



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.



Θέμα : < Σχεδιασμός αυτόνομου ΦΒ συστήματος για τροφοδοσία οικίας με μέγιστη ζήτηση ισχύος 4KW >

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ : ΑΠΟΣΤΟΛΟΠΟΥΛΟΣ ΑΡΙΣΤΕΙΔΗΣ

Επιβλέπων Καθηγητής: Σταθάτος Ηλίας

ΠΑΤΡΑ 2019

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το περιεχόμενο της Πτυχιακής Εργασίας, πραγματεύεται τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και πιο συγκεκριμένα, τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα.

Τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι οι μονάδες μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια, οι οποίες προσφέρουν ενεργειακή αυτονομία σε οικίες, καταστήματα ή άλλες εγκαταστάσεις. Το μέγεθος εξαρτάται από την ενεργειακή κατανάλωση των ηλεκτρικών συσκευών σε κάθε περίπτωση. Ανάλογα με τις ενεργειακές ανάγκες, το κόστος ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος μπορεί να κυμανθεί από μερικές εκατοντάδες έως μερικές χιλιάδες ευρώ.

Στην παρούσα Πτυχιακή Εργασία θα γίνει η μελέτη για την τροφοδότηση μίας οικίας στην περιοχή της Θεσσαλονίκης με μέγιστη ζήτηση ισχύος 4Kw. Θα περιγραφεί ο τρόπος λειτουργίας του φωτοβολταϊκού συστήματος αλλά και τα εξαρτήματα τα οποία περιλαμβάνονται σε αυτό. Παράλληλα θα δοθεί ενδεικτικό κόστος λειτουργίας του σύμφωνα με τα τωρινά δεδομένα.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	2
ΠΕΡΙΕΡΧΟΜΕΝΑ.....	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	
1.1 Φωτοβολταϊκό στοιχείο.....	6
1.2 Τύποι φωτοβολταϊκών στοιχείων.....	6
1.2.1 Μονοκρυσταλλικά στοιχεία πυριτίου (sc-Si).....	7
1.2.2 Πολυκρυσταλλικά στοιχεία πυριτίου (ms-Si).....	7
1.2.3 Άμορφο πυρίτιο (a-Si).....	8
1.2.4 Άλλα είδη.....	8
1.3 Παράγοντες απόδοσης φωτοβολταϊκών.....	8
1.3.1 Παράγοντες γήρανσης φωτοβολταϊκών πλαισίων.....	8
1.3.2 Οπτικές ενεργειακές απώλειες.....	8
1.3.3 Διαφοροποίηση ανακλαστικότητας φωτοβολταϊκού πλαισίου σε σχέση με την αντίστοιχη σε STC.....	8
1.3.4 Επίδραση διαφοροποίηση φάσματος ακτινοβολίας σε σχέση με το AM1.5.....	8
1.3.5 Απώλειες διαφοροποίησης της πόλωσης.....	9
1.3.6 Απώλειες χαμηλών τιμών πυκνότητας ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας.....	9
1.3.7 Καθαρότητα όψεως του φωτοβολταϊκού πλαισίου.....	9
1.3.8 Επίδραση θερμοκρασίας φωτοβολταϊκής κυψελίδας.....	9
1.4 Επίδραση της ηλιοφάνειας στο φωτοβολταϊκό πλαίσιο.....	9
1.5 Προβλήματα σκίασης ή βλάβης ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου.....	10
1.6 Ποιες ενεργειακές ανάγκες μπορεί να καλύψει ένα φωτοβολταϊκό σύστημα.....	10
1.7 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των φωτοβολταϊκών συστημάτων.....	11
1.8 Κατηγορίες και σύνδεση φωτοβολταϊκών συστημάτων.....	12
1.8.1 Εκτός δικτύου ή Απομονωμένο φωτοβολταϊκό σύστημα.....	12
1.8.1.1 Αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα.....	12

1.8.1.2 Υβριδικό φωτοβολταϊκό σύστημα.....	12
1.8.2 Φωτοβολταϊκό σύστημα συνδεδεμένο στο δίκτυο.....	13
1.9 Αρχιτεκτονική ενσωμάτωση των φωτοβολταϊκών.....	13
1.10 Εγκατάσταση φωτοβολταϊκού σύστημα.....	14
1.11 Γείωση αντιστροφέα.....	15
1.12 Προστασία φωτοβολταϊκών συστημάτων από υπερτάσεις και αντικεραυνική προστασία.....	17
1.13 Συστήματα στήριξης φωτοβολταϊκών συστημάτων.....	18
1.13.1 Στήριξη με σταθερή γωνία κλίση του συλλέκτη.....	18
1.13.2 Στήριξη με εποχιακή ρύθμιση της κλίσης του συλλέκτη.....	19
1.14 Τρόποι σύνδεσης φωτοβολταϊκών πλαισίων.....	21

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

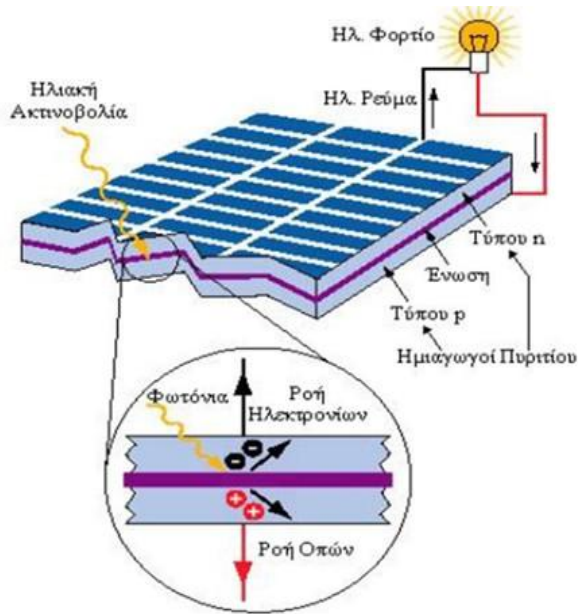
2.1 Αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα.....	23
2.2 Συσσωρευτές.....	23
2.3 Επιλογή συσσωρευτών κατά τον σχεδιασμό φωτοβολταϊκού σύστημα.....	25
2.4 Ελεγκτής φόρτισης.....	27
2.5 Επιλογή ελεγκτή φόρτισης κατά τον σχεδιασμό φωτοβολταϊκού συστήματος.....	27
2.6 Μετατροπέας τάσεως (Αντιστροφέας/ Inverter).....	28
2.6.1 Μετατροπέας συνεχούς τάσεως σε συνεχή (DC-DC).....	28
2.6.2 Μετατροπέας συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενα (DC-AC Inverter).....	29
2.6.3 Μετατροπέας εναλλασσόμενης τάσης σε συνεχή (AC-DC convert).....	29
2.7 Επιλογή μετατροπέα τάσεως κατά το σχεδιασμό του φωτοβολταϊκού συστήματος.....	29
2.8 Τύποι καλωδίων και μέσων προστασίας.....	30
2.9 Επιλογή ηλεκτρικών αγωγών σε αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα.....	30
2.10 Ισχύς αιχμής φωτοβολταϊκής συστοιχίας.....	30
2.11 Απόσταση μεταξύ διαδοχικών φωτοβολταϊκών συστοιχιών.....	32

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1 Εφαρμογή αυτόνομο φωτοβολταϊκού συστήματος.....	34
3.2 Καταγραφή φορτίου κατανάλωσης- Ποσοστό φορτίου έμμεσης τροφοδοσίας.....	34
3.3 Επιλογή γωνίας κλίσης (β) φωτοβολταϊκών πλαισίων.....	37
3.4 Ισχύς αιχμής φωτοβολταϊκής συστοιχίας.....	38
3.5 Επιλογή συσσωρευτών.....	39
3.6 Επιλογή φωτοβολταϊκών πλαισίων.....	40
3.7 Επιλογή ελεγκτή φόρτισης και αντιστροφέα.....	41
3.8 Ενεργειακή εκτίμηση του φωτοβολταϊκού συστήματος ανά μήνα.....	42
3.9 Επιλογή τύπου και διατομής καλωδίων.....	50
3.10 Επιλογή και τύπος διακοπτικών στοιχείων.....	56
3.11 Αρχική εκτίμηση κόστους διασυνδεδεμένου φωτοβολταϊκού συστήματος.....	57
 BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	 58

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1 Φωτοβολταϊκό στοιχείο



Το φωτοβολταϊκό στοιχείο είναι ηλεκτρονική διάταξη, η οποία παράγει ηλεκτρική ενέργεια, όταν δεχθεί ακτινοβολία. Αποτελείται από ημιαγωγικές διόδους. Όταν τα φωτόνια μίας ακτινοβολίας πέσουν στην επιφάνεια του Φ/Β στοιχείου άλλα ανακλώνται, άλλα διαπερνούν το ημιαγωγικό υλικό κατασκευής του στοιχείου και άλλα απορροφώνται από αυτό. Τα φωτόνια αυτά εξαναγκάζουν τα ηλεκτρόνια του ημιαγωγικού να μετακινηθούν με την ενέργεια που τους δίνουν, οπότε δημιουργείται μια κίνηση ηλεκτρονίων. Η κίνηση (ροή) αυτών των ηλεκτρονίων είναι το ηλεκτρικό ρεύμα, το οποίο μπορεί να

χρησιμοποιηθεί άμεσα για την λειτουργία συσκευών. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία έχουν συνήθως τετραγωνική μορφή, ώστε η εσωτερική επαφή των ημιαγωγών να καταλαμβάνει όλη την επιφάνεια του πλακιδίου.

Ένα σύνολο φωτοβολταϊκών στοιχείων, που είναι ηλεκτρονικά συνδεδεμένο, αποτελεί το φωτοβολταϊκό πλαίσιο, το οποίο αποτελεί τη βασική μονάδα της φωτοβολταϊκής γεννήτριας. Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια κατασκευάζονται από κατάλληλα επεξεργασμένους δίσκους πυριτίου, που σφραγίζονται ερμητικά μέσα σε πλαστική ύλη, για να προστατεύονται από τις καιρικές συνθήκες και ιδιαίτερα από την υγρασία. Η μπροστινή όψη του πλαισίου προστατεύεται από αυθεντικό γυαλί. Τις περισσότερες φορές όλη η κατασκευή τοποθετείται σε πλαίσιο αλουμινίου. Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια τοποθετούνται συνήθως σε κοινή κατασκευή (βάση), αλληλοσυνδέονται ηλεκτρικά μεταξύ τους δημιουργώντας μια ομάδα την οποία ονομάζουμε φωτοβολταϊκή συστοιχία.

1.2 Τύποι φωτοβολταϊκών στοιχείων

Στην σημερινή αγορά το υλικό που χρησιμοποιείται περισσότερο για την κατασκευή φωτοβολταϊκών στοιχείων είναι το πυρίτιο. Το πυρίτιο προέρχεται από την άμμο η οποία, όταν υποστεί την κατάλληλη επεξεργασία, τότε παράγει πυρίτιο που στην τελική του

μορφή χαρακτηρίζεται από την υψηλή του καθαρότητα (99,9%). Οι μεγάλες αποδόσεις των φωτοβολταϊκών πλαισίων πυριτίου δίνουν και ένα σημαντικό πλεονέκτημα στο συγκεκριμένο υλικό για αυτό το λόγο και σήμερα αποτελεί την πρώτη ύλη για ένα μεγάλο ποσοστό της αγοράς των φωτοβολταϊκών.

Το ακριβές ποσοστό της μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική εξαρτάται από τον είδος των Φ/Β στοιχείων που χρησιμοποιούνται.

Τα Φ/Β στοιχεία πυριτίου χωρίζονται στις ακόλουθες κατηγορίες (τύπους):

- Μονοκρυσταλλικά
- Πολυκρυσταλλικά
- Άμορφα

1.2.1 Μονοκρυσταλλικά στοιχεία Πυριτίου (sc-Si)

Το πάχος τους είναι περίπου 0,3 χιλιοστά. Η απόδοση τους στην βιομηχανία κυμαίνεται από 15 – 18%, ενώ σε εργαστηριακό επίπεδο έχουν επιτευχθεί αποδόσεις έως και 24,7%. Κατασκευάζονται από κυψέλες που έχουν κοπεί από ένα κυλινδρικό κρύσταλλο πυριτίου. Αποτελούν τα πιο αποδοτικά φωτοβολταϊκά εξαιτίας της καλής σχέσης απόδοσης/επιφάνειας ή "ενεργειακής πυκνότητας". Η κατασκευή τους, όμως, είναι πιο πολύπλοκη, γιατί απαιτεί την κατασκευή του μονοκρυσταλλικού πυριτίου με αποτέλεσμα το υψηλότερο κόστος κατασκευής σε σχέση με τα πολυκρυσταλλικά. Βασικές τεχνολογίες παραγωγής μονοκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών είναι η μέθοδος CZ (Czochralski) και η μέθοδος FZ (float zone). Αμφότερες βασίζονται στην ανάπτυξη ράβδου πυριτίου.



1.2.2 Πολυκρυσταλλικά στοιχεία Πυριτίου (mc-Si)

Το πάχος τους είναι περίπου στα 0.3 χιλιοστά. Στη βιομηχανία η απόδοση τους κυμαίνεται από 13% έως και 15%, ενώ σε εργαστηριακό επίπεδο έχουν επιτευχθεί αποδόσεις έως και 20%. Τα πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά κατασκευάζονται από ράβδους λιωμένου και επανακρυσταλλομένου πυριτίου. Για την παραγωγή τους οι ράβδοι του πυριτίου κόβονται σε λεπτά τμήματα από τα οποία κατασκευάζεται η κυψέλη του φωτοβολταϊκού. Η διαδικασία κατασκευής τους είναι απλούστερη από

εκείνη των μονοκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών με αποτέλεσμα το φθηνότερο κόστος παραγωγής.

Βασικότερες τεχνολογίες παραγωγής είναι:

- η μέθοδος απ' ευθείας στερεοποίησης DS (directional solidification)
- η ανάπτυξη λιωμένου πυριτίου (χύτευση)
- και η ηλεκτρομαγνητική χύτευση EMC.

Οπτικά μπορεί κανείς να παρατηρήσει τις επιμέρους μονοκρυσταλλικές περιοχές. Όσο μεγαλύτερες είναι σε έκταση οι μονοκρυσταλλικές περιοχές τόσο μεγαλύτερη είναι και η απόδοση για τα πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά κελιά.

1.2.3 Άμορφο Πυρίτιο (a-Si)

Πρόκειται για ταινίες λεπτών επιστρώσεων οι οποίες παράγονται με την εναπόθεση ημιαγωγού υλικού (πυρίτιο στην περίπτωση μας) πάνω σε υπόστρωμα υποστήριξης χαμηλού κόστους όπως γυαλί ή αλουμίνιο. Ενώ το άμορφο πυρίτιο παρουσιάζει μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα στην απορρόφηση του φωτός, εντούτοις, η φωτοβολταϊκή απόδοση του είναι του μικρότερη των κρυσταλλικών, περίπου 6%. Το φθινό, όμως, κόστος κατασκευής τους τα κάνει ιδανικά σε εφαρμογές όπου δεν απαιτείται υψηλή απόδοση.

1.2.4 Άλλα είδη

Μια σειρά από νέα υλικά που μπορούν να παραχθούν με φθηνότερες διαδικασίες από το κρυσταλλικό πυρίτιο όπως το CdTe και το CIS έχουν αρχίσει να χρησιμοποιούνται σε φωτοβολταϊκά συστήματα.

1.3 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ Φ/Β

1.3.1 Παράγοντας γήρανσης ΦΒ πλαισίου

Προσδιορίζει την ελάττωση της απόδοσης ΦΒ πλαισίου λόγω της γενικότερης αλλοίωσης της ΦΒ κυψελίδας η οποία οφείλεται κυρίως στην υπερθέρμανση κάποιων ΦΒ στοιχείων ή τμημάτων του πλαισίου. Η απόδοση του ΦΒ πλαισίου μειώνεται χρόνο με τον χρόνο λόγω της γήρανσης του πλαισίου.

1.3.2 Οπτικές ενεργειακές απώλειες

Αυτές καθορίζονται από την απόκλιση της απόδοσης σε σχέση με αυτή των πρότυπων συνθηκών, λόγω των επόμενων αιτιών:

1.3.3 Διαφοροποίηση ανακλαστικότητας ΦΒ πλαισίου σε σχέση με την αντίστοιχη σε STC

Δηλαδή η αύξηση της ανακλαστικότητας του φωτοβολταϊκού πλαισίου εξαρτάται από τη γωνία πρόσπτωσης των ηλιακών ακτινών στην επιφάνειά του. Σε γωνίες πρόσπτωσης πάνω από τις 60 μοίρες έχουμε αυξημένη ανακλαστικότητα ενώ για μικρότερες γωνίες είναι η μεταβολή είναι ασήμαντη.

1.3.4 Επίδραση διαφοροποίησης φάσματος ακτινοβολίας σε σχέση με το AM1.5

Αφορά την επίδραση που έχει η διαφοροποίηση του AM κατά την διάρκεια της ημέρας σε σχέση με το AM1.5 των προτύπων συνθηκών.

1.3.5 Απώλειες διαφοροποίησης της πόλωσης

Διαφοροποίηση της πόλωσης της προσπίπτουσας-διερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας κατά την διάρκεια της ημέρας. Η μέση ετήσια επίδραση του παράγοντα αυτού προσδιορίζεται σε ~2%.

1.3.6 Απώλειες χαμηλών τιμών πυκνότητας ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας

Σε χαμηλές τιμές ηλιακής ακτινοβολίας μειώνεται η απόδοση της φωτοβολταϊκής κυψελίδας και κυρίως σε ηλιακή ακτινοβολία κάτω της τιμής των 200W/m². Οι συγκεκριμένες απώλειες υπολογίζονται σε 3% κατά μέσο όρο το έτος.

1.3.7 Καθαρότητα όψεως του ΦΒ πλαισίου

Η καθαρότητα της γυάλινης επιφάνειας του φωτοβολταϊκού πλαισίου είναι σημαντική, διότι η επικάλυψη σκόνης και λοιπών άλλων σωματιδίων προκαλεί μείωση της απόδοσης του φωτοβολταϊκού πλαισίου.

1.3.8 Επίδραση θερμοκρασίας ΦΒ κυψελίδας

Περιγράφει την διαφοροποίηση της απόδοσης του πλαισίου, λόγω της διαφοράς μεταξύ της θερμοκρασίας λειτουργίας της κυψελίδας και της θερμοκρασίας της σε πρότυπες συνθήκες (STC).

1.4 Επίδραση της ηλιοφάνειας στο Φ/Β πλαίσιο

Η αποδοτικότητά εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το κλίμα της περιοχής, τον χώρο τοποθέτησης του πλαισίου και την ηλιοφάνεια. Η απόδοση ενός φωτοβολταϊκού είναι συνεχής, καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας, ακόμη κι όταν υπάρχει έντονη συννεφιά. Η απόδοση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος μεταβάλλεται ανάλογα και με την εποχή του χρόνου, την οποία διανύουμε. Έτσι, όπως είναι φυσικό, κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών, η απόδοση του συστήματος και κατ' επέκταση τα έσοδα είναι περισσότερα, σε σχέση με το χειμώνα όπου η απόδοση είναι μειωμένη. Οι τρεις πιο λειτουργικοί μήνες είναι ο Ιούνιος, ο Ιούλιος και ο Αύγουστος. Πιο συγκεκριμένα, κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού επιτυγχάνουμε σχεδόν διπλάσια παραγωγή σε σχέση με το χειμώνα. Στον αντίποδα, οι τρεις λιγότερο αποδοτικοί μήνες σε παραγωγή είναι κατά σειρά οι Δεκέμβριος, Ιανουάριος και Νοέμβριος.

Όπως έχουμε καταλάβει, η παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος με Φ/Β χρειάζεται το φως της ηλιακής ακτινοβολίας και όχι την θερμότητα του ήλιου. Ακόμα και μια συννεφιασμένη χειμωνιάτικη ημέρα θα υπάρχει διάχυτο φως και τα Φ/Β θα συνεχίσουν να παράγουν ηλεκτρισμό έστω και με μειωμένη απόδοση.

Ανάλογα με την ισχύ του συστήματος και τις ανάγκες του χρήστη, η μειωμένη αυτή παραγωγή μπορεί να μην επαρκεί. Στις περιπτώσεις αυτές, αν η εγκατάσταση είναι συνδεδεμένη με το δίκτυο, η κατανάλωση ρεύματος θα γίνεται από αυτό. Αν το σύστημα, όμως, είναι αυτόνομο μια καλή λύση για την λειτουργία του συστήματος είναι ο συνδυασμός των Φ/Β στοιχείων με ένα υβριδικό σύστημα. Η παραγωγή ηλεκτρισμού από τον ήλιο και από τον άνεμο αλληλοσυμπληρώνονται μέσα από το σύστημα αποθήκευσης και διαχείρισης της ενέργειας.

1.5 Προβλήματα σκίασης ή βλάβης ενός Φ/Β στοιχείου

Ένα Φ/Β πλαίσιο αποτελείται από Φ/Β στοιχεία ίδιων χαρακτηριστικών συνδεδεμένων σε σειρά. Συνεπώς, η σκίαση ή η βλάβη ενός και μόνο Φ/Β στοιχείου του θα μπορούσε να επιφέρει ολική αχρήστευση του. Μια σκιασμένη κυψελίδα συμπεριφέρεται, όπως μια απλή δίοδο p-n, η οποία, όταν το κύκλωμα είναι κλειστό, δέχεται από τα άλλα στοιχεία μια υψηλή ανάστροφη τάση. Αν τα υπόλοιπα φωτιζόμενα Φ/Β στοιχεία του πλαισίου είναι μεγάλου πλήθους, αυτή η τάση μπορεί να φτάσει την τάση διάσπασης της σκιασμένης διόδου προκαλώντας την καταστροφή της. Για τα τυπικά Φ/Β πλαίσια η σκιασμένη κυψελίδα λειτουργεί ως μια μεγάλη αντίσταση που αποδίδεται η ενέργεια που προσφέρουν οι υπόλοιπες. Παρατεταμένος σκιασμός της, σε συνδυασμό με τον έντονο φωτισμό των υπόλοιπων κυψελίδων, μπορεί να οδηγήσει σε καταστροφή του στοιχείου αυτού και κατά συνέπεια στην αχρήστευση όλου του πλαισίου, επειδή δεν υπάρχει δυνατότητα αντικατάστασης ενός καταστραμμένου στοιχείου.

Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό και ως κατάσταση <<θερμής κηλίδας>> του Φ/Β στοιχείου. Για να αποφύγουμε μια τέτοια κατάσταση το Φ/Β πλαίσιο εφοδιάζεται με διόδους, οι οποίες συνδέονται παράλληλα σε τμήματα των σε σειρά συνδεδεμένων Φ/Β στοιχείων του πλαισίου, επιτρέποντας, έτσι τη χρησιμοποίηση του Φ/Β πλαισίου ακόμα και αν κάποιο Φ/Β στοιχείο του υστερεί ή καταστραφεί. Οι διόδους ονομάζονται διόδους παράκαμψης και τοποθετούνται στο κιβώτιο συνδέσεων, που βρίσκεται στο πίσω μέρος του Φ/Β πλαισίου. Οπότε, αν συμβεί κάποιο από τα δυο προβλήματα, που αναφέραμε πιο πάνω, θα υπάρξει παραλληλισμός με δίοδο παράκαμψης.

1.6 Ποιες ενεργειακές ανάγκες μπορεί να καλύψει ένα φωτοβολταϊκό σύστημα

Γενικότερα, οποιαδήποτε ουσιαστικά ενεργειακή ανάγκη μπορεί να καλυφθεί από ένα κατάλληλα σχεδιασμένο Φ/Β σύστημα, για παράδειγμα ο φωτισμός, η ψύξη και η ηχητική κάλυψη. Για λόγους απόδοσης και οικονομίας, δεν συνίσταται η χρήση Φ/Β συστημάτων για τροφοδότηση θερμικών ηλεκτρικών συσκευών όπως κουζίνες, θερμοσίφωνες, ηλεκτρικά καλοριφέρ και θερμοσυσσωρευτές. Για τις συσκευές αυτές υπάρχουν οικονομικότερες λύσεις, που δεν στηρίζονται καθόλου στη χρήση ηλεκτρισμού, όπως η οι ηλιακοί θερμοσίφωνες, ο ηλιακός κλιματισμός και τα συστήματα θέρμανσης φυσικού αερίου, υγραερίου κλπ. Από την άλλη πλευρά, η χρήση

ηλεκτρονικών συσκευών και ο φωτισμός με λάμπες εξοικονόμησης ενέργειας αποτελούν ανάγκες που μπορούν να καλυφθούν εύκολα και οικονομικά με φωτοβολταϊκα.

1.7 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα φωτοβολταϊκών συστημων

Τα ΦΒ συστήματα διακρίνονται σε σχέση με της υπόλοιπες πηγες ενέργειας με βάση τα παρακάτω χαρακτηριστικά τους εν συντομία:

Θετικά χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκών συστημάτων:

- Ø Αξιοπιστία, μεγάλη διάρκεια ζωής
- Ø Μηδενικό κόστος λειτουργίας, αφού δεν καταναλώνουν πρώτες ύλες παρά μόνο το φως του ήλιου, για να παράγουν ηλεκτρισμό
- Ø Ελάχιστες απαιτήσεις συντήρησης
- Ø Δεν μολύνουν το περιβάλλον, καθώς δεν εκπέμπουν ακτινοβολία ούτε χρειάζονται καύσιμα για να λειτουργήσουν.
- Ø Η λειτουργία τους είναι εντελώς αθόρυβη.
- Ø Κατασκευάζονται και από ανακυκλώσιμα υλικά.
- Ø Αποκέντρωση παραγωγής
- Ø Ευελιξία, επεκτασιμότητα

Αρνητικά χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκών συστημάτων:

- Ø Απαιτούν σχετικά μμεγάλες επιφάνειες εγκατάστασης
- Ø Παρά τις τεχνολογικές εξελίξεις το κόστος τους παραμένει ακόμη αρκετά υψηλό
- Ø Έχουν σχετικά μικρό βαθμό απόδοσης

Ωστόσο, τα πλεονεκτήματα είναι πιο πολλά και για αυτό το λόγο το ευρύ κοινό έχει αρχίσει να στρέφεται όλο και περισσότερο στις ανανεώσιμες πηγές και πιο συγκεκριμένα στα Φ/Β για την κάλυψη ή την συμπλήρωση των ενεργειακών αναγκών.

1.8 Κατηγορίες και Σύνθεση Φ/Β συστημάτων

1.8.1 Εκτός δικτύου ή Απομονωμένο σύστημα

Αυτού του είδους τα ΦΒ συστήματα παράγουν ηλεκτρική ενέργεια, χωρίς να είναι συνδεδεμένα στο κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο. Διακρίνονται σε δυο κατηγορίες στα αυτόματα, τα οποία αποκλειστική πηγή ενέργειας είναι η ΦΒ συστοιχία και στα υβριδικά, στα οποία περιλαμβάνεται και άλλη Α.Π.Ε ή συμβατική ηλεκτρική πηγή.

1.8.1.1 Αυτόνομα ΦΒ συστήματα

Η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια καλύπτεται εξ ολοκλήρου από την ΦΒ συστοιχία στην οποία μπορεί να περιλαμβάνονται ή όχι ηλεκτρικοί συσσωρευτές. Αφορούν εφαρμογές που δεν είναι συνδεδεμένες στο εθνικό δίκτυο. Η παρεχόμενη ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να είναι είτε συνεχούς (DC) είτε εναλλασσόμενης τάσεως (AC). Τα αυτόματα ΦΒ συστήματα διακρίνονται σε :

- Ø *Αυτόνομα ΦΒ συστήματα άμεσης τροφοδοσίας του φορτίου της εφαρμογής, τέτοια συστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ενέργειες που δεν απαιτούν αυστηρά τακτική λειτουργία του συστήματος, όπως άντληση για πότισμα καλλιεργειών. Σε αυτή την περίπτωση, η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια αποδίδεται απευθείας στον καταναλωτή χωρίς αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας στους συσσωρευτές.*
- Ø *Αυτόματα συστήματα με αποθήκευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, τέτοια ΦΒ συστήματα μπορεί να χρησιμοποιηθούν σε φωτισμούς δρόμων, αρχαιολογικούς χώρους, σε τηλεπικοινωνιακούς αναμεταδότες κ.α. Ο σχεδιασμός τους γίνεται με πρόβλεψη ορισμένων ημερών αυτονομίας του συστήματος με βάση το κατάλληλο μέγεθος των συσσωρευτών.*

1.8.1.2 Υβριδικό ΦΒ συστήματα

Τα υβριδικά ΦΒ συστήματα είναι ένας συνδυασμός της ΦΒ συστοιχίας με άλλες πηγές ενέργειας Α.Π.Ε (π.χ ανεμογεννήτρια, ΑΓ) ή πηγές συμβατικών καυσίμων, με κύριο σκοπό την κάλυψη της απαιτούμενης ηλεκτρικής ενέργειας που μας ζητείται. Με κριτήριο τον βαθμό συμμετοχής του Η/Ζ στη διασφάλιση της κάλυψης των ενεργειακών αναγκών της εφαρμογής, γίνεται ολοκληρωμένη οικονομοτεχνική μελέτη του συστήματος για τον προσδιορισμό των συνιστωσών Α.Π.Ε.. Συνήθως προβλέπεται αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας σε συσσωρευτές.

1.8.2 Φωτοβολταϊκό συστήματα συνδεδεμένα στο δίκτυο

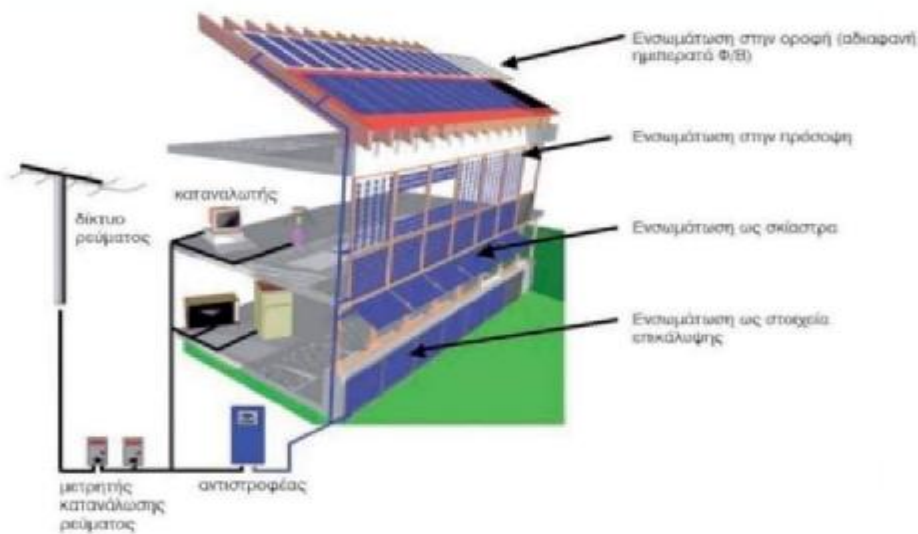
Το μεγαλύτερο ποσοστό του συνόλου των εγκατεστημένων ΦΒ συστημάτων παγκοσμίως είναι αυτά που είναι συνδεδεμένα με το δίκτυο. Τα συστήματα αυτά επικοινωνούν απ' ευθείας με το εθνικό ή τοπικό δίκτυο ηλεκτρικής παροχής (AC), και διακρίνονται σε αυτά που είναι συνδεδεμένα στο δίκτυο ως καταναμημένα συστήματα, και σε εκείνα που συγκροτούν κεντρικούς ΦΒ σταθμούς μεγάλης ισχύος, των οποίων η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια μεταφέρεται στο κεντρικό δίκτυο. Τα καταναμημένα ΦΒ συστήματα, ξεχωρίζουν σε αυτά που χρησιμοποιούν το δίκτυο ως βοηθητική πηγή ενέργειας και σε εκείνα που λειτουργούν αλληλένδετα με το δίκτυο, διοχετεύοντας την επιπλέον παραχθείσα ενέργεια σε αυτό. Στην πρώτη περίπτωση το δίκτυο καλύπτει έκτακτη ενεργειακή ζήτηση ή καταστάσεις αστοχίας του ΦΒ συστήματος, το οποίο έχει σχεδιαστεί, ώστε να εξυπηρετεί κατά μέσο όρο της μηνιαίες ενεργειακές ανάγκες της εφαρμογής. Στην δεύτερη περίπτωση, η ενέργεια παρέχεται από το δίκτυο στο ΦΒ σύστημα τις χρονικές περιόδους, κατά τις οποίες το ίδιο αδυνατεί την κάλυψη των καταναλώσεων της εφαρμογής. Βασικό κριτήριο σε όλο αυτό είναι η σωστή επιλογή της ΦΒ συστοιχίας, η οποία καλύπτει κατά μέσο όρο, τις ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις της εφαρμογής. Σύμφωνα με αυτό το κριτήριο, η συνολική ενέργεια από το δίκτυο στην εφαρμογή, προβλέπεται να ισούται με την συνολική ενέργεια από το ΦΒ σύστημα στο δίκτυο.

1.9 Αρχιτεκτονική ενσωμάτωση των ΦΒ

Η μέγιστη ενεργειακή αποδοτικότητα των ΦΒ συστημάτων σε συνδυασμό με την σύγχρονη τεχνολογία προσφέρουν πολλαπλές δυνατότητες αρχιτεκτονικής, ικανοποιώντας απαιτητικές λειτουργίες της βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής. Οι δυνατότητες ενσωμάτωσης των ΦΒ είναι απεριόριστές, καθώς μπορούν να ενσωματωθούν σε οποιοδήποτε οικοδομικό έργο από κτίρια υψηλής αισθητικής έως και οικοδομήματα πολιτιστικής κληρονομιάς, σε νέα η παλαιά κτίρια.

Οι πιο συνήθεις εφαρμογές ΦΒ αφορούν συνήθως:

- Ø Στέγες / ταράτσες
- Ø Προσόψεις
- Ø Σκίαστρα / Στέγαστρα
- Ø Φωταγωγούς / Φεγγίτες



Εικόνα 11. Σχηματική απεικόνιση των εναλλακτικών δυνατοτήτων Φ/Β ενσωμάτωσης σε κτίριο

1.10 Εγκατάσταση φωτοβολταϊκού συστήματος

Με βάση τους διεθνείς κανόνες εμπειρίας και τους ισχύοντες κανονισμούς γίνεται η μελέτη για την καλύτερη λειτουργία της ηλεκτροπαραγωγικής μονάδας, με σκοπό την αποφυγή καταστάσεων, όπου θέτουν τον άνθρωπο σε κίνδυνο άλλα και στην παρεμπόδιση καταστροφών μεγάλου βεληνεκού.

Για την μελέτη της εγκατάστασης από την πλευρά του εναλλασσόμενου ρεύματος, θα πρέπει να ακολουθηθούν οι κανονισμοί του HD384. Αντίθετα, η εφαρμογή του HD384 δεν ακολουθείται στην πλευρά του συνεχούς ρεύματος. Και αυτό, γιατί η ίδια η φύση των υλικών, από τα οποία συγκροτούνται τα φωτοβολταϊκα στοιχεία, χρειάζεται να ληφθεί υπόψιν σε περιπτώσεις σχεδιασμού και υλοποίησης ενός φωτοβολταϊκού συστήματος, καθώς αυτά διαθέτουν διαφορετικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα σε αντιδιαστολή με εκείνα των συμβατικών πηγών.

Λαμβάνοντας υπόψιν την φύση των φωτοβολταϊκών στοιχείων αποδεικνύεται ότι τα φωτοβολταϊκα πλαίσια συμπεριφέρονται σαν πηγές ρεύματος ελεγχόμενες από τάση. Η μέγιστη τιμή του ρεύματος ενός φωτοβολταϊκου πλαισίου σε αυτήν την περίπτωση είναι λίγο μεγαλύτερη από την ονομαστική τιμή ρεύματος του πλαισίου. Κατ' ακολουθία η χρήση ασφαλειών δεν διαβεβαιώνει την διακοπή του ρεύματος σε περίπτωση σφάλματος. Για παράδειγμα, ένα βραχυκύκλωμα στην πλευρά του συνεχούς ρεύματος μπορεί να συνεχίσει να υπάρχει, ανεξαρτήτως της χρήσης ασφαλειών εκτός και αν το φωτοβολταϊκό σύστημα απαρτίζεται από τρεις παράλληλες συστοιχίες και πάνω. Σε αυτήν την περίπτωση, οι ασφάλειες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την προστασία κάθε μιας ξεχωριστής συστοιχίας.

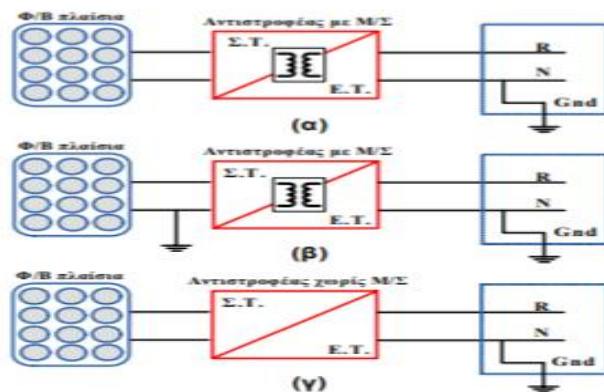
Ανεπιθύμητες καταστάσεις από την πλευρά του συνεχούς ρεύματος προκύπτουν αν:

- Ø Υπάρχουν κακές ή χαλαρές συνδέσεις
- Ø Σφάλμα ως προς την γη (καταστροφή μόνωσης και επαφή ενεργού αγωγού με γειωμένο μεταλλικό πλαίσιο ή εξοπλισμό στήριξης αυτού)
- Ø Σφάλμα βραχυκυκλώματος

Και αντιμετωπίζονται κάνοντας διαστασιολόγηση των αγωγών σε κάθε παράλληλο κλάδο με σκοπό να αντέχουν το ρεύμα N-1 παράλληλων κλάδων, με μόνη προϋπόθεση, ότι το ρεύμα είναι μικρότερο του μέγιστου επιτρεπόμενου ανάστροφου ρεύματος του φωτοβολταϊκού πλαισίου. Ως μέγιστο επιτρεπόμενο ανάστροφο ρεύμα θεωρείται η τιμή που είναι τουλάχιστον ίση με τρεις φορές το ρεύμα βραχυκύκλωσης. Ένας άλλος τρόπος χειρισμού του προβλήματος, είναι η τοποθέτηση ασφαλειών σε κάθε πλευρά του εκάστοτε παράλληλου κλάδου.

1.11 Γείωση αντιστροφέα

Όπως όλα τα ηλεκτρικά συστήματα, έτσι και τα ΦΒ συστήματα πρέπει να γειώνονται. Η γείωση εξαρτάται από την τοποθεσία στην οποία βρίσκεται η εγκατάσταση. Για αυτό το λόγο, μπορεί να επιλεγεί είτε άμεση γείωση είτε ουδετέρωση. Η χρήση της αποσκοπεί στην προστασία των εγκαταστάσεων παραγωγής και στην ασφάλεια των ανθρώπων. Η μελέτη της πρέπει να γίνεται σύμφωνα με τους αντίστοιχους κανονισμούς του HD384. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται οι δυνατοί τρόποι γείωσης των διασυνδεδεμένων κτηριακών φωτοβολταϊκών συστημάτων.



Στο σχήμα (α) παρουσιάζεται η περίπτωση που στο φωτοβολταϊκό σύστημα χρησιμοποιείται ένας αντιστροφέας με μετασχηματιστή και γείωση αυτού στην πλευρά του εναλλασσόμενου ρεύματος. Η δημιουργία σφάλματος σε έναν από τους δύο αγωγούς συνεχούς ρεύματος και γης δεν θα οδηγήσει στην ροή ρευμάτων. Το ίδιο θα συμβαίνει και αν κάποιος άνθρωπος ακουμπήσει έναν από τους δυο αγωγούς Σ.Ρ. Ωστόσο, αν τα πλαίσια δεν διαθέτουν καλή μόνωση παρ' όλο που είναι γειωμένα, μέσω του ανθρώπου προς τη γη, μπορεί να προκληθεί εκφόρτιση της παρασιτικής χωρητικότητας αυτών. Για τα εν λόγω συστήματα, για να αποφευχθούν ατυχήματα λόγω ηθελημένης ή μη γείωσης της μεριάς συνεχούς, απαιτείται η επιλογή συστημάτων αποσύνδεσης του αντιστροφέα στη μεριά αυτή και χρήση ειδικών συστημάτων επιτήρησης σφαλμάτων ως προς την γη.

Στο σχήμα (β) παρουσιάζεται η περίπτωση που στο φωτοβολταϊκό σύστημα χρησιμοποιείται ένας αντιστροφέας με μετασχηματιστή και γείωση αυτού τόσο στην πλευρά συνεχούς ρεύματος όσο και στην μεριά του εναλλασσόμενου. Η δημιουργία σφάλματος μεταξύ αγωγού που δεν έχει γειωθεί στο Σ.Ρ. και της γης οδηγεί σε ροή ρευμάτων, όπως επίσης και η επαφή ενός ανθρώπου με τον αγείωτο αγωγό Σ.Ρ. Η αποσύνδεση της μεριάς του Σ.Ρ. είναι ο μοναδικός τρόπος, ώστε να διακοπή η ροή ρευμάτων ως προς την γη. Για την ανθρώπινη ασφάλεια απαιτείται η χρήση διάταξης ανίχνευσης του ρεύματος που ρέει προς την γη από τον ηθελημένα γειωμένο αγωγό. Τα ρεύματα διαρροής σε αυτήν την κατάσταση λόγω της παρασιτικής χωρητικότητας των πλαισίων επηρεάζουν αρνητικά την αξιοπιστία αυτής της διάταξης.

Στο σχήμα (γ) παρουσιάζεται η περίπτωση που στο φωτοβολταϊκό σύστημα χρησιμοποιείται ένας αντιστροφέας χωρίς μετασχηματιστή και γείωση αυτού στην πλευρά του εναλλασσόμενου ρεύματος. Η γείωση της πλευράς αυτής σε κάποιες καταστάσεις γίνεται ορατή στη μεριά του συνεχούς ρεύματος μολονότι δεν υπάρχει γείωση. Εκφόρτιση της παρασιτικής χωρητικότητας των πλαισίων μέσω του αντιστροφέα προς τη γη συμβαίνει είτε, όταν τα πλαίσια είναι καλά γειωμένα και δεν διαθέτουν κατάλληλη μόνωση είτε, όταν προκληθεί σφάλμα μη θελημένης γείωσης αυτών. Για την ανθρώπινη ασφάλεια απαιτείται η χρήση διάταξης ανίχνευσης των ρευμάτων διαρροής που η ρύθμιση του ορίου ενεργοποίησης της, απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή.

Σαν γενικό συμπέρασμα από τα παραπάνω εξάγεται το γεγονός, ότι η τάση στα άκρα της φωτοβολταϊκής συστοιχίας δύναται να είναι αρκετά υψηλή, αλλά και το ότι η έξοδος του αντιστροφέα συνδέεται στο ηλεκτρικό δίκτυο Χ.Τ.. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η τάση σε ορισμένα εξαρτήματα του αντιστροφέα να είναι δυο ή τρεις φορές μεγαλύτερη από την τάση δικτύου. Συνεπώς, προκύπτει ότι για αποφυγή κινδύνου ηλεκτροπληξίας πρέπει να υπάρξει γείωση του μεταλλικού περιβλήματος του μετατροπέα. Με αυτόν τον τρόπο ελαχιστοποιείται και η ενδεχόμενη ηλεκτρομαγνητική παρενόχληση που μπορεί να δημιουργηθεί από διακοπτική λειτουργία του κυκλώματος ισχύος σε προκείμενες ηλεκτρικές συσκευές.

Αφενός η γείωση του φωτοβολταϊκού εξοπλισμού μπορεί να επιφέρει σοβαρά προβλήματα στο ενδεχόμενο που η μόνωση των πλαισίων δεν είναι κατάλληλης τάξης, αφετέρου η χρήση αγείωτων φωτοβολταϊκών πλαισίων περιορίζει τον παραπάνω κίνδυνο

αλλά ταυτόχρονα αυξάνει τον κίνδυνο καταστροφής των πλαισίων σε ένα πιθανό κεραυνικό πλήγμα. Σε ορισμένες περιπτώσεις, η γείωση των φωτοβολταϊκών πλαισίων είναι επιβεβλημένη από τον κατασκευαστή.

1.12 Προστασία φωτοβολταϊκών συστημάτων από υπερτάσεις και αντικεραυνική προστασία

Η μελέτη της αντικεραυνικής προστασίας γίνεται για την εκτίμηση κινδύνου πλήγματος από κεραυνό. Στην συνέχεια, επικεντρώνεται στον καθορισμό των περιοχών προστασίας ανάλογα με το επίπεδο κινδύνου και καταλήγει στην επιλογή των συνιστωσών του συστήματος. Η παραπάνω διαδικασία υλοποιείται με τα πρότυπα του ΕΛΟΤ καθώς και με την σειρά IEC 62305.

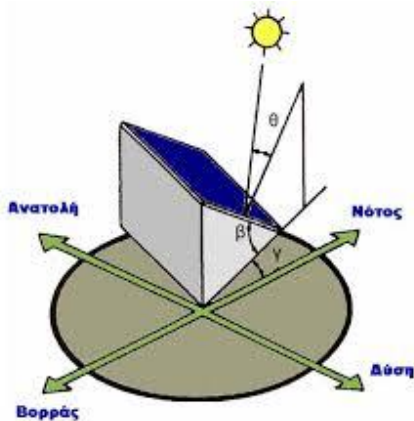
Ένα σύστημα αντικεραυνικής προστασίας περιλαμβάνει την εγκατάσταση της Εξωτερικής και την Εσωτερικής αντικεραυνικής προστασίας. Η Εξωτερική συλλαμβάνει τον κεραυνό πριν πλήξει την υπό προστασία κατασκευή και στην συνέχεια διοχετεύει το ρεύμα του κεραυνού στη γη, μειώνοντας κατά πολύ τις θερμικές και μηχανικές επιδράσεις του. Παράλληλα, η Εσωτερική εγκατάσταση αφορά τις ηλεκτρομαγνητικές επιδράσεις του ρεύματος στο εσωτερικό της κατασκευής.

Η εξωτερική εγκατάσταση αποτελείται από τρία τμήματα:

- a) Το συλλεκτήριο σύστημα όπου δέχεται τους κεραυνούς
- b) Το σύστημα αγωγών καθόδου όπου συλλαμβάνει τους κεραυνούς και τους οδηγεί από το συλλεκτήριο σύστημα προς την γη
- c) Το σύστημα γείωσης όπου άγει και διαχέει το ρεύμα από τον κεραυνό στο έδαφος

και διακρίνεται σε:

- a) Μονωμένη εξωτερική ΕΑΠ: η οδός ροής του ρεύματος από τον κεραυνό δεν έρχεται σε επαφή με την κατασκευή
- b) Μη μονωμένη εξωτερική ΕΑΠ: η οδός του ρεύματος από τον κεραυνό μπορεί να έρχεται σε επαφή με την κατασκευή.



1.13 Συστήματα Στήριξης ΦΒ Πλαισίων

1.13.1 Στήριξη με σταθερή γωνία κλίσης του συλλέκτη

Είναι ο απλούστερος και πιο οικονομικός τρόπος που μπορεί να εφαρμοστεί στην τοποθέτηση συλλεκτών. Ο σχεδιασμός του συστήματος είναι αρκετά απλός, και απαιτούμενη προσοχή πρέπει να δοθεί μόνο στην γωνία κλίσης και στον προσανατολισμό των συλλεκτών. Είναι αρκετά αξιόπιστος τρόπος στήριξης, καθώς δεν έχει κινητά μέρη, για αυτό το λόγο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε τοποθεσίες με αντίξοες καιρικές συνθήκες, αλλά και σε σημεία όπου γίνεται δύσκολα η τοποθέτηση της όλης εγκατάστασης.

Την πιο απλή περίπτωση την έχουμε, όταν ο χώρος εγκατάστασης των συλλεκτών, δέχεται ηλιακή ακτινοβολία καθ' όλη την διάρκεια την ημέρας και του έτους. Ο χώρος στην περίπτωση αυτή σε συνδυασμό με την γωνία κλίσης και των προσανατολισμό των συλλεκτών, κάνουν την γωνία κλίσης του συλλέκτη να είναι κοντά στο γεωγραφικό πλάτος της εκάστοτε γεωγραφικής τοποθεσίας και κατά κανόνα ακολουθείται νότιος αζιμουθιακός προσανατολισμός για το βόριο ημισφαίριο. Όταν η γωνία κλίσης ισούται με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου, οι ακτίνες του ηλίου πέφτουν κάθετα στους συλλέκτες. Αυτό συμβαίνει δυο φορές τον χρόνο, ονομάζεται το μεσημέρι των ισημερινών και χρονολογείται στις 21 Μαρτίου και 22 Σεπτεμβρίου.

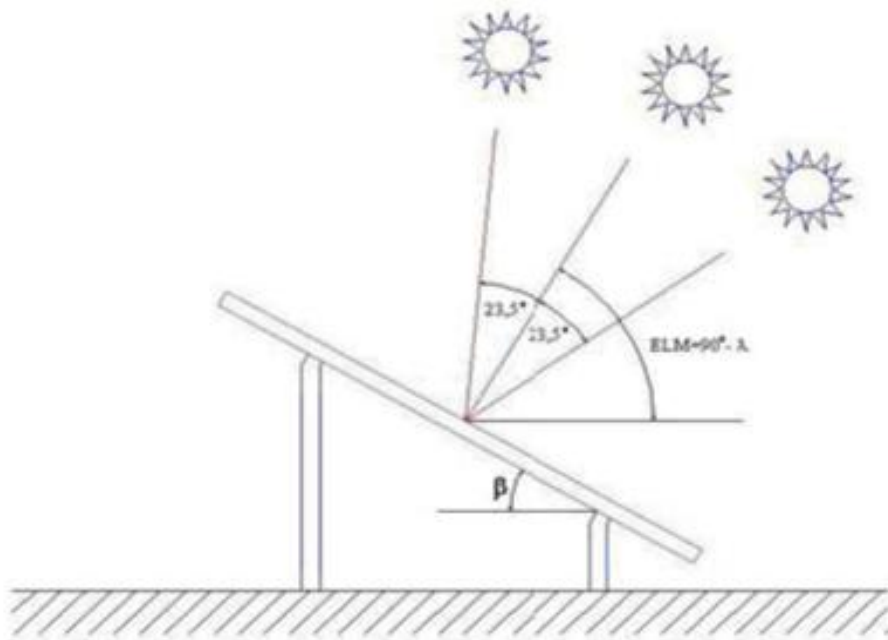
Στην διάρκεια του ηλιακού μεσημεριού ο ήλιος, βρίσκεται στο μέγιστο σημείο ELM (maximum elevation) όπου μπορεί να φτάσει κατά την διάρκεια του έτους. Το ύψος αυτό μεταβάλλεται ήμερα με την ημέρα. Ελάχιστη τιμή λαμβάνει στις 22 Δεκεμβρίου και ισούται με $ELM_{ελ}=(90-\lambda) -23,50$ ενώ μέγιστη τιμή λαμβάνει στις 21 Ιουνίου και είναι $ELM_{ελ}=(90-\lambda) +23,50$. Σαν συμπέρασμα από τα παραπάνω, βγαίνει το ότι η γωνία των ακτίνων κατά την μεσουράνηση του, ως προς την κάθετη στην επιφάνεια του συλλέκτη, μεταβάλλεται από $-23,50$ έως και $+23,50$.

Σε ό, τι έχουμε προαναφέρει, υπάρχει και άλλος σημαντικός παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπόψη, ώστε να βρεθεί η βέλτιστη γωνία. Αυτός ο παράγοντας δεν είναι άλλος από τις κατά τόπους μετεωρολογικές συνθήκες, οι οποίες επηρεάζουν την ολική διάχυτη και απευθείας ακτινοβολία, καθώς και την ανακλαστικότητα του εδάφους (albedo). Για να προκύψει εν τέλη η βέλτιστη γωνία κλίσης πρέπει να πραγματοποιηθούν μετρήσεις για αρκετά χρόνια και σε διάφορες γωνίες με βασικό κριτήριο τα εκάστοτε μετεωρολογικά στοιχεία της περιοχής όπου θέλουμε να μελετήσουμε. Για να πραγματοποιηθούν αυτές οι μετρήσεις, όμως, απαιτούν συνήθως ένα αρκετά μεγάλο κόστος, για το λόγο αυτό οι μετρήσεις γίνονται με ειδικούς αισθητήρες ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντια θέση για μεγάλο χρονικό διάστημα. Μετά την καταγραφή των μετρήσεων και την κατάλληλη επεξεργασία τους προσδιορίζεται η βέλτιστη γωνία του

συλλέκτη. Ωστόσο, μπορούν να χρησιμοποιηθούν μετρήσεις, οι οποίες έχουν ληφθεί σε κοντινές περιοχές, λαμβάνοντας υπόψη και την ανακλαστικότητα του εδάφους.

Παρατηρήσεις για την τοποθέτηση των συλλεκτών με σταθερή κλίση:

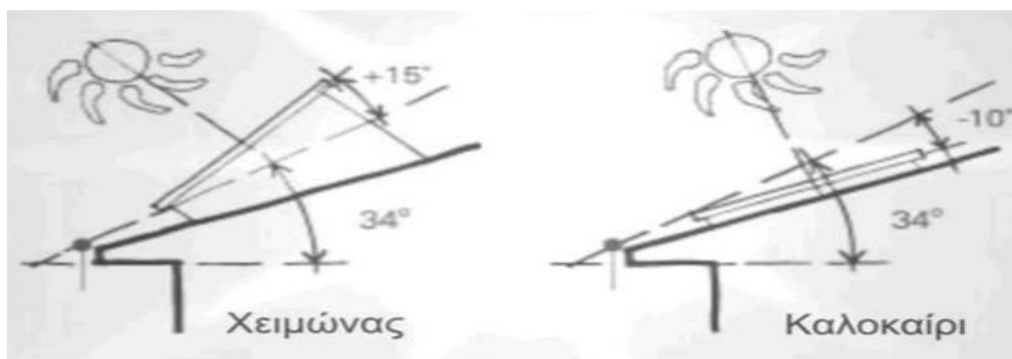
- ∅ Για τόπους με μεγάλα και μέσα γεωγραφικά πλάτη (>200) η βέλτιστη γωνία βρίσκεται στην περιοχή $\lambda-(10\sim 15)$
- ∅ Γύρω από τον ισημερινό για τόπος με μικρά λ , η βέλτιστη γωνία είναι μηδέν. Στην πράξη όμως οι συλλέκτες τοποθετούνται σε μικρή γωνία της τάξεως των $5\sim 10$, ώστε είτε κατά τον καθαρισμό τους από τον άνθρωπο είτε κατά την διάρκεια επερχόμενης βροχής, το νερό να απομακρύνει τα διάφορα σωματίδια που βρίσκονται πάνω στην επιφάνεια του συλλέκτη
- ∅ Σε τόπους που δεν υπάρχουν διαθέσιμα μετεωρολογικά δεδομένα ο συλλέκτης τοποθετείται σε γωνία $\beta=\lambda-10$. Εάν πρέπει να καλυφθεί η ενέργεια για χειμερινές ανάγκες, η βέλτιστη γωνία είναι $\beta=\lambda+15$ ενώ για θερινές ανάγκες οι συλλέκτες πρέπει να τοποθετηθούν με κλίση $\beta=\lambda-15$
- ∅ Σε τόπους με φυσικά εμπόδια ο συλλέκτης τοποθετείται, έτσι ώστε να έχουμε τη μέγιστη ενεργειακή απολαβή.



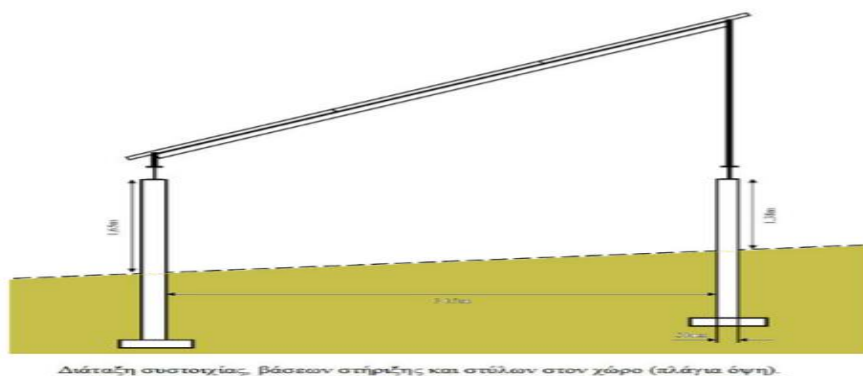
1.13.2 Στήριξη με Εποχιακή Ρύθμιση της κλίσης του Συλλέκτη:

Σε στήριξη με σταθερή γωνία κλίσης δεν υπάρχει δυνατότητα αλλαγής της γωνίας κλίσης του συλλέκτη, με αποτέλεσμα η εγκατάσταση να αποδίδει λιγότερο από αυτό που θα μπορούσε να προσφέρει. Για να αυξηθεί η αποδοτικότητα της εγκατάστασης κατασκευάζονται βάσεις, στις οποίες τοποθετούνται οι συλλέκτες και υπάρχει δυνατότητα ρύθμισης της κλίσης τους. Για να μπορούν να κάνουν εποχιακή ρύθμιση και οι χρήστες από μόνοι τους, η μηχανική κατασκευή του συστήματος είναι σχετικά φθηνή και απλή.

Η ρύθμιση του συλλέκτη γίνεται συνήθως δυο φορές τον χρόνο, μια κατά το χειμερινό εξάμηνο (22 Σεπτεμβρίου-21 Μαρτίου) και μια κατά το θερινό εξάμηνο (21 Μαρτίου- 22 Σεπτεμβρίου). Η ρύθμιση γίνεται με τέτοιο τρόπο, ώστε η κλίση μεταξύ των ακτίνων του ηλίου και της επιφάνειας του συλλέκτη να προσεγγίζει τις 90°. Για τον σωστό προσδιορισμό της ρύθμισης της γωνίας πρέπει να είναι γνωστά και τα μετεωρολογικά δεδομένα του τόπου, καθώς και η ανακλαστικότητα του εδάφους.



Πλάγια Όψη Σταθερών Βάσεων Στήριξης:



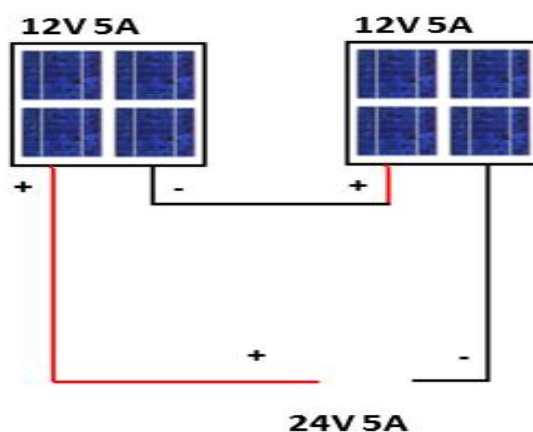
1.14 Τρόποι Σύνδεσης ΦΒ Πλαισίων

Υπάρχουν τρεις τρόποι σύνδεσης των φωτοβολταϊκών συλλεκτών:

- Ø Σύνδεση σε σειρά
- Ø Σύνδεση παράλληλα
- Ø Μικτή σύνδεση που είναι συνδυασμός σειράς με παράλληλη

Όταν υπάρχει συνδεσμολογία των συλλεκτών σε σειρά, το θετικό ηλεκτρόδιο αριθμού N ΦΒ πλαισίου συνδέεται με το αρνητικό του επόμενου, και οδηγεί σε ένα σύστημα με ανάλογα πολλαπλάσια ανοικτού κυκλώματος ($V_{toc}=N \cdot V_{oc}$). Η συνολική τάση του κυκλώματος είναι το άθροισμα των επιμέρους τάσεων. Το ρεύμα βραχυκύκλωσης ισούται με το αντίστοιχο ενός ($I_{tsc}=I_{sc}$). Το συνολικό ρεύμα που διαρρέει όλους τους συλλέκτες είναι το ίδιο.

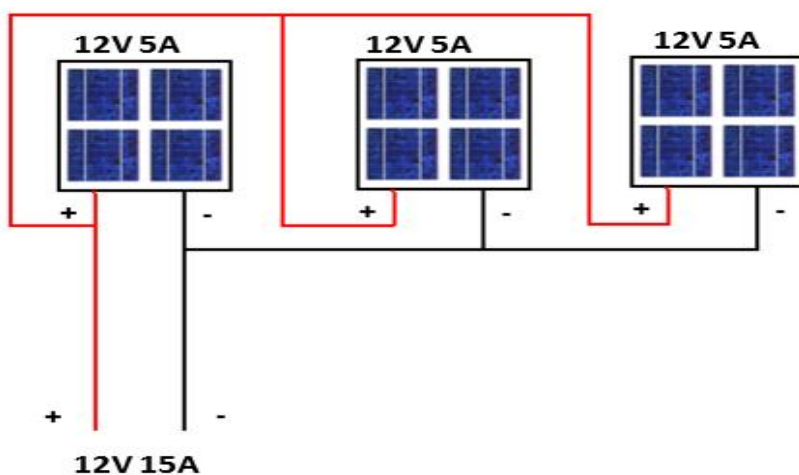
Εν σειρά σύνδεση φωτοβολταϊκών



Στην περίπτωση της παράλληλης συνδεσμολογίας των συλλεκτών, τα θετικά των ηλεκτροδίων των ΦΒ πλαισίων συνδέονται μεταξύ τους, ομοίως το ίδιο συμβαίνει και στα αρνητικά. Το κύκλωμα δίνει ένα σύνολο με την ίδια τάση ανοικτού κυκλώματος ($V_{toc}=V_{oc}$), ενώ το ρεύμα βραχυκύκλωσης ισούται με N φορές το ρεύμα βραχυκύκλωσης έκαστου ($V_{tsc}=N \cdot I_{sc}$).

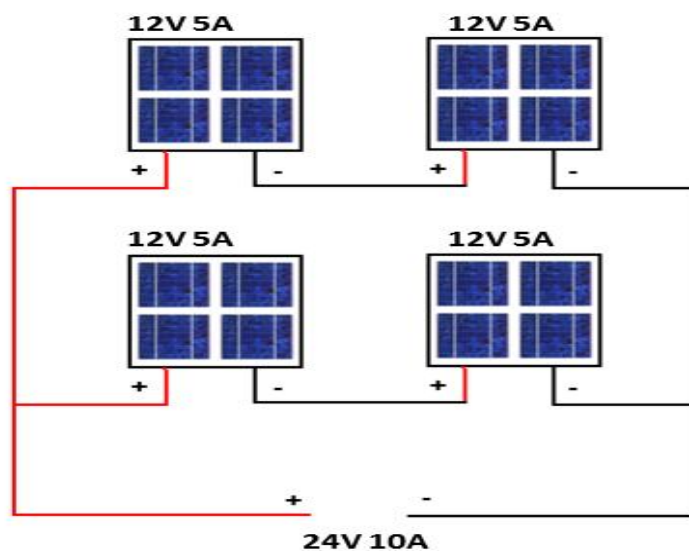
Αν τα συνδεδεμένα ΦΒ στοιχεία έχουν διαφορετική ονομαστική τάση και ρεύμα βραχυκύκλωσης, τότε η συνολική διάταξη N στοιχείων παρουσιάζει σημαντική απόκλιση σε σχέση με αυτά που δηλώθηκαν προηγουμένως. Για παράδειγμα, στην περίπτωση της σύνδεσης σε σειρά το στοιχείο με το μικρότερο ρεύμα βραχυκύκλωσης επιβάλλει στο κύκλωμα το δικό του ρεύμα.

Παράλληλη σύνδεση φωτοβολταϊκών



Τέλος, στην μικτή σύνδεση πετυχαίνουμε τάσεις και ρεύματα τα όποια είναι συνδυασμός της παράλληλης και της εν σειρά σύνδεσης. Η συνολική τάση ολόκληρης της συστοιχίας καθορίζεται από τον αριθμό των πλαισίων που συνδέονται σε σειρά, ενώ το συνολικό ρεύμα από τον αριθμό των πλαισίων που συνδέονται παράλληλα.

Εν σειρά και παράλληλη σύνδεση φωτοβολταϊκών

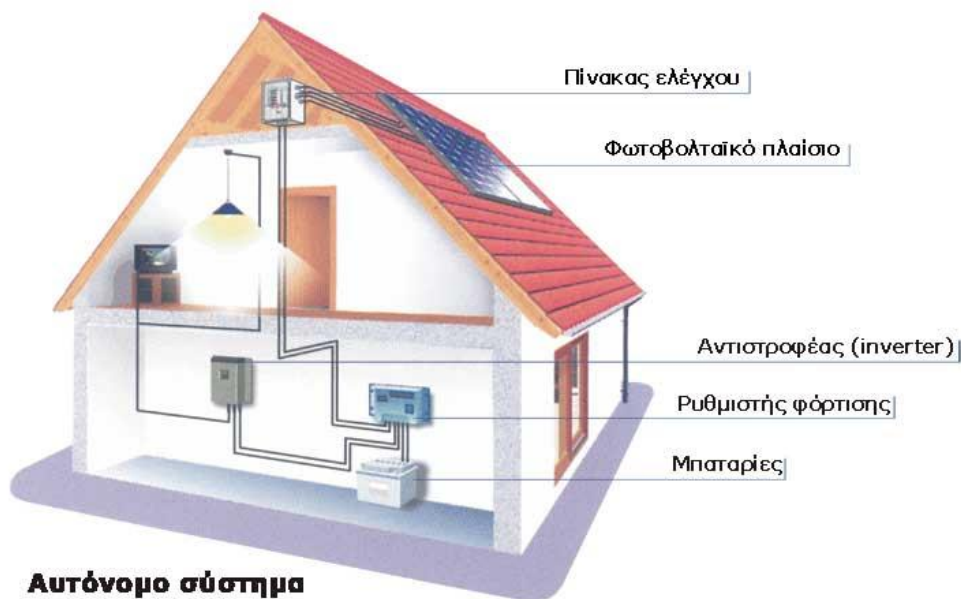


ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1 Αυτόνομο Φωτοβολταϊκό Σύστημα

Το περιεχόμενο της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη αυτόνομου συστήματος με μέγιστη ζήτηση 4kW. Ένα αυτόνομο ΦΒ σύστημα απαρτίζεται από τα παρακάτω μέρη, τα οποία θα περιγράψουν στις επόμενες παραγράφους:

- A) Φωτοβολταϊκή συστοιχία
- B) Συσσωρευτές (μπαταρίες)
- Γ) Ελεγκτής φόρτισης ή ρυθμιστής φόρτισης των συσσωρευτών
- Δ) Μετατροπέας τάσεως DC-AC (Inverter)



2.2 Συσσωρευτές

Σε αυτόνομες φωτοβολταϊκές εφαρμογές, στις οποίες δεν απαιτείται αποθήκευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, η ΦΒ συστοιχία μπορεί να συνδεθεί απευθείας στην

κατανάλωση. Στις περισσότερες, όμως, περιπτώσεις μη συνδεδεμένων στο δίκτυο ΦΒ συστημάτων είναι απαραίτητη η αποθήκευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας ή και μετατροπή της ενέργειας από συνεχή σε εναλλασσόμενη, για χρήση της σε μεταγενέστερο χρόνο. Συνεπώς, χρειάζεται μια διάταξη αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας. Από άποψη κόστους, πυκνότητας αποταμιευμένης ενέργειας ανά μονάδα βάρους και όγκου της διάταξης, μέχρι στιγμής, η βέλτιστη λύση είναι η χρησιμοποίηση των διαφόρου τύπου ηλεκτρικών συσσωρευτών (μπαταρίες), όπως μόλυβδου, νικελίου-καδμίου κτλ. Η πιο γνωστή κατηγορία συσσωρευτών που χρησιμοποιείται από τις αρχές του προηγούμενου αιώνα είναι αυτή θειικού-μόλυβδου. Η συνεχή έρευνα στον τομέα των συσσωρευτών έχει οδηγήσει σε βελτιωμένους τύπους μπαταριών, με εξαιρετικά βελτιωμένα τεχνικά χαρακτηριστικά.

Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά που προσδιορίζουν τις δυνατότητες ενός συσσωρευτή είναι η ονομαστική του χωρητικότητα C , η οποία αφορά στο ηλεκτρικό φορτίο, το οποίο αποθηκεύεται στο εσωτερικό του συσσωρευτή και η ονομαστική τάση στους πόλους του που εκφράζεται με την έννοια της Ηλεκτρ.Εγερτικής Δύναμη (ΗΕΔ) η οποία μετατρέπεται σε τάση και ισούται με την πολική τάση του συσσωρευτή, όταν αυτός δεν είναι συνδεδεμένος σε καταναλωτή.

Οι ονομαστικές τιμές των εμπορικά διατιθέμενων συσσωρευτών είναι 6V, 12V και 24V. Αν δυο συσσωρευτές συνδεθούν παράλληλα έχουν κοινή τάση (την ονομαστική τους) και χωρητικότητα το πολλαπλάσιο της ονομαστικής χωρητικότητας. Αντίθετα, αν συνδεθούν σε σειρά οι επιμέρους τάσεις τους, προστίθενται και η χωρητικότητά τους είναι ίση με την χωρητικότητά του ενός. Εφαρμόζοντας συνεχή τάση στους πόλους του συσσωρευτή πραγματοποιείται η φόρτιση του, έτσι το σύστημα να διαρρέεται από ορισμένο ρεύμα. Γενικά, έγκειται φόρτιση με χαμηλό ρεύμα. Εκφόρτωση γίνεται, όταν στα άκρα του συσσωρευτή συνδεθεί ένας καταναλωτής. Η φόρτιση σε πολύ υψηλή τάση (Overcharging), καθώς και η εκφόρτωση κάτω από ένα όριο (Overdischarging) δεν πρέπει να πραγματοποιείται στους συσσωρευτές. Ο κανόνας αυτός είναι πολύ σημαντικός και καθορίζει τον χρόνο ζωής τους. Ο χρόνος ζωής των συσσωρευτών εκφράζεται σε κύκλους λειτουργίας, καθένας απ' τους οποίους περιλαμβάνει τις διαδοχικές διαδικασίες φόρτισης και εκφόρτωσης του. Για τον λόγο αυτό, η χωρητικότητά του συσσωρευτή δεν παραμένει σταθερή αλλά μειώνεται όσο αυξάνονται οι κύκλοι λειτουργίας.

Η πραγματική συμπεριφορά και ο χρόνος ζωής των συσσωρευτών μπορεί να περιγράψει από έναν πρακτικό κανόνα όπου οι κύκλοι λειτουργίας πολλαπλασιάζονται με το γινόμενο βάθους εκφόρτισης, με καλή προσέγγιση σταθερό:

$$\beta_{εκφ} \times N_k = \text{σταθερό}$$

όπου N_k , το πλήθος των κύκλων λειτουργίας του συσσωρευτή. Για τους συσσωρευτές βαθιάς εκφόρτισης τους οποίους τους χρησιμοποιούμε και στα ΦΒ συστήματα το γινόμενο αυτό έχει τιμή 1200, τιμή όπου απέχει αρκετά από αυτή που έχουν οι κοινοί συσσωρευτές που είναι 120. Συνεπώς, η διάρκεια ζωής των συσσωρευτών μειώνεται όσο αυξάνεται το βάθος εκφόρτισης που επιβάλλουμε περιοδικά. Επίσης, η ονομαστική χωρητικότητα των συσσωρευτών μειώνεται, ακόμα και με σταθερό βαθμό εκφόρτισης, αφού αυξάνεται ο αριθμός των κύκλων λειτουργίας του. Η μείωση αυτή είναι γνωστή ως γήρανση, και εκφράζεται με τον συντελεστή γήρανσης ο οποίος έχει την τιμή 0,8.

Η κατάσταση πλήρους φόρτισης ενός συσσωρευτή βασίζεται κατά κύριο λόγο στην θερμοκρασία, την οποία έχει, στους κύκλους λειτουργίας την δεδομένη χρονική στιγμή εξέτασης του, στο βάθος εκφόρτισης και στο ρυθμό (ρεύμα) φόρτισης-εκφόρτισης. Οι παραπάνω λόγοι αποτελούν κύρια αίτια, στο ότι δεν έχει βρεθεί έως και σήμερα μια ρεαλιστική μέθοδος που να καθορίζει τον επακριβή τρόπο φόρτισης ενός συσσωρευτή, με παρακολούθηση μιας συγκεκριμένης παραμέτρου. Σήμερα με την βοήθεια των συστημάτων ηλεκτρονικής μνήμης, υπάρχει η δυνατότητα συνεχούς παρακολούθησης και ελέγχου της λειτουργίας των συσσωρευτών και αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της χρονικής ζωής τους.

2.3 Επιλογή συσσωρευτών κατά τον σχεδιασμό φωτοβολταϊκού συστήματος

Η επιλογή του βάθους εκφόρτισης των συσσωρευτών είναι από τα πρώτα βήματα στην σχεδίαση του ΦΒ συστήματος. Ένας τυπικός κανόνας παρουσιάζεται παρακάτω [4]:

$$\beta_{εκφ} = 0,4 \text{ για } 1 \text{ έως } 3 \text{ ημέρες αυτονομίας}$$

$$\beta_{εκφ} = 0,6 \text{ για } 4 \text{ έως } 6 \text{ ημέρες αυτονομίας}$$

$$\beta_{εκφ} = 0,8 \text{ για } 7 \text{ έως } 10 \text{ ημέρες αυτονομίας}$$

$$\beta_{εκφ} = 0,2 \text{ έως } 0,3 \text{ για θερμοκρασίες περιβάλλοντος κάτω από το μηδέν}$$

Εν συνεχεία, γίνεται επιλογή της ονομαστικής τάσης εξόδου των συσσωρευτών, η οποία εξαρτάται από την ισχύ αιχμής της ΦΒ συστοιχίας, στον παρακάτω πίνακα δίνονται κάποιες προτεινόμενες τάσεις συσσωρευτών για το ΦΒ σύστημα [4]:

Ισχύς αιχμής Φ/Β συστοιχίας P_{PZ} [kWp]	Ονομαστική τάση συσσωρευτή V_B [V]
0 έως 0,5	12

0,5 έως 3	24
3 έως 10	48
πάνω από 10	πάνω από 48

Τέλος, υπολογίζεται το σύνολο της χωρητικότητας όλων των συσσωρευτών που θα χρησιμοποιηθούν με βάση τον τύπο:

$$C = \frac{(n + b) * m * E_K}{\eta_{\gamma B} * \eta_{εκφ} * \beta_{εκφ} * V_B}$$

Όπου, n είναι οι ημέρες αυτονομίας του συστήματος, και b το ποσοστό του φορτίου έμμεσης τροφοδοσίας το οποίο δίνεται από τον τύπο:

$$b = \frac{E_{K,E}}{E_K}$$

$E_{K,E}$: η καθημερινή ηλεκτρική κατανάλωση που καλύπτεται από της μπαταρίες

E_K : η καθημερινή ηλεκτρική ενέργεια κατανάλωσης

m: συντελεστής περιθωρίου των ενεργειακών καταναλώσεων, για να καλυφθεί πιθανή αύξηση των αναγκών σε ενέργεια κάποια μέρα ή την προσθήκη νέων φορτίων μελλοντικά (m=1-1,2)

$\eta_{\gamma B}$: συντελεστής γήρανσης του συσσωρευτή

$\eta_{εκφ}$: συντελεστής απωλειών μεταφοράς ενέργειας στο κύκλωμα εκφόρτισης

$\beta_{εκφ}$: βάθος εκφόρτισης

V_B : ονομαστική τάση των συσσωρευτών

Ο συντελεστής απωλειών μεταφοράς είναι το γινόμενο :

$$\eta_{εκφ} = \eta_D * \eta_W * \eta_{inv}$$

Όπου η_D : συντελεστής απωλειών της διόδου αντεπιστροφής του ελεγκτή φόρτισης με τιμή περίπου 0,99

η_W : συντελεστής απωλειών στα καλώδια από τον συσσωρευτή στον ρυθμιστή φόρτισης και από εκεί στον αντιστοφέα/inverter με τιμή περίπου 0,98

η_{inv} : συντελεστής απόδοσης του αντιστροφέα/inverter (θα αναφερθούμε σε επόμενη παράγραφο).

2.4 Ελεγκτής Φόρτισης

Ο ελεγκτής φόρτισης-εκφόρτισης εποπτεύει την διαδικασία φόρτισης και εκφόρτισης, ώστε να απομονώνει το σύστημα αποθήκευσης στην περίπτωση υπερφόρτισης από το σύστημα παραγωγής της ενέργειας και στην περίπτωση υπερεκφόρτισης από το σύστημα κατανάλωσης. Και στις δυο περιπτώσεις η διακοπή γίνεται, όταν η τάση στα άκρα του συσσωρευτή ξεπεράσει ορισμένα όρια τάσεις (setpoints) είτε προς τα πάνω είτε προς τα κάτω, μόλις συμβεί αυτό, ενεργοποιούνται οι ηλεκτρονικοί διακόπτες που πραγματοποιούν την διαδικασία απομόνωσης. Μπορεί επίσης να αποτρέψει αποστράγγιση των συσσωρευτών (deep discharging) για την προστασία της διάρκειας ζωής τους αλλά και να παρακολουθεί τη θερμοκρασία όπου έχουν για να αποφευχθεί τυχών υπερθέρμανσή τους. Υπάρχουν δύο μεγάλες κατηγορίες ελεγκτών φόρτισης:

- A) Παράλληλοι ελεγκτές φόρτισης
- B) Εν σειρά ελεγκτές φόρτισης

Στην πρώτη περίπτωση το χαρακτηριστικό στοιχείο του ελεγκτή είναι ότι είναι συνδεδεμένο παράλληλα με το ΦΒ σύστημα, με δυνατότητα να λειτουργεί είτε ως μεταβαλλόμενο γραμμικά ανάλογα με την μέγιστη φόρτιση, είτε ως διακόπτης ON/OFF. Όταν επιτευχθεί μέγιστη φόρτιση το ελεγχόμενο στοιχείο προκαλεί βραχυκύκλωμα στο ΦΒ σύστημα, χωρίς να προκαλέσει καμία απολύτως βλάβη σε αυτό. Με αυτόν τον τρόπο απομακρύνεται το σύστημα παραγωγής ενέργειας από αυτό της αποθήκευσης της.

Στην δεύτερη περίπτωση, στον εν σειρά ελεγκτή δηλαδή, η αρχή λειτουργίας βασίζεται στη χρήση δυο διακοπών, όπου, όταν η τάση φόρτισης φτάσει στην μέγιστη τιμή της τότε ο πρώτος διακόπτης απομονώνει το ρεύμα από το σύστημα ενέργειας το οποίο πηγαίνει στο σύστημα αποθήκευσης. Την ίδια στιγμή ενεργοποιείται ο δεύτερος διακόπτης ο οποίος εισάγει στην έξοδο του συστήματος ενέργεια, την οποία δεν έχει την δυνατότητα να απορροφήσει το σύστημα αποθήκευσης. Υπάρχουν διάφορες παραλλαγές αυτού του ρυθμιστή, με διαφορές που βασίζονται στον τρόπο που προσεγγίζεται η τελική κατάσταση φόρτισης, από καθεμία από αυτές.

2.5 Επιλογή ελεγκτή φόρτισης κατά τον σχεδιασμό ΦΒ συστήματος

Τρεις είναι οι παράμετροι που λαμβάνουμε υπόψη μας στην επιλογή ελεγκτή φόρτισης [4]:

- i. Η ονομαστική τάση του ελεγκτή πρέπει να ισούται με την ονομαστική τάση του συσσωρευτή
- ii. Να μπορεί να λάμπει το μέγιστο ρεύμα, όπου παράγεται από την ΦΒ συστοιχία
 - $1,5 I_{sc}$ (ρεύμα βραχυκύκλωσης συστοιχίας) για παράλληλο ελεγκτή φόρτισης
 - $1,5 I_{ms}$ (ρεύμα συστοιχίας στο σημείο μέγιστης ισχύος) για εκλεκτή φόρτισης σειράς
- iii. Να μπορεί να παρέχει μέγιστο ρεύμα στους καταναλωτές που λειτουργούν ταυτόχρονα

Ο ελεγκτής φόρτισης μπορεί να αποτελεί ξεχωριστή μονάδα στο όλο σύστημα αλλά και να έχει ενσωματωθεί με τον μετατροπέα τάσεως (αντιστροφέα/inverter).

2.6 Μετατροπέας τάσεως (αντιστροφέας/ inverter)

Ο αντιστροφέας είναι ένα σύνολο ηλεκτρονικών διατάξεων, μετατροπής

- συνεχούς ρεύματος σε συνεχές (DC-DC converter) οποιαδήποτε τάση
- συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο (DC-AC converter) οποιοδήποτε πλάτους
- εναλλασσόμενης τάσης σε συνεχή (AC-DC converter).

2.6.1 Μετατροπέας συνεχούς τάσεως σε συνεχή (DC-DC converter)

Με ελάχιστες απώλειες και τη χρήση διακοπτικών στοιχείων κυκλωμάτων (transistor, thyristor) γίνεται η μετατροπή μιας συνεχούς τάσης V_I , σε συνεχή $V_o(V_I \neq V_o)$. Ανάλογα με τις απαιτήσεις, όπου μπορεί να είναι αφενός μεγαλύτερες και αφετέρου μικρότερες κάθε φορά, η μονάδα μετατρέπει συνεχή τάση σε συνεχή. Στην περίπτωση των ΦΒ οι ηλιακοί συλλέκτες συνδέονται είτε σε σειρά είτε παράλληλα, με σκοπό η παραγόμενη σε αυτά ηλεκτρική ενέργεια να μεταφέρεται με την υψηλότερη τάση, ώστε το ρεύμα (DC) της γραμμής μεταφοράς να είναι χαμηλό και αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα και οι απώλειες μεταφοράς ενέργειας να είναι χαμηλές. Η προδιαγραφή της περιοχής τάσεως εισόδου του inverter καθορίζει την συνολική τάση εξόδου της συστοιχίας σε μεγάλα συστήματα. Η τάση της ΦΒ συστοιχίας προσαρμόζεται μέσω του μετατροπέα DC-DC, στην αντίστοιχη

τάση του συσσωρευτή , ώστε να έχουμε πλήρη εκμετάλλευση της ηλεκτρικής ενέργειας και αποφυγή υπερτάσεων στο συσσωρευτή. Τα συστήματα αυτά παρουσιάζουν απόδοση της τάξεως του 94%.

2.6.2 Μετατροπείας συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο (DC-AC inverter)

Οι τρεις κύριοι τρόποι μετατροπείς συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο είναι:

- 1) με συνδυασμό κινητήρα συνεχούς ρεύματος με γεννήτρια εναλλασσόμενου
- 2) με χρήση κλασικού μηχανικού συστήματος ή ηλεκτρονικού διακοπτικού συστήματος σε συνεργασία με μετασχηματιστή
- 3) με τον ηλεκτρονικό μετατροπέα DC-AC converter (Inverter)

Με τον συγκεκριμένο μετατροπέα η συνεχής τάση στην έξοδο του ελεγκτή φόρτισης γίνεται εναλλασσόμενη είτε είναι μονοφασική είτε τριφασική. Χρησιμοποιείται, όταν υπάρχει πηγή συνεχούς ηλεκτρικής τάσεως και καταναλωτές εναλλασσόμενης. Περιλαμβάνεται σε όλα τα αυτόνομα, αλλά και συνδεδεμένα στο δίκτυο συστήματα.

2.6.3 Μετατροπείας εναλλασσόμενης τάσης σε συνεχή (AC-DC converter)

Η χρήση του γίνεται σε υβριδικά συστήματα που μετατρέπουν την εναλλασσόμενη τάση που παράγεται από ανεμογεννήτριες ή κάποιο ηλεκτροπαραγωγικό ζεύγος (AC) σε συνεχή (DC).

Όλοι οι αντιστροφείς μπορούν να συνδυαστούν και με μετασχηματιστή αλλά και χωρίς μετασχηματιστή. Συνήθως προτιμώνται με μετασχηματιστή.

2.7 Επιλογή αντιστροφέα (inverter) κατά τον σχεδιασμό ΦΒ συστήματος[31]:

- i. Η τάση του αντιστροφέα πρέπει να είναι ίση με την ονομαστική τάση του συσσωρευτή
- ii. Η ισχύ στην έξοδο του αντιστροφέα πρέπει να είναι ίση με την μέγιστη ηλεκτρική ισχύ των φορτίων καταναλώσης που λειτουργούν ταυτόχρονα
- iii. Η ισχύς αιχμής που μπορεί να αποδώσει ο αντιστροφέας στιγμιαία πρέπει να είναι τριπλάσια της μέγιστης ηλεκτρικής ισχύς των φορτίων κατανάλωσης που λειτουργούν ταυτόχρονα.

- iv. Η τάση εξόδου του αντιστροφέα πρέπει να είναι ίση με την τάση των φορτίων κατανάλωσης

2.8 Τύποι καλωδίων και μέσων προστασίας

Οι τύποι καλωδίων και μέσων προστασίας που επιλέγουμε βασίζονται στους κανονισμούς απαιτήσεων των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων (ELOT HD284). Με βάση την εγκατάσταση επιλέγουμε τα καλώδια αν είναι για AC ή DC χρήση. Στη συνέχεια, θα πρέπει η διατομή του καλωδίου που θα επιλέξουμε, να αντέχει το αντίστοιχο ρεύμα που θα περνάει από τον συγκεκριμένο αγωγό. Τα διακοπτικά μέσα επιλέγονται με βάση το είδος και το μέγεθος προστασίας που πρέπει να παρέχουμε στις αντίστοιχες συσκευές της εγκατάστασης.

2.9 Επιλογή ηλεκτρικών αγωγών σε αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα [31]

Αφού γίνει το σχέδιο της εγκατάστασης και είναι γνωστά με κάθε λεπτομέρεια τα μήκη των αγωγών, υπολογίζεται η ένταση του ρεύματος σε αυτούς

- A) Στη συνέχεια, υπολογίζεται η διατομή των αγωγών με βάση το μήκος, την ένταση και την τάση του συστήματος αυτό γίνεται σε συνδυασμό με την χρήση του κανονισμού απαιτήσεων των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων (ELOT HD284).
- B) Γνωρίζοντας όλα τα παραπάνω, υπολογίζεται η πτώση τάσης σε όλους τους αγωγούς
- Γ) Έπειτα, υπολογίζεται η συνολική πτώση τάσης ανάμεσα στην ΦΒ συστοιχία και τον συσσωρευτή
- Δ) Τέλος, γίνεται έλεγχος για το αν η μέγιστη τάση της ΦΒ συστοιχίας είναι μεγαλύτερη ή ίση του αθροίσματος της ονομαστικής τάσης των συσσωρευτών και της συνολικής πτώσης τάσης ΔV μεταξύ συσσωρευτή και συστοιχίας.

2.10 Ισχύς αιχμής φωτοβολταϊκής συστοιχίας

Ο υπολογισμός της απαραίτητης ισχύς αιχμής της φωτοβολταϊκής συστοιχίας είναι ένα από τα σημαντικότερα μέρη στον σχεδιασμό ενός αυτόνομου ή μη φωτοβολταϊκού συστήματος. Για ένα αυτόνομο σύστημα που καλύπτει τις ενεργειακές ανάγκες της κατοικίας για n συνεχόμενες ημέρες αυτονομίας, η ισχύς αιχμής της φωτοβολταϊκής συστοιχίας υπολογίζεται ως εξής:

$$P_{PS} = \frac{G_{STC} \times \eta_{AS}}{H_{\alpha} \times \eta_{AS}} \left[\frac{E_{K,\alpha}}{\eta_{μστ,α}} + \frac{E_{K,ε}}{\eta_{μστ,ε}} + \left(\frac{n}{N-n} \right) \times \frac{E_K}{\eta_{μστ,ε}} \right] \text{ [kWp]}$$

E_K : Αναγκαία ημερήσια ηλεκτρική ενέργεια κατανάλωσης [kWh/ημέρα]

$E_{K,\alpha}$: Το μέρος της ημερήσιας ενέργειας που καταναλώνεται άμεσα από το φορτίο, χωρίς αποθήκευση στους συσσωρευτές [kWh/ημέρα]

$E_{K,ε}$: Το ποσό της ημερήσιας ενέργειας που ικανοποιείται έμμεσα, δηλαδή μετά τη διαδικασία παραγωγής. Λαμβάνεται από την αποθηκευμένη ενέργεια των συσσωρευτών [kWh/ημέρα]

G_{STC} : Ισχύς της προσπίπτουσας ακτινοβολίας υπό πρότυπες συνθήκες [$G_{STC}=1000\text{W}/\text{m}^2$]

H_{α} : Μέση ημερήσια ενέργεια προσπίπτουσας ακτινοβολίας ανά μονάδα επιφάνειας σε κεκλιμένο επίπεδο [kWh/ m^2 ημέρα]

N : Αριθμός ημερών επιλεγμένου μήνα , n : μέρες αυτονομία

η_{AS} : συντελεστής απωλειών φωτοβολταϊκής συστοιχίας που περιλαμβάνει αυτής της απώλειες στα Φ/Β πλαίσια και στο υπόλοιπο Φ/Β σύστημα:

$$\eta_{AS} = \eta_{\gamma} \times \eta_{\rho} \times \eta_{\theta} \times \eta_{D} \times \eta_{ανσμ} \times \eta_{w}$$

η_{γ} : συντελεστής γήρανσης πλαισίων (ο μέσος συντελεστής στον χρόνο ζωής τους είναι 0,9)

η_{ρ} : συντελεστής ρύπανσης πλαισίων (για πλαίσια ελαφρός σκονισμένα η τιμή του είναι 0,9)

η_{θ} : συντελεστής θερμικών απωλειών ($\eta_{\theta} \approx 1 - [(\bar{t}_a + 30) - 25] \times 0,004$, \bar{t}_a : μέση μηνιαία θερμοκρασία)

η_{D} : συντελεστής απωλειών διόδου αντεπιστροφής ($\eta_{D}=0,99$)

$\eta_{ανσμ}$: συντελεστής ανομοιογένειας των χαρακτηριστικών I-V των φωτοβολταϊκών πλαισίων που απαρτίζουν την συστοιχία, λόγω της επίδρασης εξωτερικών παραγόντων ή ύπαρξης μικροδιαφορών εκ κατασκευής ($\eta_{ανσμ}=0,98$)

η_{w} : συντελεστής απωλειών στα καλώδια σύνδεσης των πλαισίων της συστοιχίας ($\eta_{w}=0,98$)

$\eta_{μετ,α}$: συντελεστής μεταφοράς ενέργειας άμεσης αξιοποίησης. Αφορά τις απώλειες στο τμήμα του φωτοβολταϊκού συστήματος από την έξοδο της φωτοβολταϊκής συστοιχίας μέχρι την έξοδο του inverter χωρίς μεσολάβηση του συσσωρευτή.

$$\eta_{μετ,α} = \eta_w \times \eta_{con} \times \eta_{inv}$$

Για συστήματα με DC-DC converter η τιμή είναι 0,83 ενώ χωρίς converter η τιμή είναι 0,92.

$\eta_{μετ,ε}$: συντελεστής μεταφοράς ενέργειας έμμεσης αξιοποίησης. Αφορά τις απώλειες στο τμήμα του φωτοβολταϊκού συστήματος από την έξοδο της φωτοβολταϊκής συστοιχίας μέχρι την έξοδο του inverter, διαμέσου του συσσωρευτή.

$$\eta_{μετ,ε} = \eta_{μετ,α} \times \eta_D \times \eta_w \times \eta_B$$

Για συστήματα με DC-DC converter η τιμή είναι 0,68 ενώ χωρίς converter η τιμή είναι 0,76.

Υπολογίζοντας την απαιτούμενη ισχύ αιχμής της φωτοβολταϊκής συστοιχίας του συστήματος, στη συνέχεια βρίσκεται ο αριθμός πλαισίων, η απαιτούμενη επιφάνεια Φ/Β πλαισίων και η απαιτούμενη έκταση τοποθέτησης τους.

2.11 Απόσταση μεταξύ διαδοχικών φωτοβολταϊκών συστοιχιών

Κατά τον σχεδιασμό ενός φωτοβολταϊκού συστήματος, ένα συχνό πρόβλημα που συναντάται, είναι αυτό της σκίασης (μερικής η ολικής) που δημιουργείται κάποιες ώρες της ημέρας σε τμήματα της φωτοβολταϊκής συστοιχίας από πλαίσια διαδοχικών συστοιχιών που σκιάζουν αυτά που βρίσκονται πίσω τους. Για αποφυγή αυτής της κατάστασης, γίνεται μελέτη, ώστε η απόσταση που θα τοποθετηθούν οι σειρές των πλαισίων, να είναι τέτοια που να εξαλειφθούν τα φαινόμενα σκίασης. Στο παρακάτω σχήμα δίνεται ο λόγος της ελεύθερης απόστασης d μεταξύ των συστοιχιών ως προς το κατακόρυφο ύψος h , συνάρτηση του γεωγραφικού πλάτους του τόπου.



Οι δυο καμπύλες του σχήματος αφορούν μέγιστες απώλειες 5% και 10% της ημερήσιας ενεργειακής ηλιακής ακτινοβολίας λόγω σκίασης και αντιστοιχούν σε 2,5% και 4% ετησίως [1]. Ο υπολογισμός της απόστασης τοποθέτησης των συστοιχιών ε , η οποία εξαρτάται από την κλίση των πλαισίων β και την πλαϊνή πλευρά τους b δίνεται από τον τύπο :

$$\varepsilon = d + b \times \cos\beta$$

Για την Ελλάδα κατάλληλος λόγος d/h φαίνεται να είναι $r = 2,5$ δηλαδή $d = 2,5 \times h$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1 Εφαρμογή αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος

Ο σχεδιασμός της μελέτης ενός αυτόνομου συστήματος θα γίνει σε μια μονοκατοικία σε προάστιο της Θεσσαλονίκης, η οποία έχει επίπεδη ταράτσα και μας δίνει την δυνατότητα τοποθέτησης των συλλεκτών σε όποια κλίση επιθυμούμε. Η κατοικία χρησιμοποιείται όλο το έτος από μια οικογένεια αλλά είναι μη συνδεδεμένη στο εθνικό ηλεκτρικό δίκτυο. Για το λόγο αυτό, ο σχεδιασμός θα γίνει για πλήρη αυτονομία κατά την διάρκεια του έτους. Οι μέρες αυτονομίας του σύστημα που θα επιλέξουμε είναι 4, σημαντικός παράγοντας σε αυτήν την επιλογή είναι οι πολύ καλές καιρικές συνθήκες που υπάρχουν στην χώρα μας. Εν συνεχεία, θα προχωρήσουμε σε καταγραφή των φορτίων κατανάλωσης, επιλογή στην κλίση των Φ/Β πλαισίων, υπολογισμό της ισχύος της συστοιχίας, χωρητικότητα των συσσωρευτών των καλωδίων καθώς και των ηλεκτρονικών διατάξεων που θα συμπεριληφθούν στο σύστημα.

3.2 Καταγραφή φορτίου κατανάλωσης – ποσοστού φορτίου έμμεσης τροφοδοσίας

Παρακάτω γίνεται μια καταγραφή όλων των ηλεκτρικών συσκευών που θα χρησιμοποιούνται σε καθημερινή βάση. Στα πλαίσια της αυτόνομης κατοικίας πρέπει να έχουμε σαν πρώτο και βασικό κριτήριο, ότι η χρήση συσκευών με μεγάλη ηλεκτρική κατανάλωση είναι αντιοικονομική για τον σχεδιασμό του συστήματος. Για αυτό το λόγο θα γίνει αντικατάσταση του θερμοσίφωνα με ηλιακό, της ηλεκτρικής κουζίνας με μίας υγραερίου και του air condition με ανεμιστήρες οροφής, των ηλεκτρικών συσκευών θέρμανσης με αντίστοιχων αερίου κλπ. Οι ανάγκες των κατοίκων διαφέρουν κατά τους χειμερινούς και καλοκαιρινούς μήνες, αυτό έχει σαν αποτέλεσμα οι ώρες λειτουργίας στην εγκατάσταση να διαφοροποιούνται. Για τον λόγο αυτό θα κάνουμε δυο διαφορετικούς υπολογισμούς για της ηλεκτρικές καταναλώσεις για τον μήνα Δεκέμβριο και για τον μήνα Ιούλιο. Στους δυο πίνακες που ακολουθούν αποτυπώνονται οι ηλεκτρικές συσκευές, η ονομαστική ισχύ, οι ποσότητα των συσκευών, ο χρόνος λειτουργίας και η ημερήσια ενέργεια κατανάλωσης.

Ηλεκτρική κατανάλωσή για τον Δεκέμβριο μήνα:

Είδος συσκευής	Ονομαστική ισχύς P_N (kW)	Ποσότητα συσκευών	Χρόνος λειτουργίας (ώρες)	Ημερήσια ενέργεια κατανάλωσης E_N (kWh/ημ)
Λαμπτήρες	0,011	7	5	0,385
Λαμπτήρες	0,015	3	5	0,225
Τηλεόραση	0,1	1	2	0,2
Ψυγείο	0,09	1	24	0,85*
Πλυντήριο ρούχων	3	1	1	0,8*
Διάφορες συσκευές**	1	1	1,5	1,5
Σύνολο				3,96

*οι ημερήσιες καταναλώσεις των δύο συσκευών προκύπτουν από το φυλλάδιο του κατασκευαστή για το ψυγείο kWh/ημέρα και το πλυντήριο kWh/πλύση

** Περιλαμβάνονται συσκευές όπως ηλεκτρική σκούπα, μίξερ, πιστολάκι, φορτιστής κινητού, ανεμιστήρας κλπ

Ηλεκτρική κατανάλωση για τον Ιούλιο μήνα:

Είδος συσκευής	Ονομαστική ισχύς (kW)	Ποσότητα συσκευών	Χρόνος λειτουργίας (ώρες)	Ημερήσια ενέργεια κατανάλωσης (kWh/ημ)
Λαμπτήρες	0,011	7	3,5	0,2695
Λαμπτήρες	0,015	3	3	0,135
Τηλεόραση	0,1	1	2	0,2
Ψυγείο	0,09	1	24	0,85*
Πλυντήριο ρούχων	3	1	1	0,8*
Διάφορες συσκευές**	1	1	1,2	1,2
Σύνολο				3,4545

*οι ημερήσιες καταναλώσεις των δύο συσκευών προκύπτουν από το φυλλάδιο του κατασκευαστή για το ψυγείο kWh/ημέρα και το πλυντήριο kWh/πλύση

** Περιλαμβάνονται συσκευές όπως ηλεκτρική σκούπα, μίξερ, πιστολάκι, φορτιστής κινητού, ανεμιστήρας κλπ.

Στον επόμενο πίνακα συμπληρώσαμε τα λεπτά ή της ώρες που λειτουργεί κάθε συσκευή για ένα εικοσιτετράωρο και υπολογίσαμε την ηλεκτρική ισχύ που καταναλώνει η κάθε μια καθώς την συνολική ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται για μια τυπική ημέρα.

Εικοσιτετράωρο	Καταναλώσεις (W)	
	Δεκέμβριος	Ιούλιος
1	35,42	35,42
2	35,42	35,42
3	35,42	35,42
4	35,42	35,42
5	35,42	35,42
6	35,42	35,42
7	173,92	104,67
8	296,42	204,67
9	657,92	610,42
10	485,42	535,42
11	160,42	135,42
12	35,42	48,42
13	75,42	60,42
14	60,42	60,42
15	60,42	69,42
16	55,42	65,42
17	75,42	55,42

18	168,92	60,42
19	212,42	110,42
20	312,42	210,42
21	412,42	280,42
22	318,98	332,42
23	130,42	212,84
24	55,42	93,92

Όπως προκύπτει από τα παραπάνω δεδομένα, η μέση ημερήσια ηλεκτρική κατανάλωση κατά την διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών είναι 3454,5 Wh, και κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών 3960 Wh. Ωστόσο, οι υπολογισμοί δεν είναι απολύτως ακριβείς επειδή είναι πιθανό να προκύψουν επιπλέον ηλεκτρικές καταναλώσεις κατά την διάρκεια της ημέρας, όπως η χρήση κάποιας συσκευής περισσότερο από ότι συνήθως. Τέλος από τον ποιο πάνω πίνακα βρίσκουμε ότι τον Δεκέμβριο, τον μήνα δηλαδή που θα σχεδιάσουμε το φωτοβολταϊκό μας σύστημα να έχει 100% κάλυψη του φορτίου, η μέγιστη ισχύ ισούται με 657,92 W.

Το σύνολο της ηλεκτρικής ενέργειας κατανάλωσης ισούται με $E_k=3,96$ kWh/ήμερα. Θεωρούμε ότι 30% αυτής της ενέργειας καλύπτεται απ' ευθείας από την φωτοβολταϊκή συστοιχία ενώ το υπόλοιπο 70% καταναλώνεται από την αποθηκευμένη ενέργεια των συσσωρευτών, κατά την διάρκεια του υπόλοιπου εικοσιτετράωρου. Συνεπώς $b=0,7$ και οι επιμέρους ενέργειες είναι:

$$E_{k,\alpha} = 30\% \times E_k = 0,3 \times 3,96 = 1,188 \text{ kWh/ημέρα}$$

$$E_{k,\beta} = 70\% \times E_k = 0,7 \times 3,96 = 2,772 \text{ kWh/ημέρα}$$

3.3 Επιλογή γωνίας κλίσης (β) φωτοβολταϊκών πλαισίων

Η ηλιακή ακτινοβολία που δέχεται μια επιφάνεια με κλίση βασίζεται στο γεωγραφικό της πλάτος, τη γωνία κλίσης και την χρονική περίοδο με σκοπό το σύστημα να έχει την μέγιστη προσπίπτουσα ακτινοβολία τον χειρότερο μήνα του έτους, δηλαδή τον Δεκέμβριο. Η κλίση σε αυτή είναι 45 και η αζιμούθια γωνία θα είναι 10 [32]. Αυτά τα αποτελέσματα βρέθηκαν με τη βοήθεια της βάσης δεδομένων European Commission Joint Research Centre και συγκεκριμένα του Photovoltaic Geographical Information System (Climate- SAF PVGIS).[10]

PVGIS estimates of solar electricity generation

Location: 40°41'51" North, 23°4'21" East, Elevation: 77 m a.s.l.,

Solar radiation database used: PVGIS-classic

Nominal power of the PV system: 4.0 kW (crystalline silicon)

Estimated losses due to temperature and low irradiance: 10.4% (using local ambient temperature)

Estimated loss due to angular reflectance effects: 2.8%

Other losses (cables, inverter etc.): 14.0%

Combined PV system losses: 25.1%

Fixed system: inclination=45°, orientation=10°				
Month	E_d	E_m	H_d	H_m
Jan	7.95	246	2.51	77.9
Feb	9.68	271	3.07	86.0
Mar	11.80	366	3.84	119
Apr	14.70	441	4.90	147
May	15.10	468	5.15	160
Jun	16.20	487	5.71	171
Jul	16.30	505	5.76	179
Aug	15.70	487	5.60	174
Sep	14.60	437	5.06	152
Oct	13.00	403	4.32	134
Nov	9.10	273	2.95	88.5
Dec	5.58	173	1.74	54.1
Yearly average	12.5	380	4.22	128
Total for year		4560		1540

E_d : Average daily electricity production from the given system (kWh)

E_m : Average monthly electricity production from the given system (kWh)

H_d : Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh m^{-2})

H_m : Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system

3.4 Ισχύς αιχμής φωτοβολταϊκής συστοιχίας

Για τον υπολογισμό της απαιτούμενης ισχύς αιχμής της φωτοβολταϊκής συστοιχίας P_{PP} πρέπει να υπολογίσουμε πρώτα τα επιμέρους μεγέθη της σχέσης αυτής. Αρχικά τον συντελεστή απωλειών της φωτοβολταϊκής συστοιχίας :

$$\eta_{AS} = \eta_{\gamma} \times \eta_{\rho} \times \eta_{\theta} \times \eta_D \times \eta_{\text{ανοσμ}} \times \eta_w$$

Όπου,

$$\eta_{\theta} \approx 1 - [(t_{\alpha} + 30) - 25] \times 0,004 = 1 - [(7 + 30) - 25] \times 0,004 = 0,952$$

Η μέση θερμοκρασία στην Θεσσαλονίκη τον μήνα Δεκέμβριο είναι $t_{\alpha} = 7^{\circ}\text{C}$

Άρα , $\eta_{ΑΣ}=0,9 \times 0,9 \times 0,99 \times 0,98 \times 0,98 \times 0,952 = 0,733$ ή 73,3%

Τον συντελεστής μεταφοράς ενέργειας άμεσης αξιοποίησης

$\eta_{μετ,α} = \eta_w \times \eta_{conv} \times \eta_{inv}$, σε αυτήν την περίπτωση δεν θα χρησιμοποιήσουμε converter
 όποτε, $\eta_{μετ,α} = 0,98 \times 0,94 = 0,92$

Τον συντελεστής μεταφοράς ενέργειας έμμεσης αξιοποίησης

$$\eta_{μετ,ε} = \eta_{μετ,α} \times \eta_D \times \eta_w \times \eta_B = 0,92 \times 0,99 \times 0,98 \times 0,85 = 0,76$$

Για να καλύψουμε αυξημένες απαιτήσεις της ημερήσιας κατανάλωσης θα θεωρήσουμε συντελεστή περιθωρίου ενεργειακών καταναλώσεων ίσο με 1,2 (m=1,2)

Όπως έχουμε ήδη υπολογίσει: $E_k = 3,96$ kWh/ημέρα, $E_{k,α} = 1,188$ kWh/ημέρα,
 $E_{k,ε} = 2,772$ kWh/ημέρα και $H_d = 1,73$ kWh/ημέρα. Άρα,

$$P_{PS} = \frac{1 \times 1,2}{1,73 \times 0,733} \left[\frac{1,188}{0,92} + \frac{2,772}{0,76} + \left(\frac{4}{31-4} \right) \times \frac{3,96}{0,76} \right] = 5,403 \text{ kWp}$$

3.5 Επιλογή συσσωρευτών [7]

Το βάθος εκφόρτισης που θα επιλέξουμε για 4 ημέρες αυτονομίας θα είναι $\beta=0,6$. Η τιμή της τάσης των συσσωρευτών με βάση τον πίνακα 6 είναι $V=48$ Volt. Η ολική χωρητικότητα των συσσωρευτών που θα υπολογισθεί από την σχέση:

$$\frac{(n + b) \times m \times E_k}{\eta_{γβ} \times \eta_{εκφ} \times \beta_{εκφ} \times V_B} = \frac{(4 + 0,7) \times 1,2 \times 3960}{0,8 \times 0,91 \times 0,6 \times 48} = 1065 \text{ Ah}$$

Όπου, $\eta_{εκφ} = \eta_w \times \eta_D \times \eta_{inv} = 0,99 \times 0,98 \times 0,94 = 0,91$ και $b = 2,772 / 3,96 = 0,7$

Λόγω της ζητούμενης τάσης λειτουργίας των συσσωρευτών, θα υπάρχουν παράλληλοι κλάδοι με μπαταρίες των 12 Volt σε κάθε κλάδο, αφού $4 \times 12 = 48V$. Ο αριθμός των παράλληλων κλάδων καθορίζεται από την συνολική χωρητικότητα C. Οι μπαταρίες που θα χρησιμοποιήσουμε είναι της εταιρίας Intact Germany Solar Power και έχουν χωρητικότητα 200Ah. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά αυτών των συσσωρευτών.

Μοντέλο	SP200 Intact Solar Germany Power
Τεχνολογία	Calcium / Calcium
Τάση	12 V
Χωρητικότητα (5 ώρες φόρτιση)	165 Ah
Χωρητικότητα (20 ώρες φόρτιση)	190 Ah
Μήκος	513 mm

Πλάτος	223 mm
Ύψος	223 mm
Βάρος	41,5 kg
Θερμοκρασία λειτουργίας	-10C έως + 40C
Χρόνος ζωής	800 κύκλους ζωής στο 30% αποφόρτιση

Ο αριθμός των παράλληλων κλάδων θα είναι $1065 \text{ Ah} / 200\text{Ah} \approx 5$. Άρα, θα χρησιμοποιηθούν 20 από τους παραπάνω συσσωρευτές σε 5 παράλληλους κλάδους με 4 συνδεδεμένους σε σειρά σε κάθε ένα. Η συνολική χωρητικότητα θα είναι $20 \times 100 = 2000 \text{ Ah}$. Η στρογγυλοποίηση αυτή μπορεί να γίνει προς τα κάτω, για τον λόγο ότι έχουμε καλύψει ήδη φορτίο 1,2 φορές μεγαλύτερο από αυτό που έχουμε στην πραγματικότητα λόγω του συντελεστή η .

3.6 Επιλογή φωτοβολταϊκών πλαισίων [9]

Τα πλαίσια που θα χρησιμοποιήσουμε είναι πολυκρυσταλλικού πυριτίου, και τα χαρακτηριστικά τους παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Μοντέλο πλαισίου	Luxor eco line P60/270
I_{sc}	9,18 A
I_{mp}	8,68 A
V_{oc}	38,32 V
V_{mp}	31,16 V
P_p	270 W
Συντελεστής απόδοσης πλαισίου	16,63 %
Θερμοκρασιακοί συντελεστές [I], [V],[P]	-0,30% °C, 0,05% °C, -0,41% °C
Διαστάσεις	1640mm x 992mm x 35mm
Βάρος	18,71 kg

Για να έχει το σύστημα ισχύ $3,96 \text{ kWh/ήμερα}$, η επιφάνεια που θα χρειαστούμε για να τοποθετηθούν τα φωτοβολταϊκα πλαίσια είναι:

Αντικαθιστώντας έχουμε:

$$S = \frac{3960}{0,85 \times 0,1663 \times 1740} = 16,1 \text{ m}^2$$

Άρα, η ισχύς των φωτοβολταϊκών πλαισίων που θα καλύπτουν τα $16,12 \text{ m}^2$ θα είναι:

$$16,12 \text{ m}^2 \times 166,3 = 2680,756 \text{ W}$$

Το πλήθος των φωτοβολταϊκών πλαισίων που θα χρειαστούμε:

$$\frac{2680,756}{270} = 10 \text{ φωτοβολταϊκαπλαίσια}$$

Για την εγκατάσταση μας θα χρησιμοποιήσουμε 5 string τα όποια θα συνδεθούν παράλληλα 2 πάνελ.

Επίσης $10 \times 270 = 2700 \text{ Wp}$. Αυτός ο υπολογισμός γίνεται επειδή θέλουμε ένα μικρό περιθώριο για κάλυψη αυξημένης κατανάλωσης.

Η ισχύς κάθε συστοιχίας είναι $2 \times 270 = 540 \text{ W}$

3.7 Επιλογή ελεγκτή φόρτισης και αντιστροφέα (inverter) [8]

Επιλέγουμε σειριακό ελεγκτή φόρτισης που έχει ονομαστική τάση 48V και υπολογίζουμε το απαιτούμενο ρεύμα εισόδου και εξόδου του.

Μέγιστο ρεύμα εισόδου: $I_{in_{max}} = 1,5 \times I_{m\sigma} = 1,5 \times 6 \times 8,68 = 78,12 \text{ A}$

Το ρεύμα εξόδου του ελεγκτή δίνεται, όταν λειτουργούν ταυτόχρονα οι περισσότερες συσκευές:

$$I_{out_{max}} = \frac{V_{K_{peak}}}{V_K} = \frac{2000}{230} = 8,695 \text{ A}$$

Ονομαστική τάση λειτουργίας $V = 48 \text{ V}$

Η ισχύς εξόδου του αντιστροφέα πρέπει να είναι: $P_{out} = P_{K_{peak}} = 2000 \text{ W}$

Η τάση εξόδου του μετατροπέα πρέπει να είναι η τάση ίση με την τάση λειτουργίας των φορτίων $V_{out} = 230 \text{ V}$

Ο αντιστροφέας και ελεγκτής φόρτισης που θα χρησιμοποιήσουμε είναι Inverter Καθαρού Ημιτόνου 4000W 48V & Ρυθμιστής Φόρτισης mppt 60a ps-5k oem της εταιρίες ideahellas. Τα χαρακτηριστικά του καταγράφονται στον παρακάτω πίνακα

Model Name	Inverter 5KVA 48V DC
Rate Power	5000VA / 4000W
DC Input	48V DC/ 84 A

AC Output	230V AC, 50 Hz, 22A
Power	5000VA / 4000W
Rate Current	50A
System Voltage	48V DC
Min. Solar. Voltage	36V DC
Max. Solar. Voltage	105V DC
Διαστάσεις	50cm 22cm
Βάρος (Kg)	11,50

3.8 Ενεργειακή εκτίμηση του φωτοβολταϊκού συστήματος ανά μήνα

Σε αυτή την παράγραφο, θα γίνει υπολογισμός του ποσοστού της ενέργειας που καλύπτεται από το φωτοβολταϊκα πάνελ. Από την σελίδα έχει Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS), γνωρίζουμε την ενέργεια που παράγεται κάθε μήνα και ημερησίως για όλους τους μήνες του χρόνου. Επειδή θέλουμε ένα μικρό περιθώριο για κάλυψη αυξημένης κατανάλωσης πολλαπλασιάζουμε το σύνολο των φωτοβολταϊκων πλαισίων με την ονομαστική τους τάση και έτσι έχουμε, $10 \times 270 = 2,7 \text{ kW}$.

	ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΝΑ ΜΗΝΑ (kWh)	ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΝΑ ΗΜΕΡΑ (kWh)
Ιανουάριος	77,7	2,51
Φεβρουάριος	86,1	3,07
Μάρτιος	119	3,84
Απρίλιος	147	4,90
Μάιος	159	5,14
Ιούνιος	171	5,70
Ιούλιος	178	5,76
Αύγουστος	173	5,60
Σεπτέμβριος	152	5,05
Οκτώβριος	134	4,33
Νοέμβριος	88,8	2,96

Δεκέμβριος	54,3	1,75
------------	------	------

Για τον μήνα Ιανουάριο:

$$E_{real} = 2,7 \times 2,51 = 6,777 \text{ kWh/day}$$

$E_{PV} = 6,777 \text{ kWh/day} \times 31 \text{ day} = 210,087 \text{ kWh}$, είναι η ενέργεια που παράγουν όλα τα φωτοβολταικά πλαίσια το μήνα.

Σύμφωνα με τους υπολογισμούς που έχουμε κάνει το απαιτούμενο φορτίο ημερησίως για το μήνα Ιανουάριο είναι περίπου 3,9 kWh/day

Οπότε η ενέργεια που απαιτείται να καλυφθεί τον Ιανουάριο είναι:

$$E_{LOAD} = 3,9 \text{ kWh/day} \times 31 \text{ day} = 120,9 \text{ kWh}$$

$$WR = W_{(winter)} - (E_{real(winter)} \times 0,97) = 3,90 - (0,97 \times 6,77) = -2,667 \text{ kWh/day}$$

Στο σύστημα μας δεν θα υπάρχει έλλειμα και λειτουργεί κανονικά.

Όπου η κατανάλωση του σπιτιού για τον μήνα Ιανουάριο είναι ίση με 3,9 kWh/day και 0,97 είναι ο βαθμός απόδοσης του inverter.

Το ποσοστό της ενέργειας που καλύπτουν τα φωτοβολταικά πάνελ είναι:

$$E_s = \frac{E_{PV}}{E_{LOAD}} \times 100\% = \frac{210,087}{120,9} \times 100\% = 173,7\%$$

Για τον μήνα Φεβρουάριο:

$$E_{real} = 2,7 \times 3,07 = 8,289 \text{ kWh/day}$$

$E_{PV} = 8,289 \text{ kWh/day} \times 28 \text{ day} = 232,092 \text{ kWh}$, είναι η ενέργεια που παράγουν όλα τα φωτοβολταικά πλαίσια το μήνα.

Σύμφωνα με τους υπολογισμούς που έχουμε κάνει το απαιτούμενο φορτίο ημερησίως για το μήνα Φεβρουάριο είναι περίπου 3,8 kWh/day

Οπότε η ενέργεια που απαιτείται να καλυφθεί τον Φεβρουάριο είναι:

$$E_{LOAD} = 3,8 \text{ kWh/day} \times 28 \text{ day} = 106,4 \text{ kWh}$$

$$WR = W_{(winter)} - (E_{real(winter)} \times 0,97) = 3,80 - (0,97 \times 8,289) = -4,24 \text{ kWh/day}$$

Στο σύστημα μας δεν θα υπάρχει έλλειμα και λειτουργεί κανονικά.

Όπου η κατανάλωση του σπιτιού για τον μήνα Φεβρουάριο είναι ίση με 3,8 kWh/day και 0,97 είναι ο βαθμός απόδοσης του inverter.

Το ποσοστό της ενέργειας που καλύπτουν τα φωτοβολταικά πάνελ είναι:

$$E_x = \frac{E_{PV}}{E_{LOAD}} \times 100\% = \frac{232,092}{106,4} \times 100\% = 218,1\%$$

Για τον μήνα Μάρτιο:

$$E_{real} = 2,7 \times 3,84 = 10,368 \text{ kWh/day}$$

$E_{PV} = 10,368 \text{ kWh/day} \times 30 \text{ day} = 311,04 \text{ kWh}$, είναι η ενέργεια που παράγουν όλα τα φωτοβολταικά πλαίσια το μήνα.

Σύμφωνα με τους υπολογισμούς που έχουμε κάνει το απαιτούμενο φορτίο ημερησίως για το μήνα Μάρτιο είναι περίπου 3,7 kWh/day

Οπότε η ενέργεια που απαιτείται να καλυφθεί τον Μάρτιο είναι:

$$E_{LOAD} = 3,7 \text{ kWh/day} \times 30 \text{ day} = 111 \text{ kWh}$$

$$WR = W_{(winter)} - (E_{real(winter)} \times 0,97) = 3,70 - (0,97 \times 10,368) = -6,356 \text{ kWh/day}$$

Στο σύστημα μας δεν θα υπάρχει έλλειμα και λειτουργεί κανονικά.

Όπου η κατανάλωση του σπιτιού για τον μήνα Μάρτιο είναι ίση με 3,7 kWh/day και 0,97 είναι ο βαθμός απόδοσης του inverter.

Το ποσοστό της ενέργειας που καλύπτουν τα φωτοβολταικά πάνελ είναι:

$$E_x = \frac{E_{PV}}{E_{LOAD}} \times 100\% = \frac{311,04}{111} \times 100\% = 280,2\%$$

Για τον μήνα Απρίλιο :

$$E_{real} = 2,7 \times 4,9 = 13,23 \text{ kWh/day}$$

$E_{PV} = 13,23 \text{ kWh/day} \times 30 \text{ day} = 396,9 \text{ kWh}$, είναι η ενέργεια που παράγουν όλα τα φωτοβολταϊκά πλαίσια το μήνα.

Σύμφωνα με τους υπολογισμούς που έχουμε κάνει το απαιτούμενο φορτίο ημερησίως για το μήνα Απρίλιο είναι περίπου 3,6 kWh/day

Οπότε η ενέργεια που απαιτείται να καλυφθεί τον Απρίλιο είναι:

$$E_{LOAD} = 3,6 \text{ kWh/day} \times 30 \text{ day} = 108 \text{ kWh}$$

$$WR = W_{(winter)} - (E_{real(winter)} \times 0,97) = 3,60 - (0,97 \times 13,23) = -9,23 \text{ kWh/day}$$

Στο σύστημα μας δεν θα υπάρχει έλλειμα και λειτουργεί κανονικά.

Όπου η κατανάλωση του σπιτιού για τον μήνα Απρίλιος είναι ίση με 3,6 kWh/day και 0,97 είναι ο βαθμός απόδοσης του inverter.

Το ποσοστό της ενέργειας που καλύπτουν τα φωτοβολταϊκά πάνελ είναι:

$$E_s = \frac{E_{PV}}{E_{LOAD}} \times 100\% = \frac{396,9}{108} \times 100\% = 367,5\%$$

Για τον μήνα Μάιο :

$$E_{real} = 5,15 \times 2,7 = 13,905 \text{ kWh/day}$$

$E_{PV} = 13,905 \text{ kWh/day} \times 31 \text{ day} = 431,055 \text{ kWh}$, είναι η ενέργεια που παράγουν όλα τα φωτοβολταϊκά πλαίσια το μήνα.

Σύμφωνα με τους υπολογισμούς που έχουμε κάνει το απαιτούμενο φορτίο ημερησίως για το μήνα Μάιο είναι περίπου 3,5 kWh/day

Οπότε η ενέργεια που απαιτείται να καλυφθεί τον Μάιο είναι:

$$E_{LOAD} = 3,5 \text{ kWh/day} \times 31 \text{ day} = 108,5 \text{ kWh}$$

$$WR = W_{(winter)} - (E_{real(winter)} \times 0,97) = 3,50 - (0,97 \times 13,905) = -9,987 \text{ kWh/day}$$

Στο σύστημα μας δεν θα υπάρχει έλλειμα και λειτουργεί κανονικά.

Όπου η κατανάλωση του σπιτιού για τον μήνα Μάιο είναι ίση με 3,5 kWh/day και 0,97 είναι ο βαθμός απόδοσης του inverter.

Το ποσοστό της ενέργειας που καλύπτουν τα φωτοβολταϊκά πάνελ είναι:

$$E_x = \frac{E_{PV}}{E_{LOAD}} \times 100\% = \frac{431,055}{103,5} \times 100\% = 397,38\%$$

Για τον μήνα Ιούνιο:

$$E_{real} = 2,7 \times 5,71 = 15,417 \text{ kWh/day}$$

$E_{PV} = 15,417 \text{ kWh/day} \times 30 \text{ day} = 462,51 \text{ kWh}$, είναι η ενέργεια που παράγουν όλα τα φωτοβολταικά πλαίσια το μήνα.

Σύμφωνα με τους υπολογισμούς που έχουμε κάνει το απαιτούμενο φορτίο ημερησίως για το μήνα Ιούνιο είναι περίπου 3,5 kWh/day

Οπότε η ενέργεια που απαιτείται να καλυφθεί τον Ιούνιο είναι:

$$E_{LOAD} = 3,5 \text{ kWh/day} \times 30 \text{ day} = 105 \text{ kWh}$$

$$WR = W_{(winter)} - (E_{real(winter)} \times 0,97) = 3,50 - (0,97 \times 15,417) = -11,45 \text{ kWh/day}$$

Στο σύστημα μας δεν θα υπάρχει έλλειμα και λειτουργεί κανονικά.

Όπου η κατανάλωση του σπιτιού για τον μήνα Ιούνιο είναι ίση με 3,5 kWh/day και 0,97 είναι ο βαθμός απόδοσης του inverter.

Το ποσοστό της ενέργειας που καλύπτουν τα φωτοβολταικά πάνελ είναι:

$$E_x = \frac{E_{PV}}{E_{LOAD}} \times 100\% = \frac{462,51}{105} \times 100\% = 440,48\%$$

Για τον μήνα Ιούλιο:

$$E_{real} = 2,7 \times 5,76 = 15,552 \text{ kWh/day}$$

$E_{PV} = 15,552 \text{ kWh/day} \times 31 \text{ day} = 482,112 \text{ kWh}$, είναι η ενέργεια που παράγουν όλα τα φωτοβολταικά πλαίσια το μήνα.

Σύμφωνα με τους υπολογισμούς που έχουμε κάνει το απαιτούμενο φορτίο ημερησίως για το μήνα Ιούλιο είναι περίπου 3,4545 kWh/day

Οπότε η ενέργεια που απαιτείται να καλυφθεί τον Ιούλιο είναι:

$$E_{LOAD} = 3,4545 \text{ kWh/day} \times 31 \text{ day} = 107,08 \text{ kWh}$$

$$WR = W_{(winter)} - (E_{real(winter)} \times 0,97) = 3,4545 - (0,97 \times 15,552) = -11,63 \text{ kWh/day}$$

Στο σύστημα μας δεν θα υπάρχει έλλειμα και λειτουργεί κανονικά.

Όπου η κατανάλωση του σπιτιού για τον μήνα Ιούλιο είναι ίση με 3,4545 kWh/day και 0,97 είναι ο βαθμός απόδοσης του inverter.

Το ποσοστό της ενέργειας που καλύπτουν τα φωτοβολταικά πάνελ είναι:

$$E_s = \frac{E_{PV}}{E_{LOAD}} \times 100\% = \frac{482,112}{107,03} \times 100\% = 450,23\%$$

Για τον μήνα Αύγουστο:

$$E_{real} = 2,7 \times 5,6 = 15,12 \text{ kWh/day}$$

$E_{PV} = 15,12 \text{ kWh/day} \times 31 \text{ day} = 468,72 \text{ kWh}$, είναι η ενέργεια που παράγουν όλα τα φωτοβολταικά πλαίσια το μήνα.

Σύμφωνα με τους υπολογισμούς που έχουμε κάνει το απαιτούμενο φορτίο ημερησίως για το μήνα Αύγουστο είναι περίπου 3,5 kWh/day

Οπότε η ενέργεια που απαιτείται να καλυφθεί τον Αύγουστος είναι:

$$E_{LOAD} = 3,5 \text{ kWh/day} \times 31 \text{ day} = 108,5 \text{ kWh}$$

$$WR = W_{(winter)} - (E_{real(winter)} \times 0,97) = 3,50 - (0,97 \times 15,12) = -11,164 \text{ kWh/day}$$

Στο σύστημα μας δεν θα υπάρχει έλλειμα και λειτουργεί κανονικά.

Όπου η κατανάλωση του σπιτιού για τον μήνα Αύγουστο είναι ίση με 3,5 kWh/day και 0,97 είναι ο βαθμός απόδοσης του inverter.

Το ποσοστό της ενέργειας που καλύπτουν τα φωτοβολταικά πάνελ είναι:

$$E_s = \frac{E_{PV}}{E_{LOAD}} \times 100\% = \frac{468,72}{108,5} \times 100\% = 432\%$$

Για τον μήνα Σεπτέμβριο:

$$E_{real} = 2,7 \times 5,06 = 13,662 \text{ kWh/day}$$

$E_{PV} = 11,664 \text{ kWh/day} \times 30 \text{ day} = 409,86 \text{ kWh}$, είναι η ενέργεια που παράγουν όλα τα φωτοβολταικά πλαίσια το μήνα.

Σύμφωνα με τους υπολογισμούς που έχουμε κάνει το απαιτούμενο φορτίο ημερησίως για το μήνα Σεπτέμβριο είναι περίπου 3,6 kWh/day

Οπότε η ενέργεια που απαιτείται να καλυφθεί τον Σεπτέμβριο είναι:

$$E_{LOAD} = 3,6 \text{ kWh/day} \times 30 \text{ day} = 108 \text{ kWh}$$

$$WR = W_{(winter)} - (E_{real(winter)} \times 0,97) = 3,60 - (0,97 \times 13,662) = -13,25 \text{ kWh/day}$$

Στο σύστημα μας δεν θα υπάρχει έλλειμα και λειτουργεί κανονικά.

Όπου η κατανάλωση του σπιτιού για τον μήνα Σεπτέμβριο είναι ίση με 3,6 kWh/day και 0,97 είναι ο βαθμός απόδοσης του inverter.

Το ποσοστό της ενέργειας που καλύπτουν τα φωτοβολταικά πάνελ είναι:

$$E_s = \frac{E_{PV}}{E_{LOAD}} \times 100\% = \frac{409,86}{109} \times 100\% = 379,5\%$$

Για τον μήνα Οκτώβριο:

$$E_{real} = 2,7 \times 4,32 = 11,664 \text{ kWh/day}$$

$E_{PV} = 11,664 \text{ kWh/day} \times 31 \text{ day} = 361,584 \text{ kWh}$, είναι η ενέργεια που παράγουν όλα τα φωτοβολταικά πλαίσια το μήνα.

Σύμφωνα με τους υπολογισμούς που έχουμε κάνει το απαιτούμενο φορτίο ημερησίως για το μήνα Οκτώβριο είναι περίπου 3,7 kWh/day

Οπότε η ενέργεια που απαιτείται να καλυφθεί τον Οκτώβριο είναι:

$$E_{LOAD} = 3,7 \text{ kWh/day} \times 31 \text{ day} = 114,7 \text{ kWh}$$

$$WR = W_{(winter)} - (E_{real(winter)} \times 0,97) = 3,70 - (0,97 \times 11,664) = -7,61 \text{ kWh/day}$$

Στο σύστημα μας δεν θα υπάρχει έλλειμα και λειτουργεί κανονικά.

Όπου η κατανάλωση του σπιτιού για τον μήνα Οκτώβριο είναι ίση με 3,7 kWh/day και 0,97 είναι ο βαθμός απόδοσης του inverter.

Το ποσοστό της ενέργειας που καλύπτουν τα φωτοβολταικά πάνελ είναι:

$$E_s = \frac{E_{PV}}{E_{LOAD}} \times 100\% = \frac{361,584}{114,7} \times 100\% = 315,24\%$$

Για τον μήνα Νοέμβριος:

$$E_{real} = 2,7 \times 2,96 = 7,992 \text{ kWh/day}$$

$E_{PV} = 7,992 \text{ kWh/day} \times 30 \text{ day} = 239,76 \text{ kWh}$, είναι η ενέργεια που παράγουν όλα τα φωτοβολταικά πλαίσια το μήνα.

Σύμφωνα με τους υπολογισμούς που έχουμε κάνει το απαιτούμενο φορτίο ημερησίως για το μήνα Νοέμβριο είναι περίπου 3,8 kWh/day

Οπότε η ενέργεια που απαιτείται να καλυφθεί τον Νοέμβριος είναι:

$$E_{LOAD} = 3,8 \text{ kWh/day} \times 30 \text{ day} = 114 \text{ kWh}$$

$$WR = W_{(inverter)} - (E_{real(inverter)} \times 0,97) = 3,80 - (0,97 \times 7,992) = -3,95 \text{ kWh/day}$$

Στο σύστημα μας δεν θα υπάρχει έλλειμα και λειτουργεί κανονικά.

Όπου η κατανάλωση του σπιτιού για τον μήνα Νοέμβριος είναι ίση με 3,8 kWh/day και 0,97 είναι ο βαθμός απόδοσης του inverter.

Το ποσοστό της ενέργειας που καλύπτουν τα φωτοβολταικά πάνελ είναι:

$$E_s = \frac{E_{PV}}{E_{LOAD}} \times 100\% = \frac{239,76}{114} \times 100\% = 210,31\%$$

Για τον μήνα Δεκέμβριο:

$$E_{real} = 2,7 \times 1,74 = 4,698 \text{ kWh/day}$$

$E_{PV} = 4,698 \text{ kWh/day} \times 30 \text{ day} = 140,94 \text{ kWh}$, είναι η ενέργεια που παράγουν όλα τα φωτοβολταικά πλαίσια το μήνα.

Σύμφωνα με τους υπολογισμούς που έχουμε κάνει το απαιτούμενο φορτίο ημερησίως για το μήνα Ιανουάριο είναι περίπου 3,96 kWh/day

Οπότε η ενέργεια που απαιτείται να καλυφθεί τον Δεκέμβριο είναι:

$$E_{LOAD} = 3,96 \text{ kWh/day} \times 30 \text{ day} = 118,8 \text{ kWh}$$

$$WR = W_{(inverter)} - (E_{real(inverter)} \times 0,97) = 3,96 - (0,97 \times 4,698) = -0,597 \text{ kWh/day}$$

Στο σύστημα μας δεν θα υπάρχει έλλειμα και λειτουργεί κανονικά.

Όπου η κατανάλωση του σπιτιού για τον μήνα Δεκέμβριο είναι ίση με 3,96 KWh/day και 0,97 είναι ο βαθμός απόδοσης του inverter.

Το ποσοστό της ενέργειας που καλύπτουν τα φωτοβολταικά πάνελ είναι:

$$E_x = \frac{E_{PV}}{E_{LOAD}} \times 100\% = \frac{140,94}{118,8} \times 100\% = 118,6\%$$

3.9 Επιλογή τύπου και διατομής καλωδίων

Φωτοβολταικα πάνελ

Η επιλογή της διατομής των καλωδίων γίνεται με βάση την πτώση τάσης που πρέπει να είναι μικρότερη του 1%, και του ρεύματος μέγιστης φόρτισης του καλωδίου που πρέπει να είναι μεγαλύτερο από το ρεύμα που θα δώσουν τα sting στους **70°C**.

$$I_{cable} \geq 1,25 \times I_{max, sting}$$

Όπου,

$$V_{oc(-10^{\circ}C)} = \left(1 - \Delta T \times \frac{\Delta V}{100}\right) \times V_{oc(stc)} \quad (1)$$

$$\Delta T = -10 - 25 = -35^{\circ}C \quad (2)$$

$$\frac{\Delta V}{100} = -0,33\% \quad (3)$$

$$V_{oc(stc)} = 38,32 V \quad (4)$$

Αντικαθιστώντας τις εξισώσεις 2,3,4 στην 1 προκύπτει:

$$V_{oc(-10^{\circ}C)} = \left(1 + 35 \times \frac{0,33}{100}\right) \times 38,32 = 42,746 V$$

Ακόμη,

$$V_{oc(-10^{\circ}C)} = 42,746 \times 8 = 341,968 V$$

Σύμφωνα με τους παραπάνω υπολογισμούς μπορούμε να διαλέξουμε καλώδιο τύπου HO7RN-F με ονομαστική τάση καλωδίου 450/750 V.

$$A = \frac{2 \times L \times P}{\varepsilon \times V^2 \times k} = \frac{2 \times 10 \times (270 \times 8)}{0,01 \times (8 \times 31,16)^2 \times 56} = 1,241 \text{ mm}^2$$

Όπου,

L(m) : Μήκος του καλωδίου

P(W) : Ισχύς του string

ε: Πτώση τάσης μικρότερη του 1%

V(V): Συνολική τάση string

k: ειδική αγωγιμότητα για 20°C (k=56 m/Ω mm² για αγωγούς χαλκού)

Σύμφωνα με τον παραπάνω υπολογισμό η διατομή του καλωδίου θα είναι 4 mm², και θα επιλέξουμε 6 καλώδια τύπου HO7RN-F με διατομή 4 mm².

Για να ελέγξουμε εάν το ρεύμα μέγιστης φόρτισης του καλωδίου είναι μεγαλύτερο από το ρεύμα που θα δώσουν τα string πρέπει:

Υπολογισμός του ρεύματος βραχυκύκλωσης στους 70°C:

$$I_{sc(70^\circ\text{C})} = \left(1 + \Delta T \times \frac{\Delta V}{100}\right) \times I_{sc} \quad (1)$$

$$\Delta T = 70 - 25 = 45^\circ\text{C} \quad (2)$$

$$\frac{\Delta V}{100} = +0,030\% \quad (3)$$

$$I_{sc} = 9,18 \text{ A} \quad (4)$$

Αντικαθιστώντας τις εξισώσεις 2,3,4 στην εξίσωση της 1 προκύπτει:

$$I_{sc(70^\circ\text{C})} = \left(1 + 45 \times \frac{0,03}{100}\right) \times 9,18 = 9,304 \text{ A} \quad (5)$$

Υπολογισμός μέγιστου ρεύματος καλωδίων:

$$I_{cable} = I \times f_B \times f_c \times f_i \quad (6)$$

I= μέγιστο επιτρεπόμενο ρεύμα καλωδίων τοποθετημένων στο έδαφος. Για την εύρεση του ρεύματος από τον Πίνακα 7.9 του βιβλίου Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις Καταναλωτών του Πέτρου Ντοκόπουλου

υποθέτουμε: βάθος θεμελίωσης 0.7m , ειδική αντίσταση εδάφους $k=1^{\circ}K \times m/W$, θερμοκρασία εδάφους $20^{\circ}C$, ένα σύστημα μονοφασικό ή τριφασικό.

f_{θ} = συντελεστής εξαρτώμενος από την θερμοκρασία του εδάφους . Για την εύρεση του χρησιμοποιούμε τον Πίνακα 7.10 του βιβλίου Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις Καταναλωτών του Πέτρου Ντοκόπουλου

υποθέτουμε: συντελεστής διόρθωσης για θερμοκρασία εδάφους διαφορετική από 20

f_e = συντελεστής εξαρτώμενος από την θερμοκρασία έδαφος εύρεση. Για την εύρεση του χρησιμοποιούμε τον Πίνακα 7.11 του βιβλίου Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις Καταναλωτών του Πέτρου Ντοκόπουλου

υποθέτουμε: συντελεστή για ειδική θερμική αντίσταση του εδάφους διαφορετική από $2.5 K.m/W$

f_i = συντελεστής εξαρτώμενος από το πλήθος των συστημάτων που γειτνιάζουν και τα καλώδια είναι σε επαφή με το έδαφος. Για την εύρεση του χρησιμοποιούμε τον Πίνακα 7.12 του βιβλίου Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις Καταναλωτών του Πέτρου Ντοκόπουλου

υποθέτουμε:

συντελεστή διόρθωσης για περισσότερα από ένα κυκλώματα με καλώδια θαμμένα κατευθείαν στο έδαφος.

Σύμφωνα με τους παραπάνω συντελεστές η εξίσωση (6) προκύπτει:

$$I_{cable} = 44 \times 0,96 \times 1 \times 0,70 = 29,568 A \quad (7)$$

Από την εξίσωση (5) και (7) προκύπτει

$$I_{cable} \geq 1,25 \times I_{max,string}$$

$$29,568 \geq 1,25 \times 9,304 \rightarrow 29,568 \geq 11,63$$

Το ρεύμα μέγιστης φόρτισης του καλωδίου είναι μεγαλύτερο από το ρεύμα που θα δώσουν τα string στους $70^{\circ}C$, οπότε η διατομή $4mm^2$ μας καλύπτει.

Inverter και ελεγκτή φόρτισης

Η επιλογή της διατομής των καλωδίων γίνεται με βάση την πτώση τάσης που πρέπει να είναι μικρότερη του 1%, και του ρεύματος μέγιστης επιτρεπόμενης φόρτισης του καλωδίου που πρέπει να είναι μεγαλύτερο από το ρεύμα του inverter.

$$I_{cable} \geq I_{max,inverter}$$

$$A = \frac{2 \times L \times I \times \cos\varphi}{\varepsilon \times V \times k} = \frac{2 \times 5 \times 22 \times 1}{0,01 \times 230 \times 56} = 1,708 \text{ mm}^2$$

Όπου,

L(m) : μήκος του καλωδίου

I(A): Μέγιστο ρεύμα εξόδου Inverter

cosφ: συντελεστής ισχύος (cosφ=1, στην καλύτερη περίπτωση)

ε: Πτώση τάσης (η πτώση τάσης πρέπει να είναι μικρότερη από 1%)

V(V): Τάση που δίνει ο inverter

k: ειδική αγωγιμότητα για 20°C (k=56 m/Ω mm² για αγωγούς χαλκού)

Σύμφωνα με τον παραπάνω υπολογισμό η διατομή του καλωδίου είναι 4 mm², και ποιο συγκεκριμένα 1 καλώδιο τύπου J1VV με διατομή 4 mm².

Για να υπολογίσουμε εάν το ρεύματος μέγιστης επιτρεπόμενης φόρτισης του καλωδίου είναι μεγαλύτερο από το ρεύμα του inverter πρέπει:

$$I_{cable} = I_0 \times f_1 \times f_2 \times f_3 \times f_4 \times f_5 \quad (1)$$

I_0 = μέγιστο επιτρεπόμενο ρεύμα, δίνεται από το βιβλίο Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις Καταναλωτών του Πέτρου Ντοκόπουλου και πιο συγκεκριμένα από τον Πίνακα 7.26. υποθέτουμε: θερμοκρασία εδάφους **20°C**, ειδική θερμική αντίσταση εδάφους 1 Km/W, συντελεστής φόρτισης 0.7, ένα εντφιασμένο τριφασικό σύστημα και τα καλώδια είναι γειωμένα και στα δυο τους άκρα.

f_1 = συντελεστής για διαφορετική θερμοκρασία εδάφους και ειδική θερμική αντίσταση εδάφους, δίνεται από το βιβλίο Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις Καταναλωτών του Πέτρου Ντοκόπουλου και πιο συγκεκριμένα από τον Πίνακα 7.32

f_2 = συντελεστής για παραπάνω από ένα σύστημα, δίνεται από το βιβλίο Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις Καταναλωτών του Πέτρου Ντοκόπουλου και πιο συγκεκριμένα από τον Πίνακα 7.36

f_3 =0, 85 όταν το καλώδιο βρίσκεται μέσα σε σωλήνα και σε μήκος μεγαλύτερο των 6 μέτρων

f_4 =1 επειδή δεν υπάρχουν σκεπάσματα η προστατευτικά που εγκλείουν αέρα.

f_{ξ} = συντελεστής για πολυπολικά καλώδια με τρεις αγωγούς και πάνω, δίνεται από το βιβλίο Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις Καταναλωτών του Πέτρου Ντοκόπουλου και πιο συγκεκριμένα από τον Πίνακα 7.25

Σύμφωνα με τους παραπάνω συντελεστές η εξίσωση (1) θα είναι:

$$I_{cable} = 54 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 = 54 \text{ A}$$

Οπότε:

$$I_{cable} \geq I_{max, inverter} \rightarrow 54 \text{ A} \geq 22 \text{ A}$$

Το ρεύμα μέγιστης φόρτισης του καλωδίου είναι μεγαλύτερο από το μέγιστο ρεύμα του Inverter και ελεγκτή φόρτισης, οπότε η διατομή 4mm^2 μας καλύπτει.

Μπαταρία

$$I_{φορτισης} = \frac{C_{μπαταριας}}{h_1} = \frac{200}{14} = 14,285 \text{ A}$$

$$I_{εκφορτισης} = \frac{C_{μπαταριας}}{h_2} = \frac{200}{10} = 20 \text{ A}$$

Όπου,

$C_{μπαταριας}$: χωρητικότητα της μπαταρίας που έχουμε επιλέξει

h_1 : είναι οι ώρες φόρτισης των μπαταριών

h_2 : είναι οι ώρες που εκφορτίζονται οι μπαταρίες

Από τους παραπάνω υπολογισμούς παρατηρούμε ότι $I_{εκφορτισης} > I_{φορτισης}$

Ο υπολογισμός της διατομής του καλωδίου θα γίνει με βάση το $I_{εκφορτισης}$.

Το $I_{εκφορτισης}$ είναι 20 A, οπότε η διατομή του καλωδίου θα είναι 4mm^2

Θα εξετάσουμε αν όντως η διατομή του καλωδίου που έχουμε επιλέξει μας καλύπτει.

$$I_{βραχυκυκλωσης} = 10 \times I_{εκφορτισης} = 10 \times 20 = 20 \text{ A}$$

$$A = \frac{200 \times \sqrt{2}}{109} = 2,59 \text{ mm}^2$$

Από τον παραπάνω υπολογισμό παρατηρούμε πως η διατομή του καλωδίου που επιλέξαμε από τον inverter μέχρι της συσσωρευτές μας καλύπτει.

Γενικό πίνακα χαμηλής τάσης

Η επιλογή της διατομής των καλωδίων γίνεται με βάση την πτώση τάσης που πρέπει να είναι μικρότερη του 1%, και του ρεύματος μέγιστης επιτρεπόμενης φόρτισης που θα πρέπει να είναι μεγαλύτερο από το ρεύμα του Inverter.

$$A = \frac{2 \times L \times I \times \cos\phi}{\varepsilon \times V \times k} = \frac{2 \times 13 \times 22 \times 1}{0,01 \times 230 \times 56} = 4,44 \text{ mm}^2$$

Όπου,

L(m) : μήκος του καλωδίου

I(A): Μέγιστο ρεύμα εξόδου Inverter

cosφ: συντελεστής ισχύος (cosφ=1, στην καλύτερη περίπτωση)

ε: Πτώση τάσης (η πτώση τάσης πρέπει να είναι μικρότερη από 1%)

V(V): Τάση που δίνει ο inverter

k: ειδική αγωγιμότητα για 20°C (k=56 m/Ω mm² για αγωγούς χαλκού)

Σύμφωνα με τον παραπάνω υπολογισμό η διατομή του καλωδίου που θα επιλέξουμε είναι 6mm², και πιο συγκεκριμένα ένα καλώδιο τύπου J1VV με διατομή 6,6mm².

Για να ελέγξουμε εάν το ρεύματος μέγιστης φόρτισης του καλωδίου είναι μεγαλύτερο από το μέγιστο ρεύμα του inverter πρέπει:

$$I_{cable} = I_0 \times f_1 \times f_2 \times f_3 \times f_4 \times f_5 \quad (1)$$

I_0 = μέγιστο επιτρεπόμενο ρεύμα, δίνεται από το βιβλίο Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις Καταναλωτών του Πέτρου Ντοκόπουλου και πιο συγκεκριμένα από τον Πίνακα 7.26. υποθέτουμε: θερμοκρασία εδάφους **20°C**, ειδική θερμική αντίσταση εδάφους 1 Km/W, συντελεστής φόρτισης 0.7, ένα ενταφιασμένο τριφασικό σύστημα και τα καλώδια είναι γειωμένα και στα δυο τους άκρα.

f_1 = συντελεστής για διαφορετική θερμοκρασία εδάφους και ειδική θερμική αντίσταση εδάφους, δίνεται από το βιβλίο Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις Καταναλωτών του Πέτρου Ντοκόπουλου και πιο συγκεκριμένα από τον Πίνακα 7.32

f_2 = συντελεστής για παραπάνω από ένα σύστημα, δίνεται από το βιβλίο Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις Καταναλωτών του Πέτρου Ντοκόπουλου και πιο συγκεκριμένα από τον Πίνακα 7.35

$f_3 = 0,85$ όταν το καλώδιο βρίσκεται μέσα σε σωλήνα και σε μήκος μεγαλύτερο των 6 μέτρων

$f_4 = 1$ επειδή δεν υπάρχουν σκεπάσματα ή προστατευτικά που εγκλείουν αέρα.

f_5 = συντελεστής για πολυπολικά καλώδια με τρεις αγωγούς και πάνω, δίνεται από το βιβλίο Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις Καταναλωτών του Πέτρου Ντοκόπουλου και πιο συγκεκριμένα από τον Πίνακα 7.25

Σύμφωνα με τους παραπάνω συντελεστές η εξίσωση (1) θα είναι:

$$I_{cable} = 56 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 = 56 A$$

Οπότε:

$$I_{cable} \geq I_{max, inverter} \rightarrow 56 A \geq 22 A$$

Το ρεύμα μέγιστης φόρτισης του καλωδίου είναι μεγαλύτερο από το μέγιστο ρεύμα του Inverter, οπότε η διατομή $6mm^2$ μας καλύπτει.

3.10 Επιλογή και τύπος διακοπτικών στοιχείων (Ασφάλειες)

Φωτοβολταικα πάνελ

Στην έξοδο κάθε string θα βάλουμε ασφαλειοδιακόπτη των 10 A, αφού το ονομαστικό ρεύμα των πλαισίων είναι 8,86 A. Συνολικά θα βάλουμε 12 ασφαλειοδιακόπτες, δυο σε κάθε string. Ένα στον αρνητικό πόλο και ένα στο θετικό.

Inverter

Στην έξοδο του Inverter θα βάλουμε έναν ασφαλειοδιακόπτη των 25 A, αφού το ονομαστικό ρεύμα εξόδου του Inverter είναι 22 A. Ο ασφαλειοδιακόπτης θα πρέπει να πέφτει σε ρεύμα που τα καλώδια δεν καταστρέφονται.

Συσσωρευτές

Από τον Inverter μέχρι της μπαταρίες θα βάλουμε έναν ασφαλειοδιακόπτη 16 A επειδή το μέγιστο ρεύμα των μπαταριών είναι 20 A (την μπαταρία δεν πρέπει να την φορτίζω πάνω από 20 A)

Γενικό πίνακα χαμηλής τάσης

Από τον Inverter μέχρι τον γενικό πίνακα χαμηλής τάσης θα βάλουμε ένα ασφαλειοδιακόπτη 25 A, επειδή το ονομαστικό ρεύμα εξόδου του Inverter είναι 22 A.

3.11 Αρχική εκτίμηση κόστος διασυνδεδεμένου φωτοβολταϊκού συστήματος

A/A	Περιγραφή	Ποσότητα	Τιμή Μονάδας	Μερικό Σύνολο
1	Φωτοβολταϊκος συλλέκτης eco line P60/270	12	220€	2640€
2	Συσσωρευτές PS200 Intact Solar Power	20	118,29€	2365,8€
3	Αντιστροφέας και ελεγκτής φόρτισης	1	780€	780€
4	Βάσης στήριξης πλαισίων	1	1296€	1296€
5	Κόστος εργασίας/Εργατικά	1	1500€	1500€
ΣΥΝΟΛΟ				8581,8€

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Ιωάννης Ε. Φραγκιαδάκης, "Φωτοβολταϊκά Συστήματα", Εκδόσεις Ζήτη Θεσσαλονίκη, 3^η έκδοση
- [2] Β. Μπιτζιώνη, "Βιομηχανικές Εγκαταστάσεις", Εκδόσεις Τζιόλα
- [3] Θωμάς Ζαχαρίας, "Ήπιες Μορφές Ενέργειες 1", Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών 2006
- [4] Θωμάς Ζαχαρίας, "Ήπιες Μορφές Ενέργειας 2", Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών 2007
- [5] Σταμάτης Δ. Περδίας, "Φωτοβολταϊκές Εγκαταστάσεις", Εκδόσεις Τζέλκα-4Μ, Γ' Έκδοση Αθήνα 2011
- [6] Διπλωματική Εργασία Συντάκη Παρασκευή Α.Ε.Μ: 5611, Samir Yazbeck Khozamy Α.Ε.Μ:5241, "Μελέτη και Σχεδιασμός Εγκατάστασης Αυτόνομου Φωτοβολταϊκού Συστήματος σε Μόνιμη Κατοικία", Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Πολυτεχνική Σχολή, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών
- [7]
<https://www.battery-expert.gr/images/thumbnails/3088/3250/detailed/1/datasheet-SP200.jpg?t=1532161441>
- [8]
<https://www.ideahellas.gr/product/%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CF%8A%CE%BA%CE%B1-%CF%83%CF%85%CF%83%CF%84%CE%B7%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B1/inverter-%CE%BA%CE%B1%CE%B8%CE%B1%CF%81%CE%BF%CF%8D-%CE%B7%CE%BC%CE%B9%CF%84%CF%8C%CE%BD%CE%BF%CF%85-4000w-48v-%CF%81%CF%85%CE%B8%CE%BC%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%AE%CF%82-%CF%86%CF%8C%CF%81%CF%84%CE%B9/>
- [9]
https://www.luxor-solar.com/files/luxor/solarmodule/datenblaetter/LX_DB_EcoLine_P60_270-290W_EN.pdf
- [10] <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>