιακοί συλλέκτες

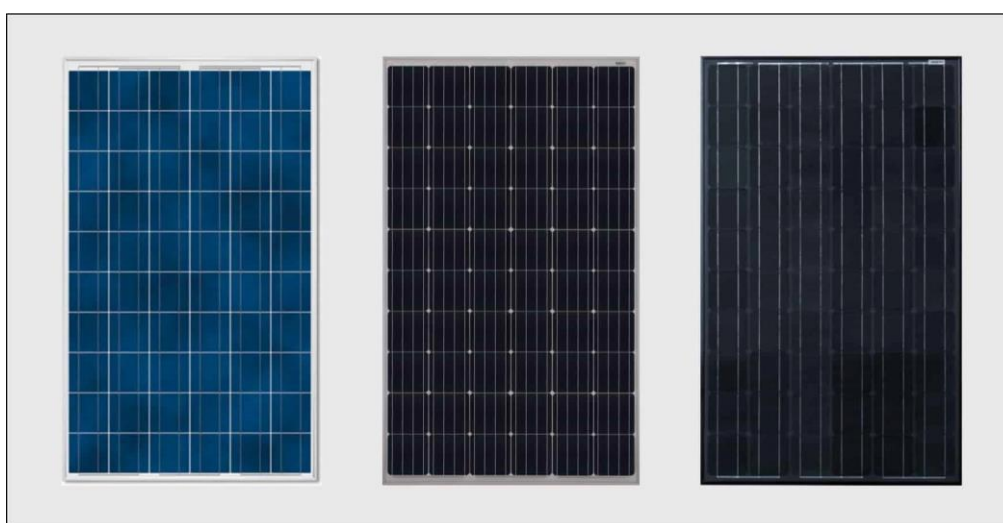
Τα ηλιακά πάνελ αποτελούνται από έναν αριθμό μικρότερων ηλιακών κυψελών πυριτίου που μετατρέπουν το ηλιακό φως σε ηλεκτρική ενέργεια.[8]



Εικόνα 3.1 Δομή ηλιακού πάνελ(<https://solardesignguide.com/an-introduction-to-solar-pv-systems/>)

Αυτά προστατεύονται συνήθως μεταξύ ενός μπροστινού φύλλου γυαλιού και ενός πίσω φύλλου πολυμερούς, με τα πάντα να συγκρατούνται μεταξύ τους από ένα πλαίσιο αλουμινίου. Συνήθως έρχονται προσυναρμολογημένα με καλώδια ώστε να μπορούν εύκολα να συνδεθούν μεταξύ τους και σε μετατροπέα.

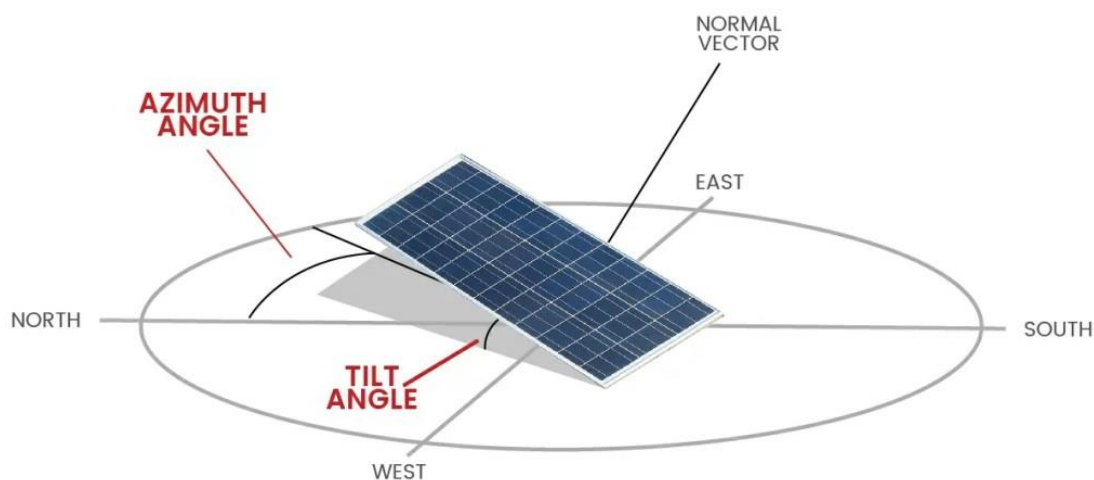
Τα ηλιακά πάνελ διατίθενται σε μια ποικιλία διαφορετικών τύπων τεχνολογίας, χρωμάτων και μεγεθών. Διαφορετικοί τύποι ηλιακών πάνελ έχουν διαφορετικές αποδόσεις, γεγονός που αλλάζει την ποσότητα ισχύος που μπορεί να παραχθεί από μια δεδομένη περιοχή της ταράτσας.



Εικόνα 3.2 Διαφορετικοί τύποι ηλιακών πάνελ.
(<https://solardesignguide.com/an-introduction-to-solar-pv-systems/>)

3.7 Η βέλτιστη γωνία χρήσης για τα πάνελ ηλιακής ενέργειας

3.7.1 Τεχνικές πληροφορίες



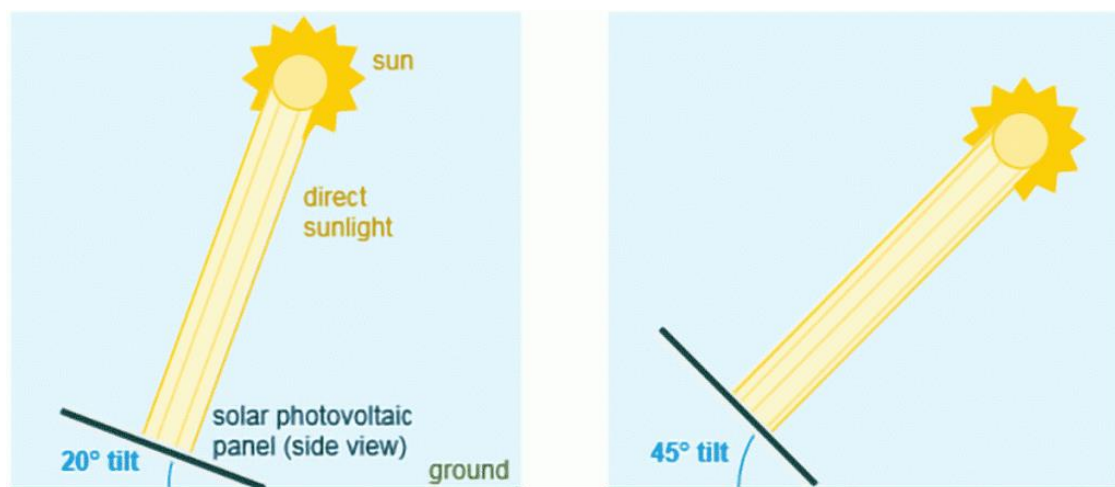
Σχήμα 3.3 Τοποθέτηση ηλιακού πάνελ με βάση τον προσανατολισμό
(<https://www.prostarsolar.net/article/how-to-set-solar-panel-angle-to-sun.html>)

Η γωνία ηλιακού πάνελ είναι ένας άλλος τρόπος περιγραφής της κατακόρυφης κλίσης του φωτοβολταϊκού σας συστήματος. Όταν ένα ηλιακό σύστημα βρίσκεται στο ίδιο επίπεδο με το έδαφος, δεν έχει κλίση. Αν στέκεται όρθια — κάθετα στο έδαφος — είναι σε γωνία 90° .

Η γωνία του ηλιακού πάνελ μπορεί να επηρεάσει την ποσότητα ηλιακής ηλεκτρικής ενέργειας που παράγετε και βασίζεται σε δύο παράγοντες: το γεωγραφικό πλάτος και την εποχή.

Η βελτιστοποίηση και η προσαρμογή της κλίσης του ηλιακού πάνελ σύμφωνα με αυτούς τους παράγοντες μπορεί να σας βοηθήσει στη μεγιστοποίηση την παραγωγή ηλιακής ενέργειας.

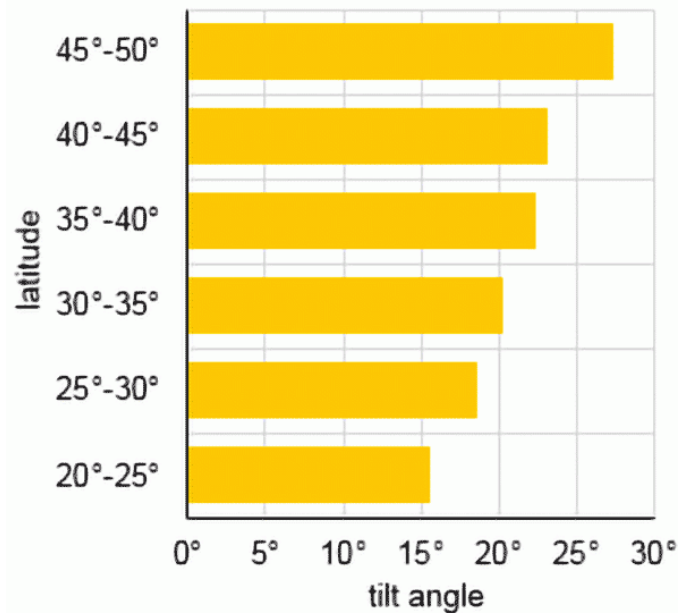
Η γωνία κλίσης αυξάνεται με το γεωγραφικό πλάτος - όσο πιο μακριά από τον ισημερινό βρίσκεται η εγκατάσταση, τόσο μεγαλύτερη θα πρέπει να είναι η γωνία κλίσης..



Σχήμα 3.4 Η γωνία κλίσης εξαρτάται από τη θέση του ήλιου σε κάθε περιοχή της γης (<https://www.prostarsolar.net/article/how-to-set-solar-panel-angle-to-sun.html>)

Για παράδειγμα, σε μέρη που βρίσκονται σε χαμηλότερα γεωγραφικά πλάτη, δηλ πιο κοντά στον ισημερινό, ο ήλιος βρίσκεται ψηλότερα στον ουρανό. Σε αυτές τις περιπτώσεις, τα ηλιακά πάνελ απαιτούν χαμηλή κλίση για να συλλάβουν το άμεσο ηλιακό φως.

Αντίθετα, για τοποθεσίες σε υψηλότερα γεωγραφικά πλάτη, δηλαδή μακριά από τον ισημερινό, ο ήλιος βρίσκεται χαμηλότερα στον ουρανό. Σε αυτές τις περιπτώσεις, τα ηλιακά φωτοβολταϊκά πάνελ θα πρέπει να εγκατασταθούν σε υψηλότερες γωνίες κλίσης, προκειμένου να λαμβάνουν τη μέγιστη ηλιακή ακτινοβολία.[9]



Διάγραμμα 3.1 Η βέλτιστη γωνία ηλιακού πάνελ αυξάνεται με το γεωγραφικό πλάτος (<https://www.prostarsolar.net/article/how-to-set-solar-panel-angle-to-sun.html>)

3.7.2 Τρόπος εγκατάστασης των πάνελ

Υπάρχουν τρεις κύριοι τρόποι εγκατάστασης ηλιακών συλλεκτών για τη βέλτιστη ισχύ εξόδου κατά τη διάρκεια ενός έτους:

1. Σε σύστημα ιχνηλάτησης του Ήλιου
2. Σε ένα συγκρότημα μεταβλητής κλίσης στραμμένο προς τον μεσημεριανό Ήλιο
3. Σε σταθερή θέση με κλίση προς τον μεσημεριανό Ήλιο

Η πρώτη είναι μια δαπανηρή επιλογή που απαιτεί μια στιβαρή βάση πάνελ, κινητήρες και έναν υπολογιστή για τον υπολογισμό της γωνίας του Ήλιου για κάθε στιγμή του έτους με βάση το γεωγραφικό πλάτος και μήκος. Θα γείρει το πάνελ προς τη βέλτιστη γωνία του Ήλιου, θα παρακολουθεί τον Ήλιο στον ουρανό και κατά τη δύση του ηλίου περιστρέφει όλη τη βάση πίσω προς την Ανατολή

Η δεύτερη μέθοδος είναι η τοποθέτηση των πάνελ σε μία βάση ή άλλη κατασκευή και η χειροκίνητη αλλαγή της κλίσης των πάνελ κατά τη διάρκεια του έτους, έτσι ώστε να δείχνουν πάντα στη σωστή γωνία για να λάβουν τη μέγιστη ηλιακή ενέργεια.

Για την τρίτη μέθοδο, πρέπει να είναι γνωστό το γεωγραφικό πλάτος στην επιφάνεια της Γης για την εγκατάσταση και η κατεύθυνση του "αληθινού βορρά" - όχι μαγνητικός (πυξίδα) βορρά. Χρησιμοποιώντας αυτές τις πληροφορίες και τα παρακάτω διαγράμματα, τα πάνελ εγκαθίστανται για μια βέλτιστη υπολογισμένη γωνία.

3.7.3 Χειμώνας

Για την καλύτερη χειμερινή απόδοση πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι η γωνία του ήλιου είναι πολύ χαμηλότερη στον χειμερινό ουρανό και οι ώρες του χειμερινού ηλιακού φωτός είναι πολύ μικρότερες. Για πάνελ σταθερής γωνίας, η ώθηση του πλαισίου προς τα κάτω και άρα προς τη χαμηλότερη γωνία ήλιου του χειμώνα μπορεί να αντισταθμίσει κάπως την απώλεια της παραγόμενης kWh κατά τη διάρκεια της ημέρας. Ο στόχος είναι το πάνελ να είναι κάθετο στις ηλιακή ακτινοβολία. Για μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη, αυτό θα βοηθήσει επίσης το χιόνι να γλιστρήσει από τον πάνελ.



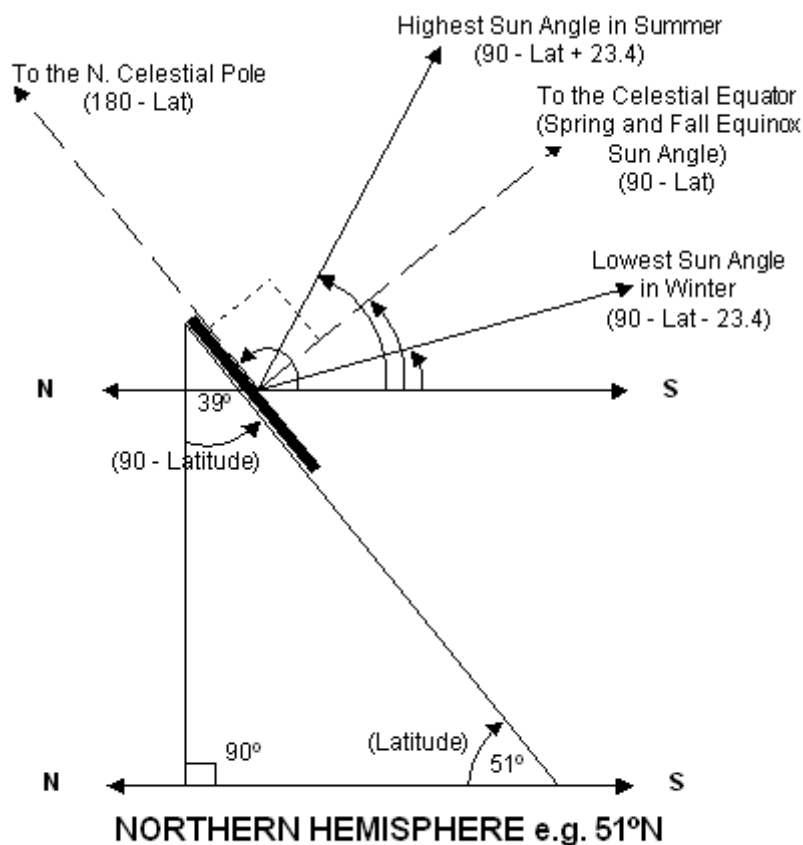
Εικόνα 3.3 Μια νυχτερινή φωτογραφία ενός ηλιακού πάνελ που χρησιμοποιείται για την τροφοδοσία μιας πινακίδας "SLOW To 30km". (<https://calgary.rasc.ca/solarpanels.htm>)

Είναι εγκατεστημένο στην κατάλληλη γωνία για το Κάλγκαρι (Καναδάς), 51°. Είναι όμως εντελώς καλυμμένο με χιόνι. Έτσι, μερικές φορές η "βέλτιστη μαθηματική γωνία" ΔΕΝ είναι η γωνία που πρέπει να επιλεγεί για τη χειμερινή ώρα. Εάν υπάρχει πρόβλημα συσσώρευσης χιονιού, τότε τα πάνελ πρέπει να τοποθετηθούν τα πιο κάθετα και να αντισταθμισθεί η απώλεια ενέργειας χρησιμοποιώντας πρόσθετα πάνελ.

3.7.4 Καλοκαίρι

Για την καλύτερη καλοκαιρινή απόδοση, πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι η γωνία του ήλιου είναι πολύ υψηλότερη στον καλοκαιρινό ουρανό και οι ώρες του καλοκαιριού είναι πολύ μεγαλύτερες. Για πάνελ σταθερής γωνίας, η ώθηση του πλαισίου προς τα πάνω προκειμένου το πλαίσιο να είναι κάθετο προς τις ακτίνες του ήλιου, είναι απαραίτητη

3.7.5 Εγκατάσταση στο βόρειο ημισφαίριο



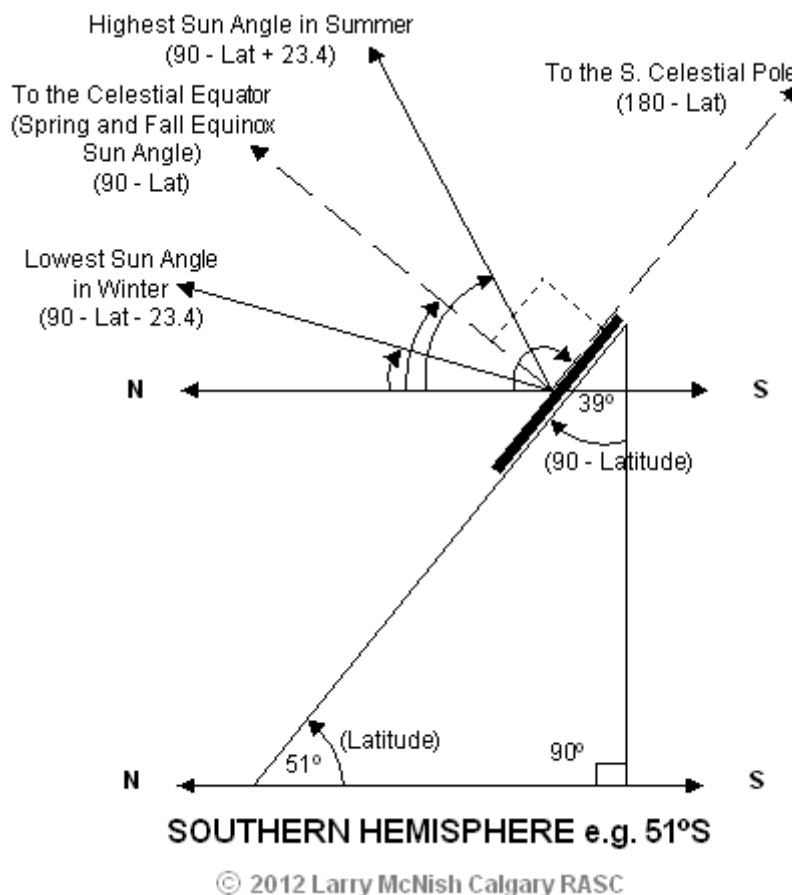
© 2012 Larry McNish Calgary RASC

Σχήμα 3.5 Τοποθέτηση πάνελ στο βόρειο ημισφαίριο
<https://calgary.rasc.ca/solarpanels.ht>

- "Lat" είναι το γεωγραφικό πλάτος της θέσης του ηλιακού πάνελ.
- Η γωνία 23,4 αναφέρεται στην κλίση του άξονα BN της Γης σε σχέση με το επίπεδο της τροχιάς της Γης και ονομάζεται "Κλίση".
- Η βέλτιστη μαθηματική γωνία είναι να στρέψουμε την όψη των ηλιακών συλλεκτών στον Ουράνιο Ισημερινό όπως φαίνεται παραπάνω.
- Ωστόσο, η γωνία μπορεί να αλλάξει με βάση την Κύρια χρήση του συστήματος όπως περιγράφεται στον παραπάνω πίνακα.

3.7.6 Εγκατάσταση στον Ισημερινό

Στον Ισημερινό, το πλαίσιο θα είναι οριζόντιο (Lat=0)
 Εγκατάσταση στο Νότιο Ημισφαίριο



Σχήμα 3.6 Τοποθέτηση πάνελ στο νότιο ημισφαίριο
<https://calgary.rasc.ca/solarpanels.htm>

- "Lat" είναι το γεωγραφικό πλάτος της θέσης του ηλιακού πάνελ.
- Η γωνία 23,4 αναφέρεται στην κλίση του άξονα BN της Γης σε σχέση με το επίπεδο της τροχιάς της Γης και ονομάζεται "Κλίση".
- Η βέλτιστη μαθηματική γωνία είναι να στρέψουμε την όψη των ηλιακών συλλεκτών στον Ουράνιο Ισημερινό όπως φαίνεται παραπάνω.
- Ωστόσο, η γωνία μπορεί να αλλάξει με βάση την Κύρια χρήση του συστήματος όπως περιγράφεται στον παραπάνω πίνακα.

3.7.7 Τεχνικές Παρατηρήσεις

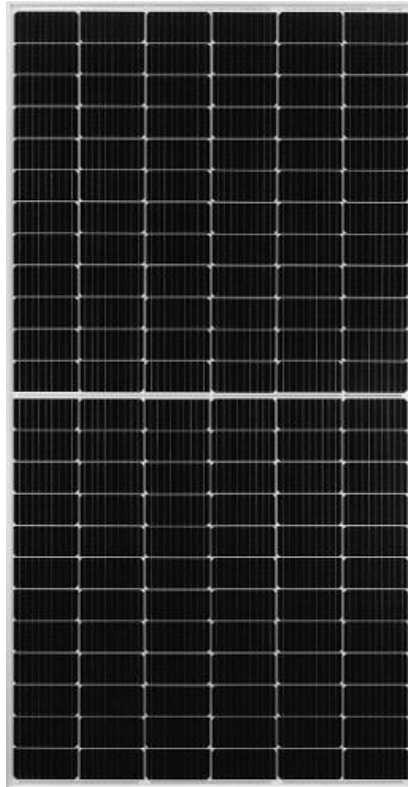
3.7.7.1 Ευθυγράμμιση Βορρά - Νότου:

Η ευθυγράμμιση τον άξονα NS πρέπει να γίνεται στον "αληθινό βορρά" (όπως φαίνεται στα παραπάνω σχήματα) χρησιμοποιώντας έναν καλό χάρτη και όχι "μαγνητικό βορρά" όπως καθορίζεται από μια πυξίδα.[10]

4 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 -ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

4.1 Φωτοβολταϊκά πλαίσια

Το ΦΒ θα αποτελείται από φωτοβολταϊκά πλαίσια τεχνολογίας μονοκρυσταλλικού πυριτίου της εταιρείας Sharp.



**Εικόνα 4.1 Το φωτοβολταϊκό πλαίσιο Sharp NU-JD 450Wp
μονοκρυσταλλικού πυριτίου**

(<https://www.mipesun.gr/%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CE%B9%CE%BA%CE%B1-%CF%80%CE%B1%CE%BD%CE%B5%CE%BB/%CE%BC%CE%BF%CE%BD%CE%BF%CE%BA%CF%81%CF%85%CF%83%CF%84%CE%B1%CE%B%CE%BB%CE%B9%CE%BA%CE%B1/sharp-nu-jd-440wp.htm>)

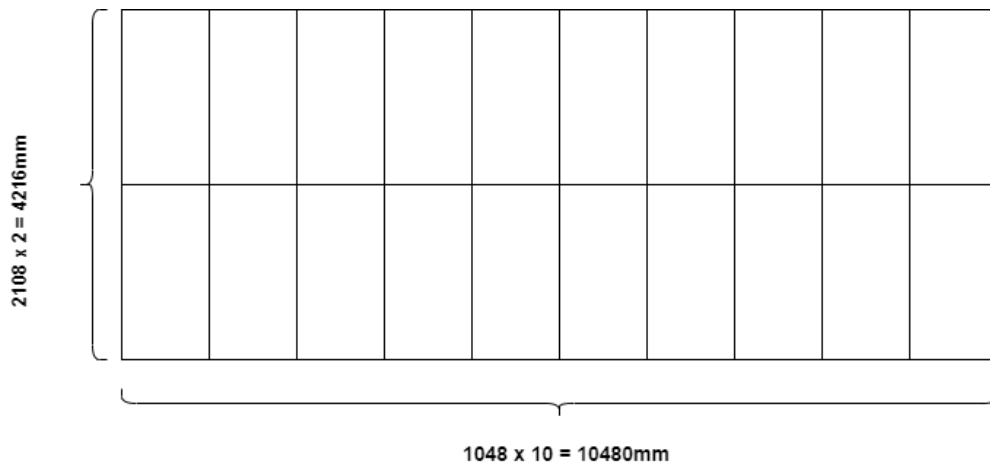
Πίνακας 4-1 Ηλεκτρικά και μηχανικά χαρακτηριστικά του πάνελ

Μέγιστη ισχύς (MPPT) : 450W
Βαθμός απόδοσης : 19,9%
Ρεύμα (MPPT) : 10,68A
Τάση (MPPT) : 41,20V
Ρεύμα βραχυκύκλωσης : 11,49A
Τάση ανοικτοκύκλωσης : 49,77V
Θερμοκρασιακός συντελεστής ισχύος : -0,347%/°C
Διαστάσεις : 2108mm×1048mm×35mm
Βάρος : 25,5kg
Θερμοκρασίες λειτουργίας : -40°C έως +85°C

Η ισχύς του πάρκου είναι 500kW, οπότε θα χρησιμοποιηθούν $500\text{kW}/450\text{W}=1112$ πάνελ ή 1118, όπως προκύπτει από την ηλεκτρολογική διασύνδεσή τους με τους αντιστροφείς, που περιγράφεται παρακάτω.

4.2 Συστήματα στήριξης

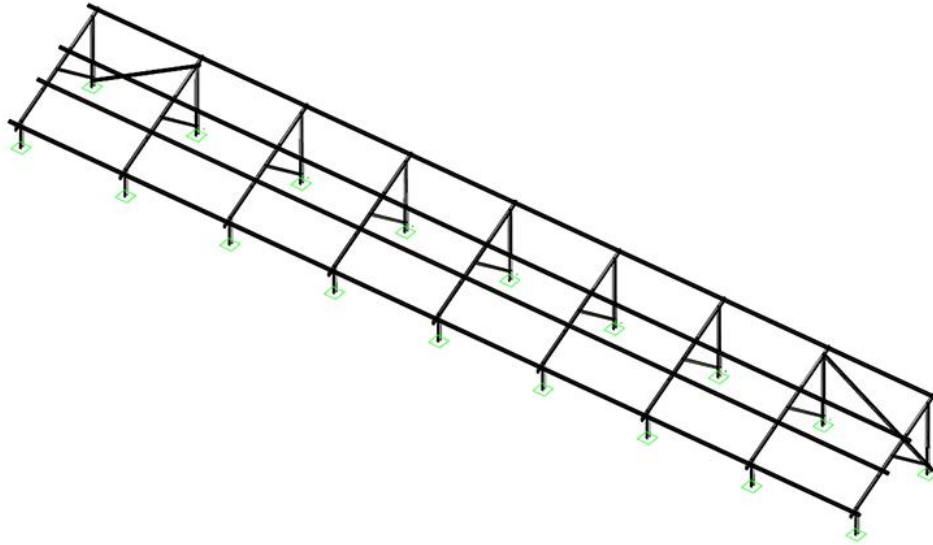
Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια θα εγκατασταθούν σε ομάδες (Συστοιχίες/Τραπέζια), με τη βοήθεια Συστημάτων Στήριξης. Θα χρησιμοποιηθούν 55 τεμάχια, καθένα ικανό να φέρει 20 φωτοβολταϊκά πλαίσια (2 σειρές των 10 panel) έκαστο και ένα τραπέζι που θα φέρει 8 panel . Η κλίση των συστημάτων στήριξης θα είναι 30°.



Σχήμα 4.1 Η διάταξη των πάνελ πάνω στο τραπέζι



Εικόνα 4.2 Τα τραπέζια πάνω στα οποία θα τοποθετηθούν τα πάνελ
 (<https://evagsolar.gr/%CE%B2%CE%AC%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82%CF%83%CF%84%CE%AE%CF%81%CE%B9%CE%BE%CE%B7%CF%82%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CF%8A%CE%BA%CF%8E%CE%BD/>)



Εικόνα 4.3 Το τραπέζι στήριξης

(<https://evagsolar.gr/%CE%B2%CE%AC%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82%CF%83%CF%84%CE%AE%CF%81%CE%B9%CE%BE%CE%B7%CF%82%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CF%8A%CE%BA%CF%8E%CE%BD/>)

4.3 Αντιστροφείς (INVERTER)

Θα χρησιμοποιηθούν αντιστροφείς της εταιρείας KACO και συγκεκριμένα το μοντέλο blueplanet 125 - 150 TL3, ισχύος 187500 watt

Πίνακας 4-2 Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του αντιστροφέα

(<https://kaco-newenergy.com/index.php?eID=dumpFile&t=f&f=10164&token=189dc89caafe085459c3ebd9c65eeb21e65842b9>)

DC input data	125 TL3
Max. recommended PV generator power	187 500 W
MPP range	875 - 1 300 V
Operating range	875 - 1 450 V
Rated DC voltage / start voltage	900 V / 1 000 V
Max. no-load voltage	1 500 V
Max. input current	160 A
Max. short circuit current $I_{sc,max}$	300 A
Number of MPP tracker	1
Connection per tracker	1 - 2



Εικόνα 4.4 Ο αντιστροφέας Sunny Central 630CP (<https://kaco-newenergy.com/index.php?eID=dumpFile&t=f&f=10164&token=189dc89caafe085459c3ebd9c65eeb21e65842b9>)

4.4 Ηλεκτρολογικός έλεγχος^[11]

Κάθε σειρά (string) περιλαμβάνει 26 πάνελ. Θα χρησιμοποιηθούν 3 αντιστροφείς 187,5kW. Οι δύο θα δέχονται 14 σειρές και ο τελευταίος θα δέχεται 15 σειρές

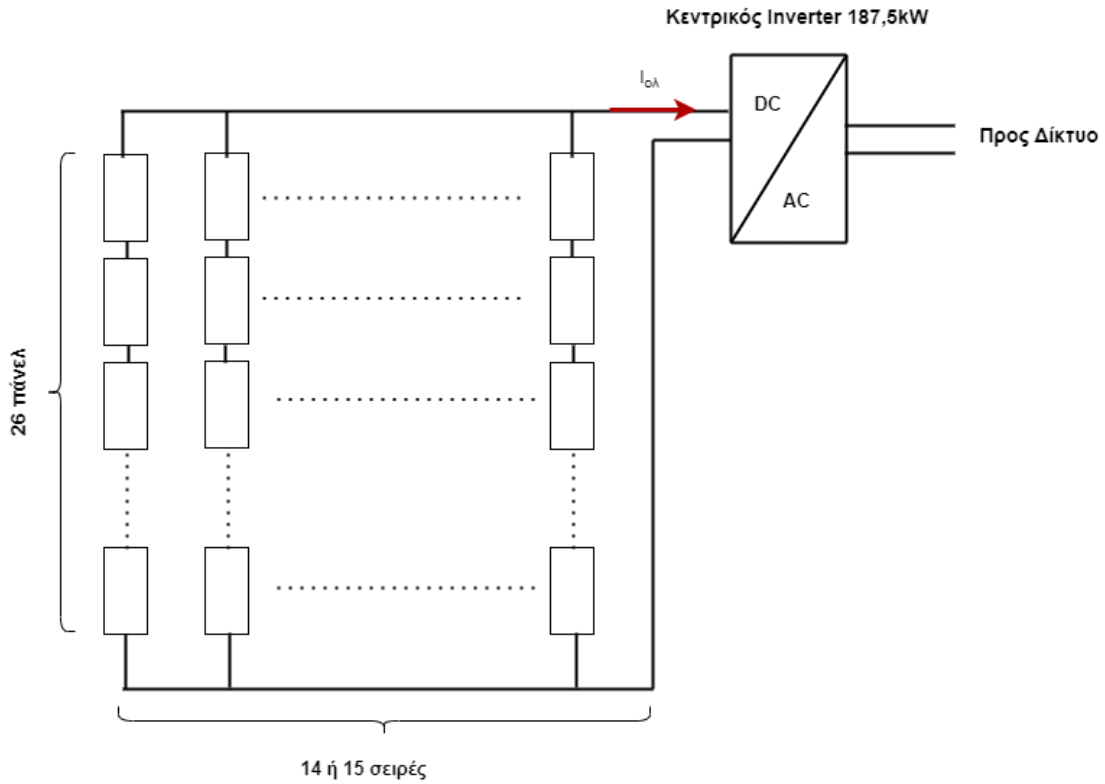
Ακολουθεί ηλεκτρικός έλεγχος που θα δείξει και την εφικτή ηλεκτρολογική διασύνδεση.

Πρέπει $V_{DC,m} = V_{mp} \times N_{\text{πάνελ}} = 41.2V \times 26 \text{πάνελ} = 1071,2 \text{Volt}$,

Τα όρια του inverter είναι $875V < V_{mpp} < 1300V$, άρα η τάση του string είναι εντός ορίων

$V_{DC,oc} = V_{oc} \times N_{\text{πάνελ}} = 49.77V \times 26 \text{πάνελ} = 1294 < V_{DC,max} = 1450V$ άρα το string δεν υπερβαίνει τη μέγιστη τάση του inverter

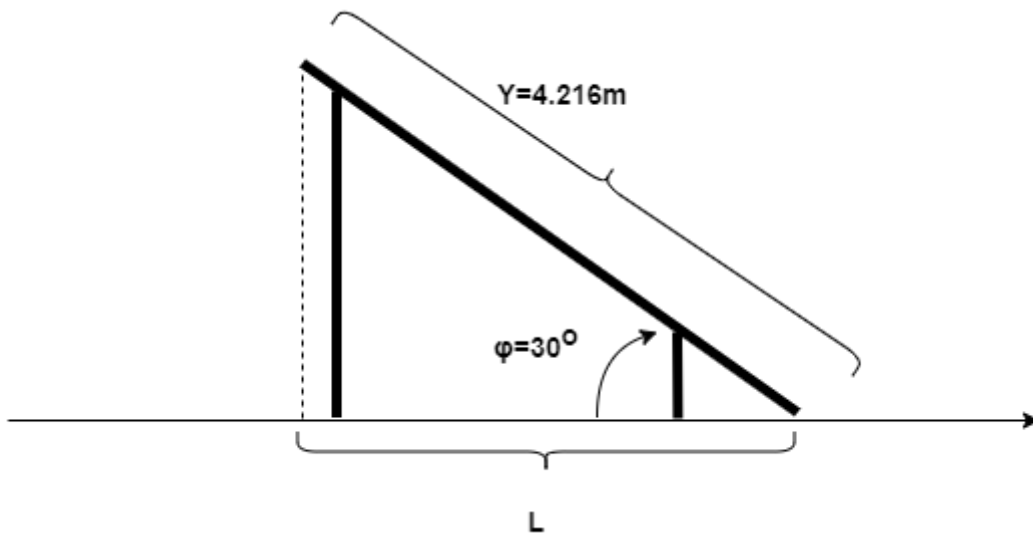
$I_{ολ} = 15 \times 11.49A = 172.35 < 300A$ άρα το string δεν υπερβαίνει το μέγιστο ρεύμα του inverter



Σχήμα 4.2 Διασύνδεση των πάνελ με τον αντιστροφέα

4.5 Διαστασιολόγηση του πάρκου^[11]

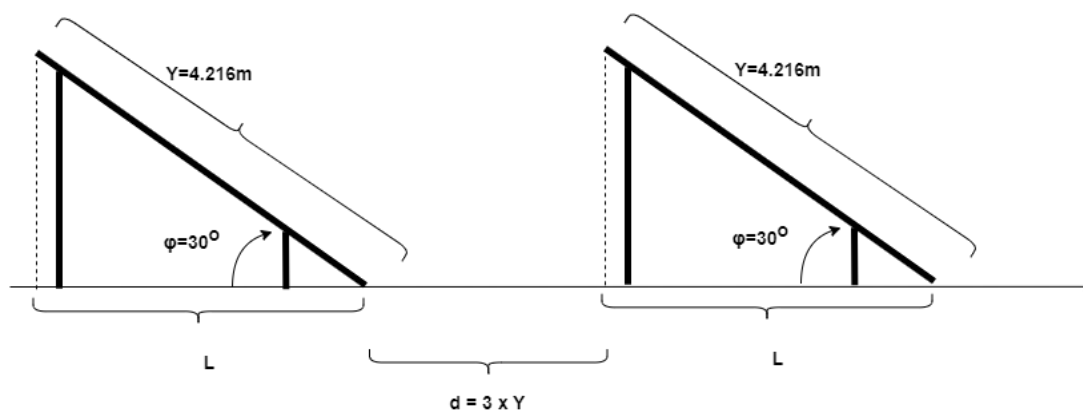
Η κατασκευή με τα πάνελ τοποθετείται με κλίση 30° από το έδαφος, οπότε κάθε τραπέζι όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα καταλαμβάνει $L = Y \cdot \cos\varphi = 4.216 \cdot \cos 30 = 3,65\text{m}$



Σχήμα 4.3 Η γωνία τοποθέτησης των πάνελ

Οπότε κάθε string θα καταλαμβάνει εμβαδό $E=3.65\text{m}\times 10.48\text{m}=38.252\text{m}^2$

Για την ασφαλή απόσταση d μεταξύ των τραπεζιών ώστε να μην υπάρχουν σκιάσεις στα διαδοχικά τραπέζια, χρησιμοποιούμε τον εμπειρικό κανόνα $d=3\times Y$



Σχήμα 4.4 Υπολογισμός της απόστασης μεταξύ διαδοχικών τραπεζιών

Προκειμένου να υπολογίσουμε το συνολικό εμβαδόν που θα καταλαμβάνει το πάρκο θα θεωρήσουμε ότι όλα τα τραπέζια θα τοποθετηθούν στην ίδια ευθεία, το ένα πίσω από το άλλο. Έτσι λοιπόν το συνολικό εμβαδόν υπολογίζεται ως εξής

$$E_{\text{ολ}} = (56 \times L + 55 \times d) \times \text{μήκος τραπεζιού} = (56 \times 3.65 + 55 \times 3 \times 3.65) \times 10.48 = 8453.692\text{m}^2 \text{ ή περίπου } 8.5\text{στρέματα}$$

Συνολικά υπολογίζουμε 9 στρέματα διότι στην εγκατάσταση περιλαμβάνονται οι αντιστροφείς και ο οικίσκος με τον ΜΣ και τις διατάξεις ελέγχου και επικοινωνίας

5 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] <https://avilasolar.com/a-guide-to-large-photovoltaic-powerplant-design/>
- [2] <https://solardesignguide.com/an-introduction-to-solar-pv-systems/>
- [3] <https://www.sma.de/en/partners/knowledgebase/pv-inverters-basic-facts-for-planning-pv-systems>
- [4] <https://www.inverter.com/3-different-types-of-solar-inverters>
- [5] <https://greenridgesolar.com/types-of-solar-inverters/>
- [6] <https://www.inverter.com/hybrid-solar-inverter-basics-introduction-functions-and-advantages>
- [7] <https://www.inverter.com/what-factors-will-affect-the-solar-inverter-life>
- [8] <https://solardesignguide.com/an-introduction-to-solar-pv-systems/>
- [9] <https://www.prostarsolar.net/article/how-to-set-solar-panel-angle-to-sun.html>)
- [10] <https://calgary.rasc.ca/solarpanels.htm>

[11] ΣΧΟΙΝΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ, ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ
«ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ», ΤΜΗΜΑ
ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ, ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ